



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSTGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA

**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL**



TESIS

**“EVALUAR EL CONTENIDO DE MERCURIO EN AGUA Y
SEDIMENTOS EN EL RÍO AZANGARO Y SU EFECTO EN LOS
POBLADORES DE PROGRESO EN EL AÑO 2012”**

PRESENTADA POR:

ELIANA MULLISACA CONTRERAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGÍSTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL**

PUNO, PERÚ

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

BIBLIOTECA CENTRAL
AREA DE TESIS

Fecha Ingreso 14 JUL 2015

Nº 0831

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSTGRADO
PROGRAMA DE MAESTRIA
MAESTRÍA EN TECNOLOGIAS DE PROTECCION
AMBIENTAL



TESIS

**"EVALUAR EL CONTENIDO DE MERCURIO EN AGUA Y
SEDIMENTOS EN EL RIO AZANGARO Y SU EFECTO EN LOS
POBLADORES DE PROGRESO EN EL AÑO 2012".**

PRESENTADA POR:

ELIANA MULLISACA CONTRERAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTAE EN TECNOLOGIAS DE PROTECCION
AMBIENTAL**

PUNO, PERÚ

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSTGRADO
PROGRAMA DE MAESTRIA
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

TESIS

**“EVALUAR EL CONTENIDO DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO
EN EL RIO AZANGARO Y SU EFECTO EN LOS POBLADORES DE
PROGRESO EN EL AÑO 2012”**

PRESENTADA POR:

ELIANA MULLISACA CONTRERAS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


.....
M.Sc. GERMAN OJILLO COTRADO

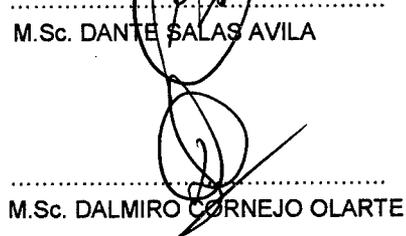
PRIMER MIEMBRO


.....
M.Sc. ALFREDO MAMANI CANQUI

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M.Sc. DANTE SALAS AVILA

ASESOR DE TESIS


.....
M.Sc. DALMIRO CORNEJO OLARTE

Puno, 31 de Enero del 2013

DEDICATORIA

A Jehová mi Dios, por ser un sendero
Iluminado y seguro para seguir y
Cumplir cualquier anhelo.

A mis dos amores Danery y Estrella por ser
fuente de inspiración para mi constante
superación, por quienes seguiré adquiriendo
conocimiento para ofrecerles un futuro mejor.

A Hugo por su constante apoyo y abnegada
dedicación para con nosotras, sin su ayuda la
presente no hubiera sido posible culminar.

AGRADECIMIENTO

Primeramente me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque estuviste conmigo en todo momento sin dejar que yo desmayara, hiciste realidad este sueño anhelado.

A la Escuela Post Grado de la Universidad del Altiplano por darme la oportunidad de continuar con mis estudios de post grado.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

PROBLEMATICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.-Planteamiento del problema.....	3
1.1.1.-Descripción del problema de investigación.....	3
1.1.2.-Definición del problema.....	5
1.1.2.1.-Problema general.....	5
1.1.2.2.-Problema específico.....	6
1.2.-Justificación.....	6
1.3.-Objetivos.....	7
1.3.1.-Objetivo general.....	7
1.3.2.-Objetivos específicos.....	7
1.4.-Hipotesis.....	7
1.4.1.-Hipotesis general.....	7
1.4.2.-Hipotesis específica.....	8
1.5.-Variables.....	8
1.5.1.-Variable Independiente.....	8

1.5.2.-Variable dependiente.....	8
----------------------------------	---

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1- Antecedentes de la Investigación.....	10
2.2.-Marco referencial.....	14
2.2.1.-Mercurio.....	14
2.2.2.-Características.....	14
2.2.3.- Tipos.....	15
2.2.3.1.- Mercurio elemental.....	15
2.2.3.2.-Mercurio iónico.....	15
2.2.3.3.-Metilmercurio.....	15
2.2.4.-Mercurio y medio ambiente.....	16
2.2.4.1.-Atmosfera.....	16
2.2.4.2.-Suelo y sedimento.....	17
2.2.4.3.-Medio acuático.....	20
2.2.5.-Toxicocinetica.....	22
2.2.6.-Toxicodinamica.....	25
2.2.7.-Efectos del mercurio.....	26
2.2.8.- Propuesta normativa de los estándares de calidad ambiental.....	27
2.2.9.- Rio Azángaro.....	27

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.-Ubicación de estudio.....	30
3.2.-Tipo y diseño de investigación.....	30
3.3.-Estrategia de muestreo.....	31
3.3.1.-Estrategia de muestreo para agua y sedimento.....	31
3.3.1.1.-Unidad de análisis.....	31
3.3.1.2.-Metodo de selección de muestra.....	31
3.4.-Tecnicas de muestreo.....	33
3.4.1.-Tecnica de muestreo de agua.....	33
3.4.2.-Tecnica de muestreo de sedimento.....	33
3.5.-Metodologia empleada en la determinación de mercurio en agua, sedimentos	34
3.5.1.-Determinacion de mercurio en agua.....	34
3.5.2.-Determinacion de mercurio en sedimentos.....	38
3.6.-Instrumentos.....	38

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.-Resultados.....	40
4.2.-Discusión.....	43
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFIA.....	50
ANEXOS.....	55

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.-Operacionalizacion de variables	9
Cuadro 2.-Produccion de oro en y utilización de mercurio en principales zonas del Perú para año 2000.....	28
Cuadro 3.-Parametros de operación.....	35
Cuadro 4.-Resultados de concentración de mercurio en muestras de agua del rio Azángaro en el 2012.....	42
Cuadro 5.-Resultados de concentración de mercurio en sedimento del rio Azángaro en el 2012.....	43
Cuadro 6.-Estandares nacionales de calidad ambiental para agua categoría 1: Poblacional y recreacional I.....	57
Cuadro 7.-Estándares nacionales de calidad ambiental para agua de riego tallo alto y bajo.....	58
Cuadro 8.-Estándares nacionales de calidad ambiental para agua para bebida de animales	59
Cuadro 9.-Estándares nacionales de calidad para agua conservación medio ambiente acuático	60
Cuadro 10.-Estandares para sedimentos	61
Cuadro 11.-Concentracion de mercurio en las muestras de agua (mg/l) en la Subcuenca del rio Azángaro.....	61
Cuadro 12.-Concentracion de mercurio en las muestras de sedimento (mg/kg)en la subcuenca del rio Azángaro	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Procesos químicos del mercurio en la atmosfera.....	17
Figura 2.-Principales transformaciones entre especies de mercurio en suelos y sedimentos.....	19
Figura 3.-Interacciones entre las diversas especies de mercurio en aguas oceánicas.....	22
Figura 4.-Toma de muestra en el primer punto de muestreo.....	62
Figura 5.-Toma de muestra en el segundo punto de muestreo	63
Figura 6.-Toma de muestra en el tercer punto de muestreo centro Poblado Progreso.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Rotulo de la muestra.....	55
Anexo 2. Registro cadena de custodia.....	55
Anexo 3.-Muestras y envases.....	55
Anexo 4.-Transporte de la muestra....	56
Anexo 5.-Control de cadena de frio.....	56
Anexo 6.-Entrega de muestra.....	56

RESUMEN

La presente investigación titulada "Evaluar el contenido de mercurio en agua y sedimentos en el río Azángaro y su efecto en los pobladores de Progreso en el año 2012", tiene por objetivo evaluar la contaminación del río Azángaro y su efecto en los pobladores de la localidad de Progreso. Para la presente se toman muestras de agua y sedimento en tres puntos: M1, M2 y M3 en la localidad de Progreso. La colecta de muestras de agua y sedimentos se realiza tomando en cuenta la normativa dada para muestreo, transportándolos a los laboratorios de Control de Calidad Ambiental de la Mayor de San Andrés de la Paz-Bolivia con su respectiva lista de chequeo. La metodología empleada en la determinación fue el método de fluorescencia atómica-EPA 205. Los resultados mostraron que el río Azángaro presentan concentraciones de mercurio iguales a 0,00020 mg/L encontrándose por debajo de los límites dados por la ECA (0,001mg/L); en caso de sedimentos presentan valores iguales a 1,5 ; 0,20 y 0,20mg/kg en M1,M2y M3 respectivamente siendo superiores a los dados por la U.S.E.P.A(0,15).En conclusión la concentración de mercurio en el agua del río Azángaro se encuentra por debajo de los Límites dados por la ECA, no presentado contaminación aparente; sin embargo en los sedimentos se encuentra mercurio y a concentraciones superiores a la U.S.E.P.A

Palabras Claves: agua, contaminación, sedimentos.

ABSTRACT

This research entitled "Evaluate of mercury content in water and sediment in the Azángaro river and its effect on the people of Progreso Town in 2012", aims to assess the pollution Azángaro river and its effect on the people Progreso place. To this investigation taken water and sediment samples at three points M1, M2 and M3 in the Progreso place. Collecting samples of water and sediment are performed under sampling rules, transporting them to the laboratory control environmental quality of the Mayor of San Andrés University of the Paz-Bolivia with its respective checklist. The methodology was used in determining is the atomic fluorescence EPA 205 methods, the results showed that the mercury concentration in Azangaro river at 0.00020 mg/L, this is below the limits given by the ECA (0.001mg/L); in sediment found mercury concentrations as 1.5; 0.20 and 0,20mg/kg in M1, M2 and M3 points respectively, this values are higher than values given by the U.S.EP.A (0.15) . For this investigation are conclude the mercury concentration in the water of Azángaro river is below the limits given by the ECA, presenting no apparent contamination; however in sediments and the mercury concentrations are higher that the U.S.E.P.A.limits.

Key word: pollution, sediment, water

INTRODUCCIÓN

La minería aurífera es una actividad económica que a lo largo del tiempo ha ido cambiando de intensidad y de lugar. La extracción artesanal de oro emplea procedimientos rudimentarios y usualmente los depósitos de oro necesitan del metal de mercurio para el recobro del mismo (amalgamación).

El mercurio es un metal que no posee función nutritiva o bioquímica alguna. Los mecanismos biológicos para eliminarlo son deficientes, y por eso, según lo que se sabe hasta el momento, el mercurio se biomagnifica a lo largo de la cadena alimenticia World Health Organization [WHO] (1989).

En bajas concentraciones, es altamente tóxico tanto para animales como para plantas; en consecuencia, cualquier aumento por encima de los niveles naturales podría tener efectos perjudiciales sobre un organismo expuesto. Aún si cesan inmediatamente los vertidos de mercurio, la capacidad de retenerlos por parte de los sedimentos puede demorar la eliminación de la contaminación por muchos años. Aunque hay evidencias que vinculan los niveles de mercurio total en el medio ambiente con los presentes en predadores superiores como los peces, el eje de la preocupación es la acumulación de metil mercurio.

El mercurio inorgánico puede ser metilado por microorganismos naturales del suelo, los sedimentos, el agua dulce y salada; y en este proceso intervienen diversas poblaciones microbianas en condiciones tanto aeróbicas como anaeróbicas. Se acepta ampliamente que las formas orgánicas de Hg son incluso más tóxicas que las inorgánicas.

