

# Universidad Nacional del Altiplano

## FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Escuela Profesional de Biología



### CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SEDIMENTOS POR MERCURIO EN LA RINCONADA, ORIGINADO POR LA MINERÍA INFORMAL (ANANEA- PUNO)

TESIS

PRESENTADO POR:

Br. YENNY ROSA CCANCAPA SALCEDO

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERÚ

2015

## UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



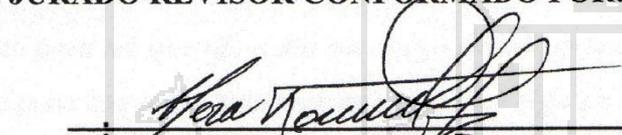
“CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SEDIMENTOS POR  
MERCURIO EN LA RINCONADA, ORIGINADO POR LA MINERÍA  
INFORMAL (ANANEA- PUNO)”

TESIS PRESENTADO POR:

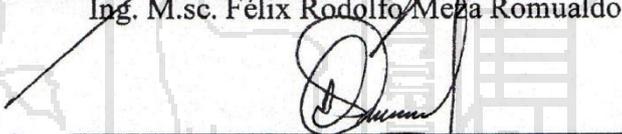
Br. YENNY ROSA CCANCAPA SALCEDO

PARA OPTAR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

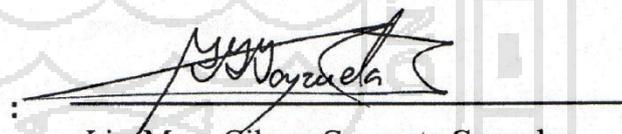
PRESIDENTE

  
Ing. M.sc. Félix Rodolfo Meza Romualdo

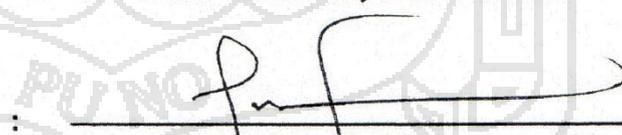
PRIMER MIEMBRO

  
Lic. M.sc. Dante Joni Choquehuanca Panclas

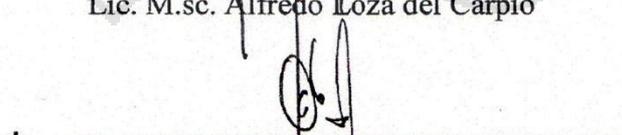
SEGUNDO MIEMBRO

  
Lic. M.sc. Gilmar Goyzueta Camacho

DIRECTOR DE TESIS

  
Lic. M.sc. Alfredo Loza del Carpio

ASESOR DE TESIS

  
Lic. Mg. Dante Mamani Sairitupac

PUNO - PERÚ

2015

ÁREA: Investigar la calidad ambiental para asegurar la salud y el desarrollo integral de las personas y la afectación de los ecosistemas.

TEMA: Sustancias químicas y materiales peligrosos.

## DEDICATORIA

*A mi querida Madre Tierra, por ser la fuente de todo el sustento del cual puedo vivir, en la cual se realiza y dignifica el trabajo diario.*

*A mi Madre Victoria y mi padre Jaime, por darme la vida y un motivo por cual vivirla, por su enorme esfuerzo, apoyo y sacrificio incondicional para que siga logrando mis objetivos.*

*A mis Hermanas Sonia, Lucy y Nayeli, por su apoyo, confianza, compañía y comprensión diaria.*

*A aquella Persona tan Especial para mí, que día a día me apoyó moralmente con su comprensión, paciencia en todo para que logre culminar este trabajo y siga en la lucha por nuestros sueños y metas.*

*A mis Profesores, que junto a ellos pase una gran etapa de mi vida en lo personal y profesional.*

**YENNY ROSA**

## AGRADECIMIENTOS

- A mi Director de tesis Msc. Alfredo Loza del Capiro, su apoyo ha hecho posible la culminación de la presente investigación.
- Al Ing. Rodolfo Meza Romualdo, sus valiosas sugerencias han contribuido a la mejora de mi trabajo de tesis.
- M.sc. Dante Choquehuanca Panclas, sus consejos oportunos han sido primordiales en el logro de mis aspiraciones.
- Al M.sc. Gilmar Goyzueta Camacho, sus valiosas sugerencias han contribuido a la mejora de mi trabajo de tesis.
- Al Mg. Dante Mamani Sairitupac, su apoyo en el desarrollo de la investigación.
- Al Lic. en Biología Miguel A. López Ruelas, por su valioso apoyo en el análisis estadístico de los datos.
- Al Ing. Agustín Cutipa Quenta, por su apoyo y asesoramiento profesional durante el desarrollo del estudio.
- A la Universidad Nacional del Altiplano (UNA) Puno, facultad de Ingeniería Agrícola, por facilitarme el laboratorio para el análisis de aguas
- Al Ing. Jaime Chincheros, por su apoyo y sugerencias, durante el desarrollo del estudio, Mis palabras no son suficientes para mostrarles mi gratitud.
- Tengo además la fortuna de contar con una familia que me ha apoyado a lo largo de toda mi vida. A mis padres Jaime y Victoria, se han sacrificado muchos años para que yo me dedicara a lo que realmente me gustaba.

## INDICE

CONTENIDO	Pág.
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Antecedentes .....	3
2.2. Marco teórico .....	6
2.3. Marco conceptual .....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Ámbito de estudio.....	22
3.3. Tipo de estudio.....	23
3.4. Unidades de muestreo.....	23
3.5. Metodología .....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Concentración de mercurio (Hg <sup>o</sup> ) en aguas superficiales de la Rinconada, distrito de Ananea, departamento de Puno.....	31
4.2. Concentración de mercurio en sedimentos de la Rinconada.....	34
4.3. Parámetros físicos y químicos en aguas superficiales de la zona de Rinconada.....	36
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES .....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS .....	59

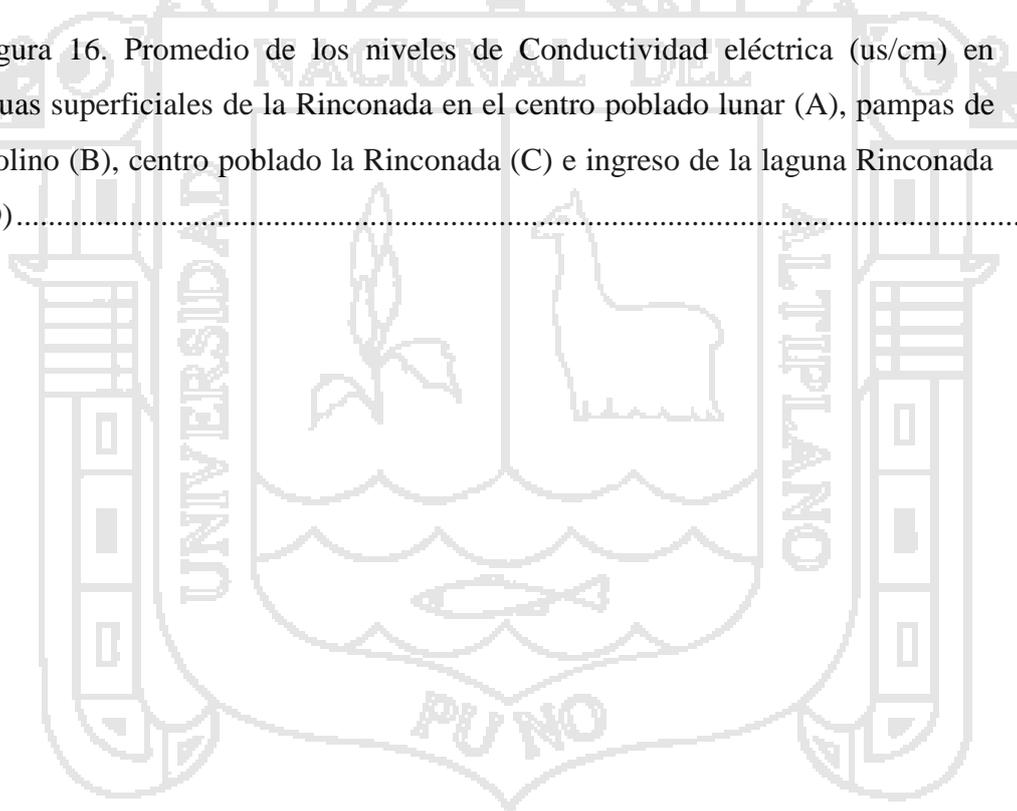
## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de mercurio Hg (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada en aguas del centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	31
Tabla 2. Concentración de mercurio Hg (mg/kg) en sedimentos de la Rinconada en aguas del centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	34
Tabla 3. Potencial de hidrogeniones pH en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D) .....	36
Tabla 4. Temperatura (°C) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	39
Tabla 5. Sólidos disueltos totales (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D) .....	41
Tabla 6. Turbidez del agua (UNT) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	43
Tabla 7. Oxígeno disuelto (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada quebrada lunar de oro (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	45
Tabla 8. Conductividad eléctrica (ms/cm) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concentración de mercurio (Hg) en el agua superficial de la Rinconada, de las zonas A, B, C y D, distrito de Ananea - Puno (diciembre del 2014 - marzo 2015).....	31
Figura 2. Niveles de concentración de mercurio Hg (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada en cuatro zonas de estudio. ....	32
Figura 3. Concentración de mercurio (mg/kg) en sedimentos de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015). ....	34
Figura 4. Promedio de la concentración de mercurio (mg/kg) en sedimentos de la Rinconada según las zonas de muestreo (diciembre del 2014 - marzo 2015). ....	35
Figura 5. pH en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de muestreados (diciembre del 2014 - marzo 2015).....	37
Figura 6. Potencial de hidrogeniones (pH) en aguas superficiales de la Rinconada, centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D). ....	37
Figura 7. Temperatura (°C) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015). ....	39
Figura 8. Promedio de los niveles de Temperatura (°C) en aguas superficiales de la Rinconada, centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) ingreso de la laguna Rinconada (D). ....	40
Figura 9. Sólidos disueltos totales (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015). ....	41
Figura 10. Sólidos disueltos totales (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	42
Figura 11. Turbidez (UNT) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015). ....	44

