

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR RELAVES MINEROS EN  
LA MINERÍA ARTESANAL E INFORMAL DE LA REGIÓN PUNO  
(RINCONADA-ANANEA)**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**JHONATHAN EDGAR AYAMAMANI CALAPUJA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR RELAVES MINEROS EN LA  
MINERÍA ARTESANAL E INFORMAL DE LA REGIÓN PUNO (RINCONADA-ANANEA)

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:**

**JHONATHAN EDGAR AYAMAMANI CALAPUJA**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO DE MINAS**

**APROBADO POR:**

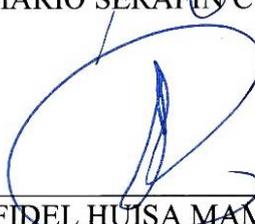
**PRESIDENTE**

:

  
Mag. MARIO SERAFÍN CUENTAS ALVARADO

**PRIMER MIEMBRO**

:

  
M.Sc. FIDEL HUISA MAMANI

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
Ing. JUAN CARLOS CHAYÑA CONTRERAS

**TEMA:** Monitoreo y evaluación del impacto ambiental en minería.

**AREA:** Ingeniería de Minas

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 14 de Noviembre de 2019

## DEDICATORIA

*A Dios por ser el pilar fundamental que me sostiene, por guiarme y cuidarme en cada circunstancia de mi vida.*

*A mi familia que me brindó un apoyo incondicional.*

*De manera especial a mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, cariño, ayuda en todos los momentos difíciles a lo largo de mi vida y por ayudarme con los recursos necesarios en mis estudios, e inculcándome con valores, principios, para conseguir mis objetivos.*

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme salud, sabiduría y fuerza para culminar esta etapa académica de mi formación profesional.

Agradezco a mis padres por darme la vida, valores, principios, el apoyo que me brindaron durante mi vida, también por el sacrificio que realizaron para que yo termine la carrera profesional de Ingeniería de Minas y sobre todo los deseos de superación.

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ingeniería de Minas y a la plana de docentes.

## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**TITULO**

Resumen .....	9
1. Introducción .....	10
2. Materiales y métodos .....	12
2.1 Metodología del estudio y zona de la evaluación.....	12
2.2 Toma de muestras (relaves).....	12
2.2.1 Pruebas de sedimentos y aguas en las zonas de impacto .....	13
3. Resultados y discusión.....	14
3.1 Resultados de las pruebas de metales pesados en relaves .....	14
3.2 Resultados de evaluaciones de suelos en la zona (vegetación). .....	15
3.3 Resultados de evaluaciones de aguas superficiales de la zona.....	17
3.4 Resultados de evaluaciones de sedimentos (rio Crucero-Ananea).....	17
4. Conclusión.....	19
Agradecimientos.....	20
Referencia Bibliográfica .....	20

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Imagen satelital del área del estudio.....	12
Figura 2. Relave en proceso de cianuración.....	12
Figura 3. Planta de beneficio artesanal.....	13
Figura 4. Niveles de metales pesados en los pastos de la pradera.....	16
Figura 5. Niveles de concentración de mercurio en aguas superficiales.....	17
Figura 6. Puntos de muestreo de aguas.....	17
Figura 7. Ubicación de puntos de muestreo.....	18

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Estándar de calidad ambiental del suelo ECA – Perú.....	13
Tabla 2. Límite máximo permisible en sedimentos – Holanda.....	13
Tabla 3. Limite máximos permisibles en sedimentos USEPA-USA.....	14
Tabla 4. Límites máximos permisibles en sedimentos – Suecia.....	14
Tabla 5. Resultados de análisis de arsénico.....	14
Tabla 6. Resultados de análisis de mercurio.....	14
Tabla 7. Resultado de análisis de plomo.....	15
Tabla 8. Contaminación con metales pesados en suelos.....	15
Tabla 9. Contaminación con metales pesados en vegetales.....	15
Tabla 10. Concentración de metales pesados en plantas acuáticas.....	16
Tabla 11. Concentración de metales pesados en sedimentos.....	18

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

LMP	Límites Máximos Permisibles
ECA	Estándares Calidades Ambientales
MINAM	Ministerio del Ambiente
Hg	Mercurio
Pb	Plomo
As	Arsénico
Mg	Miligramos
µg	Microgramos

## **Vigilancia de la contaminación de suelos por relaves mineros en la minería artesanal e informal de la región Puno (Rinconada-Ananea)**

Bach. Jhonathan Edgar Ayamamani Calapuja

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano,  
Av. Floral 1153, ciudad universitaria, Puno, *Jhonathan.edaya@gmail.com*, Cel.  
913590309

