

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN
POR EL USO MINERO DEL MERCURIO DE
LA LAGUNA LA RINCONADA

TESIS

Presentada por:

Bach. Orlando Raúl Mina Aycaya

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA - PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA


Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

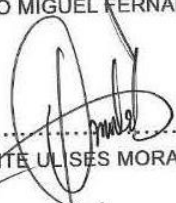
PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN
POR EL USO MINERO DEL MERCURIO DE
LA LAGUNA LA RINCONADA

Tesis sustentada y aprobada el 29 de diciembre del 2016; estando
integrado el Jurado Calificador por:

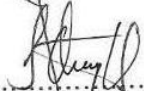
PRESIDENTE


.....
Dr. JULIO MIGUEL FERNANDEZ PRADO


Secretario


.....
Dr. DANTE ULISES MORALES CABRERA

Vocal


.....
MSc. SALOMON MEDARDO ORTIZ QUINTANILLA

Asesor


.....
Ing. JOSE DAVID RODRIGUEZ COPARE

DEDICATORIA

A mi querido padre Mateo, que en paz
descanse; a mis queridos hijos:
Christopher y Camila que son mi motor y
motivo para seguir superándome.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a todos los ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Facultad Ingeniería de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por la formación que me brindaron y hacer realidad el presente trabajo de investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.1.1. Problema general	3
1.1.2. Problemas específicos	4
1.2. Contaminación de un lago por mercurio	4
1.3. Importancia del estudio	5
1.4. Propósito del estudio	7
1.5. Objetivos de la investigación	8
1.5.1. Objetivo general	8
1.5.2. Objetivos específicos	8
1.6. Hipótesis	8

1.6.1. Hipótesis general	9
1.6.2. Hipótesis específicas	9
1.7. Variables e indicadores	9
1.7.1. Variable independiente	10
1.7.2. Variable dependiente	10
CAPÍTULO II	12
MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes del estudio	12
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Contaminación	15
2.2.2. Contaminación por el mal uso del mercurio	16
2.2.3. Exposición al mercurio	17
2.2.4. Toxicología	19
2.2.5. Mercurio elemental	28
2.2.5. Minería artesanal e informal	43
2.2.6. Principales características de la minería artesanal e informal	45
2.2.7. Contexto y factores socioeconómicos y ambientales que influyen en la minería artesanal e informal	48
2.2.8. Explotación minera artesanal e informal	50

2.2.9. Características de la minería artesanal e informal	51
2.2.10. Medio ambiente	52
CAPÍTULO III	53
MARCO METODOLÓGICO	53
3.1. Descripción del área de estudio	53
3.1.1. Ubicación	53
3.1.2. Clima	55
3.1.3. Población	56
3.1.4. Ausencia de agua potable y servicios de desagüe	58
3.1.5. Condiciones de las viviendas	61
3.1.6. Residuos sólidos y salud ambiental	62
3.1.7. Servicios de salud	63
3.1.8. El uso de mercurio	64
3.1.9. Relieve	68
3.1.10. Fisiografía	68
3.1.11. Geomorfología	69
3.1.12. Unidades geomorfológicas	69
3.1.13. Hidrología	71
3.1.14. Descripción del medio biológico	71
3.1.15. La actividad minera	73

3.1.16. Minería	74
3.1.17. Actividades de la minería formal e informal, pequeña minería, minería artesanal	74
3.1.18. Actividad minera informal	76
3.1.19. El mercurio y la salud de la población	81
3.1.20. Enfermedad y muerte	82
3.1.21. Impactos producidos en la minería artesanal e informal	87
3.2. Tipo y diseño de la investigación	99
3.2.1. Tipo de investigación	99
3.2.2. Diseño de investigación	101
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	102
3.3.1. Recopilación de datos	103
3.3.2. Trabajo de campo	105
3.3.3. Trabajo de gabinete	107
CAPÍTULO IV	108
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	108
4.1. Resultados	108
4.1.1 Interpretación de los resultados obtenidos	109
4.2. Discusión	110

CAPÍTULO V	113
PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN	113
5.1. Uso de las canaletas o canalones	113
5.2. Trampa cónica	116
5.3. Separación del mercurio libre de la amalgama	118
5.4. Recuperación de oro de la amalgama	120
5.5. Depurador en seco de mercurio en la quema de amalgama	123
5.6. Reutilización del mercurio	130
5.7. Método que se aplica en la disminución de la contaminación por mercurio	134
CONCLUSIONES	135
RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	137
ANEXO	140

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo Biogeoquímico del Hg	5
Figura 2. Diagrama de flujo de la obtención del oro aluvial	49
Figura 3. Ubicación de la Rinconada y La Laguna la Rinconada	54
Figura 4. Ubicación satelital de la Laguna la Rinconada	55
Figura 5. Acumulación de basura y aguas servidas en la calle	57
Figura 6. Abastecimiento de agua de la laguna contaminada de Kumuni	59
Figura 7. Calles de La Rinconada	61
Figura 8. Vigencia de la calidad de los recursos hídricos	63
Figura 9. Acumulación de basura	64
Figura 10. El río Ramis contaminado por relaves en su cauce	95
Figura 11. Uso de canaletas	115
Figura 12. Trampa cónica	117
Figura 13. Trampa cónica vista frontal	118
Figura 14. Prensa para exprimir la amalgama	119
Figura 15. Retorta y calentamiento cerrado	121
Figura 16. Retorta y calentamiento cerrado	122
Figura 17. Depurador en seco de mercurio	129
Figura 18. Depurador en seco de mercurio en la quema de	

amalgama	129
Figura 19. Diagrama del depurador en seco de mercurio para la quema de amalgama	131
Figura 20. Activador de mercurio - vista frontal	133
Figura 21. Estaciones de monitoreo de calidad de aguas Cuenca Rio Ramis	144

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructura química del mercurio	24
Tabla 2. Resultados de análisis de minerales en La laguna la Rinconada	60
Tabla 3. Enfermedades más frecuentes en la Rinconada	83
Tabla 4. Enfermedades no mortales	84
Tabla 5. Muertes registradas en el benio 2012 y 2013	85
Tabla 6. Estación de muestreos de sedimentos	108
Tabla 7. Resultados y análisis de laboratorio	109
Tabla 8. Cuadro comparativo de muestreos de sedimentos	111
Tabla 9. Cuadro comparativo de muestreos e incremento en porcentaje	112
Tabla 10. Resultados de análisis del agua en el punto C-1	141
Tabla 11. Resultados de análisis del agua en el punto C-2	141
Tabla 12. Resultados de análisis del agua en el punto C-3	142
Tabla 13. Resultados de análisis del agua en el punto C-4	142
Tabla 14. Resultados de análisis de sedimentos	143

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado en el centro minero La Rinconada-Puno considerando que es el punto de inicio de la contaminación, producto de la recuperación del oro por amalgama los cuales son originados por los relaves que son vertidos en los riachuelos que van a La laguna la Rinconada la cual pasa a la cuenca del río Ramis y posteriormente pasa al lago Titicaca. En estas zonas mineras, los pobladores se dedican directa e indirectamente a la minería artesanal, informal y pequeña minería, quienes desde hace décadas están produciendo oro, sin tecnologías limpias, causando irresponsablemente la destrucción ecológica y contaminación, el mismo que está generando conflictos sociales y preocupación.

Por lo expuesto, se realizó muestreos de las aguas en 3 puntos estratégicos en las cuales ya se han dado monitoreos para luego compararlas, cuyo objetivo fue demostrar que el agua se encuentra contaminada; razón por la cual, en la presente tesis, se realizan diversas propuestas para poder mitigar o disminuir la contaminación.

Palabras Clave: Propuesta, Contaminación y Uso Minero.

ABSTRACT

The present research work has been carried out in the Rinconada-Puno mining center, considering that it is the starting point of the contamination, as a result of the recovery of the gold by amalgam which are originated by the tailings that are discharged in the creeks that go the Rinconada lagoon which passes to the basin of the river Ramis and then passes to Lake Titicaca. In these mining areas, villagers are directly and indirectly engaged in small-scale, informal mining and small-scale mining, who for decades have been producing gold without clean technologies, irresponsibly causing ecological destruction and pollution, which is generating social and concern.

For the above, water samples were taken at 3 strategic points in which monitoring has already been given and then compared, whose objective was to demonstrate that the water is contaminated; Which is why, in this thesis, several proposals are made to mitigate or reduce pollution.

Keywords: Proposal, Pollution and Mining Use

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en el centro minero La Rinconada, ubicado en el departamento de Puno. La Rinconada es el centro poblado más alto del mundo, aproximadamente se encuentra ubicado a 5 400 msnm, cuenta con una población de 50 mil habitantes en la que se alberga a 30 mil mineros informales, quienes trabajan en condiciones delicadas, pues allí la respiración parece imposible y la adaptación del cuerpo es un lento pesar. La zona tiene como problema fundamental el erróneo manejo del mercurio, que es utilizado para recuperar el oro, lo que trae como consecuencia la contaminación del agua, suelo y biodiversidad ocasionando impactos ambientales, enfermedades y muertes. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo alcanzar una propuesta para mitigar la contaminación existente en la zona de estudio.

Este trabajo se ha estructurado en cinco capítulos:

En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema, objetivos de la investigación, hipótesis y sus variables, también se da a conocer el propósito de la misma y la importancia que tiene el presente estudio.

En el capítulo II se dan a conocer los antecedentes de la investigación, lo que sirvió como base para la discusión de resultados; aquí también se desarrolla las bases teóricas relacionadas con nuestras variables de estudio.

En el capítulo III se aborda el marco metodológico, allí se describe la zona de estudio, el tipo, diseño de la investigación y las técnicas e instrumentos que se usaron para la obtención de datos, como se realizó la recopilación de datos y como se llevó a cabo la elaboración de la misma.

En el capítulo IV da a conocer los resultados y discusión de los mismos gracias a la comparación de muestras.

En el capítulo V se aborda la propuesta de mitigación de la contaminación y el método que se está empleando en la actualidad.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El centro minero La Rinconada la cual en su proceso de recuperación del oro con mercurio, pero la inadecuada aplicación de este procedimiento ocasiona la contaminación del agua, suelo y biodiversidad, situación que ha llevado a plantear varias alternativas de solución para trabajar la minería artesanal con métodos que no tengan efectos en la contaminación.

1.1.1. Problema general

¿Es posible mitigar la contaminación de La laguna La Rinconada por el uso de mercurio en la minería informal?

1.1.2 Problemas específicos

¿Qué impactos ambientales genera el mercurio en La laguna La Rinconada?

¿Cómo se puede mitigar la contaminación por el uso inadecuado del mercurio en La laguna La Rinconada?

1.2. Contaminación de un lago por mercurio

La contaminación ambiental que genera el mercurio debido a la mala manipulación cuyos relaves generalmente van a los lagos, producen los siguientes problemas:

- Acumulación del mercurio y otros metales pesados en los sedimentos.
- Reacción del mercurio con bacterias y otros organismos para formar especies orgánicas de mercurio más tóxicas y móviles. Estos procesos contaminantes del mercurio se puede apreciar en el ciclo bioquímico del mercurio (ver Figura 1).

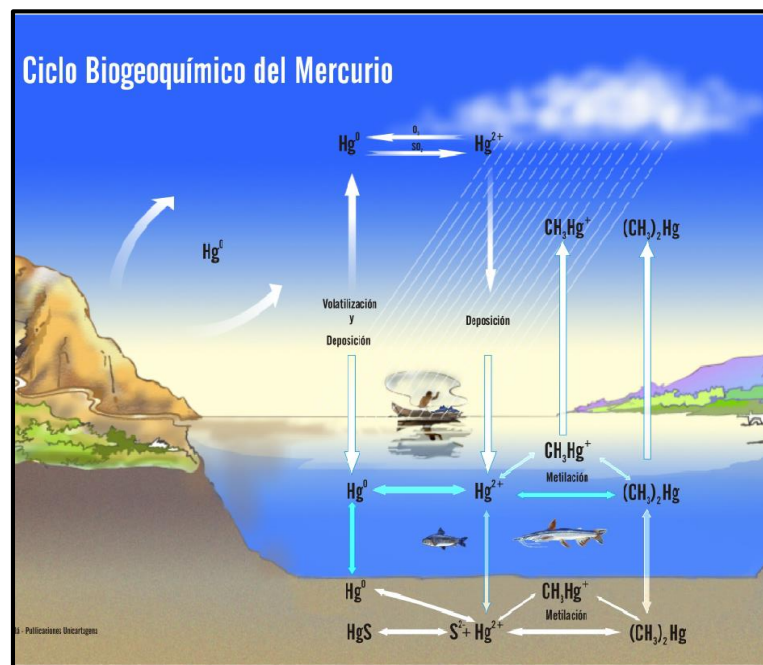


Figura 1. Ciclo Biogeoquímico del Hg

Fuente: Proyecto GAMA – COSUDE (2001)

1.3. Importancia del estudio

La utilización indiscriminada de mercurio para una serie de procesos conlleva a que exista una contaminación de las aguas, suelos, aire y sedimentos; la contaminación de las aguas sigue un curso determinado desde la fuente de contaminación que generalmente están en la cabecera de los ríos, tal como ocurre en el centro minero La Rinconada, que nacen en los riachuelos que desembocan a La laguna La Rinconada, luego siguen su curso en la

cuenca del río Ramis y posteriormente desembocan en el lago Titicaca. Estas contaminaciones producidas por los sistemas de trabajo contaminan los ríos y estos elementos contaminantes son transportados por él mismo hasta desembocar en lagos, contaminando la flora, fauna cuyos productos perjudican en la salubridad a las personas que consumen dichos productos para su alimentación, siendo el consumo mayoritario de peces, lamentablemente, con alto contenido de mercurio.

Allí radica la importancia que tiene el presente trabajo de investigación, en conocer el grado de contaminación producida por el mercurio en La laguna La Rinconada elemento que afecta también a la vida humana produciendo enfermedades y muertes, tal como se demostrará en el presente estudio.

“La erosión del suelo, es una fuente importante de mercurio en el ecosistema acuático, determinando que no solo la minería es causante directa de la contaminación de los ríos” (Hruschka, 2001). Si se demuestra que existe contaminación entonces se planteará el

uso de nuevas tecnologías que se consideran más limpias con el fin de mitigar o reducir dicha contaminación.

1.4. Propósito del estudio

El estudio tuvo un propósito elemental que fue determinar si la contaminación de La laguna La Rinconada ha ido en aumento y si esta ha sido producida por el uso del mercurio, es decir por la cantidad de mercurio que se usa durante el proceso de trabajo para la obtención del oro; también se tuvo que determinar el grado de contaminación de las áreas previamente focalizadas para, a partir de ellos, recomendar el uso de las propuestas de mitigación de la que se plantea.

El impacto ambiental producido por la minería artesanal se debe a la tecnología obsoleta que se usa para la recuperación del oro, esto debido a la falta de acceso a la tecnología, limitaciones económicas, a los errores humanos, falta de control, etc.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

- Proponer la mitigación de la contaminación producida por el uso del mercurio en La laguna La Rinconada.

1.5.2. Objetivos específicos

- Investigar los principales impactos ambientales que produce el mercurio utilizado en la minería artesanal e informal en el centro minero La Rinconada.
- Proponer nuevas técnicas de recuperación del oro y otros para mitigar la contaminación producida por el mercurio en La laguna La Rinconada.

1.6. Hipótesis

El mercurio como producto de las operaciones de la minería artesanal e informal, produce contaminación de suelos, ríos y atmosfera en el centro minero La Rinconada, Puno; como

consecuencia de su uso indiscriminado, creando problemas de salud en los seres humanos, animales y vegetales.

1.6.1. Hipótesis general

La propuesta de mitigación reduce la contaminación por el uso inadecuado del mercurio en La laguna La Rinconada.

1.6.2. Hipótesis específicas

- El mercurio genera una serie de impactos ambientales que afectan La laguna La Rinconada y su biodiversidad.
- Se puede mitigar la contaminación producida por el mercurio planteando nuevas técnicas de recuperación del oro y reutilización del mercurio.

1.7. Variables e indicadores

El estudio tiene las siguientes variables:

1.7.1. Variable independiente

El uso inadecuado del mercurio en las operaciones de la minería artesanal en cuanto a cantidad.

1.7.1.1. Indicadores

- Uso del mercurio.
- Proceso de amalgamación.
- Contaminación al medio ambiente.
- Reutilización del mercurio.

1.7.2. Variable dependiente

La contaminación y efectos que produce el mercurio al medio ambiente y personas.