La forma orgánica más común del mercurio es el metilmercurio. Posee una alta solubilidad en lípidos y por eso atraviesa fácilmente las membranas celulares,

ingresando con rapidez en la cadena alimenticia acuática. También tiene una vida media elevada y debido al aumento en la longevidad de los predadores superiores en relación con estas otras propiedades observadas, brinda uno de los raros ejemplos de biomagnificación de metales en cadenas alimenticias.

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

Los riesgos sobre la salud y el medio ambiente no son tenidos en cuenta por la producción minera que desconoce los daños que puede ocasionar con un mal manejo del mercurio.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.-Planteamiento de la Investigación

1.1.1.- Descripción del Problema de Investigación

La minería ilegal en el Perú es una actividad económica que consiste en la explotación de minerales como el oro y otros metales sin control y regulación social, provocando grandes daños ambientales y de salud ya que los relaves producidos son evacuados hacia cauces de ríos más cercanos provocando muerte de especies presentes en ella, así como efectos nocivos en las personas y animales que hacen uso de sus aguas en su trayecto.

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

El mercurio es un metal pesado que trae consigo graves problemas ambientales en 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. Existe en dos formas, la forma inorgánica (mercurio como elemento químico) y en forma orgánica que se denomina metil-mercurio; este último tiene mayor biodisponibilidad, es decir, puede interactuar con mayor facilidad con las células humanas y dañarlas (Español,1995).

La exposición al mercurio puede ser particularmente peligrosa para las mujeres embarazadas y niños. 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 el mercurio puede afectar el desarrollo del niño, causando déficit de atención y problemas de aprendizaje (Gonzales, 1987).

En los adultos, el envenenamiento por mercurio puede afectar adversamente la fertilidad y la regulación de la presión arterial, además de causar pérdida de la memoria, temblores, pérdida de la visión y entumecimiento de los dedos de manos y pies. La exposición al mercurio también podría producir enfermedad cardíaca (Gonzales, 1987).

En la región Puno en la década de los noventa empresas mineras informales se instalaron en la provincia de San Antón de Putina para dedicarse a la explotación del oro en dos modalidades: de socavón en la zona de la Rinconada y los lavaderos de oro en la zona de Ananea, utilizando en su proceso de amalgamación el mercurio. Los relaves mineros producidos son dirigidos hacia cauces del río destruyendo la flora y fauna existente en él.

En la localidad de Progreso, Provincia de Azángaro, departamento de Puno, nace el río Azángaro por la unión de los ríos Carabaya (proviene de Ananea) y el río Quenamari (proviene de Crucero) los mismos que presenta gran turbiedad por la contaminación de sus aguas con relaves mineros arrastrados por los ríos anteriormente nombrados ambos provenientes de zonas mineras informales e ilegales que se dedican a la extracción de oro y otros metales. La contaminación afecta flora y fauna, actividad agropecuaria y ganadera y la salud de los pobladores de esta localidad ya que sus aguas son usadas en la agricultura.

Por los problemas anteriormente mencionados la presente investigación pretende: Evaluar el contenido de mercurio en agua y sedimentos en el río Azángaro y su efecto en los pobladores de Progreso.

1.1.2.- Definición del Problema

1.1.2.1.-Problema General

¿La minería informal en los centros mineros de Ananea, Cerro Lunar y la Rinconada, provocan la contaminación del Río Azángaro con mercurio y afectan la salud de los pobladores de Progreso?

1.1.2.2.-Problema Específico

¿La concentración de mercurio en el río Azángaro en la localidad de Progreso sobrepasa los límites máximos permisibles dado por la ECA, ocasionando la contaminación del mismo?

¿La concentración de mercurio en los sedimentos del río Azángaro en la localidad de Progreso se encuentra por encima de los límites máximos permisibles dados por la USEPA ocasionando la contaminación del mismo?

1.2.-Justificación

Los métodos de extracción de oro realizados por los centros mineros de Ananea y la Rinconada ocasionan severos impactos en el ecosistema, ya que sus relaves son dirigidos hacia el río Azángaro impactando gravemente en su flora y su fauna así como en los pobladores que hacen de sus aguas en su agricultura.

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

En la localidad de Progreso, provincia de Azángaro, existe descarga incontrolada de mercurio, por lo que se hace necesario: Evaluar el contenido de mercurio en agua y sedimentos en el río Azángaro y su efecto en los pobladores de Progreso

Somos conscientes del grado de contaminación del río Azángaro y las enfermedades que se exponen los pobladores de la localidad de Progreso, estos

son los motivos que impulsan a realizar la presente investigación con la finalidad de concientizar a la población circundante del no uso de las aguas para la agricultura y para el consumo, así mismo informar a las autoridades del daño ocasionado por la minería informal e ilegal.

1.3.-Objetivo

1.3.1.-Objetivo General

Evaluar la contaminación del río Azángaro y su efecto en la salud de los pobladores de la localidad de Progreso.

1.3.2.-Objetivos Específicos

Determinar la concentración de mercurio en el agua del río Azángaro en la localidad de Progreso.

Determinar la concentración de mercurio en los sedimentos del río Azángaro, en la localidad de Progreso.

1.4.-Hipotesis

1.4.1.-Hipotesis General

La minería informal de Ananea y Crucero hacen uso del mercurio en sus procesos de amalgamación ocasionando la contaminación del río Azángaro y efecto en la salud de los pobladores de la localidad de Progreso.

1.4.2.-Hipotesis Específica

La concentración de mercurio en el río Azángaro supera los 0.001mg/L (límite máximo) dados por los Estándares nacionales de calidad ambiental, este metal es fácilmente cuantificable por el método de espectroscopia de fluorescencia atómica en frío.

Los metales pesados como el mercurio, introducido en un sistema acuático, se deposita en el suelo a través de procesos de precipitación y sedimentación formando los denominados sedimentos en los cuales existe concentraciones elevadas de mercurio, de modo que esté sometido al método de espectroscopia de fluorescencia atómica en frío indicara la concentración real de mercurio en el mismo.

1.5.-Variables

1.5.1.-Variables Independientes

Contaminación del río Azángaro con mercurio

1.5.2.-Variables Dependiente

Concentración de mercurio en agua

Concentración de mercurio en sedimentos

CUADRO 1

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	CRITERIOS DE VALORACIÓN
Concentración de mercurio en el agua	Río Azángaro	Agua	>0,001 mg/L
Concentración de mercurio en los sedimentos	Río Azángaro	Sedimento	0,15 mg/kg
Contaminación	Río Azángaro	Mercurio	0,001-0,15

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.-Antecedentes de la Investigación

La revisión de la literatura disponible en relación a estudios previos concernientes al tema, nos llevan a conocer la problemática existente de la contaminación por metales pesados de la cuenca del Ramis por la minería existente en la parte alta del mismo. Diversos Organismos nacionales e internacionales ejecutan estudios concernientes al tema tales como:

Gamarra, C., Siguyro, H. & Segura, M.(2010) En el estudio realizado Metales pesados en agua y sedimentos en puntos críticos del lago Titicaca y principales afluentes destacan los resultados de los análisis de mercurio en sedimentos en zonas identificadas como críticas, por su gran influencia antropogénica. Los resultados mostraron que las concentraciones para el mercurio es $<0.0002 - 0.0009$ mg/L; mientras que las concentraciones de metales pesados medidas en la fracción final del sedimento estuvieron en un rango de $<0.01 - 1.24$ mg/kg para mercurio. Los análisis demostraron que los valores obtenidos de mercurio superaron a los niveles recomendados por el ECA

(estándares nacionales de calidad ambiental), este valor representa alto riesgo para la salud de los ecosistemas acuáticos dulces de la región y ponen en riesgo la vida acuática.

Dirección General de Salud Ambiental. (2007) Analiza y evalúa el grado de contaminación de los recursos hídrico estableciendo estaciones de muestreo a lo largo del río Ramis, (Poza de sedimentación de Corporación Minera Ananea S. A, laguna Rinconada, laguna lunar, río Ananea, río Grande, río Crucero, Quebrada Chogñacota, río San Antón, río Azángaro y río Ramis). En la cuenca alta se ubica la Corporación Minera Ananea S.A. conjuntamente con la presencia de minería informal de explotación del oro, lavaderos de oro abandonados y asentamientos humanos vierten sus relaves mineros a la cuenca del Ramis observando en la estación de muestreo situada E-16 (río Azángaro), concentraciones de 0,00011 mg/l de mercurio los mismos que se encuentran por debajo de los límites máximo permisibles.

Ferro, F. (2007) En su investigación "Análisis e identificación de los actores en el conflicto por el uso del agua en la sub cuenca Crucero-Azángaro de la cuenca del Ramis", evalúa los problemas existentes en la sub cuenca Crucero-Azángaro que comprende las siguientes localidades: Ananea, Crucero, San Antón, Azángaro, Achaya, Saman, Taraco y finalmente Lago Titicaca. Los resultados obtenidos muestran que el mercurio esta presenta en concentraciones iguales a 0,0032mg/l en la zona de Azángaro (aguas arriba), 0,0003 mg/l en Ananea y 0,00017 mg/l en Crucero, concentraciones inferiores a los Límites máximos permisibles de la ECA. El análisis de resultados muestran que la contaminación de la cuenca del Ramis, 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 la Rinconada, Cerro Lunar y aledaños al distrito de Ananea; quienes en el proceso de explotación requieren del uso de mercurio cuyos residuos son transportados a la cabecera del río de la sub cuenca Crucero-Azángaro.

Calcina, E. (2006) En su investigación Presencia de metales pesados en la biota acuática, da a conocer la presencia y niveles de metales pesados como el Hg en *Orestias sp* "carachi" y *Schoenoplectus tatora* "totora", recursos de importancia económica para la región, por ser estos la fuente de alimentación principal de la zona circunlacustre del Lago Titicaca, ya sea como consumo directo (humano) o indirecto (vacunos). Los análisis realizados muestran los siguientes resultados:"Carachi" (río Ramis) contiene mercurio en valores menores a 0.2 y 0.3 mg/kg; las agallas de "Carachi" (río Ramis), muestran valores menores a 0.2 y 0.3 mg/kg, en los análisis realizados a la totora nos indican que el Hg tiene a 0.2 y 0.3 mg/kg. de mercurio. El análisis de resultados muestran la relación que existe entre los datos obtenidos por análisis y las concentraciones reportadas en aguas y sedimentos, lo cual es corroborado por Sameka (1999) en un estudio sobre las concentraciones de metales pesados donde determinó que las concentraciones de las especies están en correlación con la composición química del agua.

Universidad Nacional Agraria la Molina.(1999) En muestras de agua pertenecientes a la desembocadura del río Ramis, determinó que los elementos Zn, Cu, Cd, Hg y As se encuentran por debajo de los límites permisibles, encontrándose Hg en concentraciones de 0.01ppm. En sedimentos, se determinó que la concentración de Hg es de 1.0 mg/kg según la USEPA y de 0.2-2 mg/kg según la OMEE. De lo anterior expuesto se

concluye que la presencia de metales pesados en la desembocaduras del río Ramis tiene sus orígenes en el centro minero de la Rinconada – Ananea y en su trayecto otros centros mineros. Para la *Schoenoplectus totora* para Ramis presentan niveles de concentración de metales pesados dentro de los niveles normales para las plantas, así mismo, dentro de los niveles tolerados por el ganado; sin embargo el mercurio es considerado de efecto toxico moderadamente alto.