### **Resumen**

En la región de Puno, especialmente en la zona minera de Ananea (Rinconada), con el transcurrir del tiempo se ha depositado residuos de las actividades mineras de la zona y se pretende conocer las causas de la contaminación de suelos producidos por los relaves mineros en el centro poblado de Rinconada, distrito de Ananea, en el periodo del 2018- 2019, las actividades mineras en exceso y sin control influyeron en la disminución del ecosistema en la zona. El objetivo de este trabajo es identificar el potencial de contaminación por relaves mineros y dar a conocer los impactos que generan estos en los suelos. Materiales y métodos, se realizó análisis y comparación de las cantidades de metales pesados en los suelos de la zona (ECA, LMP), se realiza observaciones in situ, determinar las fuentes y tipos de contaminantes con riesgo de dañar el suelo, este consecuentemente afectando el ecosistema, se tiene como resultado la contaminación de suelos es latente y está por encima de los Estándares Calidad Ambientales, no se tiene canchas relaveras para su proceso de sedimentación, conclusiones con los datos obtenidos aportaran en un control de estas actividades mineras en esta zona, implementar procesos de mitigación y recuperación de suelos (biosorción, fitorremediación), dar a conocer a la sociedad de la región Puno que es afectada directa e indirectamente por los relaves mineros y la cuenca del rio Ramís es afectada en las temporadas de precipitaciones por escurrimiento y filtraciones en los suelos contaminados.

**Palabras clave:** Mercurio; plomo; Impacto ambiental minero; Plantas de beneficio artesanal

---

## **Pollution monitoring ground by mining waste in the artisan and informal mining Puno region (Rinconada-Ananea)**

### **Abstract**

In the Region of Puno, especially in the mining area of Ananea (Rinconada), with the passage of time, waste from mining activities in the área has been deposited and it is intended to know the causes of the soil contamination produced by the tailings in the town of Rinconada, district of Ananea, in the period 2018 - 2019, the mining activities in excess and without control influenced the decline of the ecosystem in the area. The objective of this work is to identify the potential of contamination by mining wastes and to make known the impact generated by these soils. Materials and methods, we performed analysis and comparison of the amounts of heavy metals in the soils of the area (ACE, LMP), is performed in situ observations, to determine the sources and types of pollutants with risk of damage to the soil and consequently affecting the ecosystem, it has resulted in the contamination of soils, it is latent and is above the Standards Environmental Quality, it does not have courts relaveras for your process of sedimentation, conclusions with the data obtained provide in a control of these mining activities in this area, to implement processes of mitigation and recovery of soils (biosorption, phytoremediation), to make known to the society of the Puno region that is affected directly and indirectly by mining wastes and the basin of the rio Ramís is affected in the seasons of precipitation by runoff and seepage of contaminated soil.

**Keywords:** Mercury; lead; mining environmental impact; Plants benefit craft.

## 1. Introducción

El estudio realizado se ubica según la carta nacional, del instituto geográfico en la zona 19L, con coordenadas UTM: 8 383 826 Norte, 452 243 Este y geográficas  $14^{\circ}37'54''S$  y  $69^{\circ}26'47''O$ . En la provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea, centro poblado de Rinconada, en la zona alta de la cordillera Sur-oriental a una altitud de 5015 msnm se ubican los mineros artesanales e informales, que realizan la explotación de minerales auríferos, con el método de explotación de corte y relleno con circado de mineral, en la etapa del proceso de recuperación del material aurífero. Se conoce que la mayoría de estas operaciones mineras metalúrgicas para recuperar el oro se realizan artesanalmente con poca información teórica y práctica de los procesos y su aplicación en los minerales, sin medidas de seguridad, con perjuicio de la salud de los mineros artesanales y del medio ambiente. No se tiene un adecuado control con los relaves, a veces acumulados en sacos y depositados como plataformas, en algunos casos existe el colapso de las relaveras, estos llegan a parar al medio ambiente y se generan impactos ambientales negativos en la biodiversidad de la zona. La contaminación de sedimentos, suelos y de la cobertura vegetal, por metales pesados, es uno de los problemas ecológicos más severos a escala mundial y en forma particular en el Altiplano del Sur Peruano. En los últimos años, los cambios en las actividades humanas y la explotación minera en exceso han estado

influyendo en una disminución de los ecosistemas respecto a la flora y fauna en la zona de la Rinconada. La evaluación de metales pesados en los relaves y su riesgo ambiental en la zona de Antahuila en el centro poblado de la Rinconada. (Tapara & Aguilar, 2018) Se conoce que en nuestro país las normas sobre prevención de la contaminación del medio ambiente son insuficientes, no regulan las actividades mineras, agrícolas e industriales; es por ello que, en el sector mencionado en el presente estudio, se han contaminado de forma alarmante y progresiva las aguas de los ríos afluentes del lago Titicaca. (Parí, 2017) Debido a ello, el problema es mayor para la población que utiliza el recurso natural agua, vital para el consumo humano y para usos secundarios durante sus actividades como: el consumo de sus animales domésticos, los cultivos que requieren de este líquido elemental, los animales menores que habitan cerca de su vertiente, los peces típicos que son fuente de alimentación y empleo del poblador y las plantas acuáticas, alimento de sus animales domésticos (vacunos, ovinos) relacionándose éstos directamente con sus aguas (Iquise, 2017 & Huanqui, 2018) La eliminación de los desechos de la minería puede contaminar los cuerpos de agua; aun cuando los relaves son almacenados adecuadamente, existe la posibilidad de que los diques que los contienen puedan desbordarse; los drenajes ácidos de las minas también contaminan el suelo y las aguas,