1.7.2.1. Indicadores

- Cantidad de mercurio que se usa en la minería artesanal e ilegal.
- Los impactos ambientales que se han producido por el uso minero del mercurio en La laguna La Rinconada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

En la tesis de Lobato, A.(2013) titulada “Evaluación Ambiental y Programas de Remediación de la Cuenca Alta del río Ramis” para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Minería y Medio Ambiente, cuyo resumen afirma que; El presente trabajo se ha desarrollado en Puno, en la Cuenca Alta de la naciente del río Ramis ubicada alrededor de los 5,200 msnm, donde existe una intensa explotación aurífera específicamente en las zonas mineras: El Cerro Lunar y La Rinconada con 40 mil habitantes. Aguas abajo a 4,600 msnm en el entorno del distrito de Ananea existe una población aproximadamente de 25 mil habitantes. En estas zonas mineras, los pobladores se dedican directa e indirectamente a la minería artesanal, informal y pequeña minería, quienes desde hace décadas están produciendo oro por el método de concentración gravimétrica, sin

tecnologías limpias, causando irresponsablemente la destrucción ecológica y contaminación de la cuenca del Río Ramis, el mismo que está generando conflictos sociales y preocupación en las instituciones gubernamentales como el Ministerio de Energía y Minas (MEM), que en el año 1996 realizó un monitoreo de aguas, por intermedio de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), encontrando alta turbidez y elevados sólidos en suspensión totales (SST). Se realizó el monitoreo de las aguas que discurren en el río Ramis en noviembre del 2010, cuyo objetivo fue demostrar que el agua de la Cuenca alta del río Ramis se encuentra contaminada. Razón por la cual en el presente trabajo se proponen Programas concernientes a la remediación ambiental del agua, incidiendo en el tratamiento de los SST y de la alta turbidez existente en la Cuenca alta del río Ramis (el mismo que ha sido impactado por la intensa actividad minera). Los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

- En el primer punto se encontró 0,021 Hg (mg/L).
- En el Segundo punto se encontró 0,004 Hg (mg/L).
- En el 3 punto se encontró 0,005 Hg (mg/L).

En el monitoreo de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 1996); En su resumen nos indica que; la naciente del Río Ramis continua la regulada en el cerro La Rinconada Ananea en la que se observó la actividad minera aurífera informal y actividad a. Así como en el ámbito de influencia en la localidad de incremento de la actividad minera informal mecanizada para la extracción de oro en la que participa una población aproximada de 30 mil personas, entre los que se encuentran los mineros informales, comerciantes y otros.

DIGESA en coordinación con la Dirección Regional de Salud Puno invitó, vía telefónica y por medios electrónicos, a las Autoridades del nivel Nacional, Regional. Local y representantes del Comité de Lucha de la Cuenca del río Ramis para que formen “parte de La comisión del cuarto monitoreo participativo qua se realizó del 14 al 16 de diciembre de 1996. El trabajo contempló el monitoreo de los recursos hídricos de las cuencas del Río Ramis y afluentes, con la finalidad de evaluar las condiciones sanitarias y ambientales de los ríos y quebradas de la zona en estudio, así como el agua para consumo humano de las localidades asentadas en la cuenca del Río Ramis. Los cuales dieron los siguientes resultados:

- En el punto 1 se encuentran 0,0081 Hg (mg/L), 0,0091 Hg (mg/L) y 0,0078 Hg (mg/L).
- En el punto 2 se encuentran 0,017 Hg (mg/L), 0,012 0 Hg (mg/L) y 029 Hg (mg/L).
- En el punto 3 se encuentran 0,0038 Hg (mg/L), 0,0029 Hg (mg/L) y 0,0042 Hg (mg/L).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación

La contaminación se denomina a la presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico o biológico nocivos para la salud o el bienestar de la población, de la vida animal o vegetal.

Esta degradación del medio ambiente por un contaminante externo puede provocar daños en la vida cotidiana del ser humano y alterar las condiciones de supervivencia de la flora y la fauna.

2.2.2. Contaminación por el mal uso del mercurio

La amalgamación es uno de los procesos más importantes de la recuperación de oro en la minería artesanal. El oro que bajo diferentes modalidades sea de placeres o vetas se van lavando en platos hasta que el oro que se encuentra presente se precipite al fondo por su peso específico luego se combina con mercurio formando así la amalgama, la cual mediante calentamiento es separada en oro y vapor de mercurio. La sencillez de esta técnica y su buena recuperación de oro favorecen su difusión y aplicación entre los mineros de la zona; sin embargo, los riesgos para la salud y los peligros ambientales de este proceso no son tomados en cuenta.

La toxicidad del mercurio depende fuertemente de la clase de combinación y del estado de oxidación del mercurio, produciendo efectos nocivos en la salud y el medio ambiente.

Las personas dedicadas a la minería artesanal, que hace un mal uso del mercurio se encuentra fuertemente afectadas por intoxicación con este metal porque se alimentan en las proximidades del lugar donde se realiza la explotación; y debido a que consumen peces contaminados por el mercurio arrojado a los ríos.

2.2.3. Exposición al mercurio

Un ejemplo es el uso del mercurio (altamente tóxico) en la minería artesanal. El mercurio se emplea en el proceso metalúrgico de separación del oro y el mineral formando una amalgama, luego es quemado para separar el mercurio en vapor y queda el oro.

En este proceso se exponen al mercurio, quienes realizan el refinado y amalgamación en los quimbaletes; estos trabajadores (muchas veces adolescentes y mujeres), manipulan el mercurio sin guantes ni otra protección,

contaminándose a través de la piel. El relave que queda luego de este proceso, es almacenado y al secar se esparce en el ambiente siendo respiradas las partículas de mercurio por toda la población.

La amalgama es refogada en los lugares donde se compra el oro, esparciendo el vapor de mercurio metálico (que es la forma más contaminante del mercurio) en la vivienda del comprador y el ambiente de la comunidad.

Las mujeres se exponen durante su trabajo en los quimbaletes, donde además manipulan el mercurio sin guantes, este se almacena en las uñas y contamina los alimentos cuando realizan labores de cocina.

La contaminación más importante por causa del mercurio es la emisión a la atmósfera.

El grupo de expertos del mercurio designado por la (Organización Mundial de la Salud), afirma: "El riesgo mayor para la salud humana derivado de la presencia del mercurio en la Naturaleza se centra en la exposición ocupacional a este metal".

2.2.4. Toxicología

2.2.4.1. Definición de toxicología

“Parte de la medicina que se ocupa del estudio y los efectos de los productos tóxicos o venenosos sobre el organismo” (Cano, 2001).

2.2.4.2. Toxicología del mercurio

El mercurio es un metal pesado y su presencia en el cuerpo humano resulta tóxica a partir de ciertos niveles críticos que dependen fundamentalmente, de

un conocimiento de las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta. Asimismo, depende del conocimiento de las variaciones en la exposición, absorción, metabolización y excreción en cualquier situación dada.

Por tanto, siempre que se hable de mercurio en relación a Salud Pública (población general) y Salud Laboral (trabajadores con exposición al mercurio), es necesario tener en cuenta: Nivel de fondo de la zona concreta en estudio (los depósitos de mercurio más importantes están localizados casi exclusivamente en el cinturón Mediterráneo, Himalaya y Pacífico), junto a características geográficas, demográficas, geológicas, climáticas y socioeconómicas.

El mercurio posee una gran variedad de estados físicos y químicos (elemental / inorgánico / orgánico). Así toxicológicamente hablando, el mercurio orgánico y fundamentalmente el metilmercurio poseen una

toxicidad muchísimo más elevada que el mercurio elemental y los compuestos inorgánicos.

Considerar una serie de factores que influyen decisivamente en la toxicidad del mercurio: estado fisicoquímico, vías de penetración en el organismo, metabolismo individual, tasas de excreción y efectos sinérgicos y/o antagónicos de otros agentes. La presente se encuentra en el trabajo Toxicología del Mercurio. Actuaciones Preventivas en Sanidad Laboral y Ambiental del Dr. Santiago Español Cano en el año del 2001.

2.2.4.3. Intoxicación aguda

La ingestión de sales mercuriales ocasiona sed, dolor abdominal intenso, vómito y diarrea sanguinolenta parecida a la de la disentería, de donde proviene la denominación de diarrea disenteriforme. Se

produce una inflamación violenta por efecto directo del mercurio sobre las proteínas celulares, llegando a producir verdaderas escaras blanquecinas rodeadas de una zona de inflamación y edema en la mucosa de la boca, salivación profusa y dificultad para deglutir, lesiones cáusticas en la mucosa gástrica y coloproctitis. La pérdida de líquidos, electrolitos y proteínas por el aparato digestivo es generalmente muy intensa y produce choque que puede llevar a la muerte en horas. Al cuadro intestinal descrito se le agrega la lesión renal típica de esta intoxicación, nefrosis con lesión del túbulo proximal por destrucción celular, manifiesta por albuminuria, cilindruria y oligoanuria. Esta última puede ser total y mantenerse varios días con producción progresiva de uremia que lleva a la muerte si falta un tratamiento eficaz. Cuando hay inhalación masiva de vapores, uno o dos días después sobreviene estomatitis, sialorrea, diarreas, neumonitis y nefrosis. Ciertos compuestos organomercuriales producen un cuadro similar que puede provocar la muerte en estatus

convulsivo. Los efectos directos son ataxia, corea, atetosis, temblores y convulsiones.

2.2.4.4. Intoxicación crónica

"Neurovegetativo" o "Micro mercurialismo" el cual se caracteriza por disminución de la productividad, pérdida de la memoria, sensación de debilidad muscular, cambios de personalidad, estados depresivos y cambios de comportamiento. Otro síndrome es el denominado "Eretismo Mercurial", constituido por un aumento de la excitabilidad, aparición de respuestas anormales a los estímulos, temblor que hace a veces imposible la ejecución de labores, cambios en la escritura que se convierte en angulosa y temblorosa haciéndose ilegible, cuadros delirantes y alucinatorios. El temblor intencional, predominantemente en dedos, párpados y labios, es un signo que se evidencia en pacientes expuestos a vapores de mercurio. La intoxicación grave produce

con frecuencia defectos del habla, especialmente de pronunciación. Otros signos neurológicos son el rubor, el aumento de la transpiración y el dermatografismo. Es frecuente la gingivitis crónica con ribete mercurial, que puede conducir a pérdida de los dientes. En un grado alto de intoxicación puede ser mortal o producir daños pulmonares o cerebrales permanentes, también ocasiona ardor de estómago, diarrea, vómitos con sangrado y reflujo gastroesofágico tal como lo vemos en la Tabla 1.

Tabla 1. Estructura química del mercurio

Estructura química	Nombre
Hg^{2+}	Mercurio divalente
Hg^0	Mercurio metálico
$C_6H_5Hg^+$	Fenilmercurio
$CH_3OCH_2CH_2Hg^+$	Metoxietilo de mercurio
CH_3Hg^+	Metilmercurio
CH_3HgCH_3	Dimetilmercurio

Fuente: Cano S. (2001)

A partir del sulfuro de mercurio, HgS , mineral denominado cinabrio, el mercurio metálico es separado del mineral a través de un proceso de calcinación en

horno rotatorio a temperaturas que varían entre 500°C y 600°C. (Hruschka, 2001) constató que la producción mundial de Hg era de 4 mil toneladas anuales entre 1900 y 1940. En 1968, la producción llegó a 8 mil toneladas y, en 1973, a 10 mil toneladas. Estas cifras nos muestran que el aumento medio a partir de los años 50 fue de 2 % por año. Al final de los años 70, los problemas ambientales relacionados al uso de Hg comenzaron a ser más evidentes y se dio inicio a un proceso de concientización en varios lugares del mundo que condujo a estabilizar las cifras de producción de este metal y que hoy se orientan hacia la baja. El valor comercial del Hg también bajó ya que el precio de un frasco conteniendo 34,5 kg. de Hg era, en 1966, de US\$ 452, mientras que en 1969 subió a US\$ 510, para luego bajar drásticamente a US\$ 202 en 1972 (Hruschka, 2001).

El Hg viene siendo utilizado para la minería del oro en la formación de la amalgama que ayuda a la separación del metal noble. Para producir 1gr de oro,

son utilizados aproximadamente 2gr de mercurio de los cuales 50 % se queda en los ríos como suspensión en los efluentes. Científicos brasileños demostraron la contaminación grave de los sedimentos de ríos y aguas en las zonas de minería así como contaminación evidente de los peces que son consumidos por la población ribereña. Se observa también el índice elevado de exposición al Hg entre los mineros y los comerciantes de oro, debido, principalmente, a la “quema” de amalgama de Au/Hg, durante la cual se arroja el Hg al medio ambiente en dos momentos diferentes. El primero, se sitúa inmediatamente después de la fase de concentración, cuando el Hg adicionado al mineral es sometido a un dispositivo de madera que remueve las partículas de oro durante el paso del sedimento en el flujo de agua o después de la formación de la amalgama añadiendo el Hg. En ambos procesos se forma un tipo de embalse que retiene el material descartado. La segunda posibilidad de descarga puede acontecer

cuando se “quema” la amalgama y el vapor se volatiliza en sistema abierto o cerrado.

“Una considerable parte del mercurio usado en las actividades antropogénicas termina afectando los sistemas acuáticos. Parte de este Hg retorna a la atmósfera, lo que representa una importante fuente del mercurio atmosférico” (Hruschka, 2001). El mercurio es un metal sumamente tóxico que puede permanecer en el ambiente circundante a las minas durante cien años.

El mercurio es conocido como un tóxico celular porque afecta la acción enzimática activa evitando así la catálisis deseada.

El mercurio ingresa al cuerpo por inhalación de vapores de mercurio; por ingestión de metilmercurio por el consumo de agua, por alimentos contaminados, y por penetración en la piel aunque menos

frecuentemente provoca una acción irritante y a veces cáustica sobre la piel y la mucosa.

Aproximadamente el 80 % es absorbido por los pulmones, una importante cantidad de mercurio se concentra en el riñón, cerebro, hígado, glóbulos rojos de la sangre; es eliminado fundamentalmente por la orina, heces, sudor, saliva, encontrándose también en la leche materna.

La concentración ambiental máxima permitida de mercurio por la Organización Mundial de la Salud es de 0,04mg/m³.

2.2.5. Mercurio elemental

En el caso de los ríos y cuencas fluviales que estén sometidas a explotación minera, de metales como oro y plata,

la mayor cantidad de mercurio que ingresa al cuerpo de agua se hace en forma directa y corresponde a mercurio elemental.

Esta es la especie de partida en que se basa el presente análisis y puede aparecer en diferentes estados de agregación con diferentes grados de movilidad.

2.2.5.1. Mercurio (Hg)

La estructura química del mercurio esta detallada en la tabla 1 en sus diferentes formas las cuales se presentan:

a) Hg no disuelto

- Distribución: Se hace presente en mayor porcentaje en el fondo del canal debido a su alto peso específico.

- Movilidad y transporte: Su movilidad es baja, su transporte se realiza en forma de partículas líquidas y depende de las condiciones de turbulencia y de morfología del río.
- Estado de agregación y forma física: Fase líquida, forma una mezcla bifásica con el agua.

b) Hg adsorbido en sólidos

- Distribución: Se hace presente en mayor porcentaje en el fondo del canal, debido a su interacción inmediata con el sedimento de fondo.
- Movilidad y transporte: Su transporte y movilidad están gobernados por los procesos, convección, difusión, sedimentación y erosión que afectan al sedimento.
- Estado de agregación y forma física: Fase sólida (particulada), se encuentra adherido químicamente a la superficie del sedimento.

c) Hg disuelto

No existe prácticamente bajo esta forma.

d) Hg difundido hacia la atmósfera

- Distribución: Se hace presente en el seno de la columna de agua.
- Movilidad y transporte: Alta movilidad, transporte gobernado por procesos difusivos.
- Estado de agregación y forma física: Fase vapor.
- Transformaciones químicas que sufren cada una de las fracciones de Hg^0 factores mediatizadores:

Todas las fracciones de Hg^0 anteriormente enumeradas están sometidas a reacciones de oxidación dando origen al mercurio divalente, Hg^{2+} . Este tipo de

reacciones (rédox) presenta una cinética más lenta que las reacciones de acomplejamiento y las reacciones ácido-base. Sin embargo, la velocidad de oxidación puede ser incrementada considerablemente en condiciones aeróbicas con presencia de agentes oxidantes como: oxígeno, nitratos, nitritos, hidróxidos férricos, fosfatos férricos, sulfatos, sulfuros, dióxido de carbono y bicarbonato.