Cornejo, D. (2011) En su investigación "Estudio integral de la contaminación en la cuenca del Ramís Puno-Perú en la que tiene por objetivo evaluar el impacto ambiental en agua y sedimentos de la cuenca por metales pesados (mercurio, plomo, arsénico y cobre). Para la investigación dividió la cuenca del Ramis en tres sub cuencas: Azángaro (el río Grande, Quenamarí y Azángaro) Ayaviri (Santa Rosa, Ocuvi, Pichacani y Ventilla) y Ramis (río Ramis). La toma de las muestras fue efectuada en los meses de Abril, Julio, Octubre y Diciembre. Los resultados muestran que la concentración de mercurio en la cuenca del Ramis para todos los puntos involucrados es de 0,0002 mg/l; mientras que la concentración de mercurio en sedimentos en la zona de Azángaro es de 0,081 mg/kg. Los resultados del análisis de mercurio en muestras de agua de la cuenca del Ramis muestran que el mercurio se encuentran con niveles inferiores a los dados por la ECA, debido a que el mercurio no presenta solubilidad en la cuenca del Ramis; en el caso de los sedimentos el mercurio está por debajo de los límites permitidos por la U.S.E.P.A. (National Sediment Quality Survey) Appendix D (Effects range-low) que se toma como valores de referencia para sedimentos.

2.2.-Marco Referencial

2.2.1.-Mercurio

El mercurio es un metal blanco plateado muy tóxico, el único en estado líquido a 0°C, muy denso y poco compresible; de tensión superficial muy alta y débil reacción calorífica, posee gran capacidad de amalgamar a casi todos los metales. Se evapora a 13°C y encontramos trazas de él en cualquier producto que se analice. No es esencial para ningún proceso biológico, pero se acumula en la mayoría de seres vivos. En la naturaleza existe como sulfuros de mercurio (cinabrio, rojo), de arsénico (rejalgar), hierro (piritas), mixto (metacinabrio, negro), de antimonio (estibina), pero también se encuentra directamente unido a minerales de zinc, cobre, oro y plomo (Moreno,2003).

Aparte del estado natural, existe un importante aporte antropogénico proveniente de la metalurgia, de sus aplicaciones en industrias diversas y de las aguas residuales de las ciudades. Se calcula que cada año mil toneladas son liberadas desde redes de alcantarillado a la superficie de la tierra (Español, 1990).

2.2.2.-Características

Es un metal de color blanco plateado, inodoro, volátil y líquido a temperatura ambiente; su número atómico es 80, actúa con valencias 1 y 2 y pertenece al grupo 2B de la tabla periódica (Español, 1985).

Es soluble en ácido nítrico e insoluble a temperatura ambiente en ácidos clorhídrico diluido y sulfúrico, bromuro de hidrógeno e ioduro de hidrógeno.

Es dúctil, maleable y puede cortarse con un cuchillo. Forma aleaciones con la mayor parte de los metales excepto el hierro y se combina con el azufre a temperatura ambiente. A 20°C se evapora de una gotita sólida a una velocidad de 5,8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ y el aire saturado contiene 13 mg/m^3 (Español, 1985).

Sus compuestos son siempre bivalentes, pero su tendencia a usar los electrones de valencia para la covalencia produce la unión de mercurio mercúrico (Hg^{2+}) a un átomo de (Hg°) con la formación de mercurio mercurioso (Hg_2^{2+}). En solución hay un equilibrio entre Hg_2Cl_2 sólido y Hg° disuelto (Español, 1985).

2.2.3.-Tipos

2.2.3.1.- Mercurio Elemental

El mercurio elemental existe en el medio ambiente como líquido metálico o mercurio vapor. En la población general la principal fuente de exposición al vapor mercúrico son las amalgamas dentales (Español, 1997).

2.2.3.2.- Mercurio Iónico

De todos los órganos el riñón es la principal localización de la acumulación mercurio iónico (Hg^{2+}). Se ha demostrado que después de una dosis intravenosa de HgCl_2 , en rata, ratón y conejo, más del 50% de la dosis administrada de Hg^{2+} se acumula preferentemente en las células tubulares proximales del riñón (Gonzales, 1987).

2.2.3.3.- Metilmercurio

Es la forma química de mercurio unida al carbono. Existen numerosos compuestos orgánicos, pero los principales son: alquilos, arilos y alcoialquilos, que son usados como pesticidas y son fuente importante de exposición en agricultura. El mercurio orgánico es muy dañino para el sistema neurológico, pues al precipitar las proteínas afecta el sistema de transporte microtubular de la neurona. Los compuestos órgano-mercuriales se absorben fácilmente por ingestión y se excretan principalmente con las heces (Gonzales, 1987).

2.2.4.-Mercurio y el Medio Ambiente

El mercurio es un elemento, de origen generalmente mineral, que se caracteriza por su ubicuidad en el medio ambiente. Por lo tanto, se encuentra presente en los diferentes compartimentos medioambientales (atmósfera, geosfera, hidrosfera y biosfera).

2.2.4.1.-Atmósfera

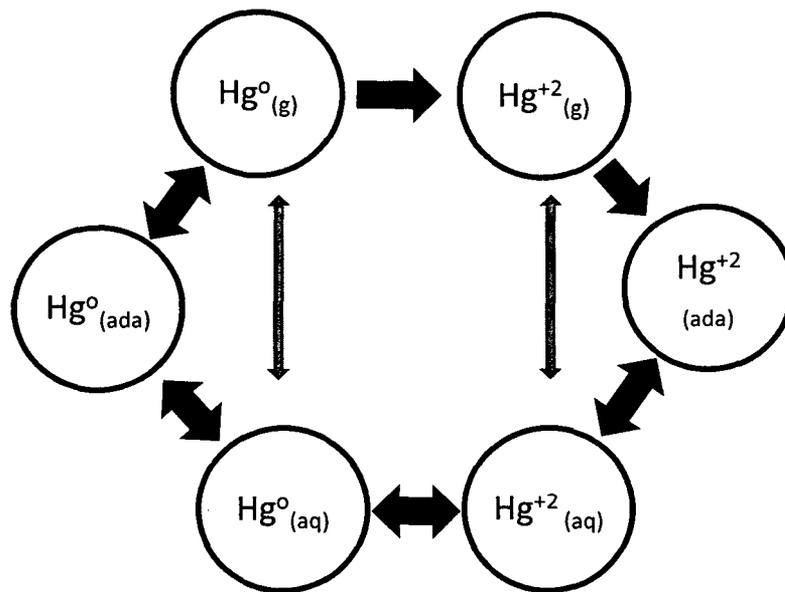
En la atmósfera, el mercurio se encuentra mayoritariamente (>95 %) como vapor metálico en forma de mercurio elemental (Hg^0), mientras que el resto aparece en forma de Hg^{2+} unido a partículas en suspensión en menor medida, en forma gaseosa. Debido a sus diferencias en cuanto a las propiedades físicas y químicas, las tres formas mayoritarias en las que puede encontrarse el mercurio en la atmósfera, es decir, mercurio elemental (Hg^0), mercurio divalente (Hg^{2+}) y mercurio en fase particulada (Hg), presentan un comportamiento atmosférico y unos tiempos de residencia diferentes (Nelson, P.et. al, 1995).

La lenta oxidación del mercurio elemental hace que su tiempo de residencia en la atmósfera sea aproximadamente un año, tiempo suficiente para que se distribuya por todo el planeta antes de su deposición en la superficie terrestre. Sin embargo, la forma oxidada del mercurio (Hg^{2+}) se deposita en un tiempo más corto que oscila desde horas a meses a través de deposiciones húmedas o secas (Nelson et al, 1995).

La química atmosférica del mercurio implica diversas interacciones: reacciones en fase gaseosa, reacciones en fase acuosa (en gotas de niebla y nubes y partículas de aerosol delicuescentes), repartición de las especies de mercurio elemental y oxidado entre las fases gaseosa y sólida y por último, repartición entre las fases sólida y acuosa en el caso de materia particulada

insoluble recogida por las gotas de agua de la niebla o las nubes. La acción recíproca entre los procesos atmosféricos y la química del mercurio se describe en la figura.

FIGURA 1
PROCESOS QUIMICOS DEL MERCURIO EN LA ATMOSFERA



Fuente: Mercury emissions to the atmosphere from Natural and anthropogenic in the Mediterranean atmospheric Environment (Pirrone et al 2001).

2.2.4.2.-Suelo y Sedimento

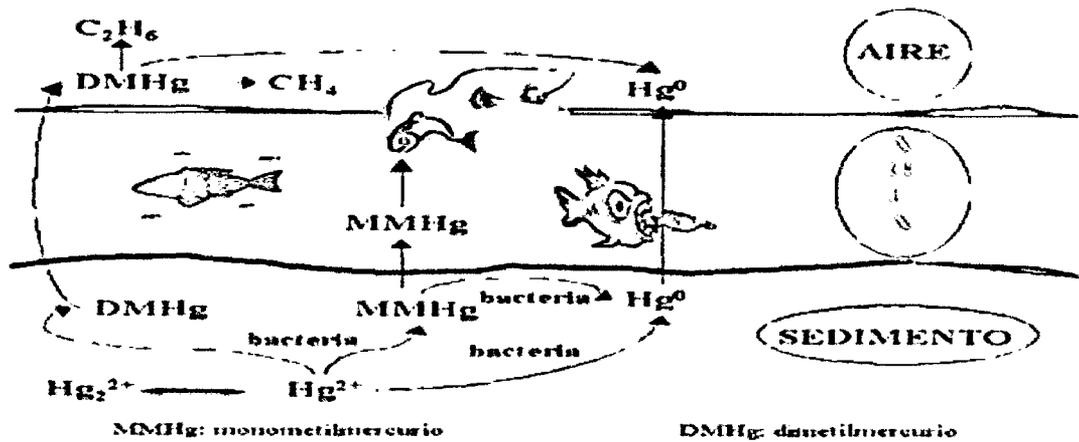
Los procesos de re-emisión del mercurio a la atmósfera son importantes y vienen controlados principalmente por la transformación de Hg^{2+} a Hg^0 que tiene lugar en la superficie del suelo por acción de la luz y diversas sustancias húmicas (Moreno,2003).

Una vez depositadas, las especies de mercurio están sujetas a un amplio espectro de reacciones químicas y biológicas. Las condiciones de pH, temperatura, contenidos en sales y componentes orgánicos del suelo favorecen la

formación de complejos del ion mercúrico como HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})_2$ o complejos orgánicos. Este comportamiento complejante controla en gran medida la movilidad del mercurio en el suelo pues aunque los complejos inorgánicos son bastante solubles en agua y, por tanto, de gran movilidad, muchos de ellos tienden a formar nuevos complejos con la materia orgánica (principalmente con los ácidos fúlvicos y húmicos) coloides minerales del suelo o sedimentos. Así, gran parte del mercurio que se encuentra en los suelos está unido a la materia orgánica y puede ser lixiviado por la escorrentía sólo cuando se encuentra unido a humus o suelo en suspensión. Por este motivo, el mercurio tiene un largo tiempo de permanencia en el suelo y, por lo tanto, el mercurio acumulado en el suelo se sigue liberando a las aguas superficiales y otros medios durante largos períodos de tiempo, posiblemente cientos de años (Quemarias B. et al, 1999).