Figura 12. Turbidez (UNT) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	44
Figura 13. Oxígeno disuelto (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015). .....	46
Figura 14. Promedio de los valores del Oxígeno disuelto (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada; quebrada del poblado lunar de oro (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	46
Figura 15. Conductividad eléctrica (us/cm) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015) .....	48
Figura 16. Promedio de los niveles de Conductividad eléctrica (us/cm) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).....	48



## RESUMEN

El estudio se realizó en el distrito de Ananea, centro poblado la Rinconada, en cuatro zonas: A ubicado en la quebrada del centro poblado Lunar de Oro, zona B en la parte baja de la quebrada del poblado de la Rinconada, zona C en la parte media Pampas de Molino y zona D en el ingreso de la laguna Rinconada. Los objetivos del estudio fueron: Identificar y cuantificar la concentración de mercurio (Hg) en aguas superficiales del C.P Rinconada, Identificar y cuantificar la concentración de mercurio en sedimentos del C.P Rinconada y Determinar los parámetros físicos más importantes (pH, Temperatura, Sólidos disueltos totales, Transparencia, Oxígeno disuelto) en aguas superficiales del C.P Rinconada. El estudio se ejecutó desde durante octubre del 2014 a marzo del 2015, las muestras de agua superficial y sedimentos se tomaron en las cuatro zonas señaladas y las muestras se analizaron por el método de fluorescencia atómica EPA 245.2 en el laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz Bolivia. Resultados: la concentración de mercurio en aguas superficiales de la quebrada del centro poblado Lunar (A) con 0.00014 mg/l, en la parte baja de la quebrada del poblado de la Rinconada (B) de 0.00018 mg/l, en la zona media de Pampas de Molino (C) fue 0.00013 mg/l y en el ingreso de la laguna Rinconada (D) con 0.00015 mg/l, los valores fueron menores a los Límites Permisibles y estadísticamente similares entre zonas ( $P>0.05$ ). En el mes de diciembre el contenido de mercurio fue 0.00005 mg/l al igual que en enero y marzo con 0.00034 mg/l superior al resto de meses ( $P<0.05$ ). La concentración de mercurio en sedimentos, fue en la quebrada del centro poblado Lunar (A) con 180 mg/l, en la parte baja de la quebrada del centro poblado la Rinconada, (B) de 43 mg/l, en la zona media de Pampas de Molino (C) fue 50 mg/l y en el ingreso de la laguna Rinconada (D) con 75.67 mg/l, los valores fueron mayores a los Límites Permisibles y estadísticamente similares entre zonas ( $P>0.05$ ). En el mes de diciembre el contenido de mercurio fue 64.75 mg/l, en enero 78 y en marzo 118.75 mg/l. El pH en aguas superficiales son ácidos entre 3.4 a 3.47 unidades, la temperatura del agua varió de 5.9 a 6.4 °C debido a la altitud, los sólidos disueltos totales fueron de 693.3 a 713.3 mg/l con mayores valores en la zona alta del efluente, la turbidez fue de 24.3 a 140.3 UNT, el oxígeno disuelto varió de 2.27 a 3.28 mg/l, la conductividad eléctrica de 1366.67 a 14.03.3 ms/cm.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento más abundante del planeta, los océanos y mares representan el 97% del agua y el restante 3% se reparte en lagos y ríos (Tyler, 2002). Esta cantidad de agua dulce es muy pequeña y fundamentalmente para la vida animal, vegetal y microorganismos acuáticos, además el agua es indispensable para la supervivencia de casi todos los organismos vivos del planeta y cada vez es más apreciado, tanto para uso doméstico, industrial y agrícola. Su escasez, sobre todo en las ciudades, la sitúan como prioridad vital para el desarrollo de las poblaciones.

Los recursos naturales tienen una importancia indiscutible para todos los países, pero esta importancia se considera crucial actualmente para los países de América Latina, que por su condición económica lo vislumbran como una oportunidad de desarrollo debido a los incrementos de la inversión realizada por compañías multinacionales en los últimos años, principalmente por los elevados precios internacionales de los minerales metálicos (González, 2008).

La contaminación del agua, es uno de los problemas ambientales más importantes que afecta a nuestro planeta. Esta contaminación procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen geoquímico a partir de los minerales por causas de erosión, lluvias, etc. son arrastradas hacia el agua. Actualmente la mayor contaminación es de origen antropogénico, como resultado ocasiona desequilibrio ecológico y efectos adversos en los suelos, agua, vegetales, animales y el hombre. También origina enfermedades con secuelas genéticas representando una carga para los sistemas locales de asistencia en salud (Aguilar *et al.*, 2010).

El diagnóstico a medio y largo plazo de los recursos hídricos, muestra que la contaminación del agua será un problema cada vez más frecuente, el riesgo es que se produzca una crisis de agua, generando controversias sociales, sectoriales, regionales y transfronterizas (Aguilar *et al.*, 2010).

Actualmente en el Perú, vemos que la minería, así como ha generado consecuencias positivas para la economía, también causa diversos problemas en el medio ambiente, afectado a la población que vive en los alrededores, a lo largo del cauce de los ríos donde se desarrolla, produciendo un alteración ecológica que afecta a todos los seres

vivos (Asociación Ser 2007; Aguilar *et al.*, 2010; Florez *et al.*, 2010).

Es notorio que la cuenca del río Ramis, sufre una contaminación por la actividad de explotación y aprovechamiento de minerales. Por lo que existe alto riesgo de contaminación por metales pesados, entre ellos principalmente el mercurio ( $Hg^{\circ}$ ), lo puede causar un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud humana (Fifield y Haines, 1995; Scott *et al.*, 2000).

La zona del flanco occidental de la cuenca del Ramis, se ha visto afectada la actividad ganadera y lechera, por la contaminación generada por la explotación de material aurífero de las concesiones ubicadas en la zona de Lunar de oro y la Rinconada. Estudios de los siguientes autores (Asociación Ser 2007; Aguilar *et al.* 2010; Astorga *et al.* 2010; Florez *et al.*, 2010), hace énfasis de que se va deteriorando los recursos agua, suelo y el ecosistema ya que todo tipo de vida depende de la calidad del suelo, agua para su supervivencia, en muchos casos la bioacumulación de metales dentro de ellos el mercurio ( $Hg$ ). Lo resulta insostenible en el manejo de los recursos naturales.

El trabajo de investigación, ha permitido conocer los parámetros fisicoquímicos y mercurio ( $Hg$ ) en la Rinconada, en las zonas A, B, C y D, estableciendo el nivel de contaminación del agua superficial y sedimentos del centro poblado de la Rinconada, distrito de Ananea de la región Puno. Además el estudio aporta valores actualizados, que servirán para recomendar a las autoridades competentes, como la Municipalidad Distrital de Ananea, Dirección Regional de Salud Puno y todos los interesados, para que se implementen sistemas de gestión en el manejo integral del agua. En tal razón se han planteado en el estudio los siguientes objetivos:

#### **Objetivo general**

- Evaluar la contaminación por mercurio de aguas superficiales y sedimentos en la Rinconada, originado por la minería informal (C.P La Rinconada-Puno).

#### **Objetivos específicos**

- Identificar y cuantificar la concentración de mercurio en aguas superficiales del C.P. La Rinconada.
- Identificar y cuantificar la concentración de mercurio en sedimentos del C.P. La Rinconada.

- Determinar los parámetros físicos (pH, Temperatura, Sólidos disueltos totales, Transparencia, Oxígeno disuelto) en aguas superficiales del C.P. La Rinconada.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

Ramírez *et al* (2007), en el estudio “Evaluación de la concentración de metales pesados en el agua residual del canal Chilhuacán, Atlixco, Puebla” en México. Concluyen que el agua para riego agrícola que conduce el canal Chilhuacán, contiene los metales pesados Fe, Mn, Cu, Ni, Zn y Pb, y aunque las concentraciones totales son bajas y no sobrepasan el LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996, representan un problema de salud pública en el mediano y largo plazo. Los niveles de Pb y Cd en las aguas del canal, a pesar de ser bajos, puede representar un riesgo en el largo plazo, ya que son bioacumulables en el hombre y en los animales.

Granada y Escobar (2012). Tesis en Análisis y cuantificación de metales pesados (Pb, Cd, Ni y Hg) en agua, sedimentos y bioacumulación en la especie *Rhandia wagne (barbudo)* del río Cauca en el municipio de la Virginia. Dentro de los resultados que obtuvieron, Las concentraciones de cadmio (Cd), níquel (Ni) y plomo (Pb), encontradas en el agua del río Cauca, no exceden los límites permitidos por el decreto 3930 de 2010. El nivel de mercurio (Hg) 4.97 µg/L en el agua del río Cauca, excede, el límite permitido por el decreto 3930 de 2010, lo cual representa un riesgo latente para la salud de los pobladores de la zona, ya que dicha agua no se encuentra apta para consumo humano; para el caso del cadmio (Cd) con un promedio de 0.46 mg/Kg presenta una bioacumulación mayor en el pez. De los metales (Cd, Ni, Pb y Hg) estudiados en el sedimento del río Cauca, se hallaron concentraciones de cadmio 0.68 mg/Kg, plomo 7.11 mg/Kg, níquel 41.87 mg/Kg, mercurio 181.97 µg/Kg, lo cual evidencia una contaminación continua del río.

El Proyecto Especial Lago Titicaca – PELT (2003), la contaminación del Lago Titicaca y sus afluentes, encontrando como resultados para la sub cuenca del río Ramis (Puente Samán) en muestras de agua para los elementos pesados las siguientes concentraciones: As = 12.54 mg/l; Cd = <0.24 mg/l; Cr = 5.41mg/l; Ni = 2.61 mg/l; Pb = 0.99 mg/l; Hg = 0.51 mg/l; los cuales superan los límites permisibles.