2.2.5.2. Mercurio divalente (Hg^{2+})

Aun cuando el Hg^{2+} es mucho más soluble en agua que el Hg^0 , la movilidad del mercurio divalente está íntimamente ligada a los procesos de transformación que este sufre, ya que en aguas naturales no es común la existencia de especies mercuriales iónicas.

a) Hg^{2+} disuelto

- Distribución: El porcentaje más alto se encuentra en el seno de la columna de agua y aparece vinculado a ácidos fúlvicos y húmicos con alto contenido de carbono orgánico (uniones fuertes) y a radicales cloruros e hidroxilos (uniones menos estables) y una cantidad menor se hace presente en el lecho poroso del canal.
- Transporte y movilidad: Los compuestos que forma el mercurio divalente, anteriormente descritos presentan una alta solubilidad y por consiguiente una mayor movilidad en la columna de agua. Están sometidos a proceso convectivos y difusivos.
- Estado de agregación y forma física: Fase líquida, forman una solución con el agua.

b) Hg^{2+} adsorbido en sólidos

- **Distribución:** El porcentaje más alto se encuentra en el seno de la columna vinculado a sólidos suspendidos debido a su alta superficie específica, lo que favorece los mecanismos de adsorción. Estos sólidos pueden ser bióticos (coloides vegetales, coloides de ácidos fúlvicos y húmicos) y abióticos (sedimentos en suspensión con carbono orgánico particulado). Estas uniones también se realizan en el fondo del canal con el sedimento, pero en un porcentaje menor; las condiciones de turbulencia favorecen la deposición o la resuspensión, haciendo que este porcentaje aumente o disminuya.
- **Transporte y movilidad:** Las características de transporte y movilidad están gobernadas esencialmente por el conjunto de procesos que afectan el sedimento, ellos son: convección, dispersión, sedimentación y erosión; siendo

dependientes a su vez de las características hidráulicas del cauce, calidad del agua y diámetro del sólido. Las partículas que se transportan en la columna de agua obviamente presentan mayor movilidad que las partículas del fondo del canal.

- Estado de agregación y forma física: Fase sólida, forman mezcla bifásica con el agua.

c) Hg^{2+} acompañado a S^{2-}

- Distribución: La mayor parte del HgS se encuentra en el fondo del río, debido a que es un sólido de alto peso específico.
- Transporte y movilidad: Presenta características de transporte y movilidad parecidas al sedimento de fondo.
- Estado de agregación y forma física: Fase sólida, forma una mezcla bifásica con el agua.

- Transformaciones químicas que sufren cada una de las fracciones del mercurio divalente y factores mediatizadores:
 - Reacciones de acomplejamiento con ligandos orgánicos e inorgánicos: En ríos, las reacciones de acomplejamiento pueden ser tan rápidas como los procesos de transporte, en el rango de ligandos inorgánicos se encuentran cloruros, hidroxilos y sulfuros formando compuestos de alta solubilidad con los dos primeros, y compuestos insolubles como el HgS con los sulfuros. En términos generales el aumento de la salinidad favorece la formación de HgCl_2 y limita la formación de $\text{Hg}(\text{OH})_2$, mientras que la disminución del pH y ausencia de oxígeno favorecerán la formación de HgS. De todos los metales pesados, el mercurio presenta la constante de estabilidad más alta en sustancias fúlvicas (Hruschka, 2001).
 - Procesos de adsorción: El mercurio divalente puede formar una gran variedad de complejos

superficiales en las partículas presentes en aguas naturales, este fenómeno es ampliamente nombrado en la literatura científica como acomplejamiento superficial, adsorción, vinculación de metales en partículas y remoción de metales por partículas. El acomplejamiento superficial en las partículas es análogo al de la fase acuosa.

Las partículas pueden ser clasificadas por su tamaño y su naturaleza. Las partículas de tamaño en el orden de 1 mm corresponden a la carga lavada del río, son estables en suspensión, corresponden en su mayoría a limos y arcillas, presenta grupos funcionales OH^- en su superficie y la adsorción se hace por intercambio de H^+ .

Las partículas superiores a 4 mm son transportadas en suspensión, pero pueden

sedimentar fácilmente, estas partículas incluyen algunas algas donde existe intercambio iónico, detritos orgánicos con grupos funcionales carboxílicos y fenólicos, calcitas, donde se forman complejos de carbonato y existe precipitación, óxidos ácidos (FeOOH y MnO_2) donde existe donación de átomos de oxígeno y cuarzo con superficies oxidadas donde el mercurio forma películas recubridoras (Hruschka, 2001).

Los factores más importantes que favorecen la adsorción son el aumento en la superficie específica de las partículas y condiciones de pH alto.

El acomplejamiento de las trazas de mercurio en ambientes acuáticos es un proceso bastante particular.

Desde el punto de vista tradicional existen dos tipos generales de acomplejamiento, el acomplejamiento débil, que se lleva a cabo por competencia iónica y donde la fracción del metal y la fracción que contiene vínculos de carbono son consideradas químicamente disponibles, es común en los procesos bióticos. Por otra parte se encuentra el acomplejamiento fuerte, en el cual el vínculo formado por el metal solo puede ser roto en procesos químicos no naturales, los ligandos son extraídos comúnmente de óxidos ácidos reducibles, en este tipo de complejos el metal es considerado no disponible químicamente; no obstante, estos complejos poseen una estabilidad considerablemente fuerte frente a los complejos de otros metales pesados, siendo casi irreversibles en condiciones naturales, considerando en este caso al mercurio no disponible.

Metilación: Además de reacciones de reducción donde se forma nuevamente el HgO, las especies de mercurio divalente pueden sufrir varios procesos de metilación, transformándose en *monometilmercurio* y *dimetilmercurio*, estos procesos se basan principalmente en actividad bacteriológica.

En las aguas de los relaves también se encuentran metales pesados diversos especialmente hierro como pirita material de desecho, manganeso que es un mineral de ganga produciéndose diversas reacciones en el agua como aguas acidas.

El mercurio metálico depositado en los sedimentos es transformado en compuestos órgano metálicos por acción de una bacteria anaeróbica llamada *metanobacterium amelanskis* las sustancias formadas que son

Clorometilmercurio; *hidroximetilmercurio*; *dimetilmercurio* son absorbibles por los seres humanos y esto permite su entrada en las cadenas alimenticias, su concentración en los peces y los consecuentes daños a la salud.

El mercurio es el metal más peligroso y tal como se indica anteriormente tiene un ciclo completo porque la contaminación que se produce por este metal está presente en el agua – suelo – aire - sedimentos – biota constituyéndose en uno de los metales más tóxicos en la litósfera, hidrósfera, atmósfera y biósfera.

Por otra parte es necesario hablar sobre la minería artesanal ya que esta es generadora de la contaminación por mercurio y otros metales pesados no solo por el volumen que produce sino por la informalidad, desarrollos

artesanales no productivos, ilegalidad, deficiencias técnicas y jurídicas.

La minería artesanal o también llamada la minería pequeña tiene carácter universal ya que estas se presentan en todo el mundo y en países como Canadá, Colombia, China, Ecuador, Inglaterra, Chile, Perú y muchos del África y de acuerdo a estadísticas se puede indicar que por lo menos 15 a 20 millones de personas se dedican a este tipo de actividad en todo el mundo. Como indicamos este tipo de minería por su poca implementación técnica y en algunos casos sin implementación, sin respaldo del Estado es el que produce la mayor contaminación por mercurio.

2.2.5. Minería artesanal e informal

La actividad minera artesanal es una labor de subsistencia cuyo fin es el mantenimiento familiar, a través de ella se realiza la extracción y beneficio de sustancias auríferas, excluyendo los materiales industriales y de construcción, dentro del límite de capacidad establecido por las normas legales mineras vigentes.

La importancia social y económica de la minería artesanal ha sido reconocida por el Estado Peruano a través de la promulgación de la Ley N° 27651 de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal (2002) Esta norma tiene vital importancia porque establece los criterios básicos que permiten a las personas que se encuentran desarrollando la actividad minera de manera informal (productores mineros informales) como medio de sustento económico, formalizarse y convertirse en Productores Mineros Artesanales (PMA) ya sea como titulares de áreas libres o como contratistas en la nueva modalidad de acuerdos

de explotación minera con los titulares de concesiones mineras, donde se encuentra su centro de operación minera.

La minería artesanal es una actividad económica que se desarrolla en yacimientos, donde la minería convencional no es necesariamente rentable o viable. Utiliza tecnologías sencillas que reflejan el gran potencial de esta actividad para la generación de empleo, reducción de la pobreza y obtención de divisas e ingresos fiscales para el país.

En las regiones de Madre de Dios, Puno, Ica, Arequipa y La Libertad, la minería artesanal es la actividad económica principal y, en muchos casos, permanente en la mayoría de familias que obtienen ingresos de parte de ella. En las regiones productoras de oro, el ingreso mensual que obtiene un trabajador puede alcanzar los US\$ 360, monto superior a los salarios mínimos, como por ejemplo (Ministerio de Trabajo-Perú), que es de 750 nuevos soles, es por esto que muchas personas se dedican a la informalidad y trabajan en zonas donde no existen condiciones básicas de vivienda y salubridad,

condiciones básicas de vida como agua, desagüe, electricidad, etc, o en condiciones de extrema pobreza.

2.2.6. Principales características de la minería artesanal e informal

- La minería artesanal es una actividad productiva desarrollada de manera individual o en grupos pequeños. Al ser una actividad de sustento, carece de organización empresarial.
- Por lo general, los mineros artesanales ocupan ilegalmente zonas de concesiones mineras. Aunque en muchos casos los mineros artesanales han sido los primeros en explotar algunas zonas auríferas. Su desconocimiento respecto a los procedimientos legales a seguir para obtener una concesión, ha permitido que terceras personas obtengan los derechos de explotación minera. Los conflictos entre propietarios legítimos y explotadores informales es una característica recurrente en varios centros mineros.
- Los mineros artesanales no cumplen con las obligaciones de ley, y es un hecho que buena parte de las comunidades

dedicadas a la minería artesanal desarrollan esta actividad de manera informal, ya sea por falta de información básica necesaria para iniciar su proceso de formalización, o por lo engorroso que puede resultar dicho trámite.

- La minería artesanal genera impactos ambientales negativos tanto en la etapa de explotación como en la etapa de beneficio, debido a la ausencia de alternativas técnicas. En la etapa de explotación abandonan los desmontes (material estéril) sin mayor cuidado, y en la etapa de beneficio existe un mal uso, manejo y transporte de sustancias altamente contaminantes tales como mercurio y cianuro.
- Utilizan tecnologías y prácticas ambientales sumamente riesgosas. La mayoría de sus plantas artesanales son construidas en forma empírica sin contar con asesoramiento técnico alguno. Esto impide llevar a cabo una explotación racional de los recursos y obtener una mejor recuperación del mineral.
- Los mineros artesanales realizan una explotación irracional del recurso minero. Por lo general, siempre explotan solo el mineral de más alta ley con poca dilución para no

incrementar sus costos, y de esa manera reducen el tiempo de vida del yacimiento minero. En las comunidades mineras ubicadas en áreas rurales no existe mayor presencia del Estado. Esto contribuye a la informalidad ya que la ausencia de autoridades del sector no permite orientar a los mineros artesanales en el cumplimiento de las normas ambientales y de seguridad. La explotación minera artesanal conserva aún el status de actividad informal. La inestabilidad jurídica bajo la cual se desarrolla constituye uno de los principales causantes de la contaminación ambiental y de otros varios problemas socioeconómicos. El uso de sustancias altamente tóxicas como el mercurio y el cianuro (sustancias empleadas como insumos en el beneficio del mineral aurífero, durante los procesos de amalgamación y cianuración respectivamente) carece de medidas mínimas de seguridad. Teniendo en cuenta que la minería artesanal constituye un estrato importante en la producción.

2.2.7. Contexto y factores socioeconómicos y ambientales que influyen en la minería artesanal e informal

La minería artesanal está orientada exclusivamente a la explotación de depósitos aluviales de oro. Se explota realizando galerías mal diseñadas siguiendo el rumbo de la veta para no elevar los costos. La actividad minera artesanal que desarrollan los comuneros o pequeños mineros artesanales como ya se dijo anteriormente es un medio de sustento porque se explota solo a pequeña escala y con equipos bastante básicos o rústicos.

Es necesario educar a todas las personas dedicadas al rubro de la minería artesanal para que conozcan con mayor detenimiento el marco legal minero.

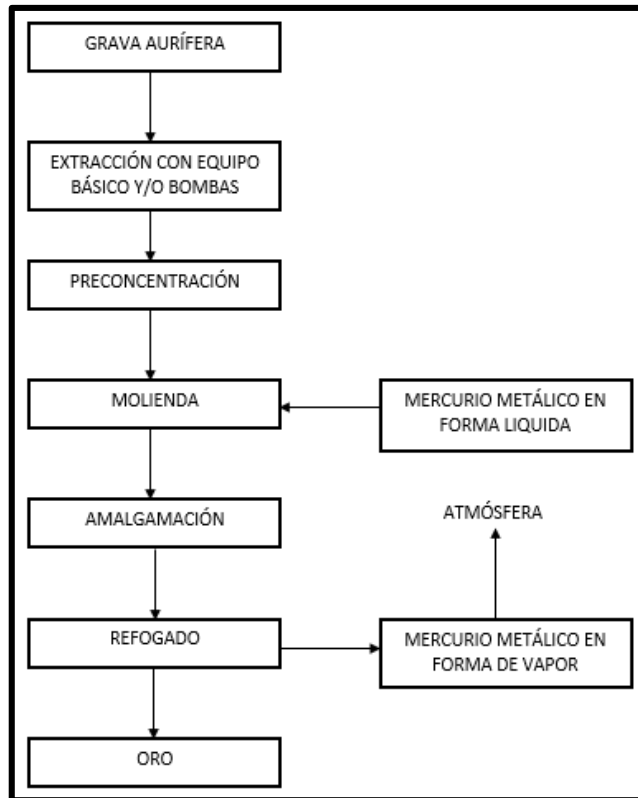


Figura 2. Diagrama de flujo de la obtención del oro aluvial

Fuente: Elaboración propia

Existe un desconocimiento del procedimiento ordinario para la solicitud de derechos mineros de acuerdo a las normas legales vigentes, así como de las etapas de la actividad minera como son: prospección o cateo, exploración, preparación, desarrollo, explotación, beneficio, refinación y comercialización (ver Figura 2).

2.2.8. Explotación minera artesanal e informal

La explotación minera artesanal e informal es producto de los siguientes aspectos:

- La recesión económica y el aumento de desempleo, que originaron una fuerte presión migratoria a las zonas mineras abandonadas; por ejemplo, en el Perú, en el sur medio (Ayacucho, Arequipa, Ica) Puno y Madre de Dios fueron zonas de migración intensiva durante los ochenta.
- La crisis de la agricultura que obligó a muchos agricultores a complementar sus actividades agrícolas con las actividades mineras temporales. Con el tiempo, la minería artesanal se convirtió en la fuente principal de ingresos.
- La violencia terrorista, sobre las empresas mineras privadas nacionales y extranjeras, causó el cierre de las mismas, incrementando el desempleo. Las unidades operativas mineras quedaron en abandono, siendo ocupadas por algunos productores mineros informales.

- El precio de los metales que como el oro subieron considerablemente, siendo reactivadas algunos yacimientos abandonados en zonas de difícil acceso.

2.2.9. Características de la minería artesanal e informal

Las principales características de la actividad minera artesanal e informal son:

- Se desarrolla en concesiones mineras ocupadas ilegalmente.
- Utiliza herramientas simples y manuales.
- No cumple con las obligaciones de ley.
- Se utilizan tecnologías y prácticas ambientales inaceptables.
- Explota irracionalmente el recurso minero. Origina impactos ambientales negativos, tanto en la etapa de explotación, como en la del beneficio.
- Genera conflictos entre informales y los titulares mineros.
- Crea incertidumbre e inseguridad jurídica.

- La actividad productiva es desarrollada de manera individual o en pequeños grupos.
- Existe incorrecta utilización del mercurio y del cianuro.
- Hay desconocimiento de alternativas técnicas.