En suelos y sedimentos son habituales los procesos de metilación demetilación mostrado en la figura 2, ya que el Hg^{2+} , especie predominante en estos dos compartimentos, puede transformarse en CH_3Hg^+ por diversos mecanismos, entre los que destacan los procesos microbianos (WHO,1990).

FIGURA 2
PRINCIPALES TRANSFORMACIONES ENTRE ESPECIES DE MERCURIO EN
SUELOS Y SEDIMENTOS



Fuente: Introduction to geochemistry (Krauskopf, K.B & Bird D.k, 1985).

Las proporciones y la extensión de la metilación del Hg^{2+} estarán en función de factores como el tipo de compuesto que forma el Hg^{2+} , el agente de metilación, la composición química del sedimento, su concentración de oxígeno o el pH (Dabeka, 2003). Así se sabe que niveles elevados de iones cloruro reducen la metilación del mercurio en sedimentos de río mientras que niveles altos de carbono orgánico e iones sulfato aumentan su metilación. Además se conoce que la interface óxica-anóxica (sedimentos superficiales) es la que más facilita la biometilación. No obstante, el contenido en mono metilmercurio no suele exceder el 1,5 % del contenido total en mercurio del suelo o sedimento aunque dicha proporción va a depender de las características de los mismos (Moreno, 2003). Por otro lado, se considera que el dimetilmercurio es una especie inestable en los sedimentos, aunque puede estabilizarse gracias a una serie de factores como alto

contenido en sulfuro, salinidad, condiciones anóxicas y una entrada constante de metano en el medio (Capo, 2007).

Otra de las especies que condicionan la química del mercurio en suelos y sedimentos es el sulfuro de mercurio, ya que parece que los grupos sulfuro podrían ser los responsables de la unión y final pre concentración de las especies de mercurio en los sedimentos. Este compuesto, que es muy insoluble ($K_s=10^{-53} \text{ mol}^2 \text{ L}^{-2}$) y de limitada movilidad, es la principal especie presente en los sedimentos contaminados por mercurio, debido a la reducción del Hg^{2+} por parte de las bacterias sulfato reductoras bajo condiciones anaeróbicas (Curtis, 2001).

2.2.4.3- Medio Acuático

El metilmercurio se puede formar en el medio ambiente por metabolismo microbiano (procesos bióticos); por ejemplo, por efecto de ciertas bacterias, así como por procesos químicos que no implican a organismos vivos (procesos abióticos). Una gran variedad de factores ambientales influyen en la formación de metilmercurio en los sistemas acuáticos. La eficiencia de la metilación microbiana del mercurio en general depende de factores tales como la actividad microbiana y la concentración de mercurio biodisponible (más que del depósito total de mercurio), en los que a la vez inciden parámetros tales como la temperatura, el pH, el potencial redox y la presencia de agentes complejantes orgánicos e inorgánicos (Ulrich et al, 2001).

Ciertas bacterias también desmetilan el mercurio y esa tendencia aumenta con el incremento de los niveles de metilmercurio, creando algunas limitaciones naturales a la acumulación de ese compuesto (Bailey et al, 2001). Como pueden ocurrir tanto procesos de metilación como de desmetilación, las concentraciones ambientales de metilmercurio reflejan la metilación neta en vez de las tasas reales

de síntesis de metilmercurio. La desmetilación bacteriana ha sido demostrada tanto en los sedimentos como en la columna de agua de lagos dulceacuícolas. Se ha descrito también la degradación de metil y fenil mercurio por algas de agua dulce (Ullrich et al, 2001).

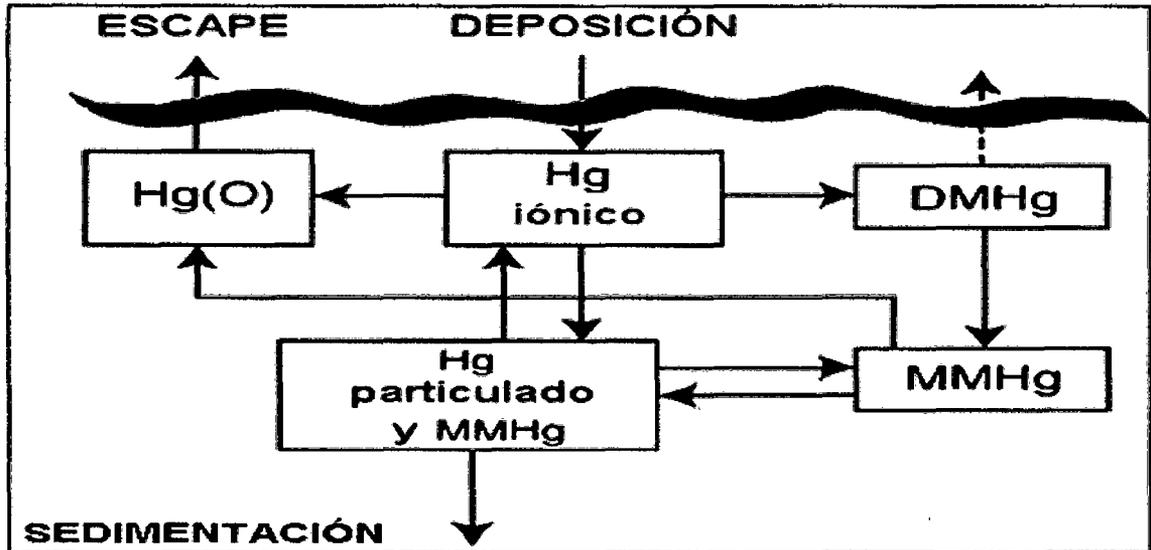
La metilación puramente química de mercurio también es posible si están presentes donantes de metilo apropiados. Aún no se ha establecido la importancia relativa de los mecanismos de metilación abióticos y bióticos en el medio acuático natural, pero en general se cree que la metilación del mercurio es un proceso mediado predominantemente por microbios (Ullrich *et al.* 2001).

Mason & Fitzgerald (1996; 1997) han examinado aspectos del ciclo del mercurio en océanos y otras masas de agua. Según estudios sobre aguas oceánicas abiertas, es evidente que el mercurio elemental, el dimetilmercurio y en menor grado, el metilmercurio son constituyentes comunes del depósito de mercurio disuelto de las aguas oceánicas profundas. En las aguas abiertas superficiales de los océanos, no hay dimetilmercurio, quizá porque se descompone en presencia de la luz y, además, porque posiblemente se evapore de la superficie del agua. Los últimos resultados llevan a pensar que no es necesario que la concentración de oxígeno sea baja para que se forme dimetilmercurio en las aguas abiertas de los océanos.

Esas aguas se diferencian de los lagos templados, donde el metilmercurio es más común que el dimetilmercurio. Estudios realizados en medios dulceacuícolas y estuarios han mostrado que la metilación del mercurio tiene lugar principalmente en condiciones de baja concentración de oxígeno y la realizan principalmente bacterias reductoras de sulfatos. En ese caso, el metilmercurio es el producto de

la metilación de mercurio iónico. La figura 3 muestra un diagrama de las principales reacciones del mercurio en el océano.

FIGURA 3
INTERACCIONES ENTRE LAS ESPECIES DE MERCURIO EN AGUAS
OCEÁNICAS



Fuente: Sources sinks and biochemical cycling of mercury in the ocean
(Mason, R.P and Fitzgerald, W.F(1996).

2.2.5.-Toxicocinetica

El ingreso del mercurio es por las vías respiratorio, digestivo y cutáneo. La vía respiratoria es por inhalación. En salud ocupacional esta vía es la más importante y, tanto el mercurio elemental como el inorgánico y sus compuestos, puede ingresar por inhalación y alcanzar la sangre con una eficiencia del 80%(Kimico, 1978).

La vía digestiva es por ingestión en el tracto gastrointestinal, el mercurio inorgánico se absorbe en cantidad menor al 0,01%, probablemente por su incapacidad de reacción con moléculas biológicamente importantes, al formar macromoléculas que dificultan su absorción y porque pasa por un proceso de oxidación. Los compuestos inorgánicos de mercurio (sales) se absorben entre 2 y

15%, dependiendo de su solubilidad. Mientras que, en contraste, la absorción de los compuestos orgánicos por esta vía es 95%, independiente de si el radical metilo está unido a una proteína o no (Vostal, 1976).

La vía cutánea es por contacto, sin embargo, no está demostrado que esta vía tenga un papel importante en la exposición ocupacional, comparada con las otras. Es más, es posible que en el caso de aplicación de pomadas, el tóxico penetre en el organismo por inhalación, a partir del ungüento puesto en la piel, más que atravesándola directamente (Vostal, 1976).

En relación al transporte, distribución y absorción el mercurio es transportado por la sangre en un ratio glóbulo rojo/plasma entre 1,5 a 3. Para sus sales inorgánicas, esta relación es menor 0,4. En general, el 90% de los compuestos orgánicos se transporta en las células rojas, mientras que 50% del mercurio inorgánico es transportado unido a la albúmina (Bronw & Rattigan, 1979).

Como norma, a partir de la sangre su distribución en el organismo tiende a alcanzar un estado de equilibrio dinámico determinado por dosis, duración de la exposición, grado de oxidación, concentración de sus compuestos en la sangre, concentración en relación con grupos sulfhídricos libres, afinidad con los componentes celulares y velocidad de asociación/disociación del complejo mercurio-proteína. Sin embargo, cabe destacar su gran afinidad por el encéfalo, quizá porque la mayor parte del mercurio circulante va al cerebro, más que a hígado o riñón (Bronw & Rattigan, 1979).

En el encéfalo, tiene mayor afinidad por la sustancia gris que por la blanca. Los niveles más altos de mercurio son hallados en ciertos grupos neuronales del cerebelo, médula espinal, pedúnculos y mesencéfalo, aunque también se le ha detectado en epitelio de tiroides y páncreas, en células medulares de las

glándulas adrenales, en espermatozoides, epidermis y cristalino (Bronw B & Rattigan B. 1979).

Se estima que el contenido normal de mercurio en el organismo humano oscila entre 1 y 13 miligramos, del cual 10% es metilmercurio. Su distribución en el organismo es: músculo 44 a 54%, hígado 22%, riñón 9%, sangre 9 a 15%, piel 8%, cerebro 4 a 7% e intestino 3%. La biotransformación del mercurio se realiza por cuatro vías (Friberg & Nordberg, 1979).

a.-Por oxidación del vapor de mercurio metálico a mercurio divalente: oxidación, mediada por el hidrógeno peróxido - catalasa en los peroxisomas, determina el tiempo de permanencia del vapor inhalado (crucial para alcanzar sitios sensibles), al disminuir su liposolubilidad y por tanto su toxicidad, pero la tendencia a la bioacumulación aumenta cuando esta oxidación se realiza en los tejidos.