al igual que los derrames de mercurio y cianuro. La actividad minera se ha constituido en un factor preocupante de la gestión del agua en las cuencas, debido a los vertimientos resultantes del procesamiento de los minerales. (Pérez, 2017) Este temor se funda en la mala experiencia con antiguas minas como Cerro de Pasco y la Oroya en donde, hoy convertidas en pasivos ambientales diseminados por todo el país. Precisamente la contaminación ambiental que afecta esta zona es debido a la actividad de empresas mineras y minería artesanal informal o ilegal, que hacen un daño irreversible al ambiente para lo cual el estado peruano recién hoy en día persigue el equilibrio entre los derechos y obligaciones de los mineros artesanales y empresas enfatizando el tema ambiental de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental (ECAS). Actualmente estas empresas mineras y los mineros artesanales drenan sus relaves y efluentes líquidos hacia el río Crucero que resulta afectada y que además incide directamente en toda la zona del Distrito de Ananea e indirectamente en sus actividades ganaderas y otros. En los pastos de las praderas nativas del distrito de Ananea, el Hg está en niveles superiores (102,64  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de pasto), al del Cadmio y Arsénico ( $p > 0,05$ ); los mismos que entran en la cadena trófica y es un factor de riesgo para las alpacas. (Catacora & Ccancapa, 2015) La investigación se centra en la evaluación del contenido de mercurio, arsénico y plomo en las relaveras a través del muestreo en forma aleatoria y análisis de laboratorio. Se dispone de la zona en donde se encuentran las

plantas de beneficio artesanales de los cuales se extrajo la muestra para los metales pesados; se concluye que el mercurio y arsénico en la zona de estudio se encuentra por encima de los estándares de calidad para suelo, de modo que en el corto plazo se podría esperar efectos negativos sobre la flora, fauna y ecología de la Zona. (Apaza, 2018) Refiere en lo particular que, la minería en pequeña escala, explota casi exclusivamente oro y la misma se desarrolla principalmente en seis regiones del país encontrándose Puno dentro de ellas. La Rinconada, localidad ubicada en el distrito de San Antonio de Putina-Puno, presenta el mayor registro de actividad artesanal e informal, pudiendo observarse que la misma es desarrollada con incumplimientos sobre protección de medios ambientales, laborales, (Deza, Manzanedo, 2005) por ende; el riesgo de exposición al mercurio, arsénico, plomo pueden transferirse mediante la cadena trófica y ser un factor de riesgo en la salud pública; causando efectos negativos sobre los animales y el hombre, por lo que se hace necesario para la determinación de predicciones de riesgo ocupacional, el uso de herramientas analíticas tempranas para tal finalidad. (Pérez-Aquino, 2003) La hipótesis es determinar las cantidades de metales pesados en los relaves que se desechan en el medio ambiente, así se podrá identificar el impacto ambiental que generará en los suelos. El Objetivo de la investigación es determinar los agentes contaminantes de los relaves mineros con mayor impacto a los suelos y así tomar medidas cautelares para su control

y mitigación con métodos de recuperación de suelos, conocer sobre los impactos negativos de los relaves en el medio ambiente y lo que va generando con el pasar del tiempo, que consecuencias podrían generar, implementar un plan estratégico para recuperar los suelos aledaños afectados, control de los colapsos de los relaveras, analizar los puntos de descarga de aguas utilizadas en este proceso artesanal.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Metodología del estudio y zona de la evaluación

La investigación realizada es de carácter analítico, descriptivo, no experimental y se localiza en el centro poblado de la Rinconada, zonas de Antahuila en donde se encuentran la plantas de beneficio artesanales (molinos de billas y quimbaletes) de donde se tomó datos de muestras llevadas a ser evaluadas en laboratorio, se realizó observaciones en la zona llamada “antena”, en este lugar se realiza la cianuración para la recuperación del oro en mayor porcentaje de los relaves, el proceso se realiza de manera artesanal sin ningún control, monitoreo y supervisión ambiental, el agua utilizado acabando el proceso es reutilizado o desechado al suelo, el relave utilizado en el proceso es dispersado alrededor de esta zona, y esto consecuentemente va afectando los suelos aledaños a esta actividad y como también las cuencas hidrográficas de la zona como la cuenca Ramís llegando hasta el lago Titicaca.

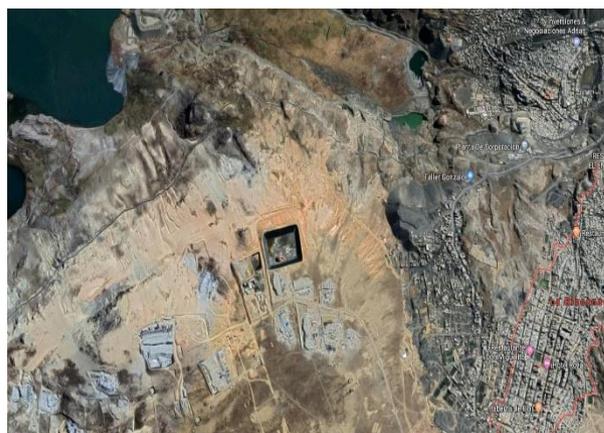


Figura 1. Imagen satelital del área de estudio.