2.2.10. Medio ambiente

De acuerdo a la Ley N° 27651 de formalización y promoción de la pequeña minería y minería artesanal e informal, el inicio o reinicio de actividades mineras por parte los pequeños productores mineros y mineros artesanales, está sujeto a la presentación de la Declaración de Impacto Ambiental o Estudio de Impacto Ambiental semidetallado, según sea su caso, para la obtención de la Certificación Ambiental referida en la Ley N° 37446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El centro minero La Rinconada se encuentra ubicado a 210 km de distancia de la ciudad de Juliaca-Puno, en la cordillera oriental del Perú y a 20 °C bajo cero. El acceso por vía terrestre, desde la ciudad de Juliaca, es mediante carretera afirmada a Putina - Ananea – La Rinconada.

La Rinconada es un centro minero artesanal ubicado a 5, 400 msnm. En este lugar habitan unas 50 mil personas, donde

el 83,3 % se dedican a la minería y el resto a actividades comerciales para su desarrollo y supervivencia en la zona.

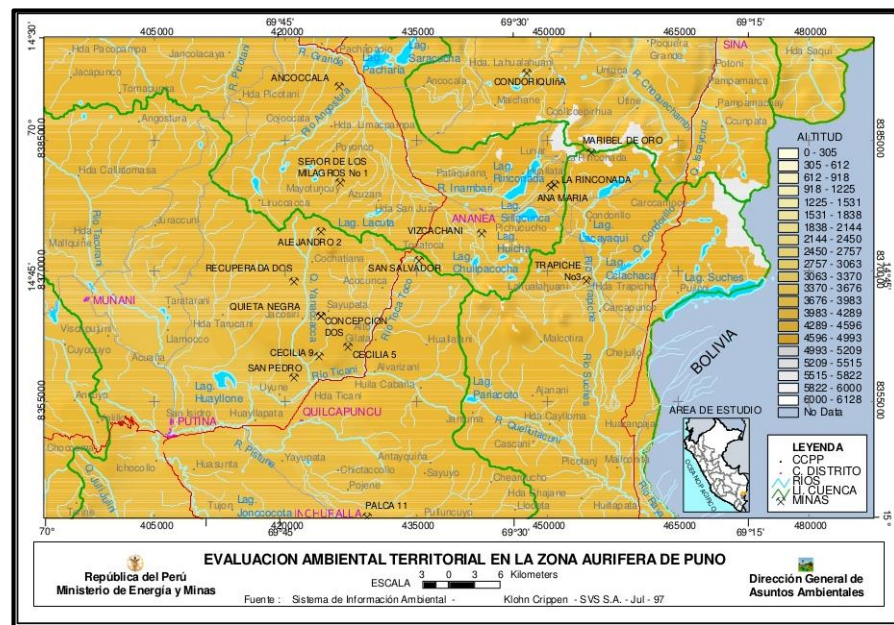


Figura 3. Ubicación de la Rinconada y La Laguna la Rinconada

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

La laguna La Rinconada se encuentra ubicada en el departamento de Puno, Provincia de San Antonio de Putina, Distrito de Ananea con una Latitud de -14.65 y una Longitud de -69.4833 tal como podemos apreciarlo en la Figura 3. Está ubicado aproximadamente a 5 600 msnm.

Geográficamente se desarrolla entre los paralelos 14°03' y 15°24' de Latitud Sur, y los meridianos 71°07' y 69°34' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. Así podemos apreciarlo en su vista satelital según nos muestra la Figura 4.



Figura 4. Ubicación satelital de la Laguna la Rinconada

Fuente: Google Earth.com

3.1.2. Clima

Situada en los Andes, La Rinconada tiene un clima inusual de tundra alpina. La ciudad cuenta con veranos húmedos e inviernos secos y fríos a temperaturas frías durante

todo el año, con nevadas frecuentes. La temperatura media anual de La Rinconada es de 1,3 °C y la precipitación media anual es de 707 mm.

3.1.3. Población

El incremento del precio del oro en un 235 % entre 2001 y 2009 provocó un fuerte crecimiento en la población local, que alcanzaba los 30 mil habitantes en el año 2009. Actualmente tiene cerca de 50 mil habitantes.

La producción de residuos sólidos es de 0,54 kg/d/habitante, solo se recolecta el 10 %, el resto es acumulado en todo el poblado. El hacinamiento se da en 78 % de los casos, la mayoría con viviendas de calamina de menos de 10 m². El centro de salud cuenta con ocho servidores, siendo insuficiente para la atención. La participación y vigilancia ciudadana no es preocupación de sus pobladores. Se requieren intervenciones para evitar daños a la salud que condicionan los riesgos encontrados (ver Figura 5).



Figura 5. Acumulación de basura y aguas servidas en la calle

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

El Perú es un país minero por excelencia, y en Puno, en particular, es conocida su riqueza minera desde el milenio pasado evidenciado por el desarrollo orfebre de las culturas que habitaron sus tierras. El centro poblado La Rinconada, es el centro poblado permanente más alto del mundo donde se dedican a la minería artesanal desde mediados del siglo anterior. Por otro lado, es un caso emblemático no solo por su altitud y las dificultades para la vida que ello implica; sino porque estudios previos han señalado la variedad de problemas ambientales, principalmente por la actividad artesanal. La minería artesanal de oro en La Rinconada, es una

actividad que toma gran impulso a partir de los años 80, en un contexto de precios altos de este metal, alimentada por procesos migratorios, generados por la recesión económica, la crisis de la agricultura y la violencia política.

3.1.4. Ausencia de agua potable y servicios de desagüe

El 89 % de la población de la mina la Rinconada consume agua proveniente del lago Kumuni, en las inmediaciones de la mina, la cual sin que tenga el tratamiento de potabilización es trasladada mediante cisternas y tuberías aéreas y terrestres hasta los tanques que funcionan a modo de surtidores de agua para la venta a la población. El resto de la población se abastece del agua proveniente del deshielo de la zona denominada Riticucho. Ambas fuentes presentan niveles de contaminación, por la falta de salubridad, el 80 % de la población manifiesta malestares estomacales.

En relación a servicios básicos, la Rinconada cuenta con solo diez servicios higiénicos de uso público, llamados así los silos rústicos que vierten sus desechos a socavones mineros o huecos aperturados a baja profundidad debido al macizo rocoso en que se encuentra el asentamiento minero de la Rinconada. Cada servicio cuenta con tres a ocho silos individuales, haciendo un total de aproximadamente 60 silos, los cuales son insuficientes para sus 50 mil habitantes (ver Figura 6).



Figura 6. Abastecimiento de agua de La laguna contaminada de Kumuni

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

En la Tesis “Evaluación Ambiental y Programas de Remediación de la Cuenca Alta del río Ramis” presentado por Lobato, A. 2013, para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Minería y Medio, se realizó un nuevo estudio de toda la zona de la cuenca del río Ramis del punto de muestreo 2 la cual es La laguna la Rinconada se observan minerales pesados existentes (ver Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de análisis de minerales en La laguna la Rinconada

Parámetros	1996	2010	ECA-4		
PH	6,5	6,2	6,2	7,2	6,5-8,5
Conductividad (us/cm)	50	60	60	80	
Turbidez(NTU)	4,6	2,4	2,7	4,9	
T(°C)		11,2	14	3,08	
Sulfatos(mg/L)	16,89	9,67	13,14	198	
SST(mg/L)	14	24	28	0,0011	<=25
SDT(mg/L)	12	48	52	0,025	500
Fe(mg/L)	0	0,023	0,008	60	
Zn(mg/L)	0	0,019	0,014	0,398	0,03
Cu(mg/L)	0,001	0,001	0,002	0,0011	0,02
Mn(mg/L)	0,001	0,014	0,002	0,027	
Pb(mg/L)	0,005	0,002	0,002	0,0025	0,001
Cd(mg/L)	0,001	0,0003	0,0003	0,01	0,004
As(mg/L)	0,0037	0,0067	0,0057	0,0005	0,01
Hg(mg/L)	0,017	0,012	0,029	0,004	0,0001

Fuente: Tesis de Lobato Flores

3.1.5. Condiciones de las viviendas

La condición de habitabilidad urbana en La Rinconada para su categoría de un centro poblado es caótica, a pesar de contar con una población estimada cercana a los 50 mil habitantes a finales del 2015. Se registra hacinamiento en el 78 % de los casos, 88 % de las familias habitan en espacios de 4 m² a 10 m², en viviendas rústicas de pared, madera y techo en calamina tal como podemos apreciarla en la Figura N°7.



Figura 7. Calles de La Rinconada

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

3.1.6. Residuos sólidos y salud ambiental

La producción de residuos sólidos es de 0,54 kg/d/ habitante, siendo la recolección municipal de 10 %. Basura acumulada en torno al centro poblado.

La disposición de basuras por las familias se realiza a campo abierto, acumulándose en las inmediaciones de La Rinconada, siendo una fuente de proliferación de vectores, que genera olores nauseabundos, contamina y afecta la calidad del suelo, agua y aire.

- Agua para consumo humano: En vista de que las aguas para consumo humano son abastecidas por red pública de la población de las localidades Crucero, Carlos Gutiérrez, San Antón, Azángaro, Samán y Taraco, se compararán con los valores de la Guía para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud.
- Para la evaluación detallada de la calidad sanitaria de estas aguas de los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Ramis y afluentes, se establecieron 21 estaciones de

monitoreo para determinar los agentes ambientales que pudieran estar afectando al recurso hídrico y teniendo los siguientes resultados obtenidos por DIGESA (ver Figura 8).

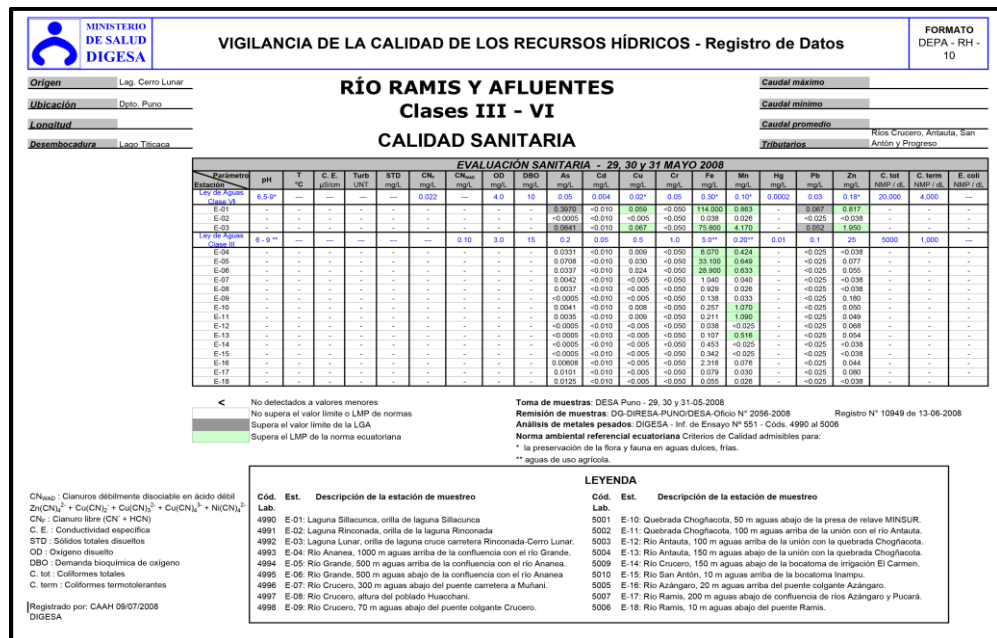


Figura 8. Vigencia de la calidad de los recursos hídricos

Fuente: DIGESA

3.1.7. Servicios de salud

En el año 2015 el único Centro de Salud de este centro minero contaba con pocos trabajadores, siendo insuficiente para la atención, indudablemente, la categoría de un centro

poblado con que se nomina al centro minero artesanal la Rinconada, no permiten una adecuada atención a las necesidades que requiere una población de 50 mil habitantes, según nuestra percepción esto refleja el abandono del gobierno central en salud ambiental, percibiéndose en varias formas de exclusión (ver Figura 9).



Figura 9. Acumulación de basura

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

3.1.8. El uso de mercurio

Los riesgos de salud pública por contaminación ambiental alcanzan niveles críticos por el cambio en el proceso de

recuperación del oro, debido al incremento exponencial del uso de mercurio y cianuro; antes del año 2004 todo el proceso de separación del oro se realizaba utilizando el quimbalete, en el cual se molía un balde de 35 kg en 8 horas con el uso de 0,5 kg de mercurio. Ahora se utiliza el molinete eléctrico, con el cual se muele la misma cantidad de material mineral con el uso de la misma cantidad de mercurio en una hora, es decir un incremento de uso de mercurio en ocho veces.

El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio para amalgamar el oro ocasiona que grandes cantidades de esta sustancia se pierdan y se viertan al medioambiente en forma líquida o se emanen sus gases libremente, siendo el principal problema de contaminación ambiental en la Rinconada, como consecuencia de la actividad minera. El mayor problema es de contaminación ambiental generado por la minería informal por 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 de más de 50 mil habitantes.

Debido a la deficiente tecnología en la recuperación del oro por refogeo y lixiviación por cianuro, más del 50 % del mercurio usado se libera al aire y se precipita en las zonas inmediatas y fuentes de agua; se encontraron altos niveles de mercurio en sangre en todos los miembros de las familias que habitan en las casas donde se quema la amalgama. Las fuentes de agua derivan en el río Ramis que acarrea los relaves mineros al lago Titicaca evidenciaron la contaminación mercurial en peces que habitan en las aguas del Titicaca y del río Ramis.

La actividad minera es uno de los más importantes medios con que cuenta el Estado para el desarrollo económico y mejoramiento del bienestar social del país.

Los depósitos fluviales se encuentran generalmente a lo largo del cauce del río Ramis y de sus tributarios en la parte alta, como es frecuente en este tipo de depósito, las mayores concentraciones de oro se presentan en:

- La base de los lentes o bancos de grava arenosa o arena gruesa.
- Las zonas de cambios bruscos de pendiente.
- Las curvaturas internas de los canales y paleocanales, barras en Punta.
- Conos de deyección de los afluentes del Ramis.
- La confluencia de pequeños ríos o cursos de agua.

Así, los sedimentos provenientes de la Cordillera Oriental poseen oro en tenores que superan $0,1 \text{ (g/m}^3\text{)}$ y alcanzan en varios sectores valores de $0,3$ a $0,5 \text{ (g/m}^3\text{)}$; además tienen casiterita, Wolframita y sulfuros de Fe y Cu como minerales accesorios. Procesos de dispersión y concentración del oro en Ananea durante el cuaternario ocurrieron varias glaciaciones que erosionaron las rocas existentes en el flanco oeste de la cordillera Oriental, comprendida en las latitudes de los antiguos derechos especiales de Ananea (aproximadamente 40 km de longitud). Los procesos de glaciación arrancaron y transportaron el

material rocoso de la formación Ananea, y lo depositaron en el valle de Carabaya bajo la forma de las morrenas que conocemos actualmente.

3.1.9. Relieve

El relieve se caracteriza en general por presentar una zona de valle, lecho de río pedregoso de la cuenca, de pendiente moderada, por lo que se producen inundaciones en épocas de avenidas. Existe cobertura vegetal (80 %) con predominio de gramíneas y arbustos por la humedad.

3.1.10. Fisiografía

La fisiografía del área de la cuenca del río Carabaya-Ramis ha sido definida por los movimientos tectónicos que lo han afectado a lo largo de todos los ciclos orogénicos. Particularmente la región del altiplano ha sufrido una evolución

estructural reciente, con fenómenos de levantamiento y vulcanismo.

3.1.11. Geomorfología

El estudio geomorfológico consiste en la evaluación de los diferentes componentes y procesos que existen en el ecosistema o ámbito de influencia del área en estudio, en la cual existen unidades geomorfológicas muy variables, producidas por agentes geotectónicos, depositacionales y erosivos, ocurridos a lo largo de la historia geológica del ámbito en estudio.

3.1.12. Unidades geomorfológicas

Dentro del ámbito del proyecto se han identificado las:

- Planicies: Son ambientes amplios cuya depresión es originado por procesos orogénicos y denudación. Presenta una morfología plana debido a la influencia

sucesiva de la actividad fluvial y glacial. Está constituido por:

- **Terraza Fluvial:** Es una geofoma de superficie plana y de origen fluvial, se encuentra limitando el cauce fluvial de los ríos que integran la cuenca del Ramis y que están en el área de influencia del estudio, pudiendo mencionar entre los principales al río Azángaro.
- **Superficies Plano – Onduladas:** Constituyen superficies planas inclinadas ubicadas en la base de las laderas con pendientes moderadas, compuestos por una interestratificación de cantos rodados, gravas y arenas con limos.
- **Valle Fluvio–Glacial:** Esta unidad geomorfológica se caracteriza por su topografía de plana a ondulada, cuya diferenciación tanto de origen como de forma está dada por el relieve.
- **Colinas:** Son unidades cuya altura se encuentra entre los 80 y 300 msnm, se caracterizan por tener pendientes de moderadas a empinadas, entre 15 % y 50 % y con algunos procesos erosivos en sus laderas.