El mercurio tiene gran afinidad por los grupos -SH de las proteínas. Éstos son tan abundantes que solo le permiten una breve presencia en estado iónico. El mercurio se une también a grupos fosforilos, carboxilo, amida y amina.

b. Por reducción del mercurio divalente a mercurio metálico: la reducción es mediada el sistema xantina oxidasa. Se ha demostrado el proceso contrario en animales de experimentación (rata, ratón) y en humanos.

c. Por metilación del mercurio inorgánico: Se ha demostrado la metilación de mercurio inorgánico en ratas, pero solo entre 0,05 y 0,26% de la dosis administrada. Se desconoce el lugar exacto de esta metilación, aunque se supone pueda ser el hígado. La metilación no ha sido demostrada en humanos.

d. Por conversión del metilmercurio en mercurio inorgánico: En la exposición laboral crónica se conoce el proceso de biodesmetilación en varios tejidos, pero es en el hígado donde se realiza en mayor proporción.

La eliminación del tóxico se realiza desde los compartimientos central, periférico y el 'cuarto compartimiento'. El compartimento central está formado por todos los órganos, menos riñón e hígado. El compartimento periférico está constituido por el riñón, que acumula Hg por mayor tiempo y lo aclara muy lentamente, y por el hígado, que también lo acumula, pero por periodos cortos, pues lo aclara rápidamente. En este compartimento periférico se incluye los procesos de filtración glomerular, secreción biliar y secreción por la mucosa intestinal. El 'cuarto compartimiento' es el depósito *per se* y es el punto final antes de su excreción; lo integran orina, heces, pelo y uñas (Friberg, 1979).

2.2.6.-Toxicodinámica

Al revisar la acción sobre los sistemas enzimáticos, el mercurio es tóxico, porque precipita las proteínas sintetizadas por la célula, principalmente las neuronas, y porque inhibe los grupos sulfhídrico de varias enzimas esenciales. En estado iónico, se fija a los grupos celulares ricos en radicales SH⁻, altera varios sistemas metabólicos y enzimáticos de la célula y su pared inhibe la síntesis de proteínas en la mitocondria, afectando su función energética. En el riñón disminuye la actividad de las fosfatasas alcalinas de los túbulos proximales y altera el transporte de potasio y la ATP-asa en la membrana. En el encéfalo, la neurona de cerebro y cerebelo es la parte más sensible. En el sistema enzimático, inhibe enzimas esenciales: catalasas plasmáticas, colinesterasa globular, glutation-reductasa globular, glutation-reductasa, cerebral, galactoxidasa, dopa-

decarboxilasa, monoamino-oxidasa, glicerofosfatasa, succino-deshidrogenasa, di y trifosfo-piridín-nucleótido (Peña C, et al 2001).

En varios órganos, incluido el riñón, y al igual que cadmio, cobre y zinc, el mercurio induce la formación de metalotioneína, un receptor proteico de peso molecular bajo, y se une a ella, saturando sus propios receptores. Cuando por la gran cantidad de tóxico presente la metalotioneína se forma en exceso, causa alteraciones orgánicas en el mismo sitio de su producción (Friberg et al, 1974).

2.2.7.-Efectos del Mercurio

La Organización Mundial de la Salud, OSHA y NIOSH ordenan que todo el mercurio se debe tratar como un riesgo laboral y han establecido límites específicos de exposición ocupacional. Las emisiones al medio ambiente y eliminación del mercurio están reguladas en los EE.UU principalmente por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Bertelly,1993). Las alteraciones observadas generan los siguientes síndromes:

- **Síndrome digestivo:** presencia de sabor metálico, mal aliento, náuseas, vómitos y diarrea, todos ellos no patognomónicos, pero indiciarios.
- **Síndrome neurológico:** presenta irritabilidad, tristeza, ansiedad, insomnio, sueño agitado, temor, debilidad muscular, pérdida de memoria, excesiva timidez, susceptibilidad emocional, hiperexcitabilidad o depresión.
- **Síndrome oftalmológico:** presenta signos oculares precoces de intoxicación, como: escotomas anulares y centrales, además de visión tubular.
- **Síndrome renal:** los signos y síntomas de glomérulonefrosis de aspecto semejante a la lipoide y en casos avanzados síntomas por glomerulonefritis proliferativa extra capilar.

2.2.8-Propuesta Normativa de los Estándares de Calidad Ambiental

La propuesta de los Estándares de Calidad Ambiental para agua en el Perú, se ha determinado tomando en cuenta el D.S. N° 002- 2008- MINAM “Estándares de Calidad Ambiental para Agua y otros como:

OMS, 2006; esta guía indica que el valor de referencia es de 0,006 mg/L para el mercurio inorgánico. Las Normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 y 1963 no hicieron referencia al mercurio. El mercurio se mencionó por primera vez en las Normas internacionales de 1971, donde se propuso un límite superior provisional de concentración de 0,001 mg/L.

2.2.9.-RIO AZANGARO

El río Azángaro, ocupa una superficie de 676 Km² lo cual representa el 4.60% del total del área de la cuenca del Ramis (14,706 Km²). El río Azángaro tiene un perímetro de 177 km, su parte más elevada está en la cota 4,560 msnm y se ubica en el cerro Viluyo y su parte más baja se ubica en la cota 3,839 msnm donde confluye con el río Ayaviri Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA] (2008).

Los poblados en el entorno del río Azángaro desde su nacimiento hasta el Lago Titicaca son los siguientes: Progreso, Pucará, Ikasio, Azángaro, Tirapata, Calapuja, Achaya y Caminaca.

Actividad Minería Artesanal, Formal e Informal

La explotación suele ser eminentemente manual a semi mecanizado, con perforación a pulso y martillos neumáticos. El transporte de mineral se realiza en carretillas o en carros mineros; el beneficio es en quimbaletes y molinos

artesanales mecanizados, con una baja recuperación y uso indiscriminado de mercurio (Aquino *et al.* 2003).

En los yacimientos secundarios de Chaquiminas, Viscachani y Ancocala se derriba el material aurífero con uso de explosivos y equipos mecanizados como cargadores frontales, volquetes y el tratamiento se realiza en plantas semi-mecanizadas consistente en tolvas, tromeles y en canaletas enrieadas (Rojas, 2001).

Los relaves producto del procesamiento metalúrgico en ambos casos son evacuados directamente a los canales de drenaje de ríos y laguna, o depositados directamente al suelo sin previo control y tratamiento, debido a la falta de adecuados sistemas técnicos de deposición (Rojas, 2001).

CUADRO 2

PRODUCCIÓN DE ORO EN KILOGRAMOS Y USO DE MERCURIO EN LAS PRINCIPALES ZONAS DEL PERÚ PARA EL AÑO 2000

Zonas	Producción de oro en Kg.	Uso de Hg. en amalgama Kg
Norte	546	1,092
Ica, Ayacucho y Arequipa	2,208	4,416
Madre de Dios	10,606	21,212
Puno	3,140	6,280
Artesanales y Lavaderos	16,500	33,00

Fuente: PEMIN – MEM, 2000.

El principal impacto en el ambiente se origina en la amalgamación con mercurio y la posterior volatización 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 (Calcina, 2006).

Contaminación de aguas superficiales en la cuenca del río Ramis

El río Ramis, es uno de los tributarios más importantes del Lago Titicaca y posee recursos naturales que permiten la explotación minera en la parte alta de la cuenca, además de la explotación pecuaria, agrícola, pesquera y turística en la parte media y baja de la cuenca.

La contaminación ambiental proviene de los sectores de la Rinconada y Cerro Lunar cabecera de la cuenca Ramis, se observa que la actividad minera desecha sus relaves mineros a la intemperie y a los cuerpos de agua circundantes además el quemado de la amalgama provoca que los gases emitidos estén compuestos de mercurio los mismos que precipitaran a la superficie terrestre contaminando todo lo que encuentre en su recorrido. Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA](2008).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.-Ubicación de Estudio

El área geopolítica en estudio está ubicado en la provincia de Azángaro de la región Puno, el área en estudio está delimitado por la localidad de Progreso por el cual discurre el río que lleva su nombre.

3.2.-Tipo y diseño de la investigación

La investigación es de tipo exploratorio con el objetivo de establecer, explicar e inferir relaciones lógicas entre las variables. El diseño de estudio es transversal porque se describe la particularidad y magnitud del problema en un ámbito que delimita la contaminación del recurso hídrico y donde las variables se evaluaron en un periodo específico.

3.3.-Estrategia de muestreo

3.3.1.- Estrategia de muestreo para agua y sedimentos

3.3.1.1.-Unidad de análisis

Para realizar el trabajo de investigación se seleccionaron tres puntos de muestreo para agua y sedimentos, tomando como criterio la toma de muestra en un punto posterior a la unión de los ríos Carabaya y río Quenamary, punto en el que nace el río Azángaro en su recorrido toma diferentes nombres según el lugar por el cual discorra como el de Progreso, el mismo que es nuestra área delimitada de estudio.

Para una mejor interpretación de los resultados el río Azángaro que discurre por la localidad de Progreso se ha dividido en tres zonas de estudio cada una con su respectivo punto de muestreo.

3.3.1.2.-Metodo de selección de muestra

Con el fin de obtener datos confiables y de utilidad se requiere que las muestras tomadas sean representativas en el ámbito que se pretende evaluar, para ello se requiere de una cuidadosa planificación del proceso de toma de muestra, con la finalidad de determinar el número exacto de muestras para su análisis en el laboratorio. Es importante seleccionar los puntos de muestreo tomando en cuenta los requisitos de los lugares a seleccionar: (Mari, 2008)

- 1.-Aguas abajo inmediato a una frontera internacional
- 2.-Captación para irrigación agrícola
- 3.-Captación para el abastecimiento público de una ciudad

Con el propósito de sectorizar el ámbito de estudio considerando las características del río, se inserta un criterio ambiental geodésico el mismo que sirve para ordenar la correspondencia que tiene de acuerdo a las condiciones hidrográficas del lugar. Dicho criterio quedo configurado como sigue:

Punto inicial del río Azángaro

Tramo del río impactado aguas arriba por actividad minera proveniente de dos zonas altamente auríferas (Ananea y Crucero), los mismos vierten sus relaves mineros a los ríos Carabaya y Quenamary que al unirse forman el río Azángaro. El punto de muestreo es tomado 100 metros aguas debajo de la intersección de los ríos antes mencionado; esto debido a la gran turbulencia que presentan los ríos al unirse reteniendo gran cantidad metales pesados junto con los de sólidos en suspensión. La turbulencia presente en esta zona puede no presentar datos exactos de la concentración de mercurio en agua y sedimentos.

Represa Progreso

Tramo del río considerado como zona media baja cuya característica es el grado de asentamiento del material particulado debido a la disminución de la turbulencia. La quietud de las aguas en esta zona promueve la precipitación de los metales pesados que presenta. En esta zona el cauce del río se divide en dos una que se dirige hacia la localidad de Progreso y otra que se capta para uso agrícola y ganadería.

Rio Progreso

Finalmente se evalúa en la localidad de Progreso, en el cual discurre el río que lleva su nombre que no es otro que el río Azángaro, se toma este punto de muestreo debido a que si la población en estudio está contaminada con mercurio

sus aguas residuales constituidas básicamente por orina incrementaría la concentración de mercurio en el río.

3.4.-Técnicas de Muestreo

El protocolo Nacional de Monitoreo de la calidad de los cuerpos naturales de agua superficial aprobado mediante la R.J.Nº 182-2011-ANA permite el aseguramiento y control de calidad del monitoreo.