Fuente: *google maps*.

### 2.2 Toma de muestras (relaves)

Se tomaron datos de muestras ya analizadas en tres plantas de beneficio con más cantidad de relaves y las que han sido instaladas con mayor antigüedad, se utilizó el método de EPA METHODO 200.7, emisión espectro métrica.

- PMS1 (Punto N° 1 de muestreo) = Relavera Geza
- PMS2 (Punto N° 2 de muestreo) = Relavera Sermetal
- PMS3 (Punto N° 3 de muestreo) = Relavera Seis Diamantes



Figura 2. Planta de beneficio artesanal (Geza).

Fuente: Fotografía

Se pudo observar que los relaves mineros eran esparcidos a las zonas donde realizan este tipo de procesamiento para la recuperación del material aurífero, si ningún control ambiental, generando un impacto ambiental negativo, la pérdida de la biodiversidad, fuerte disminución de la ganadería, infertilidad en suelos y el mal uso del agua. En las épocas de octubre a marzo temporada de precipitaciones e impactos a las zonas de la afluencia de la cuenca del Ramís que inicia en los nevados del centro poblado de Rinconada, continua su curso por distrito de Ananea, Cuyo Cuyo, llegando hasta la provincia de San Antón y el distrito de Crucero, llegando a la provincia de Azángaro, continuando por el distrito de Achaya, Caminaca, Samán y llegando a la provincia de Huancané con el nombre de río Ramís y desembocando en el lago Titicaca, en el trascurso afectando directamente e indirectamente a la población ya que utilizan el agua para la agricultura (irrigación) y ganadería, también utilizado como agua para el consumo de la población aledaña a este río.



Figura 3. Relave en el proceso de Cianuración  
Fuente: Fotografía.

### 2.2.1 Pruebas de sedimentos y aguas en las zonas de impacto

Posteriormente se analizó las aguas superficiales efluentes de las plantas de beneficio, de acuerdo al protocolo de monitoreo de recursos hídricos superficiales del Perú, en la época de precipitaciones que comprende desde el mes de octubre a marzo, ya que incrementa la descarga de escurrimientos y esto afecta a las pozas, canchas relaveras, se tomaron datos de 2 puntos de muestreo.

- Punto 1: zona de plantas de beneficio
- Punto 2: Laguna Rinconada

En las siguientes tablas del 1 al 4 se presentan el estándar de calidad ambiental del Perú, para suelos, límite máximo permisible de sedimentos de Holanda, USA Y Suecia. Para realizar la comparación de concentración de metales pesados en los relaves, para determinar la diferencia con los análisis de muestras.

Tabla 1. Estándar de calidad de Suelo (ECA suelo) – Perú.

Parámetros	Agrícola (mg/kg)
Arsénico	50
Cadmio	1.4
Mercurio	6.6
Plomo	70

Fuente: D.S. 011-2017-MINAM.

Tabla 2. Límite máximo permisible en sedimentos, Holanda

Elemento	LMP (mg/kg)
Cu	500
Pb	600
Zn	3000
Cd	20
As	50
Hg	10
Mn	3000

Fuente: INGEMMET – Boletín N° 5, Serie E.

Tabla 3. Límites máximos permisibles de sedimento –USA.

Parámetros	Moderadamente contaminado	Muy contaminado
Arsénico	2-8	>8
Cadmio	-----	>6
Cromo	25-75	>75
Cobre	25-50	>50
Fierro	17000-25000	>25000
Mercurio	-----	1
Manganeso	300-500	>500
Plomo	40-60	>60
Zinc	90-200	>200

Fuente: Revista Investigación (Esc. Posgrado) V5, N°4,2009.

Tabla 4. Límite máximo permisible en sedimentos – Suecia

Clase	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)
Muy bajo	<50	<150	<0.8	<5	<0.15
Bajo	50-150	150-300	0.8-2	5-10	0.15-0.3
Mod.	150-400	300-1000	2-7	10-30	0.3-1
Alto	400-2000	1000-5000	7-35	30-150	1-5
Muy alto	>2000	>5000	>35	>150	>5

Fuente: INGEMMET – Boletín N° 5, Serie E.

### 3. Resultados y discusión

En las siguientes tablas se muestran datos de muestras de los relaves de la cantidad de metales pesados presentes, contenido metálico en suelos, pastos, aguas superficiales y sedimentos.

#### 3.1 Resultados de las pruebas de metales pesados en relaves

Con el fin de identificar el contenido de metales pesados en los relaves de las plantas de beneficio artesanal, se presenta los resultados de análisis químico de los relaves de los 3 puntos de muestreo de los metales pesados de mayor contenido en suelos de la zona, el análisis de arsénico (As) se muestra en la tabla

5, el análisis de mercurio (Hg) se muestra en la tabla 6 y el análisis de plomo (Pb) en la tabla 7.