Salas (2010). "Estudio de los niveles de contaminación por metales pesados en la zona de Ananea de la cuenca del río Ramis", Puno - Perú. Los resultados de laboratorios del análisis fisicoquímico de las 3 puntos de agua de la zona de Ananea, el punto 1 frente de la comisaria Ananea; el punto 2 río Lunar de Oro y el punto 3 la unión del río Lunar de Oro y Ananea, indica valores de; en el punto 1 pH 7.6, turbidez 2.9; en punto 2 pH 7.6, turbidez 0.8; en el punto 3 pH 7.7, turbidez 3.6; en época de lluvia, los valores en mg/l es: As (0.001), Cu (0.080), Cr (0.084), Pb (0.050), Zn (0.038), Hg (0.0002) mientras en los meses de estiaje en mg/l es: As (0.018), Cu (0.084), Cr (0.050), Pb (0.050), Zn (0.11), Hg (0.0024), se encuentran por encima de los límites máximos permisibles (LMP), y en época de estiaje por debajo de los LMP, de acuerdo al DS. 010-2010-MINEM.

Cutipa *et al.*, (2010), en un estudio "evaluación del impacto ambiental en la zona pampas de molino, en Lunar de Oro del distrito de Ananea – Puno – Perú. El área de estudio estuvo conformado por 5 puntos; el punto 1 es la quebrada Lunar de Oro, el punto 2 es aguas abajo la pampa de molino, el punto 3 desembocadura en la orilla de la laguna Rinconada, el punto 4 es la salida de la laguna Lunar de Oro y el punto 5 ubicada en la laguna Rinconada, aguas abajo del cementerio del centro poblado Lunar de Oro, Hallaron valores para los siguientes parámetros físicos químicos; temperatura (6.8), pH (5.24), Conductividad eléctrica (640), O. D. (4.69), TSD (414); el valor máximo para mercurio fue 0.050 y el mínimo 0.0005; los valores se encuentran fuera de los límites máximos permisibles de los ECAs para agua D.S.N°-2008-MINAN, categoría IV.

Mamani (2011). Evaluación de los recursos Agua y Suelo y sus alteraciones producido por la minería informal de Ananea, Puno - Perú. Obtuvo como resultado, en muestras evaluadas de los recursos Agua, y Suelo de la zona afectada, degradada de Ananea, se tiene la tendencia de una degradación total del recurso agua y suelo. Hallando valores para los 3 puntos del agua; en la represa Sillacunca el agua presentó un olor – azufrado-fétido 6 unidades, pH 7.44, conductividad eléctrica 0.007 ms/cm, sólidos totales 112.28 mg/l; en la zona Pampa blanca el agua presentó un olor – azufrado-fétido 5 unidades, pH 6.72, conductividad eléctrica 0.09 ms/cm, sólidos totales 356.47 mg/l; en la zona de Ananea el agua presentó un olor azufrado-fétido 5 unidades, pH 10.10, conductividad eléctrica 1.92 ms/cm, sólidos totales 302.76 mg/l. es evidente la contaminación hacia el río Ramis, que es un aportante del Lago Titicaca, los valores superan los límites máximos permisibles de los estándares de calidad ambiental.

Apaza y Justo (2011). "Contaminación de aguas por mercurio originado por la minería artesanal en la mina Rinonada y Lunar de oro" Puno - Perú. Encontrando como resultado en la muestras de agua los siguientes valores; en Lunar de Oro pH (4.24) y valores en mg/l para los elementos de: As (0.14), Cd (0.02), Pb (0.006) Hg (0.0002) y Zn (4.80) y en la rinconada pH (5.10) y en mg/l para los elementos de: As (0.001), Cd (0.02), Pb (0.006) Hg (0.0002) y Zn (0.04). Los valores del análisis muestran un pH extremadamente ácido que sobrepasa los LMP de los ECAs para consumo humano y riego las concentraciones de Cd y Zinc superan los ECAs para consumo humano, animal y riego.

Sotero y Alva (2013), realizaron el estudio "Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay", en la amazonia del Perú. Los análisis de metales pesados se realizaron utilizando la técnica de la absorción atómica. Los resultados del análisis de agua el plomo y mercurio se encuentran presentes en concentraciones mayores que lo indicado por las normas nacionales. El plomo tanto en creciente es en promedio de 0,111 ppm y 0,053 ppm respectivamente y el mercurio en vaciante se encuentra en 0,008 ppm. Del mismo modo la presencia de mercurio es alta en los sedimentos que acompañan a este río con 1,636 ppm en creciente y 3,03 ppm en vaciante.

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. El agua**

El agua es un elemento que existe en abundancia sobre el planeta Tierra. Se presenta en tres estados: líquido (ríos, lagos, arroyos, mares), sólido (hielo) y gaseoso (nubes, niebla). Desde el punto de vista químico, el agua en estado puro es un compuesto binario de oxígeno e hidrógeno. El agua, ya sea en cualquiera de los estados, es esencial para (consumo humano, animales, generación eléctrica, riego, turismo, recreación, industria, etc.). Por eso es primordial para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra (Aguilar, 2009).

### **2.2.2. Calidad del agua**

El problema de la calidad de agua es tan importante como aquellos relativos a la escasez de la misma, sin embargo, se le han brindado menos atención. El término calidad de agua se refiere al conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria. La calidad del agua se define como el conjunto de características del agua que pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico, lo que está relacionado con la calidad del agua, con las necesidades del usuario y su función ecobiológica en los ecosistemas. También la calidad del agua puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza, 1996).

La evaluación de la calidad del agua es un proceso de enfoque múltiple que estudia la naturaleza física, química y biológica del agua con relación a la calidad natural, efectos humanos y acuáticos relacionados con la salud (FAO 1993).

### **2.2.3. Contaminación del agua**

Contaminación es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir las condiciones en el agua, que afecta de modo directo o indirecto, que impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, el contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua (Gallego, 2000).

Las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de

fuentes puntuales y no puntuales. Éstas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente por actividades naturales, el mayor de los impactos es de carácter antropogénico (FAO, 1993). Existen dos tipos de contaminación de las aguas:

**Contaminación puntual:** Es aquella que descarga sus aguas en un cauce natural, proviene de una fuente específica, como suele ser un tubo o dique, está asociada a las industrias y las aguas negras municipales. El cual puede ser tratada (Repetto, 2001).

Las fuentes puntuales de contaminación, se desplazan por la superficie terrestre y penetran en el suelo arrastrado por el agua de lluvia. Estos contaminantes consiguen abrirse paso hasta las aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos, lagos y finalmente hasta los océanos en forma de sedimentos y cargas químicas. La repercusión de estos contaminantes puede ir desde pequeños trastornos hasta graves catástrofes ecológicas sobre peces, aves, mamíferos y salud humana (Ongley, 1997).

**Contaminación difusa:** Es el tipo de contaminación producida en un área abierta, sin ninguna fuente específica; este tipo de contaminación está asociada con actividades de uso tales como; la agricultura, urbanizaciones, pastoreo y prácticas forestales. Su control es más difícil debido a su naturaleza intermitente y su mayor cobertura (Gallego, 2000).

#### 2.2.4. Indicadores de calidad de agua

##### Parámetros físicos y químicos del agua

Para determinar la presencia de sustancias en las aguas es necesario realizar pruebas utilizando los estándares de Calidad de Agua (ECAs) (Mitchell *et al.* 1991).

##### a. Color

Es la impresión ocular producida por las materias en el agua. El color está ligado a la turbiedad. El agua debe ser incolora, a pesar de que en grandes masas toma una coloración azulada, a veces verdosa. En la coloración influyen, la presencia de sales minerales en disolución, materias coloidales, las algas microscópicas, tierras arcillosas, residuos industriales y putrefacción de materias orgánicas (Unda, 1969).

##### b. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una medida utilizada para evaluar la acidez o la alcalinidad de una solución. La sustancia ácida en solución acuosa libera protones. Las sustancias alcalinas aportan el ión hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) al medio. El pH mide la concentración de  $\text{H}^+$  (Basáez 2009).

El pH óptimo de las aguas para consumo humano debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9. Las aguas de pH menor de 5,5, son corrosivas, por el anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución. La mayoría de los organismos acuáticos se desarrollan en un pH de 5,6 a 8,5; rango que también es el ideal para el agua de consumo humano (MINAE, 2003).

### **Efecto del cambio de pH en los ecosistemas acuáticos**

La acidificación de los ríos afecta primero a las especies ácido sensitivas, pero cuando el pH cae por debajo de 5 más especies son afectadas. La alcalinidad de los ríos contrarresta la acidificación, se ha conocido con limitado éxito, las especies ácido sensitivas son observadas de vez en cuando pero sin persistir (Basáez, 2009).

La biota de un cuerpo de agua, puede ser influenciada por cortos o sostenidos periodos de acidificación, o indirectamente por alteraciones en las proporciones de organismos ácido-sensitivos y ácido-tolerantes en diferentes niveles tróficos (Corbet, 1999).

#### **c. Temperatura**

Las propiedades lumínicas y calóricas de un cuerpo de agua están influenciadas por el clima y la topografía tanto como por las características del propio cuerpo de agua: su composición química, suspensión de sedimentos y su productividad de algas. La temperatura del agua regula en forma directa la concentración de oxígeno, la tasa metabólica de los organismos acuáticos y los procesos vitales asociados como el crecimiento, la maduración y la reproducción. El ciclo de temperatura influye marcadamente en el fitness de plantas, animales. Por extensión determina el lugar, donde se distribuyen las especies y cómo varía la comunidad biótica del cuerpo de agua de estación en estación (Jill *et al.* 2003).

#### **d. Conductividad**

La conductividad del agua, es una expresión de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo que cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad (Unda, 1969).

#### **e. Sólidos totales disueltos**

El término TDS (Total Dissolved Solids) describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. La TDS y la conductividad eléctrica están estrechamente relacionadas. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. La mayoría de los sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena, son iones disueltos. El agua de alta pureza, en el caso ideal contiene solo H<sub>2</sub>O sin sales o minerales tiene una conductividad eléctrica muy baja. La temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de forma que su valor aumenta de un 2 a un 3% por grado Celsius (Lenntech, 2009).