- Montañas: Esta unidad geomorfológica se encuentra conformada por montañas, que en su mayor parte sobrepasan los 300 msnm, se encuentra constituida por rocas sedimentarias meteorizadas, cuya litología dominante es la arenisca que presentan poca estabilidad.

3.1.13. Hidrología

Nace en las cercanías del nevado Ananea Grande y la laguna La Rinconada a 5828 msnm, con el nombre de río Carabaya. Durante su recorrido recibe diversos nombres de acuerdo al lugar.

3.1.14. Descripción del medio biológico

a) Flora:

La vegetación existente es variada, según los pisos altitudinales, condiciones climáticas y topografía, la composición florística está caracterizada por la presencia

de especies arbóreas, arbustivas, predominando la vegetación herbácea con asociaciones conspicuas denominadas pastizales. Se observa un predominio de las plantas forrajeras destacando las familias de las gramíneas, leguminosas, ciperáceas, juncáceas entre otras.

b) Fauna:

Las aves, residentes y migratorias, constituyen la fauna más atractiva de la zona. Se encuentran más de 60 especies, entre las que destacan el zambullidor del Titicaca (*Centropelmamicropterum*), el Yanavico (*Plegadisridgwayi*), el cormorán (*Phalacrocoraxolivaceus*) y el totorero (*Phleocryptesmelanops*). Como representantes de las familias residentes existen patos (*Anatidae*) y chocas (*Rallidae*), mientras que de las familias migratorias se encuentran chorlos (*Charadriidae*), playeros (*Scolopacidae*) y flamencos (*Phoenicopte-ridae*). Existen cuatro diferentes familias de peces y sólo del género *Orestias* se han identificado 40 especies. Podemos

mencionar a las especies nativas como carachis (*Orestias*spp) y suche (*Trychomicterus rivulatum*).

c) Fauna Piscícola de Altiplano Nombre común Nombre científico Especies introducidas:

Pejerrey, Trucha arco iris, Trucha marrón, Trucha salmón, Trucha arroyo, *Basilichtys bonariensis*, Salmón *gairdneri*, Salmón trutta, *Salvelinus namaycush*, *Salvelinus fontinalis*.

3.1.15. La actividad minera

En La Rinconada son más de 4 mil mineros que trabajan sin ninguna relación contractual con los contratistas. Se mueven en base al sistema denominado cachorro, que es sui géneris en la relación laboral por su utilización desde tiempos ancestrales y porque además no está legislado.

3.1.16. Minería

En la Cuenca Alta del río Ramis las operaciones mineras de los pequeños mineros artesanales e informales utilizan el método de explotación a cielo abierto, formando bancos (tajos) cada vez más grandes y profundos hasta que se extrae todo el mineral de valor económico por este método. La geometría final de esta excavación se determina antes de comenzar la operación minera.

3.1.17. Actividades de la minería formal e informal, pequeña minería, minería artesanal

Las empresas mineras en el río Ramis son: Minera Ananea; Ana María; San Antonio de Putina; Cemento Sur S.A.; Cemento Sur Caracoto San Román; Minería Carabaya S.A; Santa Lucía Carabaya Puno; Minería Carabaya S.A. Quenamari Carabaya Puno; Minería Los Rosales S.A. Conc. Los Rosales: Vilque

Chico; Huancané; MINSUR San Rafael Antauta
Melgar: Minera Regina S.A. y otros. Minera Aurífera
Ana María Sus actividades se concentran en los
parajes denominados La 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, tratando de
seguir la parte más rica del manto y dejando de tratar
áreas mineralizadas de baja ley. La planta de beneficio,
diseñada para tratar minerales auríferos, tiene una
capacidad de 30 t/d, comprendiendo las etapas de
chancado y molienda, concentración gravimétrica y por
flotación, y la recuperación del producto por
amalgamación y fusión del oro obtenido. La amalgama
cargada es llevada a una retorta para volatilizar y
recuperar el mercurio, obteniéndose oro refogado con
una ley de 90 %, que es refinado en un horno de crisol
para obtener el producto final de proceso, oro de alta
pureza. Los relaves del proceso de flotación son

depositados en una cancha que se ubica al pie de la planta, siendo la tasa generada de 10 000 toneladas anuales. Los desmontes se producen en relación de 10 a 1 con el mineral, es decir, la relación D/M=10/1.

3.1.18. Actividad minera informal

La actividad minera informal se da en el nevado de Ananea, en las zonas de Lunar de Oro y La Rinconada. Alrededor de 50 mil personas se encuentran involucradas directa o indirectamente en esta actividad. Los avances de minado se dan en forma incontrolada, no existiendo ningún tipo de planeamiento de minado, ni de corto ni de mediano plazos. El principal impacto en el ambiente está asociado a la amalgamación con mercurio y 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 La Rinconada así como la potencial inhalación

de mercurio durante el refogado de la amalgama. En La Rinconada se consume 0,5 kg de mercurio por quimbalete, lo que da un total de 175 kg de mercurio por cada 400 kg de oro producido. Luego el asentamiento informal es el mayor contaminante, Los equipos artesanales para molienda están compuestos por unos 500 quimbaletes que están diseminados aproximadamente en 45 hectáreas del denuncia, constituyendo cada uno de ellos un foco de emisión de sustancias contaminantes. Varios quimbaletes se ubican dentro de las viviendas en la cabecera de la cuenca alta del río Ramis zona minera Cerro Lunar La actividad de refogaje de la amalgama de oro-mercurio la realizan aproximadamente unas 5 mil viviendas, siendo cada una de las un foco emisor de vapores de mercurio, óxidos nitrosos y sulfurosos. Las descargas de agua de esta zona presentan un color rojo ladrillo. A continuación, se presentan las causas para que se genere la minería informal:

- Inadecuado uso y aprovechamiento de los recursos naturales.

- Inadecuados métodos de exploración y explotación minera.
- Carencia de estudios de preinversión para las fases de exploración y explotación de minas.
- Limitada presencia del Estado en las actividades mineras de los pequeños mineros y los mineros artesanales, formales e informales.
- Escaso conocimiento de la normatividad ambiental de los pequeños mineros y mineros artesanales.

San Antonio de Poto Existen trabajadores mineros informales en la zona, los que están agrupados con cooperativas llamadas: Señor de Ananea, San Juan de Dios, Santiago, El Dorado y el Halcón con un promedio de 50 trabajadores cada una que obtienen 6 g de oro por persona al mes en el lado que desemboca al desaguadero de la laguna La Rinconada (bofedales) y 20 g 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 cauce de descarga de la laguna Rinconada, habiendo creado una área muy extensa con los desmontes y relaves expuestos al aire libre y formando 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 de descarga de la laguna. El distrito minero de Ananea (Ananea – Rinconada – Cerro Lunar) se encuentra emplazada en el ramal oriental de los Andes del Sur del Perú, en el flanco occidental de la Cordillera de Apolobamba. Teniendo como coordenadas geográficas en latitud sur $14^{\circ}41'$, longitud oeste $69^{\circ}32'$, a 205 km al noreste de la ciudad de Puno. La altitud media del poblado minero la Rinconada oscila de 4800 a 5200 msnm, con aproximadamente 27 mil pobladores en un área de 10 hectáreas.

En los yacimientos primarios, la explotación suele ser eminentemente desde manual a semimecanizada, 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.

En los yacimientos, se derriba el material aurífero con uso de explosivos y equipos mecanizados como cargadores frontales, volquetes y el tratamiento se realiza en plantas semimecanizadas consistente en tolvas, tromeles y en canaletas enrielladas. 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.

3.1.19. El mercurio y la salud de la población

Los riesgos de salud pública por contaminación ambiental alcanzan niveles críticos por el cambio en el proceso de recuperación del oro, debido al incremento exponencial del uso de mercurio y cianuro, antes del año 2014 todo el proceso de separación del oro se realizaba utilizando el quimbalete, en el cual se molía un balde de 35 kg en 8 horas con el uso de 0,5 kg de mercurio. Ahora se utiliza el molinete eléctrico, con el cual se muele la misma cantidad de material mineral con el uso de la misma cantidad de mercurio en una hora, es decir un incremento de uso de mercurio en ocho veces.

El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio para amalgamar el oro ocasiona que grandes cantidades de esta sustancia se pierdan y se viertan al medioambiente en forma líquida o se emanen sus

gases libremente, siendo el principal problema de contaminación ambiental en la Rinconada.

3.1.20. Enfermedad y muerte

Según la toxicología, el mercurio genera varias enfermedades y síntomas las cuales comparamos con los cuadros estadísticos de las enfermedades más frecuentes, enfermedades no mortales y el cuadro de muertes de la Rinconada y vemos que el mercurio es la principal causa de enfermedades y muerte.

3.1.20.1. Enfermedades por mercurio

El mercurio ocasiona dolores de cabeza, cólicos, náuseas y vómitos las cuales son las enfermedades más frecuentes según tenemos en la Tabla 3, la cual es un cuadro de salud de los mineros informales

Tabla 3. Enfermedades más frecuentes en la Rinconada

Salud de los mineros informales		
Nº	Descripción	%
1	Dolores de cabeza	33
2	Cólicos	13
3	Náuseas y vómitos	26
4	Enfermedades reumáticas y artritis	26
5	Enfermedades de transmisión sexual	2
6	TOTAL	100

Fuente: Informe interno del Centro de Salud la Rinconada (2014)

En La Rinconada no hay presencia del Estado. Se vive en la total informalidad. Existen por doquier pequeños negocios entre tiendas, servicios, pollerías y cantinas. Hace un año los denominados karaokes y prostíbulos existían en una cantidad aproximada de 150 y fueron cerrados por la furia colectiva de mujeres y mineros de buen vivir. El gobernador del centro poblado, Lucio Cáceres, afirmaba que: “Es difícil controlar a tantas cantinas, las cerramos constantemente y al día siguiente las vuelven a abrir, hace falta presencia policial para poner orden”. Además, el consumo del licor ha generado otros problemas como riñas callejeras y violencia familiar, en su modalidad de maltrato físico y psicológico a la mujer y a los niños, seguido por infidelidad y separación de parejas.

En vista de que en la Rinconada no hay presencia del estado sobre la contaminación atmosférica del mercurio todo informe es interno en lo cual indica que los pobladores de la Rinconada están en una contaminación atmosférica extrema por el uso del mercurio (ver Tabla 4).

Tabla 4. Enfermedades no mortales

Salud de los mineros informales		
Nº	Descripción	%
1	Trabajadores están catalogados como alcohólicos	60
2	La población tienen vínculos con la trata de personas y la prostitución	20
3	Enfermedades cardiovasculares	10
4	Accidentes cerebrovasculares y cáncer	2
5	Enfermedades respiratorias y las neumopatías obstructivas crónicas	5
6	OTRAS	3
7	TOTAL	100

Fuente: Informe interno del Centro de Salud la Rinconada (2014)

3.1.20.2. Muertes por mercurio

El mercurio causa el denominado "Eretismo Mercurial", constituido por un aumento de la excitabilidad, aparición de respuestas anormales a los estímulos, temblor que hace a veces imposible la ejecución de labores, cuadros delirantes y alucinatorios

la cual conlleva a ocasionar accidentes en la Mina la cual es la primera causa de muerte en la Rinconada.

El mercurio ocasiona daños pulmonares permanentes la cual es la segunda causa de muerte.

El mercurio causa infecciones diarreicas agudas la cual es la tercera causa de muerte más frecuente en La Rinconada (ver Tabla 5).

Tabla 5. Muertes registradas en el bienio 2012 y 2013

Estadísticas del centro de Salud de La Rinconada, muertes registradas entre el bienio 2012 y 2013			
N^o	DESCRIPCION	Total	%
1	Accidentes en mina(intoxicación por monóxido de carbono y traumatismo encéfalo craneano)	27	19.9
2	Infección respiratoria aguda (neumonía, faringitis, entre otras)	26	19.1
3	Enfermedades diarreicas agudas	31	22.8
4	Por muerte natural	11	8.1
5	Niños que no nacen en su edad gestacional	5	3.7
6	Hipertensión esencial (primaria)	10	7.4
7	Trabajadores con neumoconiosis asociado al cáncer de pulmón	26	19.1
	TOTAL	136	100.0

Fuente: Informe interno del Centro de Salud la Rinconada (2014)

Debido a las inclemencias climáticas y la falta de desagüe y letrinas públicas, las infecciones respiratorias agudas y las infecciones diarreicas son las de mayor incidencia. Otra enfermedad que es difícil detectar es la silicosis, que es aquella que contraen los mineros en los socavones a causa del polvillo del mineral, sin que pueda ser detectada por la falta de equipos de rayos equis. Actualmente las muertes producidas en La Rinconada son por las mismas razones a pesar de que no existan datos estadísticos precisos de los últimos años accesibles.

Gran parte de la población está afectada por la intoxicación con el mercurio, ya que la gran mayoría de las transacciones comerciales se pagan en oro refogado (procedimiento artesanal por el cual se extrae el mercurio del oro) siendo esta característica, a través de la aspiración, una razón más para el deterioro de la salud de los pobladores.

3.1.21. Impactos producidos en la minería artesanal e informal

3.1.21.1. Impacto en la calidad del agua

En la actualidad el agua que discurre en la Laguna la Rinconada se encuentra afectada por la actividad minera, debido a la explotación de morrenas con contenido aurífero cuyo proceso de extracción del oro implica la generación de gran cantidad de sólidos en suspensión, el cual conlleva a una elevada turbidez de las aguas, estando por encima de los límites permisibles, los mismos que son vertidos en el la Laguna la Rinconada y la cual posteriormente pasa a lo largo de la cuenca del río Ramis, lo que genera impactos negativos de tipo ambiental y social entre las poblaciones ubicadas a lo largo de la cuenca alta del río Ramis, situación que, de no ser mitigada o remediada continuará provocando impactos negativos a la salud de las personas, flora, fauna, actividad agrícola, piscícola, ganadera y vida acuática, a lo largo

de esta cuenca (río Crucero, Azángaro, Ramis), la que finalmente llega al Lago Titicaca.

El impacto negativo en la calidad del agua es consecuencia de la producción descontrolada por parte de los mineros informales en las áreas mineras La Rinconada, Cerro Lunar, Corporación Minera Ananea (CMA), Pampa Blanca, Chaquiminas, Ancocala y Huachani y la Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto (CECOMSAP) todos ellos ubicados en el distrito de Ananea provincia de San Antonio de Poto, quienes no cuentan con autorización de las autoridades competentes (DIGESA) respecto al uso del agua. El impacto negativo originados por contaminantes químicos, metálicos, orgánicos y fundamentalmente sólidos en suspensión, lama, sedimentos limo arcillosos de color marrón oscuro, se observa en las aguas de la cuenca alta del río Ramis (los pueblos de Ananea, Crucero, Antauta, Asillo, Azangaro), esta problemática se agrava mucho más, ya que la población mencionada, está obligada a

consumir o utilizar el agua contaminada, debido a que el abastecimiento de agua potable no se da al 100 % de los habitantes.

3.1.21.2 Impacto en la calidad del aire

El uso descontrolado, inadecuado e ineficiente del mercurio para la extracción del oro en el proceso de amalgamación y refogado del oro, da como consecuencia que grandes cantidades de mercurio se pierdan y se viertan al medio ambiente en forma de gases liberados durante el refogado, siendo esto el principal problema de contaminación ambiental del aire en la Laguna la Rinconada. Generando riesgos sobre la salud pública de más de 50 000 de habitantes (peruanos y bolivianos). Se estima que al año se utilizan alrededor de 11 toneladas de mercurio líquido en la zona de Puno, los mismos que se pierden en el proceso de amalgamación y refogado (yéndose a la

atmosfera en forma gaseosa, retornando en forma líquida una vez que se condensa).

Se contamina el aire de dióxido de azufre contenidos en gases residuales por los procesos de combustión incompleta incluyendo impacto por malos olores del agua estancada, debido a la insuficiencia de Oxígeno en el agua provocando olores, esto por la falta de descomposición de desechos orgánicos, en la Laguna la Rinconada por la zona de Ananea.

La contaminación del mercurio en un local o espacio cerrado donde se realiza el refogado, presenta concentraciones muy elevadas de 672 mcg/m³, teniendo en cuenta que el límite máximo permisible de Aire Ocupacional (industrial), dado por la OMS es de 20 mcg/m³ de Mercurio.