Tabla 5. Resultados del análisis de Arsénico (Unidad: mg/Kg)

Parámetro	Punto de muestreo	Método	Límite de Detección	Resultado
As	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES 563-628-503	2	573,200
As	PMS2	ICP-OES 563-628-503	nd	2122
As	PMS3	ICP-OES 563-628-503	0.030	1731

Fuente: Aguilar, (2018).

En la tabla 5, se puede observar en los 3 puntos de muestreo de las relaveras geza, sermental y seis diamantes, en donde se determina la presencia de arsénico por encima del estándar de calidad ambiental de suelos del Perú y de los límites máximos permisibles de Holanda, USA y Suecia.

Tabla 6. Resultados del Análisis de Mercurio (Unidad: mg/Kg)

Parámetro	Punto de muestreo	Método	Límite de Detección	Resultado
Hg	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES 563-628-503	2	0,086
Hg	PMS2	ICP-OES 563-628-503	nd	531,28
Hg	PMS3	ICP-OES 563-628-503	0,030	557,90

Fuente: Aguilar, (2018).

En la tabla 6, Se observa que en los 3 puntos de monitoreo de relaves, existen una variación de resultados, en el primer punto se encuentra por debajo del estándar de calidad ambiental de suelos, pero en los otros dos puntos de muestreo existe el mercurio por encima de los ECAS de suelos del Perú.

Tabla 7. Resultados del Análisis de Plomo (unidad: mg/Kg)

Parámetro	Punto de muestreo	Método	Límite de Detección	Resultado
Pb	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	2	45,200
Pb	PMS2	563-628-503 ICP-OES	0,030	0,031
Pb	PMS3	563-628-503 ICP-OES	<0,030	<0,030

Fuente: Aguilar, (2018).

En la tabla 7, Se observa que en el puntos de monitoreo de relaves, son variables, punto de monitoreo 1 tiene el mayor resultado que es de 45,200 mg/kg, en el punto de monitoreo de relaves de la muestra 2 obtuvo 0.031 mg/kg y la muestra numero 3 obtuvo el menor valor que es <0,030 mg/kg y se determina que las relaveras sermetal y seis diamantes tiene menor contenido de plomo y están por debajo del estándar de calidad ambiental de suelos del Perú y de los límites máximos permisibles internacionales.

### 3.2 Resultados de evaluaciones de suelos en la zona (vegetación)

En las siguientes tablas se presenta suelos con presencia de metales pesados producto de la minería excesiva y sin control de la zona, está a la vez generando impacto negativo en los suelos, que es producto de los relaves mineros en la zona del distrito de Ananea en donde el método de explotación es el de movimiento de tierras y para la recuperación del material aurífero utilizan mediante monitores hidráulicos que sirven para el lavado del material morrénico aurífero, a fin de liberar el oro del material estéril en un plano inclinado

(chutes) de lavado gravimétrico, las zonas aledañas como Pampa Blanca, Vizcachani, Sillacunca y también se presenta los metales pesados en la vegetación.

Tabla 8. Contaminación con metales pesados en suelos (mg/kg) en cordillera.

Metal	Sillacunca	Ananea	Rinconada (relave)	Lunar de oro (relave)
Pb	29 – 10	57 – 9.4	222 – 15	78 – 32
As	60 – 30	69 – 29	130 – 32	105 – 41
Hg	0,09 – 0,02	0.12- 0,02	0,12 – 0,07	0,12 – 0,08

Fuente: (Astorga *et al.*, 2010).

Reportes indican que en la zona de Ananea existen aproximadamente 2500 operadores mineros que movilizan cada día 45000 m<sup>3</sup> de material morrénico entre estos operadores mineros existen algunos informales que no cuentan con un sistema de sedimentación, ni tratamiento de turbiedad de las aguas residuales de las pozas de relave y posteriormente enviando directamente al río. La zona aledaña al distrito de Ananea como: Pampilla, Oriental y otros se caracterizaban por ser ganadera, pero en la última década la producción pecuaria se vio disminuida; probablemente se deba a los posibles impactos negativos en el medio ambiente.

Tabla 9. Contaminación con metales pesados en vegetales (mg/kg) en cordillera, pastos naturales.

Metal	Pampa Molino	Pampa Blanca	Silla cunca	Lunar de oro (relave)
Pb	0,9	1,1	0,96	< 0,1
As	< 0,10	2,3	< 0,10	< 0,10
Hg	0,06	0,034	0,04	0,04

Fuente: (Astorga *et al.*, 2010),

La mayor parte de área se encuentra por encima de 4 500 msnm y por ello en gran

cantidad se puede observar el ichu (*Stipa ichu*) y algunas plantas de tallo corto, así como pastos naturales, musgos y líquenes. Durante la época de precipitaciones aparecen las tolas (*parastrephia quadrangularis*) y estas se encuentran dispersas, en las zonas bajas.