#### **f. Oxígeno disuelto**

El oxígeno disuelto, es un parámetro crítico para caracterizar la salud de un sistema acuático. El oxígeno disuelto en el agua, es aprovechable para los peces y otros organismos acuáticos. El contenido de OD resulta de las actividades fotosintéticas y respiratorias de la flora y fauna en el sistema, y la mezcla de oxígeno atmosférico con aguas a través del viento y la acción de la corriente del arroyo (Moun y Moulton 1991).

#### **Factores que permiten el cambio del Oxígeno Disuelto en ecosistemas acuáticos**

La cantidad de oxígeno presente en el agua es afectada por la temperatura, la salinidad y la presión atmosférica. La concentración de oxígeno en el agua es inversamente proporcional con la temperatura. Si elevamos la temperatura del agua a su punto de ebullición generamos una solución libre de oxígeno. Podemos generalizar que a cualquier presión atmosférica, aguas frías saturadas con oxígeno contienen una mayor cantidad de oxígeno disuelto que aguas tibias o calientes. No obstante, la relación inversa entre temperatura y la concentración de oxígeno disuelto puede verse alterada en ambientes naturales por efecto de los procesos de fotosíntesis y respiración (Moun y Moulton 1991).

La propiedad óptica de la muestra que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbiedad en el agua, puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos (APHA, 1999).

Las partículas suspendidas en el agua, absorben calor adicional de la luz solar, lo cual ocasiona que el agua sea más caliente y los niveles de Oxígeno disuelto bajen (Timbrell, 2009). Las partículas suspendidas en el agua, son destructivas para organismos acuáticos, tales como los macroinvertebrados. Pueden obstruir las branquias de los peces e interferir para encontrar su alimento. También pueden enterrar las criaturas que viven en el fondo y los huevos. A su vez pueden transportar contaminantes en el agua (Timbrell, 2009).

### **2.2.5. Características generales del mercurio**

#### **El mercurio en la naturaleza**

El mercurio, se encuentra en la naturaleza como cinabrio rojo (HgS) y también como metacinabrio negro (sulfuro mixto). Estos dos sulfuros de mercurio se encuentran en cantidades apreciables en yacimientos de otros sulfuros como piritas (sulfuro de hierro), rejalgar (sulfuro arsénico), estilbina (sulfuro de antimonio) y otros sulfuros de zinc, cobre y plomo (Palacio *et al.*, 2003).

El mercurio terrestre tiene un origen magmático, emanando como un producto de desgasificación a lo largo de fallas profundas, proceso que continúa en la actualidad. De este modo el mercurio inicia su ciclo geoquímico pasando a la corteza terrestre y de esta al aire, agua, suelos de allí a las plantas, los animales y por último al hombre. Posteriormente el mercurio y sus compuestos reinician el ciclo en sentido inverso, en formas: sólidas, disueltas, absorbidas, gaseosas. Este último explica porque el mercurio, posee propiedades físicas y químicas, que le permiten tener una gran y fácil movilidad en diferentes medios (Cotton y Wilkinson, 1980).

#### **Propiedades físicas químicas del mercurio**

EL mercurio es un metal brillante color plata, que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido: su temperatura de fusión es de  $-38.9^{\circ}\text{C}$  y su temperatura de ebullición es  $357.7^{\circ}\text{C}$ . Su peso específico es de  $13.6 \text{ g/cm}^3$  ( $0^{\circ}\text{C}$ ). Mercurio metálico debido a su alta presión de vapor, se evapora fácilmente a temperatura ambiental; a  $20^{\circ}\text{C}$  su concentración en el aire puede alcanzar hasta  $0.014 \text{ g/m}^3$  y a  $100^{\circ}\text{C}$  hasta  $2.4 \text{ g/m}^3$ . Generalmente se habla de vapor de mercurio elemental que se encuentra presente en la atmósfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida (Khatoonabadi, 2008).

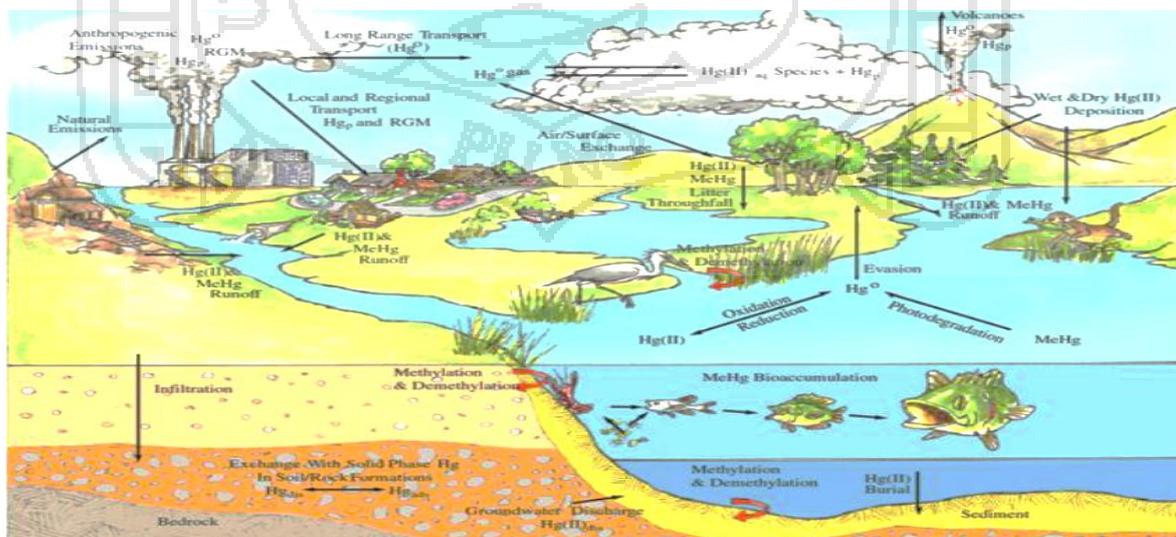
Un gran número de metales, mayormente oro y plata, forman aleaciones con el mercurio metálico, que se denominan amalgamas. Esta propiedad lo hace atractivo para la recuperación de oro, en la pequeña minería aurífera. La liposolubilidad en (aceite y gasas) oscila entre 5 y 50 mg/l. La solubilidad del mercurio en agua depende de la temperatura (Ahumada, 1994).

Solubilidad del mercurio en agua y su relación con la temperatura: (Ahumada, 1994).

60 mg/l	(20°C)
250 mg/l	(50°C)
1100 mg/l	(90°C)

El mercurio elemental ( $Hg^0$ ) puede oxidarse ( $Hg^+$ ,  $Hg^{2+}$ ) y combinarse con otros elementos formando sales y compuestos orgánicos llamados organomercuriales, los que se forman cuando el mercurio se combina con el carbono (C) e hidrogeno (H), por ejemplo el fenilmercurio ( $C_6H_5Hg^+$ ), etilmercurio ( $C_2H_5Hg^+$ ) y el metilmercurio ( $CH_3Hg^+$ ), la cual es muy toxica, para los mamíferos (WHO, 2005; Timbrell, 2009). A diferencia del vapor de mercurio inorgánico, el mercurio en su forma líquida no pasa la barrera cerebral y placentaria fácilmente (Khatoonabadi, 2008).

Los compuestos inorgánicos, se pueden formar cuando los iones de mercurio, se combinan con elementos como el oxígeno (O), el azufre (S) o el cloro (CL) formando sales de mercurio, por ejemplo: óxido de mercurio ( $HgO$ ), sulfuro de mercurio ( $HgS$ ) y cloruro de mercurio ( $HgCl_2$ ) (Khatoonabadi, 2008). Los microorganismos (bacterias, hongos) y procesos naturales (abióticos) pueden ocasionar el cambio de mercurio de una especie a otra (PNUMA, 2005; Llorente, 2011).



Mercurio y sus formas químicas en el ambiente, Prieto (2009); PNUMA (2005).

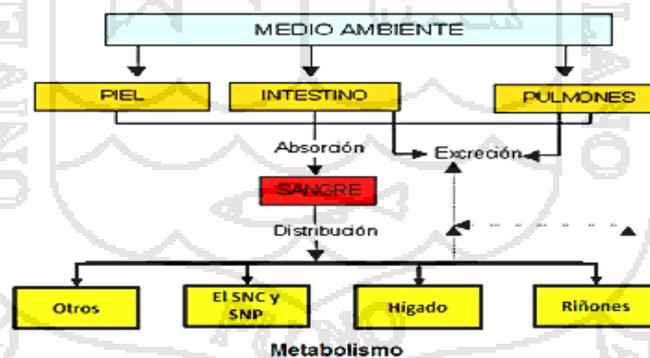
### 2.2.6. Toxicología del mercurio

El mercurio (Hg), es un metal pesado y su presencia en organismos vivos, resulta tóxica a partir de ciertos niveles que dependen, de las relaciones dosis - efecto y dosis - respuesta, la exposición, absorción, metabolización y excreción (Iskander *et al.*, 1994).

#### Efectos del mercurio en la salud

El mercurio es un elemento ubicuo, debido a esto las personas están expuestas en forma cotidiana (Valko, 2005). Existen factores que determinan si la exposición al mercurio ocasionara efectos adversos. La dosis, la duración y la vía de exposición, la edad, el sexo, la dieta, el estilo de vida, la condición de salud (Ward, 2010; Teaf, 2012).

Algunos iones y compuestos de mercurio son liposolubles (solubles en grasas) y fácilmente absorbibles (Zheng, 2002; Ming-Ho, 2005). Debido a esta propiedad pueden acumularse (almacenarse en los tejidos de organismos vivos) (Prieto, 2009) y magnificarse (acumulación en la cadena alimentaria) (PNUMA, 2005; Ward, 2010). Debido a su característica lipofílica (afinidad por las grasas), cuando el vapor de mercurio elemental entra al organismo, se distribuye en el cuerpo a través de la sangre. Fácilmente puede atravesar la barrera hematoencefálica (Khatoonabadi, 2008; Bernhoft, 2012).