3.1.21.3 Impacto sobre los suelos

Las labores realizadas por la minería informal han ocasionado un impacto negativo en La laguna La Rinconada y al ecosistema, donde las zonas de pastoreo y agricultura que antes eran zonas donde pastaban animales y la flora estaba presente y a causa del impacto negativo que ocasiona la minería informal, éstas han desaparecido o están en proceso de extinción. La labores mineras realizadas en forma caótica por los informales en las zonas de ladera y cumbres, consiste en la remoción de material contaminante generador de agentes ácidos que contaminan el flujo o caudal líquido transportado por La laguna La Rinconada y el material presente en el cauce de La laguna, el mismo que modifica la morfología del suelo.

Asimismo, se debe de tener en consideración que los desmontes y relaves depositados en forma

desordenada y sin estabilidad física y química, contribuye a la erosión de las terrazas presentes en la orilla del río, el cual genera derrumbes y conlleva a que se produzcan deslizamientos de los taludes superiores con la consiguiente saturación de material presente en el cauce del río y a la sedimentación de los cursos de agua. Anteriormente las terrazas presentes en el entorno de La laguna La Rinconada se consideraban como áreas de pastoreo y hábitat de aves silvestres, en la actualidad dichas áreas son utilizadas por los mineros informales como depósitos de desmontes. Como se había mencionado en los párrafos anteriores, no sólo la minería informal y artesanal, contamina el suelo, sino también la presencia de residuos.

En la cuenca alta del río Ramis los impactos que se han observado son negativos específicamente en lo que se refiere a la flora y fauna, las mismas que se relacionan con las pérdidas, disminución, desaparición de flora debido a la alta contaminación del agua ocasionado por los trabajos ejecutados por los mineros

informales quienes ocasionan que, las aguas que discurren por el cauce del río Ramis, presente una turbidez fuera de lo normal y presencia de sólidos suspendidos y material fino de color marrón oscuro y lodo a lo largo de toda la cuenca del río Ramis, estas aguas turbias y lodos han modificado la morfología del terreno; donde había flora, fauna, zonas agrícolas y ganaderas, ahora hay la presencia de botaderos de material de desmonte generador de aguas ácidas los mismos que han afectado áreas de cultivos.

Cabe recalcar que los impactos negativos que se han producido en la parte alta de la cuenca del río Ramis, han impactado severamente a la flora y fauna aguas abajo del área de trabajo de los mineros informales. Según estudios realizados en la cuenca del río Ramis los valores no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental, según D.S. N° 002-2008-MINAM, teniendo incidencias en la flora; el agua en esta zona es un elemento primordial, vital para la subsistencia tanto de las poblaciones asentadas a lo

largo de la cuenca del río Ramis y de la fauna silvestre, como también los animales domésticos, asimismo la concentración de sólidos totales suspendidos y la alta turbidez bloquean el paso de la luz hacia el fondo de la cuenca, afectando el crecimiento de la flora acuática; también se ve afectada la actividad agrícola que utiliza las aguas con fines agrícolas, mediante el riego con aguas contaminadas por la actividad de la minería informal, lo cual da como resultado la disminución de productos de pan llevar. El problema de la contaminación del agua ocasionada por la minería informal de la cuenca alta del río Ramis, viene provocando a través del riego con aguas contaminadas, la formación de pequeñas películas de lodo sobre el suelo, siendo esto la causa en los últimos años, que los suelos se vuelvan improductivos, dando como consecuencia la disminución en la producción de los cultivos por la presencia de metales pesados en los suelos, afectando la economía de la población asentada a lo largo de la cuenca del río Ramis, el agua

ha perdido su capacidad de estimular el crecimiento de los cultivos.

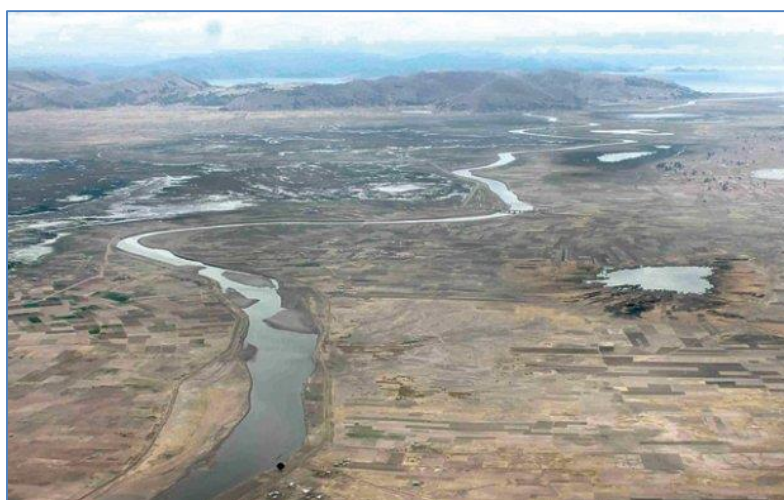


Figura 10. El río Ramis contaminado por relaves en su cauce

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

3.1.21.4. Impacto en la fauna

Existe impacto negativo sobre la fauna existente en la cuenca del río Ramis, debido a la presencia de niveles elevados de sedimentos y alta turbidez producidos por la actividad minera, hacia los tributarios que componen la cuenca alta del río Ramis contaminando a la fauna y originando infección

estomacal a los pobladores, y a largo plazo malformaciones congénitas en los animales y muerte de millones de seres vivientes. La fauna ha sido perturbada y ahuyentada también por el ruido (maquinaria pesada y automotriz) además por la erosión, polución de los relaves finos y desmontes afectando particularmente a la fauna ya que al desaparecer la flora no hay alimento para los animales.

3.1.21.5. Impacto en la flora y fauna acuática

Existe pérdidas, disminución, desaparición de flora y fauna acuática por el impacto negativo debido a la excesiva turbidez y altos contenidos de sólidos suspendidos totales (SST) ocasionado por las operaciones mineras de la pequeña minería artesanal y minería informal, quienes ocasionan que, las aguas que discurren por el cauce del río Ramis, presenten alta turbidez y presencia de sólidos suspendidos y material fino de color marrón oscuro y lodo a lo largo

de toda la cuenca del río Ramis, estas aguas turbias y lodos han modificado la morfología del terreno; donde había flora y fauna acuática en la cuenca alta y media.

Cabe recalcar que los impactos negativos que se han producido en la parte alta de la cuenca del río Ramis, han modificado e impactado severamente a la flora y fauna aguas abajo del área de trabajo de los mineros informales. El agua en esta zona es un elemento primordial, vital para su subsistencia, asimismo la concentración de sólidos totales suspendidos y la alta turbidez bloquean el paso de la luz afectando el crecimiento de la flora acuática; viéndose también afectados en la actividad agrícola a través del riego con las aguas contaminadas generadas por la minería informal, provocando así una disminución productiva.

a) Deforestación:

La deforestación ocurre cuando los pequeños mineros realizan trabajos de roce y quema de vegetación en el monte, para la instalación de sus equipos. Estas actividades producen la deforestación de los bosques y alteran la ecología de la zona.

b) Aumento de los sedimentos finos en los ríos:

En el proceso de lavado de la grava aurífera por mineros del lugar, el lodo es descargada a los ríos directamente y sin ningún tipo de tratamiento. La presencia de sólidos en suspensión en dicho lodo, ocasiona la contaminación de los ríos.

La calidad de plantas artesanales construidas en forma empírica, y el exceso de agua que utilizan durante el lavado de la grava aurífera, no les permite tener una buena recuperación de oro.

Los relaves finos son descargados directamente al cauce de los ríos incumpliendo el Artículo 36 del D.S. N°016-93-EM.

c) Alteración topográfica del terreno que producen daños al ecosistema de la zona:

En la etapa de beneficio o lavado de grava aurífera se acumula una enorme cantidad de cascajo o material lavado, esta acumulación produce alteración topográfica del terreno.

3.2. Tipo y diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de investigación

La presente tesis se considera una investigación de campo y laboratorio ya que se realizó en el mismo terreno, trabajando con datos de laboratorio obtenidos por el muestreo de las aguas y que serán procesados.

3.2.1.1. Nivel

Descriptivo: Propósito del investigador es describir situaciones y eventos. Es decir, cómo es y se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis.

La tesis es descriptiva puesto que hace una descripción del área de estudio, la cual es el centro minero La Rinconada.

Explicativo: Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en

qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas.

La presente tesis es explicativo ya que da a conocer las causas por la cual la contaminación ha afectado La laguna La Rinconada y la biodiversidad.

3.2.1.2. Muestra

Se procedió a tomar muestras de agua superficial y complementariamente coleccionar sedimentos recientes, en tres puntos previamente establecidos por DIGESA y por Lobato; con el fin de realizar una comparación con los otros resultados obtenidos de la misma.

3.2.2. Diseño de investigación

Se relacionó la metodología utilizada para la elaboración de la investigación, teniendo en cuenta los diferentes métodos y

técnicas propias de cada una de las etapas que intervinieron en el estudio tales como levantamiento de la información en el estudio, marco teórico incluyendo los procedimientos de recolección de datos, procesamiento y análisis de la información, se realizaron visitas de campo, con el fin de determinar los puntos de monitoreo para la elaboración de calidad de agua y proponer alternativas de solución.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se orientó especialmente a tomar muestras de aguas y complementariamente coleccionar sedimentos recientes. Se realizó previamente un trabajo de gabinete, donde se construyó un plano de monitoreo en base a los estudios ya realizados por DIGESA y Lobato, de La laguna La Rinconada indicando puntos de monitoreos, para luego proceder a hacer un muestreo de los mismos puntos estudiados, con sus respectivas coordenadas para luego poderlas comparar y determinar nuestras propias conclusiones.

3.3.1. Recopilación de datos

Para la cual se tuvo que ir a la zona de estudio donde se ha realizado muestreos en 3 puntos de estación especialmente cercanos a la Rinconada con el fin de determinar los valores de Mercurio y compararlos con los estudios realizados anteriormente por DIGESA, la Tesis de Lobato y a partir de ello emitir conclusiones al respecto.

En este punto se ha tomado los datos obtenidos por DIGESA (2010) y que en su totalidad se adjunta en Anexos, de igual manera se tomó como base el monitoreo presentado el 2013 en la tesis de Lobato “Evaluación Ambiental y Programas de Remediación de la cuenca alta del río ramis” presentado para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Minería y Medio Ambiente, y finalmente poder compararlos con los resultados obtenidos en el presente estudio.

- **Punto de muestreo 01**

Quebrada Cerro Lunar, ubicada antes de la desembocadura en La laguna La Rinconada. La ubicación y altitud se determinó mediante las lecturas en el G.P.S. Sus coordenadas del punto son $14^{\circ}37'54''\text{S}$ $69^{\circ}26'47''\text{O}$, a una altitud de 5 100 msnm. En el punto de muestreo el valle es glaciar en forma de U, en el fondo del valle el material fluvioglaciar está emplazado el campamento minero La Rinconada.

- **Punto de muestreo 02**

La laguna La Rinconada, cuya ubicación y altura se determinó mediante las lecturas en el G.P.S. con una altitud de 4 548 msnm. La laguna La Rinconada, tiene como coordenadas la medida $6^{\circ}58'10''\text{S}$ y $78^{\circ}19'43''\text{W}$ en formato DMS (grados, minutos, segundos). Su posición UTM es QN92 y su referencia Joint Operation Graphics es SB17-12, emplazada sobre material fluvioglaciar, se observan en las

orillas el material morrénico anguloso constituido principalmente por pizarras. El aluvión fluvio-glaciar al Sur Este intensamente trabajado por los mineros informales extrayendo el oro libre de placer donde se observa el abanico del material removido como producto de su actividad.

- **Punto de muestreo 03**

Rio Grandde (Río Ramis), cuya ubicación y altura se determinó mediante las lecturas en el G.P.S. Siendo las coordenadas del punto de muestreo las siguientes: 431853E y 8382336N con una altura de 4 493 msnm.

3.3.2. Trabajo de campo

Para la obtención de los datos se realizó un viaje a la Rinconada Puno en la cual se pudo obtener los resultados de la mortalidad de las personas la cual la plasmamos en la Tabla 5.

El diseño de la ubicación de los puntos de monitoreo así como el plan de acción de las actividades de campo fueron planificadas considerando los planos del INGEMMET y los puntos de toma de muestras de aguas y sedimentos utilizando el GPS. En cada punto se procedió a tomar la muestra de agua aplicándoles los preservantes adecuados. Las muestras fueron tomadas en partes del río con agua fluyendo. Además con el equipo de multi-parámetros se midió los parámetros de campo: el pH, conductividad, potencial Redox y temperatura en el agua del punto muestreado. Del mismo entorno se colectaron los sedimentos.

3.3.2.1. Toma de muestra

La toma de muestras se realizó con GPS WS84 para establecer la ubicación de las tres diferentes zonas exactas y cualquiera pueda acceder a ellas en base al googleearth.

Así mismo para la realización de la toma de muestras se seleccionó los materiales y equipos que se indican a continuación:

- Frascos de polietileno de 1 litro para toma de muestras de aguas y preservación.
- Jarra para toma de muestra.
- Bolsas de polietileno para muestreo de sedimentos.
- Espátula para el muestreo.

3.3.3. Trabajo de gabinete

Para la determinación de mercurio total, se usó el método de Espectroscopía de absorción atómica mediante generación de vapor frío, según procedimiento de (Standard Methods). La determinación de metales en sedimentos fue realizada por triplicado en cada muestra. Estos análisis de aguas fueron realizados en el Laboratorio del Instituto de Corrosión de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Se procedió a procesar los datos obtenidos realizados de los muestreos de agua y sedimentos, para luego poderlas comparar con las muestras tomadas por DIGESA y la Tesis de Lobato las cuales se puede observar en la Tabla 6.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Nuestros resultados nos muestra el grado de contaminación que existe por el mal uso del mercurio obtenidos de los muestreos de sedimentos y lo permisible para el ser humano (ver Tabla 6).

Tabla 6. Estación de muestreos de sedimentos

No. Estación	Parámetro	Estudio	Permisible ECA-3
Punto 1	Hg (mg/L)	0,025	0,001
Punto 2	Hg (mg/L)	0,035	0,001
Punto 3	Hg (mg/L)	0,008	0,001

Fuente: Propia

Tabla 7. Resultados y análisis de laboratorio

Estación	Hg (mg/L > CMP)
S-1	1,16
S-2	0,1
S-3	0,0008

Fuente: Propia

Los análisis concernientes se realizaron con Espectrometría de acuerdo al Protocolo de Monitoreo de Aguas del MEM, utilizando materiales e instrumentos como: Espectrofotómetro de absorción atómica para la determinación de parámetros físico-químicos y metales en las aguas para mercurio tal como vemos en la Tabla N°7.

4.1.1 Interpretación de los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos por el laboratorio que nos da en el punto de muestreo 01 refiere que La Quebrada Cerro Lunar, muestra el grado de mercurio de 0,025 Hg (mg/L) la cual es mucho mayor que la permisible para el ser humano que es 0,001 Hg (mg/L).

Los resultados en el punto de muestreo 02 la cual refiere a La laguna La Rinconada nos muestran el grado de mercurio de 0,035 Hg (mg/L) la cual es mucho mayor que el permisible para el ser humano que es de 0,001 Hg (mg/L).

Los resultados en el punto de Muestreo 03 la cual refiere a Rio Grande (Río Ramis), muestra que el grado de mercurio es de 0,008 Hg (mg/L) la cual es mucho mayor que el permisible para el ser humano que es de 0,001 Hg (mg/L).

4.2. Discusión

Los resultados se pueden comparar con los obtenidos en los estudios realizados por DIGESA y Lobato (2013) quienes hicieron un monitoreo de los mismos puntos como La Quebrada Cerro Lunar, La laguna La Rinconada y el río Ramis.

Tabla 8. Cuadro comparativo de muestreos de sedimentos

Monitoreo	Parámetro		DIGESA 1996		Tesis 2010	Estudio 2016	Permisible ECA-3
P1	Hg (mg/L)	0,0081	0,0091	0,0078	0,021	0,025	0,001
P2	Hg (mg/L)	0,017	0,012	0,029	0,004	0,035	0,001
P3	Hg (mg/L)	0,0038	0,0029	0,0042	0,005	0,008	0,001

Fuente: Propia

Los resultados de los tres muestreos según la Tabla 8 concluye que:

En el primer muestreo de la Quebrada Cerro Lunar se observa que la contaminación desde el año 1996 hasta el año 2016 muestra un incremento de la contaminación de 0,0081 Hg (mg/l) a 0,025 Hg (mg/l) la cual tuvo un incremento porcentual del 300 %, según los resultados de DIGESA, la Tesis de Lobato y el presente estudio.