Las gramíneas se desarrollan solamente en lugares con agua permanente como los bofedales, y estas están directamente contaminadas por las aguas residuales por las operaciones mineras y de las plantas de beneficio artesanales que produce la minería en exceso y sin ningún control.

Los Especímenes de vegetales se ven afectados por la actividad minera de la zona, cambiando y alterando su estado natural, dando lugar a un contenido alto de metales pesados en sus propiedades, generando un cambio en la cadena trófica, afectando tanto a la ganadería y también a la población de la zona y de la región.

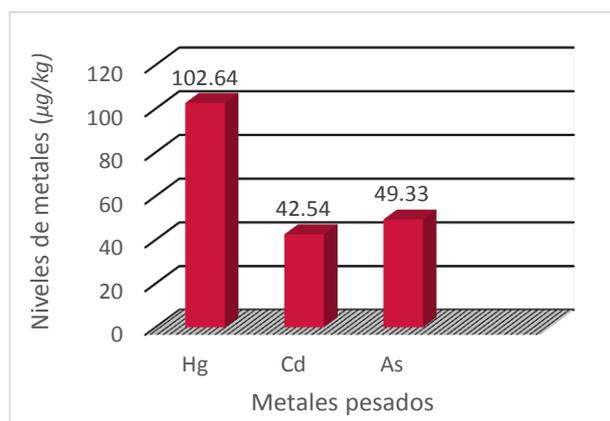


Figura 4. Niveles de metales pesados en pastos de la pradera.

Fuente: Huanqui, (2018).

Se puede observar en la figura 3, la concentración de metales pesados en los pastos, sus niveles de mercurio, cadmio y arsénico son

de 102.64, 42.54, 49.33 µg/kg de pasto. La diferencia que se tiene entre los metales es que el mercurio es utilizado de manera directa para la recuperación del oro, mientras los otros se encuentran dentro del yacimiento mineral, sea como mineral o ganga. Se observa que los datos del estudio realizado son menores a la tabla de Astorga *et al.* (2010). Una de las causas para la contaminación de suelos, es el desagüe de aguas utilizadas de las plantas de beneficio y también por las escorrentías por el desmonte, drenaje de minas con contenidos metálicos y otros elementos, estas llegan a parar a los suelos en el transcurso de canales, arroyos y otros desde las plantas de beneficio y la zona del proceso de la extracción minera hasta llegar a la laguna de la Rinconada, se tomó información de muestras tomadas en los afluentes de estos y en la laguna, para realizar la comparación con los estándares de calidades ambientales del Perú.

Tabla 10. Concentración de mercurio (Hg) y Plomo (Pb) en plantas acuáticas

Puntos de Muestreo	Metales	
	Mercurio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)
Muestra 1	0,200	1,900
Muestra 2	0,220	0,980
Muestra 3	0,350	0,710
Muestra 4	0,480	4,200
Muestra 5	0,620	3,500
Muestra 6	0,750	2,600

Fuente: Pérez, (2017).

Se observa en la tabla 10, la diferencia existente de la muestra 1 con 0,200 mg/kg y la muestra 6 con 0,750 mg/kg de mercurio (Hg) en el mes de setiembre de 2015, el mercurio no presenta solubilidad por su densidad y se deposita en los sedimentos, dando lugar a una

captación y acumulación progresiva de mercurio en las plantas acuáticas, en cuanto al plomo se observa una variabilidad de contenido metálico en las muestras con un menor valor de 0,710 mg/kg de plomo en la muestra 3 y con un máximo contenido de 4,200 mg/kg de plomo en la muestra 4, debido a la presencia de actividad minera, erosión litogénica, pasivos mineros.

### 3.3 Resultados de evaluaciones de aguas superficiales de la zona

La zona de estudio se presenta evaluaciones de aguas en la zona de plantas de beneficio artesanal y la laguna de la rinconada que son afectados directamente por las escorrentías de aguas residuales y utilizadas por estos procesos, se presentan en la siguiente figura.

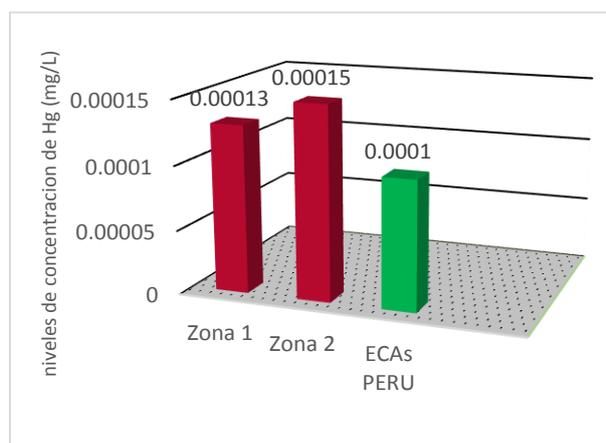


Figura 5. Niveles de concentración de mercurio Hg (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada.  
Fuente: Ccancapa, (2015).