Vías de exposición al mercurio, del organismo humano (Chien *et al.*, 2006).

El órgano blanco del mercurio, es el sistema nervioso central (SNC) y periférico (SNP) (Johnson, 2002). Los primeros síntomas de intoxicación son cefalea, pequeños temblores en los dedos, parpados y labios (Kosnett, 2006; Timbrell, 2009). A medida que la intoxicación progresa, se produce la triada clásica de temblor, gingivitis y eretismo (insomnio, timidez excesiva y variabilidad emocional) (Kosnett, 2006; Poulin, 2008). Además se manifiestan desordenes como pérdida en el control del habla (Johnson *et al.*,

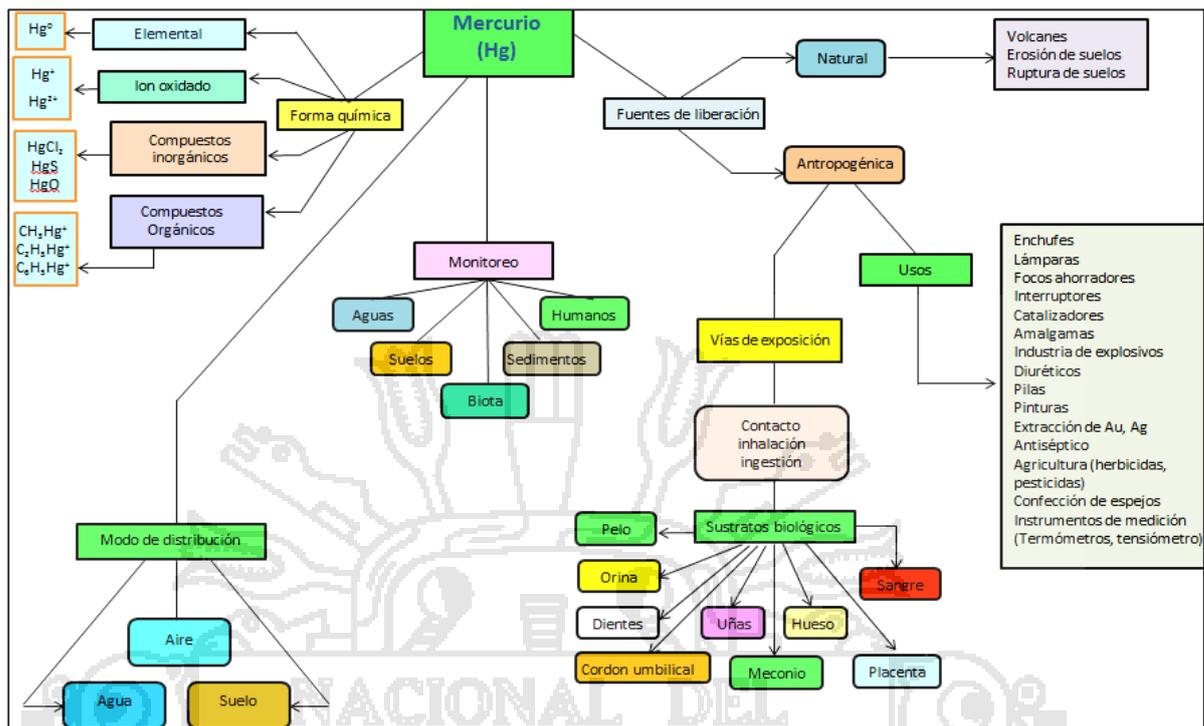
2004), pérdida de la memoria a corto plazo y anorexia (ATDRS, 2009), depresión, fatiga, irritabilidad, alteración del sueño, ansiedad e histeria (Teaf, 2012; Poulin, 2008).

El mercurio puede depositarse y ocasionar disfunción en las toroides, el miocardio, las glándulas adrenales, el hígado, los riñones, la piel, las glándulas sudoríparas, el páncreas, los eritrocitos, los pulmones, las glándulas salivales, los testículos y la próstata (PNUMA, 2010).

Los niveles de concentración de metil-mercurio, suelen ser más altos en el feto que en la madre, debido a la afinidad del compuesto por el tejido fetal y su capacidad de pasar la barrera placentaria (Jones, 2010). El desarrollo del cerebro del feto es particularmente sensible al metilmercurio (Gilbert, 2012). El niño expuesto intrauterinamente al mercurio, posteriormente puede mostrar retraso en su desarrollo, falta de coordinación y retraso mental (ATDRS, 1999).

#### **2.2.7. Monitoreo de mercurio en diferentes sustratos**

El aumento de niveles de mercurio, en el medio ambiente, es resultado principalmente de la revolución industrial, por acciones antropogénica (Minh-Ho, 2005). Los sustratos ambientales, mas estudiados para identificar el mercurio (Hg) son: productos marinos, sedimentos, aguas superficiales, aire, suelos. En el hombre, los sustratos más estudiados son: cabello, sangre, orina (Poulin, 2008; Teaf, 2012), uñas, sangre del cordón umbilical, meconio (ATSDR, 2009; PNUMA, 2010) y leche materna (WHO, 2003).



Distribución del mercurio en el ambiente (Minh-Ho, 2005) y el hombre (ATSDR, 2009)

### 2.2.8. Contaminación del agua por mercurio

En el medio natural los excesos pueden generarse por drenajes de agua de minas, de desmontes o de relaves mineros, en donde muchas veces el pH se eleva de (10 a 12) o se acidifica llegando a pH menores a 5.5. Las elevadas concentraciones de metales como; cadmio, mercurio y metaloides como arsénico, los que aún en pequeñas cantidades son altamente tóxicos, más aun en forma soluble, al ser fácilmente absorbibles por organismos vivos puede causar toxicidad (Laws, 1993).

### 2.2.9. Fuentes de contaminación del agua por mercurio

#### a. Natural

Los metales de forma natural, son introducidos a los sistemas acuáticos como resultado de la lixiviación de suelos y rocas, y erupciones volcánicas (Laws, 1993). El mercurio, generalmente no se elimina de ecosistemas acuáticos por procesos naturales, debido a que no es biodegradable (Förstner *et al.*, 1979). Por el contrario es muy contaminantes y sufre un ciclo global ecobiológico, donde las aguas naturales son el principal camino para su distribución. Es útil como indicador de la calidad ecológica del agua, debido a su toxicidad y a su comportamiento bioacumulativo (Prosi, 1991).

### **b. antropogénico**

La contaminación de origen antropogénico, es procedente de la intervención humana en el ciclo biogeoquímico del mercurio. Pueden provenir de las actividades antropogénicas como son, agrícolas, domésticas, industriales y mineras (Förstner, 1979). Los metales no sulfurados como el cromo (Cr), níquel (Ni) y mercurio (Hg), indican una posible contaminación antropogénica, que están asociados con las descargas industriales (Barón, 2003).

### **c. explotación de minerales**

Para tener acceso y explotar los minerales que se localizan a grandes profundidades, se llevan a cabo excavaciones profundas. Estas operaciones involucran la remoción de grandes cantidades de material sin o muy poco mineral de interés o valor; por cuestiones de presupuesto o de métodos de explotación de la mina, la resultante es que grandes cantidades de material con altos contenidos de minerales sulfurados, son dejados adyacentemente al término de la excavación, la oxidación de este material depende del área y tiempo de los minerales expuestos al ambiente (Castro y Monroy, 2002).

#### **Uso del Mercurio en la minería**

La Amalgamación es uno de los procesos más importantes en la recuperación de oro, en la minería para obtención de metales preciosos, dada la afinidad electrónica del oro con el mercurio forma una aleación física denominada amalgama. Esta propiedad, es la utilizada para capturar pequeñas y diminutas partículas de oro. Para la amalgamación, el oro debe encontrarse libre, limpio de incrustaciones de óxidos, de minerales y que su tamaño oscile entre 2 a 0.02 milímetros (López, 2002).

En la minería aluvial en donde el metal, ya se encuentra en estado libre y bastante limpio de impurezas, al pasarlo por el canalón el oro es atrapado y amalgamado; es notorio que parte del mercurio es arrastrado por el flujo y de allí a las fuentes de agua. En el caso de minerales filonianos, el mercurio se agrega en los molinos y al final de estos en placas electro plateado, sobre el cual el metal se adhiere formando una película (López, 2002).

En las minas, se tiene molinos o barriles de bolas (cocos), que sirven para moler y amalgamar simultáneamente. A su vez en la amalgamación se somete a temperaturas entre 350 °C y 600 °C, el mercurio a esta temperatura se evapora y va a parar

directamente al suelo y a la atmósfera (López, 1998). La pérdida del mercurio en la amalgamación del oro:

- Pérdidas por derrames involuntarios y evaporación: 0.1 gramos.
- Pérdidas por arrastre en el flujo: 1.3 gramos.
- Pérdidas por calcinación de la amalgama: 1.4 gramos.

Total pérdidas: 1.4 gramos de Hg, por cada gramo de oro recuperado (López, 2002).

### **2.2.10. Comportamiento del mercurio en los ambientes acuáticos**

Las formas naturales predominantes del mercurio, en el medio ambiente son el mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ) y el ión mercúrico ( $\text{Hg}^{+2}$ ), adicionalmente el sulfuro de mercurio ( $\text{HgS}$ ), presente por lo general en suelos y sedimentos anaeróbicos (Marrugo y Benitez, 2008).