En el segundo punto de muestreo referida a La laguna La Rinconada, se observa que la contaminación desde el año 1996 hasta el 2016 muestra un incremento de 0,017Hg (mg/l) a 0,035Hg (mg/l), la cual tuvo incremento porcentual del 205 % esto concuerda

con los resultados obtenidos por DIGESA, Tesis Lobato y el presente estudio.

En el tercer punto de muestreo, referido al río Ramis se observa la contaminación desde el año 1996 hasta el 2016 era de 0,0038 Hg (mg/l) a 0,008 Hg (mg/l) la cual tuvo incremento porcentual del 210 % según los resultados obtenidos por DIGESA, Tesis Lobato y la presente investigación.

Tabla 9. Cuadro comparativo de muestreos e incremento en porcentaje

Punto de monitoreo	Contaminante Mercurio	Año 1996	Año 2010	Año 2016	Porcentaje de incremento (%)
P1	Hg (mg/L)	0,0081	0,021	0,025	300
P2	Hg (mg/L)	0,017	0,004	0,035	205
P3	Hg (mg/L)	0,0038	0,005	0,008	210

Fuente: Propia

La comparación de los resultados obtenidos de las muestras de sedimentos de los tres puntos, según la tabla 9, permite observar que han llegado a incrementar la contaminación por lo que es necesario realizar propuestas para mitigar este problema.

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Básicamente la propuesta se basa en la fase de beneficio o tratamiento del mineral para obtener el producto final que es el oro.

Estos procedimientos o métodos ya fueron aplicadas en Colombia y están dando buenos resultados.

5.1. Uso de las canaletas o canalones

La pulpa fluye a través de un canalón, que tiene varias trampas para la captura de minerales pesados, los cuales se depositan en el fondo, mientras el agua saca hacia afuera a los sólidos livianos y son:

- De bajo costo

- De gran capacidad
- Fabricación local
- No necesita energía eléctrica
- Buena recuperación.
- Alto grado de concentración

Pero presentan desventajas como:

- Baja recuperación de sulfuros auríferos
- Descarga del concentrado en forma discontinua.

Recomendaciones:

- Usar canaleta con piso de alfombra (bayetas, frazadas) sin rejillas o trampas; de esta forma la pulpa fluye con poca turbulencia. Se logra una buena recuperación del oro fino y obtención de una cantidad reducida de pre concentrado.
- Se debe detener la carga con oro fino y grueso, tamizar la carga y tratar cada tamaño en su canaleta respectiva.

Una medida útil a implementar cuando se utiliza amalgamación en flujo abierto, es instalar canaletas con alfombras en las colas de las plantas amalgamadoras para recuperar algo del mercurio/amalgama perdido. Esto es de bajo costo y sirve efectivamente para demostrar a los mineros las pérdidas de mercurio y oro tal como podemos apreciarlo en la Figura 11.



Figura 11. Uso de canaletas

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia

5.2. Trampa cónica

Esta puede utilizarse en procesos de beneficio con alto flujo de agua o para mediana minería, disminuyendo atascamientos y tiempos de mantenimiento; adicionalmente las pruebas realizadas indican mejor recuperación de oro, amalgama, mercurio e incluso concentrados.

Básicamente, la trampa es un cono invertido en cuya parte superior posee una entrada de agua más la carga (arena, minerales, mercurio, amalgama, oro) y una salida de agua y colas. En la parte inferior posee una entrada de agua a presión y una purga para el material sedimentado tal como podemos apreciarlo en la Figura 12.



Figura 12. Trampa cónica

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia

El típico concentrador de espiral consiste en una canaleta helicoidal que tiene entre cuatro a seis vueltas. Su funcionamiento puede ser comparado con el de una batea cónica, donde las partículas livianas se mueven por la acción del agua hacia el borde y las partículas pesadas se concentran en el centro, o se puede considerar al concentrador de espiral

como una serie de bateas superpuestas y conectadas tal como podemos apreciarlo en la Figura 13.

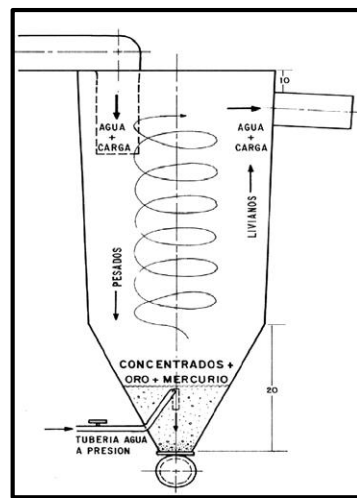


Figura 13. Trampa cónica vista frontal

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia

5.3. Separación del mercurio libre de la amalgama

Para mejorar la separación del mercurio libre de la amalgama, se pueden utilizar prensas para amalgama que permiten aplicar más presión que el exprimido manual y pueden ser fabricadas localmente a bajo costo en talleres de metalmecánica, utilizando uniones de rosca de tipo comercial. Si previo al exprimido manual o prensado

mecánico, la mezcla es en agua caliente, la separación mercurio - amalgama es mucho más fácil y eficiente (disminuye la viscosidad).

La fuerza centrífuga también se puede utilizar para separar la amalgama del mercurio libre. La amalgama exprimida se introduce en un tubo con tapas de malla metálica y este se coloca dentro de un concentrador centrífugo (por ejemplo un concentrador Knelson); el mercurio libre sale del tubo y es recuperado en otro recipiente exterior obteniéndose una amalgama seca, lo cual facilita la separación oro-mercurio. Se recomienda este método en la minería aluvial tal como podemos apreciarlo en la figura 14.



Figura 14. Prensa para exprimir la amalgama

Fuente: Congreso Nacional de Biología en Colombia (2006)

5.4. Recuperación de oro de la amalgama

- La retorta: Para evitar las pérdidas de mercurio en el proceso de calentamiento de la amalgama para recuperar el oro libre, se debe utilizar un sistema de retortas con calentamiento en circuito cerrado. La retorta típica utilizada actualmente es un aparato sencillo para fundir la amalgama en forma segura; está compuesta por el crisol con tapa de cerradura hermética para evitar la fuga de los gases mercuriales resultantes de la combustión, con un tubo de escape de condensación con un cuello hacia abajo (descendente) refrigerado por una cámara o tanque de agua dinámica y conectado al recipiente de recuperación del mercurio líquido. Este proceso permite recuperar más del 95 % del mercurio evitando que se evapore libremente y sea inhalado por los mineros.
- Un soplete o quemador.
- Una pequeña funda de plástico transparente para captar el azogue o mercurio recuperado.
- Agua para llenar el tanque de refrigeración.

- Como combustible para el calentamiento del crisol se tiene el gas, y adaptación de sistemas de alimentación de combustible con gasolina blanca o carbón mineral avivado por fuelle; esta eficiente y sencilla tecnología es de bajo costo tal como podemos apreciarlo en la Figura 15 y Figura 16.



Figura 15. Retorta y calentamiento cerrado

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia

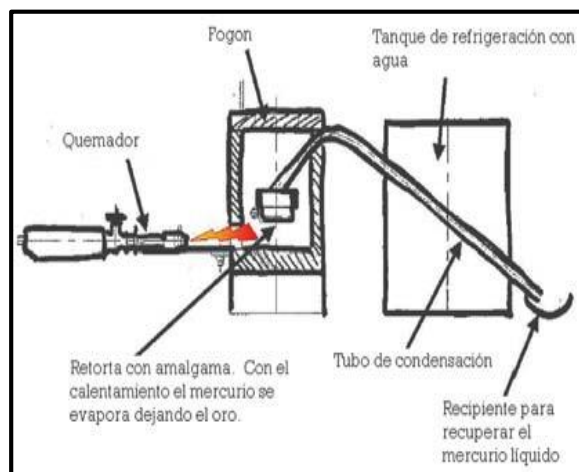


Figura 16. Retorta y calentamiento cerrado

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia

Para conseguir mejores resultados se puede aplicar 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 a las paredes de la retorta luego de la destilación.

En la fabricación de la retorta se debe considerar lo siguiente:

- Mantener el área de condensación para el mercurio lo más pequeña posible para minimizar su pérdida debido a la adhesión de gotas finas de mercurio en la parte interna de la retorta.

- Fabricar el tubo de condensación con un diámetro pequeño y hecho de hierro o acero, debido a que el cobre o láminas de zinc se amalgamarían con el mercurio.
- El interior del tubo debe ser muy liso para no frenar el deslizamiento del mercurio.
- Cierre hermético para evitar escapes.

5.5. Depurador en seco de mercurio en la quema de amalgama

Existe además el depurador en seco de mercurio con una recuperación cercana al 98 %. El depurador de mercurio en un medio seco, es un equipo de producción más limpia, elaborado con el objeto de emprender acciones y generar responsabilidad en la salud, lo social, el medio ambiente y en procura de un desarrollo en la productividad minera en pequeña escala, con procesos que buscan minimizar la contaminación ocasionada por el uso incorrecto del mercurio en el beneficio del oro y propendiendo por el reciclaje o reutilización del mercurio.

El depurador en seco está compuesto de las siguientes partes:

- Un cubículo quemador de amalgama: Es el elemento en el cuál se inicia el ciclo de evaporación del mercurio. Allí se funde el oro amalgamado por medio de un soplete, su llama está direccionada directamente sobre el material amalgamado (azogue) lo que conduce a la evaporación del mercurio y la fundición y separación del oro.
- Un codo de salida: Recibe el aire caliente y saturado de vapor de mercurio, que parte del cubículo durante la quema de la amalgama, este tiene un diámetro de 4 pulgadas y un ángulo de 90 grados, conecta el cubículo quemador con el primer condensador de mercurio.
- Un condensador de mercurio primario: Tiene como finalidad recibir y condensar el vapor de mercurio que proveniente del quemador. El diseño y ubicación de las aspas permite que el aire cargado de vapor circule formando remolinos que hacen que el de mercurio se condense y se precipite, hacia el fondo del condensador, facilitando así la recuperación de la mayor cantidad de

mercurio proveniente del quemador de manera ágil y segura.

- Los recolectores de mercurio condensado: Son los recipientes ubicados en la parte inferior del cubículo y de los condensadores. Con sus tapas en la parte inferior permiten un fácil acceso para recuperar el mercurio condensado.
- Un condensador de mercurio auxiliar: Se encarga de recibir el vapor de mercurio que haya pasado del condensador primario hacia los disipadores de calor que lo preceden. Aunque la cantidad de mercurio que se concentra en este condensador no es tan significativa como la del primario, no se debe desechar. Cuando este se condense, habrá formado pequeñas gotas que al unirse se precipitarán hacia la parte inferior, facilitando así su recuperación en los pequeños contenedores.
- Disipadores de calor: Reciben el vapor de mercurio que sale del condensador primario. Su importancia radica en que baja de manera considerable la temperatura proveniente del cubículo, permitiendo que el aire circule de

forma ágil y descompresionada, lo cual redundará en beneficio del equipo.

- Los extractores: Se utilizan para crear un flujo de aire que absorba los vapores de mercurio remanente provenientes del cubículo y lo conducen a través del circuito cerrado del depurador, facilitando que estos vapores pasen por las felpas que se encuentran en las cápsulas depuradoras, logrando que estas felpas absorban todo el material contaminante producido en la quema de la amalgama tales como humo, ceniza del celofán que envuelve el oro amalgamado y vapores de mercurio de otros metales.
- Los cartuchos depuradores: Están compuestos en su interior por una serie de felpas sobrepuestas, que tienen por finalidad retener la mayor cantidad posible de partículas que salgan del quemador tales como cenizas de celofán, humo, gases y vapores de mercurio.
- Las rejillas cónicas: Además de las felpas, los cartuchos contienen en su interior una serie de rejillas en forma de cono, perforadas en su totalidad con excepción de la que está ubicada en el primer depurador y que va en la parte

superior del mismo; esta es una rejilla perforada en toda la superficie, excepto en el fondo, con el fin de que el remanente de mercurio que haya alcanzado a pasar hasta este lugar, se quede depositado allí. En el fondo del cartucho se encuentra también otra rejilla, perforada en su totalidad, lo cual permite que el aire pase del primero al segundo cartucho.

- La rejilla cilíndrica distribuidora de aire: Recibe el flujo de aire proveniente del segundo depurador distribuyéndolo horizontalmente a las felpas ubicadas en forma vertical.
- Los termómetros: Se ubican en los puntos críticos que permitan determinar la temperatura promedio al interior del equipo.
- El retorno de aire (reflujo): Se produce por el flujo del aire que circula en el sentido de las agujas del reloj, ayudado por los extractores. Cuando se apaga el equipo, al cabo de 15 o 20 minutos, o cuando el termómetro marque menos de 45 °C, el aire hace una especie de detención y fluye ahora en sentido contrario a las agujas del reloj creando un reflujo que se distribuye a través de la tubería

diseñada para tal propósito, llegando hasta el cubículo. Este sistema de reflujo ayuda en gran medida al enfriar la atmósfera interior del equipo. El calor generado en la quema de la amalgama puede oscilar entre los 110 °C y los 400 °C; esto depende del tamaño de la amalgama que se esté quemando, no obstante la temperatura que se registra al final del proceso puede disminuir en un 90 % o incluso más. Al finalizar el ciclo se obtiene una emisión absolutamente inocua, libre de cenizas y sin emisión de vapores de mercurio al medio ambiente.

El sistema fue diseñado por el señor José Humberto Gaviria, pequeño minero de Segovia Antioquia y recupera un 98 % del mercurio que se volatiliza por la quema de la amalgama. La figura 17 y 18 corresponden al entable, con el depurador en seco y es el mismo sistema que se montó en el entable de la mina El Cogote en Segovia Antioquia, allí se puede observar el depurador en seco, Fundición, la amalgama es recubierta en papel celofán antes de ser fundida.



Figura 17. Depurador en seco de mercurio

Figura: Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia



Figura 18. Depurador en seco de mercurio en la quema de amalgama

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia

5.6. Reutilización del mercurio

Como ya se mencionó, a medida que se reutiliza, el mercurio va perdiendo su capacidad de amalgamación, por lo tanto es necesario limpiarlo frecuentemente. Existen varias maneras de limpiar y reactivar el mercurio sucio:

- Pasando el mercurio a través de una tela muy fina (o mejor todavía a través de un pedazo de cuero fino).
- Lavando el mercurio con cenizas de madera y agua, puesto que el carbonato de potasio ayuda a atrapar los contaminantes tal como podemos apreciar el Diagrama del depurador en seco de mercurio para la quema de amalgama mostrada (ver Figura 19).

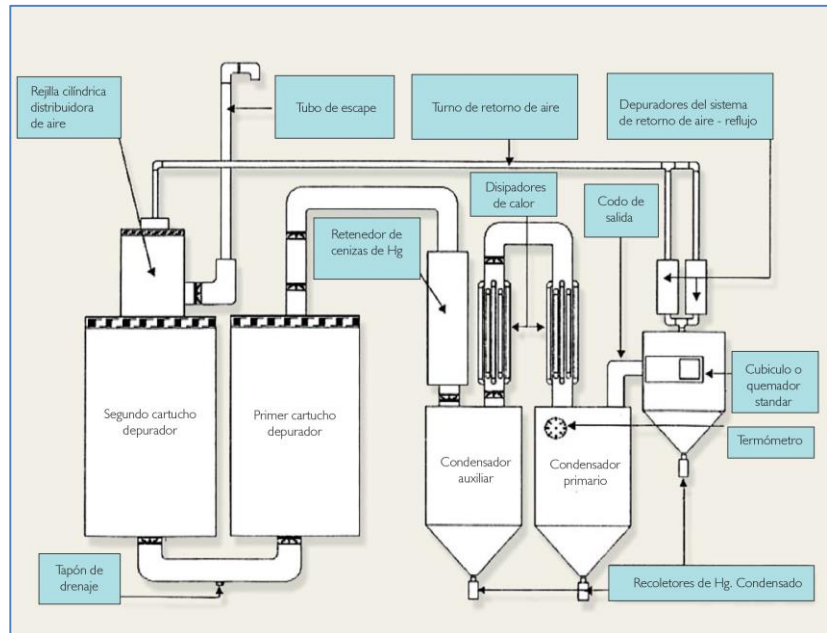


Figura 19. Diagrama del depurador en seco de mercurio para la quema de amalgama

Fuente: Congreso Nacional de Biología en Colombia (2006)

- Lavando el mercurio en agua que contiene un detergente o una solución que tenga la capacidad de atrapar y disolver las grasas y las sustancias grasosas.
- Destilando el mercurio en una retorta o en un depurador en seco para dejar atrás los contaminantes que no sean volátiles.
- Lavando el mercurio con algún reactivo, como cal, ácido clorhídrico diluido, ácido nítrico diluido, etc.