3.4.1.-Técnica de Muestreo de Agua

La toma de muestras de agua se realizó en recipientes de polietileno de alta densidad, lavados previamente en el laboratorio con ácido nítrico al 1% de acuerdo al protocolo de muestreo. La muestra fue tomada en lugares próximos al centro del cauce del río, posterior a la toma de muestra se adiciono ácido nítrico al 1% para evitar el intercambio de iones y precipitación de hidróxidos.

Los envases que contienen las muestras deberán ser sellados herméticamente y debidamente rotulados (anexo 1) a la misma se acompañara la cadena de custodia (anexo 2) para su transporte.

3.4.2.-Técnica de Muestreo de Sedimento

Se tomó muestras de sedimentos, en capas de hasta 15 cm de espesor (Punto inicial de muestreo) y de 3 a 5 cm de espesor en la localidad de Progreso, se utilizó una pala pequeña para asegurar la representatividad de la muestra, la cual fue tomado simultáneamente de varias partes del punto de muestreo, se mezcló en un recipiente de polietileno de 20 litros y se cuarteo a 500g aproximadamente colocándose en un recipiente de 500 ml de polietileno.

Para su conservación los envases fueron colocados a una temperatura de 4°C, transportándolos para su análisis respectivo.

Las muestras recolectadas deberán ser selladas y rotuladas con la información requerida en el anexo 1, además para su transporte acompañara la cadena de custodia con toda información necesaria descrita en el anexo 2.

3.5.-Metodología empleada en la determinación de mercurio en agua y sedimentos

Para determinar la concentración de mercurio en muestras de agua y sedimentos las muestras recolectadas fueron llevadas a los laboratorios de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz-Bolivia.

3.5.1.-Determinación del mercurio en agua.

Para la determinación del mercurio en agua se realizó por el método de espectroscopia de fluorescencia atómica (EPA 245.1), el mismo que se caracteriza por ser muy sensible a concentraciones mínimas.

Principio

Para la determinación de mercurio por espectroscopia de fluorescencia atómica (AFS), la detección suele combinarse con la generación de vapor frío, vapor que suele ser generado de dos formas: químicamente o por pirolisis. Esta técnica se basa en la reducción del mercurio iónico divalente (Hg^{2+}) hasta su forma metálica (Hg^0) en disolución ácida utilizando un reductor fuerte como borohidruro sódico (NaBH_4) o cloruro estanoso (SnCl_2). En ambos casos los átomos de mercurio que son vaporizados llegarán hasta el detector AFS al ser arrastrados por una corriente de gas. Sin embargo, en la fluorescencia es de gran

importancia la elección del gas para alcanzar la mayor sensibilidad posible y por este motivo, se suele elegir como gas el argón y no el aire o el nitrógeno que podrían originar procesos de “quenching” que harían disminuir la señal.

CUADRO 3
PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Elemento	Mercurio
Fuente	EDL Lámpara de descarga energética
Longitud de onda(nm)	253.7
Abertura (nm)	0.7
Reductante	3% NaBH ₄ en Na OH
Flama	No

Fuente: Fluorescencia atómica. (Norma Española UNE-EN 13506, 2002).

Reactivos

- Ácido Sulfúrico
- Ácido Nítrico
- Permanganato de Potasio
- Borohidruro de sodio al 3%
- Hidróxido de sodio
- Cloruro de Estaño
- Agua desionizada

Condiciones óptimas para el análisis de mercurio

- Solución Stock : contiene 1000 µg Hg/ml

- Solución estándar: contiene 1 µg Hg/ml (en 1.5% de HNO₃ estabilizada con la adición de una gota de KMnO₄ al 5%).

Diluyente

HNO₃ al 1.5 %.

Volumen de calibración: 10 ml

Solución estándar

1µg de Hg/ml (mezcla acida 1.5% de HNO₃, 1.5% H₂SO₄ con la adición de 5 gotas de solución de KMnO₄ al 5%).

Volumen de muestra: 10 ml.

Procedimiento

Preparación de la muestra

Se transfieren 0,5 ml de muestra de agua a un tubo de digestión procurando no arrastrar con la pipeta el posible sedimento depositado en el fondo.

Se añaden 2,5 ml de ácido nítrico y se agita suavemente, dejando reposar después durante 5 minutos a temperatura ambiente.

Se añaden 8 ml de agua destilada, se agita suavemente para homogeneizar la mezcla y se deja reposar durante 5 minutos más para eliminar cualquier tipo de vapor o niebla formada en el tubo, que pueda interferir en el análisis.

Las muestras así preparadas están listas para ser transferidas al recipiente de medida del sistema de producción y arrastre de mercurio.

Preparación de patrones y curva de calibración

A partir de la disolución patrón de mercurio de 1000 µg/ml y mediante las pertinentes diluciones con agua destilada, se preparan disoluciones de 0,05; 0,1 y 0,2 µg Hg/ml. Estas disoluciones deben contener aproximadamente 20 mg/L de

permanganato de potasio y 1% (V/V) de ácido nítrico para asegurar la conservación del mercurio en la disolución.

Patrones de adición.

Se prepara añadiendo a sendos tubos de digestión que contienen cada uno 0,5 ml de agua destilada 0,5 ml de cada uno de los patrones acuosos de 0,05; 0,1 y 0,2 μg Hg/ml.

Blanco. Se preparan añadiendo a 0,5 ml de la misma muestra de agua que ha servido de base para los patrones de adición 0,5 ml de agua destilada.

Blanco de reactivos. Consiste únicamente en 1 ml de agua destilada en un tubo de digestión. Es necesario para detectar la presencia de mercurio en los reactivos empleados en el método y efectuar las oportunas correcciones.

Se añaden 2,5 ml de ácido nítrico a patrones, blanco de agua y blanco de reactivos, y se dejan reposar durante 5 minutos tal como se hizo con las muestras.

Se añaden 7,5 ml de agua destilada a patrones y blancos para igualar el volumen total con el de las preparaciones de muestras. Tras dejar reposar 5 minutos, patrones y blancos se trasvasan al recipiente de medida y se analizan.

La curva de calibración se construye representando los valores de absorbancias o altura de pico obtenido para los patrones, restando el valor obtenido para el blanco frente a sus respectivas concentraciones: 0,05; 0,1 y 0,2 μg Hg/ml de la muestra de agua.

Determinación

Se trasvasa el contenido de cada uno de los tubos de digestión correspondientes a blancos, patrones y muestras al recipiente de medida del sistema de producción

y arrastre de mercurio e inmediatamente antes de efectuar la determinación se añade 1 ml de cloruro de estaño (II).

Se hace pasar una corriente de aire de aproximadamente 1 L/min de caudal por el sistema de producción y arrastre de mercurio. El mercurio elemental, formado por la acción reductora del cloruro de estaño (II) sobre las especies iónicas presentes en la muestra, es liberado de la disolución por el borboteo que produce la corriente de aire en el seno de la muestra y es arrastrado por dicha corriente hasta la celda de medida.

Se mide la absorbancia o la altura del pico correspondiente al vapor de mercurio elemental presente en la muestra a 253,7 nm.

3.5.2.-Determinación del mercurio en sedimentos

Para determinar mercurio total en sedimentos se usa la técnica de digestión acida asistida por microondas en la cual se toma una muestra representativa de 0,5 gramos de muestra se digiere en 9 ml de ácido Nítrico concentrado y 3 ml de ácido fluorhídrico, durante 15 minutos de calentamiento en microondas a 180 ± 5 °C, el tiempo de calentamiento es de 5.5 minutos y 9.5 minutos de mantenimiento. La solución digerida se filtra y se afora a 100 ml. Con agua destilada, posteriormente se prosigue con el mismo procedimiento en la determinación de mercurio en agua.

3.6.-Instrumentos

- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica
- Espectrofotómetro de fluorescencia atómica
- Botellas de plástico

Contrastación de la Hipótesis

El estadístico t de Student permite el contraste de la hipótesis nula ($H_0: \mu \geq 0,001$) con la hipótesis alterna ($H_1: \mu < 0,001$) a un nivel de significancia de 0,05 ($\alpha = 0,05$) y dos grados de libertad el cual presenta un $T_c = 5 \geq t(n-1, 1-\alpha/2) = 4,30$, el cual indica que no es significativa la media obtenida por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que indica que la concentración de mercurio en el río Azángaro es menor a los LMP establecidos por la ECA, concluyendo que mencionado río no presenta contaminación aparente por los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- Resultados

Los asentos mineros, presentes en la parte alta de la cuenca del río Ramis, tales como: la Rinconada, Lunar de Oro, Pampa Blanca, Ananea y Crucero al verter sus relaves mineros al río principalmente compuestos por mercurio (metal pesado utilizado en el proceso de amalgamación del oro) ,provoca su contaminación, específicamente el río Azángaro; el mismo que es usado por los pobladores de los distritos circundantes tales como Asillo, Progreso y Azángaro para su consumo, agricultura y ganadería, viéndose afectados los pobladores de estos lugares al consumir estas aguas contaminadas. Para determinar el nivel de contaminación del río Azángaro se analizaron muestras de agua y sedimentos en tres puntos del río Azángaro. Los resultados son presentados en esta sección.

Concentración de mercurio en muestras de agua del Río Azángaro

En este estudio, se designaron tres puntos de muestreo M1,M2 Y M3 los mismos que son elegido por la facilidad en el muestreo, y la representatividad real de la

concentraciones de mercurio en el agua, así como para evaluar la concentración de mercurio en zonas circundantes a la población siendo:

M1, que se consideró como blanco de la zona alta de la localidad de progreso ya que en esta zona se unen los ríos provenientes de dos zonas altamente auríferas (Ananea y Crucero), en ella se encuentra concentraciones iguales a 0,00020 mg/l de mercurio, el mismo que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles dados por la ECA.

M2, segundo punto de muestreo, la cual se caracteriza por que en esta zona existe una represa en la que el agua del río se encuentra estancada favoreciendo la precipitación del mercurio por la quietud que presenta, en esta zona el río se divide en dos ramales uno que se dirige hacia la población en estudio y otra se dirige a una laguna llamada Hatunmayo la misma que es usada para uso exclusivo de agricultura y ganadería. Los análisis de los resultados muestran una concentración igual a 0,00020 mg/l.

M3, Tercer punto de muestreo ubicado en la localidad de Progreso, en el cual discurre el río que lleva su nombre que no es otro que el río Azángaro, se toma este punto de muestreo debido a las constantes quejas de la población que atribuyen estar contaminados con mercurio. Las muestras de agua tomadas en esta zona indican concentraciones de mercurio igual a los anteriores 0.00020mg/L.

Los resultados obtenidos en el laboratorio de control de calidad de Bolivia referentes a la concentración de mercurio en agua se muestran en el cuadro 4.

CUADRO 4

RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO AZÁNGARO EN EL 2012

Puntos de muestreo	Unidad	Concentración de Hg
M1	mg/l	0,00020
M2	mg/l	0,00020
M3	mg/l	0,00020

Fuente: Elaboración Propia

Concentración de mercurio en sedimentos

Para determinar la concentración de mercurio en sedimentos del río Azángaro se procedió a recoger las muestras en los mismos puntos de muestreo que el agua a fin de obtener concentraciones del mercurio equivalentes a las concentraciones de este metal en el agua. Según los resultados obtenidos el mercurio se encuentra en mayor cantidad en los sedimentos esto debido a la insolubilidad que presenta el mercurio en el agua. El mercurio presente en medios anaerobios sufre reacciones de alquilación transformándose a la forma orgánica como es el metil y dimetil mercurio presente solo en sedimentos. Los resultados presentados en el cuadro 9 muestran concentraciones de mercurio iguales a 1,5; 0,20 y 0,20 mg/Kg respectivamente, todos estos valores son superiores a los límites máximos permisibles dados por la National Sediment Quality Survey presentado en el cuadro 10.