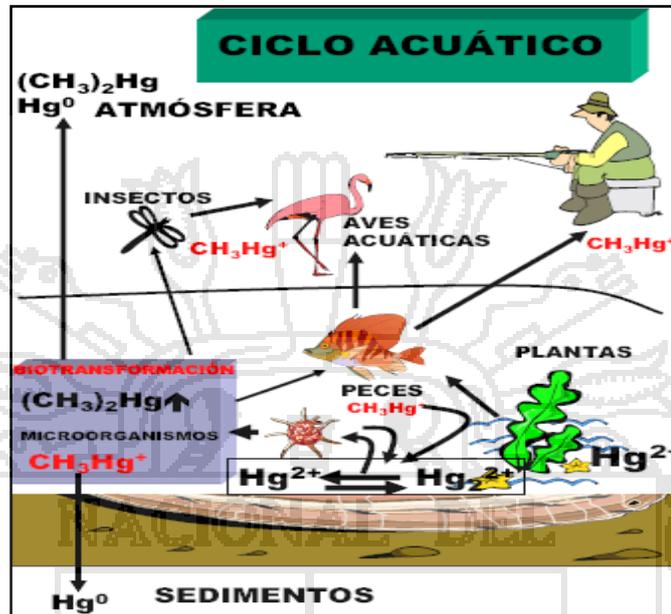
Cuando el mercurio de origen minero (antropogénico) alcanza los sedimentos del fondo en aguas naturales, es sometido a los siguientes mecanismos:

- Adsorción en el óxido férrico hidratado.
- Adsorción y/o intercambio iónico con las cargas terminales (iones) presentes en materiales arcillosos como la montmorillonita.
- Adsorción y/o enlace químico con materia orgánica como turba y especialmente aquella que contiene azufre.

El mercurio arrastrado a los cuerpos de agua, provenientes de las actividades mineras se fija a la capa de humus del suelo, específicamente en los sedimentos que están presentes en los sistemas acuáticos, en la medida que la materia orgánica se sedimenta en el fondo, el mercurio es adsorbido y su concentración en la columna de agua disminuye (Ruelas *et al.*, 2009). Los sedimentos hacia el fondo se tornan más anaeróbicos y el mercurio precipitado pasa a sulfuro mercúrico ( $\text{HgS}$ ), como elemento estable, reduciendo la posibilidad de ser reintegrado a la columna de agua. En condiciones aeróbicas y cuando se reducen los niveles en las quebradas de influencia por la actividad minera, el  $\text{HgS}$  se puede transformar en sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) que es más soluble, y el ión  $\text{Hg}^{+2}$  nuevamente se encuentra disponible para ser metilado; bajo condiciones aeróbicas, los compuestos inorgánicos del mercurio, son metilados por los microorganismos de tipo anaerobio (Ruelas *et al.*, 2009).

El cambio del mercurio, en forma inorgánica ( $\text{Hg}^{2+}$ ) a las formas metiladas ( $\text{CH}_3 \text{Hg}$  y  $(\text{CH}_3)_2 \text{Hg}$ ), es el primer paso en los procesos de bioacumulación. La metilación, se da

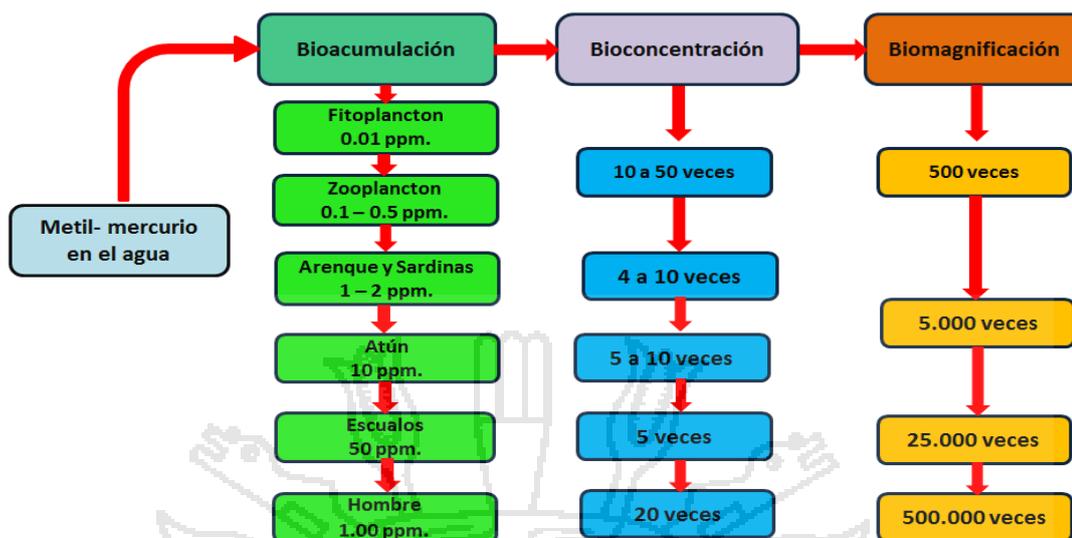
en sedimentos de las aguas oceánicas y cuerpos de aguas continentales. También se realiza en compartimentos acuáticos carentes de oxígeno, como en lagos en sus capas superficiales de sedimentos. Las bacterias también son responsables de la degradación del metilmercurio, que produce mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ) (Voegborio *et al.*, 2010).



Ciclo del mercurio en ambientes acuáticos (Peñaloza *et al.*, 2003).

El consumo de peces contaminados con metilmercurio, es la principal fuente de exposición y es considerado como una amenaza para la salud humana. Los peces pueden servir como organismos “centinela”, para indicar la exposición de la población humana, a contaminantes químicos en el agua, como el mercurio (Peñaloza *et al.*, 2003).

Una vez el metilmercurio, es liberado por los microorganismos, entra en contacto con la biota acuática a través de una rápida difusión, donde es fuertemente unido a sus proteínas. El metilmercurio es bioacumulado y biomagnificado. La primera, es el proceso, por el cual el metilmercurio es acumulado en los sedimentos y lodos del hábitat natural, contaminando desde las plantas acuáticas hasta los peces de mayor tamaño, llegando finalmente al hombre. La segunda, es el incremento de la concentración del químico, de organismo a organismo mediante la cadena alimenticia. De tal forma que las especies depredadoras contienen niveles de mercurio más altos, que las especies no depredadoras (Ward *et al.*, 2010).



Acumulación del Metil-mercurio en la cadena trófica (Ward *et al.*, 2010).

### 2.2.11. La Minería

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad. Casi desde el principio de la edad de piedra, hace 2.5 millones de años o más, ha venido siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Puede decirse que la minería surgió cuando los predecesores de los seres humanos empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. Al principio la minería implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria de desenterrar el sílex u otras rocas (Zegarra, 2008).

Los materiales empleados por la sociedad moderna han sido obtenidos mediante minería, o necesitan productos mineros para su fabricación. Incluso las otras actividades del sector primario; agricultura, pesca y silvicultura, no podrían llevarse a cabo sin herramientas y máquinas fabricadas con los productos de las minas. Cabe argumentar que la minería es la industria más elemental de la civilización humana, como también es la que genera mayores impactos negativos al ambiente (Kuramoto, 2004).

La minería implica la extracción física de materiales de la corteza terrestre, con frecuencia en grandes cantidades para recuperar solo pequeños volúmenes del producto deseado. Por eso es imposible que la minería no afecte al medio ambiente, al menos en zonas aledañas donde se desarrolla la explotación de minerales (Kuramoto, 2004).

### 2.2.12. La minería informal en el Perú

En el Perú la extracción ilegal de minerales es una actividad económica que consiste en la explotación de minerales metálicos como el ( oro, plata, cobre, etc.) y no metálicos (arcilla, mármoles, entre otros), sin control ni regulación social y fiscalización ambiental de parte del Estado peruano (Gestión, 2009).

Lo informal de esta actividad conduce a la ilegalidad, desarrollándose en distintos niveles: mediana minería, minería a pequeña escala y minería artesanal. Las personas dedicadas a esta actividad tienen un bajo nivel de instrucción y realizan la extracción de manera individual o en grupos. Además de que la Minería Ilegal en el Perú tiene repercusión para el sector minero y el país, lo que indica que esta situación desintegra el proceso productivo, lo que dificulta la explotación sostenible del recurso y el manejo ambiental adecuado (Medina *et al.*, 2007).

Según Antonio Brack, biólogo, ecologista, investigador peruano, la ilegalidad de esta actividad reside en la falta de estudios de impacto ambiental (Gestión, 2009).

Señala que la minería ilegal ocasiona severos impactos sobre la salud de las poblaciones vecinas por diversas formas de envenenamiento (a través del agua, suelo y del aire). Las consecuencias que la minería informal genera son: la contaminación y las alteraciones en la calidad del agua (acidificación, sedimentación), la pérdida de biodiversidad, especialmente hidrobiológica y ribereña (SNMPE, 2008).

#### Causas

La minería ilegal ocurre a consecuencia de problemas sociales y económicos. La Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, indicó que la expansión de esta actividad registrada en los últimos años, ha sido alentada por la falta de empleo en el área rural, el elevado precio de los metales y porque las organizaciones o grupos que están detrás de esta actividad, que aprovechan la ausencia del estado para actuar al margen de la ley (Kuramoto *et al.*, 2004).

### 2.2.13. Centro poblado de la Rinconada

La Rinconada es un centro poblado, ubicado en los Andes peruanos, en el centro de las minas de oro. Es considerada la ciudad más alta del mundo (SER; 2007).

### **a. Ubicación**

La Rinconada es un centro poblado, que está a una altitud de 5200 m.sn.m., dentro de la jurisdicción del Distrito de Ananea, en la Provincia de San Antonio de Putina, Departamento de Puno, Perú. La Rinconada está ubicada en la región Janca, según la clasificación de Pulgar Vidal. Su área urbana abarca gran parte del flanco occidental de una estribación del nevado Ananea grande (SENAMHI, 2009).

El relieve del poblado es muy escarpado, con pendientes muy abruptas, asimismo las minas se hallan regadas en todo el flanco sur del nevado Ananea grande, el tránsito en esta zona es peligroso por la presencia de nevados en las cumbres de los cerros (SENAMHI, 2009).

Las zonas circundantes a la Rinconada: Noroeste: Sina, Noreste: Cuyocuyo, Norte: Sandia, Oeste: Lunar de Oro, Este: Pelechuco, Sureste: Ananea, Sur: Pampa Blanca y Sureste: Suches.