- Añadiendo amalgama de sodio al mercurio reactivándolo.
- Mediante un activador de mercurio de fácil elaboración como se muestra en la figura 20, algunos ya se venden en el mercado a precios módicos.

Las minas de pequeña escala que utilizan mercurio directamente en sus molinos para realizar molienda y amalgamación simultánea pueden perder entre 5 y 10 kg de mercurio para recuperar 1 kg de oro. Durante la amalgamación es importante evaluar la posibilidad de emplear barriles o tambores amalgamadores. La principal ventaja de esta tecnología es que la alimentación y el mercurio están contenidos dentro de un recipiente cerrado, sin fuga de pulpa y sin participación directa de un operador durante el proceso. Lo indicado es que se realice en tambores para minimizar la producción de harina de mercurio.

Es necesario manejar adecuadamente los lubricantes y las grasas, porque se fijan al mercurio y tienden a atrapar

sulfuros, talco, arcillas y otros minerales, cubriendo al mercurio con una sólida película de finas partículas. Estos lubricantes hacen que el oro flote evitando que entre en contacto con el mercurio e impidiendo, por tanto, su recuperación. Para evitar esta situación se debe añadir algún detergente fuerte o la savia (“jugo”) de una planta con el fin de atrapar la grasa en un sólido similar al jabón y permitir extraerlo. Otros agentes frecuentemente utilizados para mejorar el rendimiento de la amalgamación son: la panela (concentrado de caña de azúcar), el limón, trazas de cianuro, gasolina, entre otros. Este efecto también se da en la minería aluvial (con batea) en donde el oro fino contaminado con grasas o lubricantes tiende a flotar y a perderse en el proceso tal como se observa en la Figura 20.

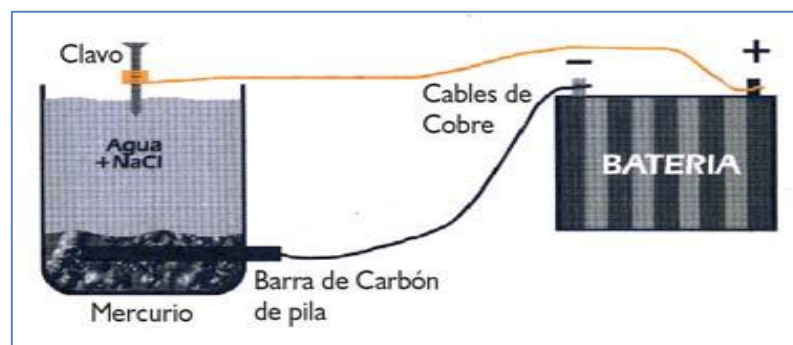


Figura 20. Activador de mercurio - vista frontal

Fuente: Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia

5.7. Método que se aplica en la disminución de la contaminación por mercurio

De acuerdo a lo indicado líneas arriba el método que actualmente se está aplicando en forma parcial es el de la retorta, definitivamente se disminuye el uso del mercurio porque se recupera el mismo dejando de descargar a la atmosfera, de esta manera se disminuye la contaminación.

En las diferentes fases del tratamiento del oro se debe de recuperar el mercurio para su reutilización y evitar contaminar el agua y suelo. Dejando de aumentar el mercurio en mayor cantidad.

CONCLUSIONES

PRIMERA: El mercurio de acuerdo a sus características químicas es un contaminante, genera enfermedades y muertes a las personas que viven en la Rinconada – Puno tal como lo demuestran los cuadros de salud en las Tablas 3 y 5.

SEGUNDA: La actividad minera, en el proceso de extracción del oro, implica la generación de gran cantidad de sólidos en suspensión, el cual conlleva a una elevada turbidez de las aguas, estando por encima de los límites permisibles, lo que ocasiona contaminación del agua, suelo y biodiversidad.

TERCERA: Para mitigar los efectos de la contaminación por uso minero del mercurio se propuso varios métodos de mitigación de la contaminación.

CUARTA: La contaminación en La laguna La Rinconada ha ido en aumento desde el año 2006 al 2016, tal como lo demuestran los resultados de laboratorio, concordante a los resultados obtenidos por DIGESA, Lobato y los resultados de la nuestra investigación lo que demuestra que la concentración de mercurio ha aumentado en 300 %.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Capacitar a las personas que viven en el centro minero La Rinconada de los peligros del uso del mercurio, su forma de manipularlo y recuperación para una reutilización posterior.

SEGUNDA: Implementar la propuesta de mitigación de la contaminación por el uso minero del mercurio de La laguna la Rinconada.

TERCERO: Se recomienda seguir con los monitoreos programados y sistemáticos a fin de atender este problema ambiental.

CUARTO: Concientizar a la población de la Rinconada de los daños que están ocasionando a su salud y que es necesario mitigar esa contaminación existente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez R. y Pantoja T. F. (2001). *Technologies to Decrease the Pollution by Mercury in Small Gold Mining in Latinoamerica*. Minamata, Japan Pag. 89-110.

Asociación SER Puno (2007). *Conflicto en el altiplano. Actividad minera informal en Ananea y contaminación de la cuenca del río Ramis*. Puno Pag. 74-95.

C.S. (2014). Centro de Salud de La Rinconada; “Informe interno de las enfermedades más frecuentes, enfermedades no mortales y las muertes registradas en el benio del 2012 y 2013 de La Rinconada”.

Castillo, F. (2005). *Minería artesanal, un caso de contaminación por mercurio y su impacto socio-ambiental*. IV Congreso Internacional de medio ambiente en minería y metalurgia. Perú. Pag. 145.

Contreras, R., Pinzón A., (2005). *Propuesta de manejo integrado del mercurio en el proceso de amalgamación en Vetas*. Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio. Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. Medellín.

Hruschka, F. (2001). *Una propuesta integral para la minería artesanal del Perú. Jornada Internacional sobre el Impacto Ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*. Lima: Proyecto GAMA – COSUDE /MEM / Proyeckt-Consult.

Lobato, A., (2013). *Evaluación ambiental y programas de remediación de la cuenca alta del río Ramis*. Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Minería y Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica UNI.

Pantoja, F. (2006). *Proyecto piloto de UNESCO-CYTED: Una minga por la minería en pequeña escala de los metales preciosos del sur occidente de Colombia*. Corponariño-Unimar. Pag. 28-35.

Renjifo J., Benavides S., Pantoja T. F. & Sañudo B. (2006). *Proyecto comunitario minero de alto impacto social: Producción minera mediante el empleo de tecnologías limpias: Mina El Cogote*. Memorias. Congreso Nacional de Biología. Pasto, Colombia.

Cano, S., (2001). Toxicología del mercurio actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. Recuperado de: www.autismoava.org/archivos/Santiago.Espanol.Cano

Corporación Oro Verde. (2006). *Coalición colombiana por el oro verde certificado. Minería tradicional, ambiental y social*. Recuperado de: www.greengold-oroverde.org

DIGESA (1996). “Monitoreo de los recursos hídricos de las cuencas del Río Ramis y afluentes”, dado por la Dirección General de Salud Ambiental en coordinación con la Dirección Regional de Salud Puno. Recuperado de: www.digesa.sld.pe/

Google Earth; *Ubicación satelital de la Laguna la Rinconada*. Recuperado de: www.earth.google.es/

Ministerio de Energía y Minas (1998). *Evaluación Ambiental Territorial de las Zonas Auríferas de Puno con coordinación de la Dirección General de Asuntos Ambientales*. Recuperado de: www.minem.gob.pe/

Moure, G., (2016). *Oro podrido: Cómo es trabajar en una mina en Perú*, título del reportaje “*Comunicación intercultural para un mundo más humano y diverso*”. Recuperado de: www.servindi.org/actualidad-noticias/05/07/2016/oro-podrido-como-es-trabajar-en-una-mina-en-peru

UPME (2007). Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia “Producción más limpia en la minería del oro en Colombia. Recuperado de: www.upme.gov.co/Docs/Mineria_limpia.pdf

ANEXO

Tabla 10. Resultados de análisis del agua en el punto C-1

Parámetros	1996			2010	ECA-3
pH	6,3	5,1	4,9	8,4	6,5-8,5
Conductividad	170	170	170	110	<=5000
Turbidez(NTU)	123	26,9	35,6	79,36	
T(°C)	13,5	11,1	14,7	12	
Sulfatos(mg/L)	54,77	29,75	28,09		500
SST(mg/L)	10	134	122	90,7	
SDT(mg/L)	86	50	136	65	
Fe(mg/L)	1,027	0,085	0,012	63	1
Zn(mg/L)	0,087	0,133	0,187	1,21	2
Cu(mg/L)	0,004	0,004	0,016	0,3	0,2
Mn(mg/L)	0,346	0,404	0,333	3,2	0,2
Pb(mg/L)	0,004	0,005	0,006	0,21	0,5
Cd(mg/L)	0,0002	0,0007	0,0004	0,008	0,005
As(mg/L)	0,0009	0,0047	0,0037	0,6	0,05
Hg(mg/L)	0,0081	0,0091	0,0078	0,021	0,001
Caudal(m3/día)	6024	8184	11145,6	12800	

Fuente: Tesis Lobato Flores Arturo**Tabla 11.** Resultados de análisis del agua en el punto C-2

Parámetros	1996			2010	ECA-4
pH	6,5	6,2	6,2	7,2	6,5-8.5
Conductividad	50	60	60	80	
Turbidez(NTU)	4,6	2,4	2,7	4,9	
T(°C)		11,2	14	3,08	
Sulfatos(mg/L)	16,89	9,67	13,14	198	
SST(mg/L)	14	24	28	0,0011	25
SDT(mg/L)	12	48	52	0,025	500
Fe(mg/L)	0	0,023	0,008	60	
Zn(mg/L)	0	0,019	0,014	0,398	0,03
Cu(mg/L)	0,001	0,001	0,002	0,0011	0,02
Mn(mg/L)	0,001	0,014	0,002	0,027	
Pb(mg/L)	0,005	0,002	0,002	0,0025	0,001
Cd(mg/L)	0,001	0,0003	0,0003	0,01	0,004
As(mg/L)	0,0037	0,0067	0,0057	0,0005	0,01
Hg(mg/L)	0,017	0,012	0,029	0,004	0,0001

Fuente: Tesis Lobato Flores Arturo

Tabla 12. Resultados de análisis del agua en el punto C-3

Parámetros	1996		2010		ECA-3
pH	6,7	7	7	7,5	6,5-8,5
Conductividad	200	190	130	120	<=5000
Turbidez(NTU)	15600	15576	15576	16673	
T(°C)	5,7	2,5	13,7	13	
Sulfatos(mg/L)	46,77	20,77	48	48,5	500
SST(mg/L)	9958	10410	10256.67	11340,88	
SDT(mg/L)	138	120	73	50	
Fe(mg/L)	0,039	0,241	3	40	1
Zn(mg/L)	0,012	0,021	1	2,5	2
Cu(mg/L)	0,001	0,005	1,4	1,85	0,2
Mn(mg/L)	0,039	0,009	1,8	14,5	0,2
Pb(mg/L)	0,026	0,006	0,045	0,9	0,05
Cd(mg/L)	0,001	0,0005	0,004	0,012	0,005
As(mg/L)	0,0005	0,0117	0,08	1,9	0,05
Hg(mg/L)	0,0038	0,0029	0,0042	0,005	0,001
Caudal(m3/día)	51500	52350	125263	63417,6	

Fuente: Tesis Lobato Flores Arturo**Tabla 13.** Resultados de análisis del agua en el punto C-4

Parámetros	1996		2010		ECA-3
pH	6,7	7	6,7	8,9	6,5-8,5
Conductividad	200	190	250	250	<=5000
Turbidez(NTU)	15600	15576	15552	8750	
T(°C)	5,7	2,5	3,7	13	
Sulfatos(mg/L)	46,77	20,77	24,87		500
SST(mg/L)	9958	10410	10402	920	
SDT(mg/L)	138	120	118	150	
Fe(mg/L)	0,039	0,241	1,187	35	1
Zn(mg/L)	0,012	0,021	0,016	0,95	2
Cu(mg/L)	0,001	0,005	0,005	0,12	0,2
Mn(mg/L)	0,039	0,009	0,021	2,56	0,2
Pb(mg/L)	0,026	0,006	0,004	0,1	0,05
Cd(mg/L)	0,001	0,0005	0,0002	0,0008	0,005
As(mg/L)	0,0005	0,0117	0,0117	0,24	0,05
Hg(mg/L)	0,0018	0,0018	0,0019	0,0039	0,001
Caudal(m3/día)	52902	54604	197856	126316.8	

Fuente: Tesis Lobato Flores Arturo

Tabla 14. Resultados de análisis de sedimentos

Estación	Análisis de Laboratorio							
	Fe	Zn	Cu	Mn	Pb	Cd	As	HG
S-3	2	55	13	349	18	0,3	6	1,16
S-4	2,8	62	18	342	19	0,4	71	0,1
S-5	2,1	46,25	8,4	510	8,2	0,4	7	0,0008
S-6	4,12	480	33	590	49	1	130	0,3
S-7	5,3	312	44	660	53	8,3	149	0,3
S-8	2,9	172	23	438	46	0,4	56	0,41
S-9	2,8	240	21	399	30	0,3	39	2,9
S-11	4	97	18	748	26	0,2	23	0,8
Muy Bajo		<150	<15		<50	<0,8	<5	<0,15
Bajo		150-300	15-25		50-150	0,8-2,0	5,0-10	1,15-0,3
Mod. Alto		300-1000	25-100		150-400	2,0-7,0	10,0-30	0,3-1
Alto		1000-5000	100-500		400-2000	7,0-35	30-150	1,0-5

Fuente: Tesis Lobato Flores Arturo

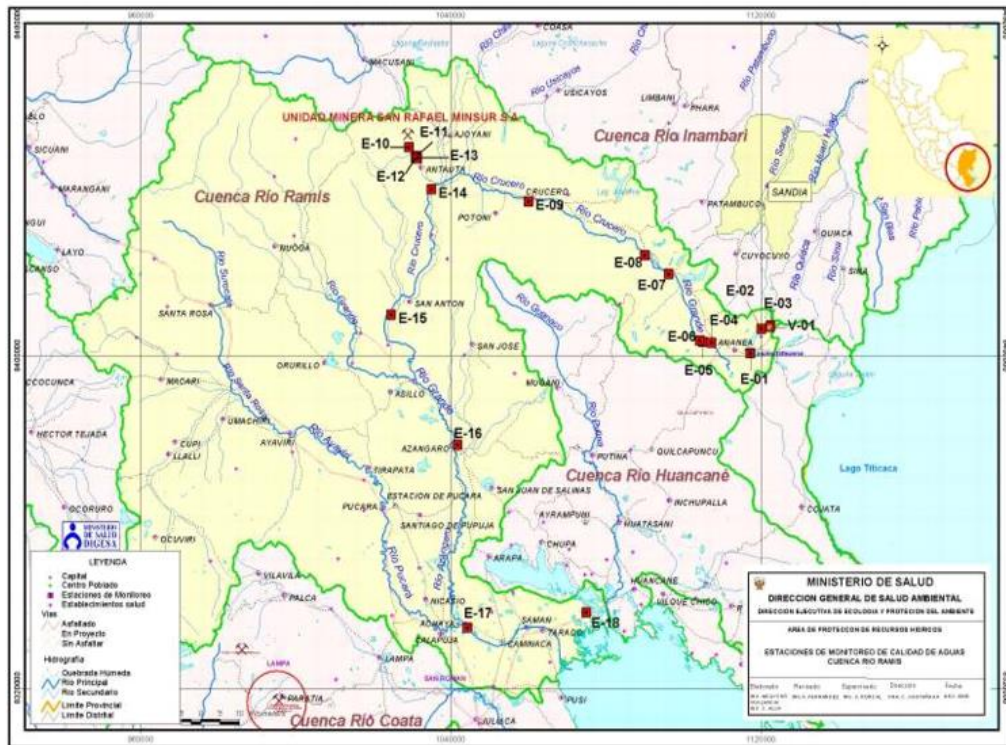


Figura 21. Estaciones de monitoreo de calidad de aguas Cuenca Rio Ramis

Fuente: DIGESA