CUADRO 5

RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTO DEL RÍO AZÁNGARO EN EL 2012

Puntos de Muestreo	Unidad	Concentración de mercurio
M1	mg /kg	1,5
M2	mg /kg	0,20
M3	mg /kg	0,20

Fuente: Elaboración Propia

4.2.-Discusión

Concentración de mercurio en muestras de agua

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-Azángaro-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, Ikasio, Azángaro, Tirapata, Calapuja, Achaya y Caminaca. Los asentos mineros de la zona drenan hacia la cuenca sus relaves mineros contaminando todos los ríos que lo conforman así como los centros poblados que hacen uso de sus aguas.

De acuerdo al estudio realizado el río Azángaro presenta concentraciones mínimas de mercurio iguales 0,00020 mg/l, las mismas que son inferiores a los límites máximos permisibles dados por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental ECA que indican que para agua de uso poblacional, riego de tallo alto y bajo las concentraciones mínimas de mercurio

que debieran tener son 0,001 mg/l. La concentración presente de mercurio en el río Azángaro es inferior a los LMP, debido a que este metal es insoluble en agua siendo más lábil en el sedimento, esto es corroborado por Español (1990) quien manifiesta en aguas continentales el mercurio no se encuentra soluble en forma iónica Hg^{+2} sino formando complejos como hidróxidos de mercurio que tienden a precipitarse formando sedimentos en el interior del río.

Otras investigaciones coincidieron con los resultados de la presente investigación, tales como las realizadas en el lago Titicaca con Gamarra (2010) en la cual, muestras de agua de la desembocadura del río Ramis, presentan concentraciones iguales a 0,0002 mg/l de mercurio. Así también la Dirección General de Salud DIGESA(2007) evalúa y analiza el grado de contaminación del río Ramis y principales tributarios encontrando en el primer punto de muestreo ubicado en el centro poblado Progreso concentraciones de mercurio de 0,000011 mg/l, inferiores a los Límites permisibles expuestos por la ECA(cuadro 6).

Investigaciones realizadas por la Universidad Nacional del Altiplano indican que la concentración de mercurio en agua del Río Ramis se encuentra en concentraciones inferiores dados por la ECA, y OMS, confirmando este resultado a la poca solubilidad que el mercurio presenta en el agua, recomendando realizar investigaciones de mercurio en la forma orgánica como es de metilmercurio. Cornejo (2011) en el estudio integral de la contaminación en la cuenca del Ramis Puno-Perú, evalúa el impacto ambiental en agua del río Ramis por metales pesados como mercurio, indicando que estos se encuentran en cantidades inferiores dados por la ECA(0,0002mg/l) como se observa en el cuadro 11.

Como se menciona anteriormente en varios estudios no se encuentran concentraciones elevadas de mercurio en el río Azángaro, pero esto no indica que el mencionado río no está contaminado de mercurio sino más bien que es un problema latente pues el mercurio tiende a sedimentarse y es allí donde sufre reacciones de orgánicas ocasionando bioacumulación en la flora y fauna que se alimenta de ella además en los próximos años se observara concentraciones altas de mercurio en el agua del río Azángaro ocasionando la muerte de la flora y fauna del lugar.

Concentración de mercurio en Sedimento.

La minería en la parte alta de la cuenca del Ramis hace uso del proceso de amalgamación para extraer oro este proceso implica la quema de mercurio presentándose en la atmosfera como óxido de mercurio el cual desciende al suelo por proceso de óxido/reducción que lo transforma a Hg^{++} , es así que el mercurio en la forma iónica precipita a los suelos y cauces de agua que se encuentren presentes.

El mercurio iónico por procesos biológicos en el que implica actividad bacteriana logra transformarse a metilmercurio (forma orgánica) el cual se presenta en sedimentos en medios anaerobios.

De acuerdo a estudio realizado, el río Azángaro presenta en sus tres puntos de muestreo (M1, M2, M3) concentraciones iguales a 1,5; 0,20 y 0,20 mg/Kg de mercurio respectivamente, los mismos que superan los límites máximos permisibles dados por la National Sediment Quality Survey Appendix (cuadro 10). Según Housecraft & Sharpe(2008) Química Inorgánica, menciona "Todo mercurio inorgánico disuelto en aguas tiende a existir en forma de sedimento como $Hg(OH)_2$ ", este a su vez por actividad microbiana es transformado a metil mercurio

que se deposita en la flora y fauna de las aguas continentales provocando la bioacumulación del metal en el organismo vivo.

Estudios realizados por Gamarra (2010), en el cual se evalúa los metales pesados en sedimentos en puntos críticos del Lago Titicaca y principales afluentes como el río Ramis; manifiesta que la concentración de mercurio en fracciones de sedimento oscila entre 0,01-3,39 mg/Kg, siendo estos valores un riesgo para la salud de los ecosistemas acuáticos y la salud de los que se alimentan de ellos. Así mismo Cornejo (2011), indica que los resultados obtenidos en la cuenca del Ramis (cuadro 12) se encuentran en concentraciones superiores a la USEPA.

En el estudio "Presencia de metales pesados en la biota acuática del Ramis", realizado por Calcina (2006) se observa presencia de mercurio en el Carachy en concentraciones que oscila entre 0,2-0,3 mg/Kg de Hg. La concentración existente muestra la relación que existe entre la concentración de la especie en este caso el carachi y la concentración de mercurio en el agua y sedimentos en los cuales la especie vive (1,5 mg/kg de mercurio); lo cual es corroborado por Sameka (1999) en su estudio de metales pesados donde determino que la concentración de la especie está en correlación con la composición de la biota y el agua.

La Universidad Agraria la Molina (1999), determino que la concentración de mercurio en sedimentos es de 1,0 mg/Kg, concluyendo que el principal responsable de la de la contaminación por mercurio de la cuenca del Ramis tiene sus orígenes en el centro minero la Rinconada-Ananea entre otros centros mineros.

En general el uso indiscriminado de mercurio en procesos de extracción de oro por mineros informales, contaminan el río Azángaro aunque aún este no sea evidente en el agua pues solo se encuentra en los sedimentos en alta concentración. El mercurio en el sedimento se encuentra en la forma orgánica como metilmercurio el mismo que se bioacumulara en la flora y fauna del río acarreando problemas ambientales y de salud en las personas que hacen uso de sus aguas para agricultura y ganadería.

8

CONCLUSIONES

Los resultados del análisis de agua indican que la concentración de mercurio en el río Azángaro 0,00020 mg/l está por debajo de las concentraciones otorgadas por la Estándares Nacionales de calidad ambiental ECA (0,001 mg/l), debiéndose ello a que el mercurio en su forma elemental no es estable en solución acuosa tendiendo a precipitar en forma de óxido e hidróxido formando los sedimentos.

En referencia a los sedimentos el mercurio se encuentra en concentraciones de 1,5 mg/Kg muy superiores a los establecidos a la U.S.E.P.A-National sediment quality survey-appendix dscreenig values for chemical evaluated (0,75 mg/Kg), ocasionando en los próximos años la conversión del mercurio en su forma orgánica como metil o dimetilmercurio, el mismo que es fácilmente asimilable por la flora y fauna del río.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios similares en animales rumiantes alimentados con bofedales de la zona para determinar la bioacumulación de mercurio en ellos.

Así también realizar investigaciones en la flora y fauna del río con la finalidad de determinar si realmente el mercurio presente en los sedimentos se convierte al estado orgánico (metilación).

En el río Azángaro no se han conducido estudios sobre las concentraciones de mercurio en la forma orgánica, en este caso en particular el potencial de metilación biótica, es más veloz y productiva que la abiótica, debido a las condiciones climáticas a las que se encuentra el río, sin embargo es necesario realizar un monitoreo y comprobación de dicha hipótesis.

Es necesario desarrollar estudios para entender y cuantificar la tasa de metilación de estos ecosistemas en la zona.

BIBLIOGRAFIA

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2002). *Determinación del mercurio por espectrometría de atómica*. Disponible en <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp%DN0026886>

Aquino, E., Rojas, L., Calcina, L. & Calcina M. (2003). *Contaminación por mercurio y cianuro en el distrito minero de Ananea*. Editorial Universitaria. Puno-Perú.

Bailey, E., Gray, J. & Hines, M. (2001). *Mercury transformations in soils near mercury mines in Alaska. USA*.

Bertelli, G. (1993). *Indicadores biológicos para la valoración de la exposición a los compuestos químicos industriales: mercurio*. Conselleria de Santat i Consum D.L.;ET.Eines de Salut i Treball (p 21).

Bronw, B. & Rattigan, B. (1979). *Toxicity of soluble copper and other ions to Elodea Canadensis Environmental Pollution*. Vol 20.Nº4 (pp 303-314).

Calcina, L. (2006). *Presencia de metales pesados en la biota acuática (Oretias sp y Schoenoplectus totora) de la desembocadura del rio Ramis Lago Titicaca*. Puno Universidad Nacional del Altiplano.

- Capo, M. (2007). *Principios de Ecotoxicología: Diagnostico tratamiento y gestión del medio ambiente*, S.L. Madrid. Editorial Tebar.
- Casarett, L. & Doull's, J. (2001). *Toxicology The Basic Science of Poison*. McGraw-Hill. Medical Publishing División. New York.
- Castro, J. & Monroy, M. (2002). *Parámetros geológicos de protección ambiental geoquímica, minería y medio ambiente*. San Luis de Potosí México.
- Cornejo, D (2011, Julio). *Estudio Integral de la contaminación en la cuenca del Ramis por metales pesados*. *Revista Nacional de Ingeniería Química UNA*. Puno. Vol XIII (Pp 15-27).
- Cotton, F. & Wilkinson, G. (1980). *Química Inorgánica Avanzada*. Limusa. España. (p:715-747).
- Dabeka, R. (2003). *Examen de mercurio total en alimentos de la dieta y valoración de la ingesta dietética del mercurio de los adultos y de niños en dos ciudades Canadienses*. *Rev. Aliment Addit Contam* . vol VII(pp :629-638).
- Devore, J. (1998). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Editorial Internacional Thomson. México.
- Dirección General de Salud Ambiental: (2007). *Protocolo de monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos hídricos superficiales* . Disponible en: www.digesa.minsa.gob.pe.
- Ellemhorn, M. (1996). *Medical Toxicology* .Second Edition. Baltimore. USA.
- Español, S. (1985). *El Mercurio único metal líquido aspectos medio ambientales servicio prevención riesgos laborales*. Area Salud Laboral minas de Almadén y Arrayanes. Centro de Salud Comarcal Ministerio Sanidad.