### **b. Población**

La población local creció 35% entre 2001 y 2009 y actualmente tiene cerca de 45.000 habitantes. Forma a su vez con los poblados cercanos, una zona metropolitana de alta densidad demográfica que abarca a: Ritt'icucho, Yurajpampa, Lunar de oro, Ananea y al mismo pueblo de la Rinconada.

### **c. Actividades Económicas**

#### **Minería**

Es la principal actividad económica y constituye el centro de otras conexas. El pueblo la Rinconada y los pueblos de cercanos. Muchos mineros trabajan en la mina, para los contratistas, que pertenece a diferentes empresas, Bajo un sistema conocido como cachorro, ellos trabajan diariamente sin recibir sueldo. El fin de semana, los mineros pueden llevar el material de las mina que ellos puedan. Si el material contiene buena cantidad de oro, es una cuestión de suerte y es el único medio de pago (SER, 2007).

#### **Comercio**

En el centro poblado de la Rinconada, se percibe una vitalidad comercial en los rubros de abastecimiento que van desde artículos de primera necesidad, hasta artefactos

eléctricos. Existen numerosos establecimientos que brindan servicios de hospedaje y alimentación, insumos y servicios para la minera (SER, 2007).

#### **d. Vías de comunicación y transporte**

Se accede al poblado mediante una buena carretera, en su gran mayoría asfaltada desde la ciudad de Juliaca que pasa por el distrito de Putina y de allí hasta el distrito de Ananea, la continuación de esta carretera es trocha hasta llegar al centro poblado de la Rinconada.

#### **e. Problemas ambientales y sociales**

El centro poblado de la Rinconada y Lunar de oro, no cuentan con sistemas de alcantarillado, ni desagüe; como consecuencia se genera contaminación por los residuos, aguas domésticas, por los desechos de la extracción de las minas y los residuos del proceso de recuperación del oro con mercurio (SER, 2007).

Socialmente, se mencionan cantinas y clubes nocturnos donde se expende bebidas alcohólicas y ejerce la prostitución, sin fiscalización por parte de las autoridades.

### **2.3. Marco conceptual**

Se tendrán los siguientes términos:

**Absorción atómica:** La espectrofotometría de absorción atómica involucra la medición de la luz absorbida por átomos de interés como una función de la concentración de esos átomos en una solución en particular (Martin *et al.*, 1994).

**Calidad:** conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades explícitas (Camargo y Alonso, 2007).

**Contaminación.** Cambio indeseable de las propiedades físicas, químicas y biológicas que puede provocar efectos negativos en los diferentes componentes del medio ambiente (Camacho y Bitar, 2005).

**Agua superficial:** Es todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo permanente, laguna, embalse natural o artificial, tubería o pantano de agua dulce (Camargo y Alonso, 2007).

**Ecosistema.** Comunidad de elementos bióticos y abióticos en estrecha relación con el medio y que ocupa un determinado espacio terrestre o acuático (Camacho y Bitar, 2005).

**Metales pesados.** Elementos de elevado peso atómico potencialmente tóxicos que se emplean en procesos industriales, tales como el cadmio, el cobre, el plomo, el mercurio y el níquel que, incluso en bajas concentraciones, pueden ser nocivos para las plantas y los animales (Ming-Ho, 2005).

**Mercurio.** Presenta alta densidad y peso atómico alto, de color plateado y apariencia líquida a temperatura ambiente. Causan efectos tóxicos para los seres vivos (Español, 2001).

**Microcuenca.** Las micro cuencas son unidades pequeñas y a su vez son áreas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas (Camargo y Alonso, 2007).

**Mineral:** Sustancia homogénea que tiene propiedades físicas y composición química definida y formado bajo condiciones físicas favorables con estructura cristalina (Español, 2001).

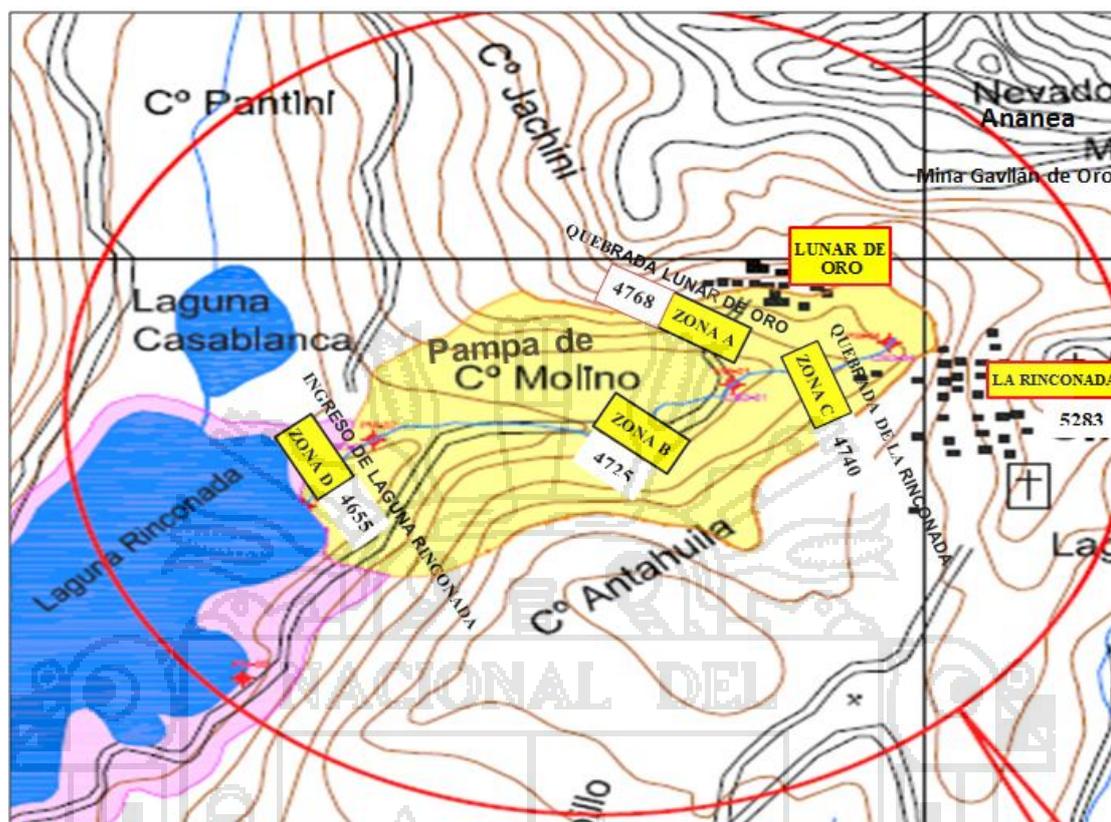
### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ámbito de estudio

La evaluación se realizó en parte del centro poblado de la Rinconada y parte del centro poblado de Lunar de Oro. Donde desde hace algunos años se consolidó en un poblado minero alrededor de la minería artesanal y en los últimos años se incrementó debido a la informalidad, llegando a la mediana minería; todo esto debido a los yacimientos ricos en mineral aurífero en esta zona. Su área está al Sur de la Cordillera Oriental, están ubicadas en la región Janca, pertenece al distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno.

El lugar está ubicado geográficamente al Nor-Este del departamento de Puno entre 4500 y 5,200 m.s.n.m. SENAMHI (2009).

El clima del área de estudio, es frígido y seco durante gran parte del año. La temperatura ambiente, es muy baja particularmente durante las noches en que alcanza varios grados bajo cero, hasta  $-20^{\circ}\text{C}$ , con intensas y fuertes precipitaciones de nevadas del tipo granizo y plumilla durante los meses de noviembre a abril (SENAMHI, 2009).



Mapa de ubicación de la zona de estudio

### 3.2. Tipo de estudio

El estudio fue descriptivo ya que se realizó la medición de las concentraciones de mercurio y los parámetros fisicoquímicos en los cuerpos de agua superficiales de la Rinconada, transversal porque las variables serán medidas en 3 repeticiones (meses).

### 3.3. Unidades de muestreo

Las unidades de análisis del presente estudio de aguas superficiales y sedimentos de la Rinconada, se determinaron de la siguiente manera:

Se analizaron en las zonas A, B, C y D con tres repeticiones haciendo un total de 24 muestras, de los cuales 12 muestras para aguas superficiales y 12 muestras para sedimentos, los que fueron tomados en 3 repeticiones, en 4 puntos estratégicos, de los cuales 3 puntos ubicados en la Rinconada y 1 punto en parte baja de Lunar de Oro.

### 3.4. Materiales

#### Muestras

Muestra de agua del Centro poblado de la Rinconada.

Muestras de sedimentos del Centro poblado de la Rinconada.

#### Materiales de laboratorio

##### Equipos

Multiparámetro marca HACH

Espectrofotómetro de fluorescencia atómica EPA 245.2

pHmetro digital - HANNA

Conductímetro digital "HACH"

Termómetro digital - WWR

Turbidímetro digital - HANNA

Oxímetro digital "WTW"

GPS

##### Material de vidrio

Bureta graduada

Frasco de polietileno con tapa hermético (rosca) 1l.

Matraz de Erlenmeyer de 50 ml a 100 ml.

Pipetas volumétricas

##### Otros materiales

Algodón

Papel craft

Cinta adhesiva

Plástico con cierre

Plumón indeleble

Cooler

Guantes desechables

Bolsas de plástico

Agua destilada

Cucharon metálica

Casco

Botas

### 3.5. Metodología

El estudio se realizó en los meses de octubre del 2014 a marzo del 2015, los muestreos se realizaron de diciembre a marzo, considerando que estos meses representan la época de lluvias, además en la explotación de minerales se incrementa, la descarga de relaves, la generación de residuos y la contaminación del agua se incrementa notoriamente.

El agua superficial de la zona estudio: proviene de las desglaciaciones de hielo, de minas que se encuentran en etapa de explotación y de las que están en abandono, también el agua que proviene de la población del centro poblado Lunar de Oro y la Rinconada.