Respecto a las concentraciones de mercurio por zonas de muestreo, en la zona plantas de beneficio con 0.00013 y en la laguna Rinconada con 0.00015 mg/l. Los resultados se encuentran ligeramente por encima de los límites máximos permisibles de los estándares de calidad

ambiental para agua de ríos (ECAs) cuyo valor referencial es 0.0001 mg/l (MINAM, 2008). En la figura 5 se presentan los puntos de muestreo.



Figura 6. Puntos de las muestras, Zona 1 y zona 2  
Fuente: Google maps.

En los puntos de muestreo se dieron de la zona 1 a la zona 2 en una distancia de 1600 metros en donde se observó en la laguna Rinconada existe más contenido de mercurio en las aguas superficiales en la zona de los efluentes de las plantas de beneficio artesanal.

### 3.4 Resultados de evaluaciones de sedimentos (rio Crucero-Ananea)

Se analiza el resultado de la evaluación de sedimentos del río Crucero, este afluente que inicia de la laguna de la Rinconada pasando por el distrito de Ananea; por la zona de Oriental, Pampilla, Vizcachani donde se realiza la remoción de morrénico, se evalúa los metales pesados de mercurio y plomo (Hg, Pb) tomados en 5 puntos, y en dos del río Crucero, se presenta en la tabla 10.

Tabla 11. Concentración de mercurio y plomo en las muestras de sedimentos (mg/kg).

Puntos de Muestreo	Metales	
	Mercurio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)
Muestra 1	0,860	26
Muestra 2	0,560	26
Muestra 3	0,330	20
Muestra 4	0,590	29
Muestra 5	0,780	55

Fuente: Pérez, (2017).

En la tabla 11, se observa Los valores de la concentración de mercurio (Hg) en sedimentos a lo largo del río Crucero fluctúan entre el valor máximo 0,860 mg/kg y mínimo 0,330 mg/kg en setiembre-2015, el mercurio se va depositando en las riberas del río, el análisis nos muestra que la presencia de este metal está presente en todo el trayecto del río Crucero, nos dice que años de uso de mercurio para amalgamar y recuperar el oro en los yacimientos de cabecera, ya se distribuyeron en toda la cuenca del río Ramís llegando a contaminar el lago Titicaca. La presencia de mercurio en el cauce del río crucero está por debajo de los límites máximos permisibles de Holanda, Suecia y USA, pero se tiene presente ya este metal en los suelos aledaños a los ríos y el desarrollo de este trae consigo un impacto negativo.

En cuanto a la concentración de plomo (Pb) en sedimentos a lo largo del río Crucero entre el valor máximo 55 mg/kg y mínimo 20 mg/kg en setiembre-2015. La variación del contenido de plomo en los puntos de muestreo es preocupante ya que presenta una alta concentración, en consecuencia, la presencia de Plomo en el río Crucero está por encima de los límites permitidos, el aumento es considerable en las Muestra 4 y Muestra 5.

Se demuestra que existe un contenido de mercurio en los sedimentos del río Crucero en donde son variables en las diferentes muestras y van generando una alteración en la biodiversidad de las zonas aledañas al río.



Figura 7. Ubicación de los puntos de muestreo

Fuente: Google Earth

Se demuestra que los metales pesados están presente en los suelos aledaños, un mal control y excesiva utilización del mercurio en la amalgamación para la recuperación del oro, explotación minera sin responsabilidad social y ambiental que generara impactos sobre el medio ambiente con el transcurrir del tiempo, una situación parecida pasa Cerro de Pasco y la Oroya en donde existen una alto impacto ambiental de la minera que realizo sus operaciones y creando drenaje de ácido de rocas y pasivos ambientales, dando como consecuencia a la población que reside en la zona y se encontró casos de mercurio en la sangre de la población, en donde se encontraron personas con hasta 10 ug/l de Hg y el límite máximo permisibles del metal en la sangre es de 2 ug/l , esta es una situación alarmante hacia el hombre y al ecosistema perdiendo una gran área de suelos que no son buenos para los seres

vivos (flora, fauna) de la zona, y dando por ende la pérdida de la cadena trófica,

El mayor problema es en el futuro, ya que la contaminación ambiental generada por la minería informal es por el uso de mercurio en forma excesiva e inadecuada para la extracción de oro, debido a que altera a la flora y fauna silvestre, así como cultivos y ganadería, con los consiguientes riesgos sobre la salud pública de aproximadamente 80,000 habitantes, y se estima que se pierden cada año alrededor de 15 toneladas de mercurio líquido en la zona de Puno, acrecentando la contaminación ambiental y los riesgos de salud pública.(Lobato, 2013) Con la presencia de metales pesados, en suelos se tiene un riesgo ambiental, es la probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico. (Aguilar, 2018)

Los resultados de la valoración de riesgos ambientales del total de componentes ambientales analizados por parámetro indican que muestran una afectación negativa debido a las actividades mineras son: calidad de aire (riesgo ambiental bajo), aguas subterráneas (riesgo ambiental bajo), aguas superficiales (riesgo ambiental alto), calidad del suelo (riesgo ambiental moderado), sedimentación y relaves (riesgo ambiental alto), ecosistemas, flora terrestre, flora acuática (riesgo ambiental moderado), hábitat, espacio terrestre, (riesgo ambiental alto), espacio acuático (riesgo

ambiental moderado), salud y seguridad de la población (riesgo ambiental alto), presentan impactos de carácter negativo.(Pérez & Canales, 2017)