- Español, S. (1990). *Niveles de mercurio en sangre orina y su correlación con la morbilidad en una población no expuesta ocupacionalmente*. Minas de Almadén y Arrayanes SA. Servicio prevención riesgos laborales área salud laboral.
- Ferro, F. (2007). *Análisis e identificación de los actores en el conflicto por el uso del agua en la sub cuenca de Crucero Azángaro*.
- Friberg, L., Nordberg, G. & Vouk, V. (1974). *Handbook of toxicology of metals*. Amsterdam. Elsevier.
- Gamarra, C., Siguayro, H., y Segura, M. (2010). *Metales pesados en agua sedimento en puntos críticos del Lago Titicaca y principales afluentes*. Puno.
- Gonzalez, E. (1987). *Toxicocinética y Evaluación de riesgos para la salud producidos por la exposición a mercurio metálico*. Mediana Seguridad y trabajo. Vol. XXXV (p :3-17).
- Instituto Nacional de Recursos Naturales. (2003). *Monitoreo de la calidad de aguas superficiales del río Crucero*. Memoria Descriptiva (p 395).
- Instituto Nacional de Recursos Naturales y Ministerio de Salud.(2008). *Evaluación y recuperación de los recursos naturales y contaminación ambiental en la cuenca del río Ramis*.
- Jara-Facundo, M.A. (2003). *Distribución de metales pesados en agua y sedimentos sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería. Disponible en: www.cielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034...script=sci_arttext.
- Jimenes-Moreno, M. (2004). *Desarrollo de métodos analíticos para especiación de Mercurio y su aplicación de la comarca del Almadén*. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha-España. Disponible en <https://ruidera.uclm.es/264%20Desarrollo%20de%20métodos>.

- Kimiko, H. (1974) *Mecanismo de transporte del metilmercurio por absorción intestinal. Japon.*
- Krauskopf, K. & Bird, D. (1995). *Introduction to Geochemistry*. Science-Engineering Mac Graw-Hill. p. 647.
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos*. Editorial Thomson Learning. México
- Mari, R. (2010). *Protocolo para monitoreo de la calidad de aguas Continentales*. Dirección General de Calidad Ambiental. Lima – Perú.
- Mason, R. and Fitzgerald, W. (1996). *Sources sinks and biochemical cycling of mercury in the ocean. USA Volume 21 (pp 249-272).*
- Medina, G. (2001). *Mitigación del mercurio en la minería artesanal y pequeña minería aurífera del Perú*. Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica Lima-Perú.
- Ministerio de Energía y Minas. (2001). *Informe de inspección especial verificación del cumplimiento de las normas de seguridad e higiene minera y medio ambiente dentro de las concesiones mineras de corporación minera Ananea sobre el impacto ambiental S.A. Lima - Perú.*
- Moreno, M. (2003). *Toxicología Ambiental*. McGraw Hill- Interamericana. España.
- Norma Española (2002). *Fluorescencia Atómica*. UNE-EN 13506.
- Nelson, F., Peterson, C. & Morrison, A. (1995). *Atmospheric emissions of mercury sources and chemistry clean air and environmental quality*. Australia. Vol 3.
- Peña, C., Carter, D & Ayala, F. (2001). *Toxicología Ambiental evaluación de riesgos*

y Restauración Ambiental. Universidad de Arizona.

Pirrone, N., Costa, P., Pacyna, M. & Ferrara, R. (2001). *Mercury emissions to the atmosphere from natural anthropogenic sources in the mediterranean Atmospheric Environment*. Journal of Aerosol Science-Europa.

Proyecto Especial Binacional del Lago Titicaca. (1999). *Investigación y monitoreo de los ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca* Puno - Perú.

Quémarais, B., Cossa, D., Rondeau, B., Pham, T., Gagnon, P. & Fortin, B. (1999). *Sources and fluxes of mercury in the lawrence river environmental science and technology*.

Ullrich, S., Tanton, T. & Abdrashitova, S. (2001). *Mercury in the aquatic environment: a review of factors affecting methylation*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. pp 241-293. Disponible [researchgate.net/.../248944487_Mercury_in_the_Aquatic_Environment](https://www.researchgate.net/publication/248944487_Mercury_in_the_Aquatic_Environment).

Universidad Nacional Agraria la Molina. (1999). *Investigación y monitoreo de los Ríos Carabaya -Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca*. . Facultad de Ciencias Forestales Lima Perú.

Vostal, J. (1976). *Transporte y transformación del mercurio en la naturaleza. Posibles rutas de exposición*. Tesis de Maestría. Universidad de Rochester

World Health Organization WHO. (1989). *Mercurio aspectos medio ambientales*.

World Health Organization WHO. (1990). *Methylmercury. Environmental Health. Criterio 101*. Genova.

ANEXO 1

FORMATO ROTULO DE MUESTRA

MINISTERIO DEL AMBIENTE Dirección de Calidad Ambiental		N° Estación de Muestreo Código de laboratorio	
Solicitante/Programa			
Origen de la fuente		Punto de muestreo	
Localidad		Fecha y hora de muestreo	
Distrito		Fecha y hora de llegada	
Provincia		Cantidad de muestras	
Departamento		Muestreador	
Preservada: Si No		Aguas Solidos Otros	
Observación/ Parámetros			

ANEXO 2

FORMATO REGISTRÓ DE CADENA DE CUSTODIA

Nombre Lugar Monitoreado :
Identificación Punto de Monitoreo :
Fecha y Hora del Monitoreo :
Lugar, Fecha y Hora Preparación Compuesta :

ANEXO 3

FORMATO NUMERO DE MUESTRAS Y ENVASES

N° de muestra	Identificación de la Muestra	Parámetros Solicitados	Material Envases	Preservante	Código Envases	Muestra N° 1	Muestra N° 2	Muestra N° 3	Muestra N° 4	Muestra N° 5	Muestra N° 6

ANEXO 4

FORMATO PARA TRANSPORTE DE LA MUESTRA

Fecha y hora de partida		Nombre y firma del Responsable de Transporte	
Fecha y hora de llegada			
Medio de transporte		Medio de refrigeración	
Avion		Refrigeración	
Bus		Equipo muestreo	
Terrestre		Caja refrigerante eléctrica	
Cliente		Caja refrigerante con hielo	
Otro		Caja aislante con hielo	
		Otro	

ANEXO 5

FORMATO PARA EL CONTROL DE CADENA DE FRIO

MUESTREO	TRANSPORTE Y RECEPCIÓN
Método de control °C	Método de control °C
1ª Muestra..... °C.....	T° del sistema en terreno..... °C.....
Hrs.....	Hrs.
T°1ª Mta. al final muestreo..... °C.....	T° del sistema en
Hrs.....	recepción..... °C..... Hrs

ANEXO 6

FORMATO PARA ENTREGA DE MUESTRAS

Responsable Entrega Muestras	Nombre, firma	Observaciones	Fecha
Responsable Recepción Muestras	Nombre, firma		Hora

CUADRO 6
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
- CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL "I"

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales	
			Aguas que pueden ser potabilizadas	Agua que pueden ser potabilizadas	B1 Contacto primario	B2 Contacto secundario
FISICOS- QUIMICOS						
Aceites y grasa (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color	15	100	200	Sin	Sin cambio
Conductividad	us/m>-	1500	1600	**	**	**
D.B.C.	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	Na	0,5	Ausencia
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fosforo Total	mg/LP	0,1	0,15	0,15	**	**
Nitratos	mg/LN	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/LN	1	1	1	1,0	**
Nitrógeno amoniacal	mg/LN	1,5	2	3,5	**/*	**
Olor		Acceptable	**	**	Acceptable	**
Oxigeno Disuelto	mg/L	>=6	>=5	>=4	>=6	>=4
PH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6 - 8,5	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ^(b)	5	100	**	100	**
INORGANICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**

CUADRO 7
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA RIEGO
DE TALLO ALTO Y BAJO

PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
FISICOQUIMICOS		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos – P	mg/L	1
Nitratos (A ⁺ Q, -N)	mg/L	10
Nitritos-(NO ₂ ⁻ , -AQ)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
INORGANICOS		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5 – 6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
ORGANICOS		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
PLAGUICIDAS		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (Nº CAS CAAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (Nº CAS 76-44-8)	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Parathion	ug/L	7,5

CUADRO 8
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
DE BEBIDA DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES		
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
FISICOQUIMICOS		
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000
Demanda Bioquímica de	mg/L	<=15
Demanda química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruro	mg/L	2
Nitratos-(No.-N)	mg/L	50
Nitritos-(Nt ⁻ -N)	mg/L	1
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	500
Sulfuros	mg/L	0,05
INORGANICOS		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,1
Berilio	mg/L	0,1
Boro	mg/L	5
Cadmio	mg/L	0,01
Cianuro WAD	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	1
Cobre	mg/L	0,5
Cromo (6+)	mg/L	1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	24
ORGÁNICOS		
Aceites y grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M: (detergentes)	mg/L	1
PLAGUICIDAS		
Aldicard	ug/L	1
Alcadrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	1
Dietrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endosulfan	ug/L	0,02
Endrin	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Parathion	ug/L	7,5
Salmonella Sp.	Ausente	
Vibriocholerae	Ausente	

CUADRO 9
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO	
				SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de partículas visibles	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					Delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	>5	>5	>5	>4	>4
pH	unidad	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5		6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos	mg/L	<25	<25 - 100	<25 - 400	<25 - 100	30,000
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0 - 1
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	.....
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,02	0,02	.....
Clorofila A	mg/L	10	.....	.....	.....	.....
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosforo Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Nitratos (N-No*)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		.....	.....
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	.....	.....	.....	.....	0,14 - 0,7
Sulfuro de Hidrogeno	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000		1 000	<30
Coliformes Totales	NMP/100mL	2 000	3 000		2 000	

CUADRO 10

ESTÁNDARES PARA SEDIMENTOS

Estados Unidos de norte america	Hg
ER-L(Effect range-low)	0,15
ER-M (Effect range-mediam)	0,71
Aet-l(Aparent effects threshold-low)	0,59
PEL(Probables efectos leves)	0,7

CUADRO 11

CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN LAS MUESTRAS DE AGUA (mg/L) EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AZANGARO

Puntos de muestreo	Mayo	Junio	Octubre	Diciembre
L-1	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
L-2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
L-3	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
L-4	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002

Fuente: Estudio integral de la contaminación en la cuenca del río Ramis (M.Sc. Dalmiro Olarte Cornejo)Pág 11.

CUADRO 12

CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN LAS MUESTRAS DE SEDIMENTOS (mg/Kg) EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AZANGARO

Puntos de muestreo	Mayo	Junio	Octubre	Diciembre
L-1	0,020	0,020	0,030	0,030
L-2	0,059	0,093	0,120	0,081
L-3	0,100	0,140	0,062	0,038
L-4	0,066	0,084	0,098	0,057
L-5	0,040	0,071	0,074	0,060
L-6	0,020	0,033	0,065	0,060

Fuente: Estudio integral de la contaminación en la cuenca del río Ramis(M.Sc. Dalmiro Olarte Cornejo)Pág. 16.

FIGURA 4

TOMA DE MUESTRA EN EL PRIMER PUNTO DE MUESTREO EN EL 2012



FIGURA 5

TOMA DE MUESTRA EN EL SEGUNDO PUNTO DE MUESTREO REPRESA

PROGRESO EN EL 2012



FIGURA 6

**TOMA DE MUESTRA EN EL TERCER PUNTO DE MUESTREO "CENTRO
POBLADO PROGRESO" EN EL 2012**