#### 4. Conclusión

La investigación se realizó para dar a conocer el problema de la contaminación de suelos, aguas y la degradación que genera la minería artesanal e informal en Región Puno, se determinó las cantidades de metales pesados en los suelos y efluentes de la zona generando así un impacto negativo sobre la biodiversidad con el transcurrir de los años va incrementando la contaminación sobre el medio ambiente (una situación irreversible), los impactos que provocan los metales pesados en los suelos, el arsénico (As), mercurio (Hg), plomo (Pb) están por encima de los estándares de calidades ambientales para suelos y los límites máximos permisibles de sedimentos, también presentes en los sedimentos de los cauces de los ríos (Crucero, Carabaya, Cuyo cuyo), generando así un impacto en la biodiversidad, ecosistema y la cuenca del río Ramís llegando hasta el lago Titicaca y afectando directamente e indirectamente a la población, las plantas de beneficio artesanal no cuentan con una medida de control, monitoreo; como las canchas relaveras con medidas estandarizadas según a los relaves que generan por día, llegan al punto de colapsar, llenarse y no culmina con la sedimentación dando lugar a ser desechados al medio ambiente, a largo plazo se puede tener alteraciones en la cadena trófica y salud de los

pobladores de la zona de extracción minera y de la cuenca Ramís.

Se recomienda Implementar programas de remediación de suelos, mediante bioremediación, fitorremediación, bioadsorción y otros métodos para minimizar el contenido de metales pesados en los suelos, utilizar mejores métodos de amalgamación y cianuración para un mejor control del mercurio y no exponerlos al medio ambiente.

### Agradecimientos

Mis agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela profesional de Ingeniería de Minas, en la que complementé mi formación profesional.

A los Docentes de planta de la facultad de Ingeniería de Minas por su contribución académica a mi formación profesional.

### Referencia Bibliográfica

Tapara, Raúl (2018), *Evaluación técnica para la implementación del tratamiento de relaves mineros en tanque de agitación en el proyecto seis diamantes -Rinconada*, (tesis de pregrado), Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

Aguilar, Luis (2018), *Evaluación de los metales pesados en los relaves de cianuración para determinar el riesgo ambiental de la zona Antahuila – Rinconada Puno*, (tesis de maestría)

Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

Parí, Deyvi (2017), *Efectos de los relaves mineros en la calidad del agua del río Ananea – Puno* (tesis de pregrado) Pag.14-15 Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

Pérez, Moisés (2017), *Evaluación de riesgo ambiental en el área de influencia minera del río Crucero por plomo y mercurio - distrito de Ananea*. (tesis de doctorado), Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

Ccancapa, Yenny (2015), *Contaminación del agua superficial y sedimentos por mercurio en la Rinconada, originado por la minería informal (Ananea-Puno)*, (tesis de pregrado), Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

Catacora, Guillermo (2015), *Evaluación del impacto ambiental de la cooperativa minera señor de Ananea*, (tesis de pregrado), Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

Huanqui, Roger (2018), *Determinación de metales pesados en pastos, fibra, carne y vísceras de alpacas en comunidades del distrito de Ananea – Puno*, (tesis de doctorado), Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.

- Iquise, Víctor (2017), *Metales pesados en carne y vísceras de alpacas de dos comunidades del distrito de Ananea*, (tesis de pregrado), Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.
- Apaza, Hernán (2018), *Contenido de oro fino y mercurio en relaves de la planta minera grupo Vol. Company Unión SAC – Perú y su efecto económico*, (tesis de maestría), Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú.
- Tausa, R. B. (2016). *Contaminación de suelo en la zona minera de rasgatá bajo (tausa). Modelo conceptual conceptual model of soil pollution in the mining zone of rasgatá baja (tausa)*. 57-74.
- Astete, J., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., & Pari, J. (2009). *Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en lead intoxication and other health problems in children population who live near mine tailing*. 26(1), 15–19.
- Albarracín, Francisco (2014). *capacidad de adsorción para remover el ion metalico pb (11) por el tanino de la cáscara de tarwi (lupinus mutabilis sweet), de las aguas del rio ramis Puno, Perú*. (tesis de doctorado), Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, (11), 1–159.
- Mamani, Clever (2017). *Estudio de la contaminación de la cuenca del rio Suches Zona Ocopampa Piñuni por la actividad antropogénica*. (tesis de pregrado), Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú. (n.d.).
- Ministerio de Energía y Minas, (1999): *investigación y monitoreo de los ríos Carabaya - Ramis y Cabanillas*, ejecutado por la Universidad Nacional Agraria la Molina. Facultad de Ciencias Forestales Informe final. Lima, Perú.
- Kuramoto, J. (2001). *La minería artesanal e informal en el Perú*. Lima: Grade.