Los muestreos se realizaron en tres repeticiones, en cuatro zonas estratégicas, la distancia entre cada punto de muestreo es de 400 metros, el área de estudio se encuentra entre los centros poblados de Lunar de Oro y Rinconada.

Los puntos de muestreo establecidos, para los análisis físicos y químicos (Hg), tanto del agua superficial y sedimentos; se utilizaron los siguientes códigos para identificar las muestras A (1, 2, 3), B (1, 2, 3) y C (1, 2, 3) y D (1, 2, 3); el análisis de parámetros físicos se realizó en el Laboratorio de Calidad de Aguas de la Facultad de Ingeniería Agronómica y los análisis de mercurio (Hg), se realizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz – Bolivia.

Los puntos de muestreo se dividieron en 4 zonas, su ubicación fue de la siguiente forma:

**Zona A** – 4732 msnm., para aguas superficiales y sedimentos, el punto de muestreo fue ubicado aguas abajo en la quebrada del centro poblado Lunar de Oro.

**Zona B** – 4720 msnm., para aguas superficiales y sedimentos, el punto de muestreo fue ubicado en la quebrada del centro poblado de la Rinconada.

**Zona C** – 4655 msnm., para aguas superficiales y sedimentos, el punto de muestreo fue ubicado en la zona media de Pampas de Molino.

**Zona D** – 4557 msnm., para aguas superficiales y sedimentos, el punto de muestreo fue ubicado en el ingreso de la laguna Rinconada.

### 3.5.1. Análisis de agua

#### a. Toma de muestra de agua superficial

Las muestras de agua fueron tomadas entre los centros poblados de Lunar de Oro y Rinconada, se estableció 4 puntos de muestreo: **Zona A**, quebrada del centro poblado Lunar de Oro; **Zona B**, parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada; **Zona C** zona media de Pampas de Molino y la **Zona D**, ingreso de la laguna Rinconada.

La metodología fue de acuerdo al “**Protocolo de Monitoreo de los recursos hídricos superficiales del Perú**”, Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA (MINAM, 2011).

La toma de muestras de agua superficial de la Rinconada; se detalla a continuación:

Las muestras de agua, se tomaron en frascos estériles de polietileno un volumen de 1000 ml

En la fuente de agua, se procedió a la toma de muestra en frascos estériles a una profundidad de 20 cm, en forma vertical, luego se procedió a realizar el arrastre en contra corriente, posteriormente se recogió el frasco con líquido en su interior, se colocó la tapa herméticamente y fueron acondicionados en un cooler para su traslado al laboratorio, previamente se rotuló la botella con tinta indeleble.

Cada muestra fue etiquetada, con la siguiente información: código de muestra, fecha y hora de la toma de muestra, país, departamento, provincia, distrito, nombre de la zona de estudio; finalmente el nombre del muestreador.

#### b. Identificación y cuantificación de la concentración de Mercurio ( $Hg^{\circ}$ ) en agua superficial

Las muestras de agua recolectadas, fueron llevadas hacia el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz – Bolivia.

#### **Mercurio en agua superficial**

Según el protocolo de análisis y la técnica, para la determinación de mercurio.

Se midieron 150 ml de la muestra de agua, en un beacker previamente lavado con una solución (1:1) de  $HNO_3-H_2O$  desionizada, se adiciono 3 ml de  $HNO_3$  concentrado y 7 ml de  $H_2SO_4$  concentrado y se colocó el beacker en un baño isotérmico a  $90^{\circ}C$  sin

llevar a ebullición, hasta que el volumen se redujo a 20% del volumen inicial. Se enfrió a temperatura ambiente, se filtró con un papel de poro de 0.45  $\mu\text{m}$  en un balón aforado para remover los sólidos suspendidos. Se adicionó  $\text{KMnO}_4$  al 5% hasta que el color morado persista en la solución y se enfrió a temperatura ambiente.

Po último se adicionó cloruro de hidroxilamina al 1.5% hasta que la solución tomó un color transparente y se aforó. El mercurio (Hg) se determinó mediante el método de Espectrofotometría de Fluorescencia Atómica EPA 245.2 (APHA, 2005).

### **3.5.2. Identificación y cuantificación de la concentración de mercurio (Hg) en sedimentos.**

#### **a. Toma de muestras de sedimentos**

Los sedimentos fueron tomadas entre los centros poblados de Lunar de Oro y Rinconada, se estableció 4 puntos de muestreo; **Zona A** quebrada del centro poblado Lunar de Oro; **Zona B** parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada; **Zona C** zona media de Pampas de Molino y la **Zona D** ingreso de la laguna Rinconada.

La metodología usada para sedimentos (Clesceri, 1998), se detalla a continuación:

Las muestras de sedimentos se tomaron en un peso de 500 g a 1000 g, en bolsas de plástico estériles con cierre hermético.

En cada punto de muestreo, se tomaron las bolsas del cooler, luego se procedió a la toma de muestra a una profundidad determinada de 20 a 30 cm. donde se alcance a los sedimentos del agua, en forma vertical y luego se hizo el arrastre, posteriormente se colocó los sedimentos en el interior de las bolsas de plástico, se colocó el cierre hermético, se rotuló con tinta indeleble y se guardó en el cooler para su traslado al laboratorio.

Cada muestra fue etiquetada con la siguiente información: código de muestra, fecha y hora de la toma de muestra, país, departamento, provincia, distrito, nombre del lugar y referencia del lugar de la zona de estudio; finalmente el nombre del recolector.

Las muestras de sedimentos recolectados, fueron llevadas hacia el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz – Bolivia.

### **b. Mercurio en sedimentos**

Se secó la muestra a 90°C en una estufa y se pulverizó con un mortero, se tamizó con un tamiz de 60 µm, se almacenó en bolsas herméticas de polietileno. Para la digestión acida inicialmente se homogenizó el sedimento y se pesó 1 gramo en un Erlenmeyer, previamente se lavó con una solución (1:1) HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O des-ionizada. Se agregó 3 mL de HCl concentrado y 9 mL HNO<sub>3</sub> concentrado (proporción (1:3) HCl/HNO<sub>3</sub>). Se adicionó los ácidos teniendo la precaución de que el erlenmeyer estuviera sobre un baño de hielo. Se calentó en un baño isotérmico durante 3 horas a 85°C. Las muestras se enfriaron a temperatura ambiente, y finalmente se filtró con un papel de poro de 0,45 µm sobre un balón aforado para remover los sólidos suspendidos y se aforó a un volumen de 50 ml según lo sugerido por Clesceri (1998).

El mercurio se determinó, mediante el método de Espectrofotometría de Fluorescencia Atómica EPA 245.2 (APHA, 2005). El análisis se realizó en el laboratorio de Calidad Ambiental, de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz - Bolivia.

### **3.5.3. Determinación de los parámetros físicos y químicos importantes**

#### **a. Temperatura (°C)**

La lectura de la temperatura se realizó en el mismo lugar de muestreo, sumergiendo un termómetro digital en el interior de la muestra tomada, en cada punto de muestreo y esperando hasta que se logre una lectura constante, esta evaluación se realizó *in situ* y se tomó nota de las temperaturas registradas respectivamente.

#### **b. Conductividad eléctrica**

Las muestras de agua superficial, se tomaron en frascos estériles de plástico.

Se utilizó un pequeño matraz de vidrio de 100 ml limpio y seco, al cual se agregó 50 ml de muestra de agua en estudio, inmediatamente se introdujo el electrodo del medidor multiparámetro sensION 156 30QD marca HACH, hasta que el equipo establezca la lectura, una vez obtenido los datos se comparó con los estándares de calidad ambiental para agua de río.

Una vez que se realizó la lectura, se anotó los valores obtenidos en cada punto muestreado con cifras significativas.

### **c. Potencial de hidrogeniones “pH”**

La medición se realizaron con el medidor pHmetro digital – HANNA, el mismo que detecta de forma rápida y precisa el valor de pH, se tomaron las muestras de agua en cada punto y se procedió a tomar las medidas de pH. Se anotó el valor de obtenido con cifras significativas de acuerdo a la precisión del medidor del pH-metro utilizado.

### **d. Turbidez**

Se tomó la muestra de agua de cada punto, se tomó 50ml de muestra y el instrumento usado para su medida fue el Turbidímetro digital marca HANNA, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

### **e. Oxígeno disuelto**

El análisis de oxígeno disuelto se realizó en laboratorio de calidad de aguas de ingeniería agronómica, por el método de “winkler” en donde el volumen de tiosulfato usado en la titulación final será proporcional al oxígeno disuelto en la muestra.

### **f. Sólidos disueltos totales**

Para la determinación de los sólidos totales disueltos se empleó el método gravimétrico según los métodos estándar APHA (2005).

La obtención de los sólidos totales disueltos, se logró después de someter un volumen considerable de la muestra, a un proceso de evaporación a temperaturas comprendidas entre 103 y 105°C, hasta que alcance un peso constante. El peso de los residuos filtrables que permanece luego de la evaporación, representa la concentración de sólidos totales disueltos.

#### **3.5.4. Métodos estadísticos**

El diseño estadístico utilizado fue; bloques completos al azar (DBCA), donde los tratamientos estuvieron formados por las zonas de muestreo y los bloques por los meses de toma de muestras, las variables de respuesta fueron la concentración de mercurio en aguas superficiales y los sedimentos, así como los parámetros físicos y químicos para el estudio.

### Análisis de varianza de un diseño bloque completo al azar

Se utilizó el análisis de varianza en dos sentidos (tratamientos y bloques), aplicable en casos en que la fuente de variabilidad tratamientos son controladas mediante la formación de bloques; la idea es agrupar a las observaciones de los distintos bloques de modo que sean los más homogéneos y heterogéneas entre los tratamientos (Eyzaguirre, 2004).

Adicionalmente se utilizó la prueba de rango múltiple de Duncan, que permitió realizar comparaciones específicas de los valores hallados respecto a las zonas o meses de muestreo.

El modelo lineal aditivo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  = Variable de respuesta (mercurio, parámetros fisicoquímicos)

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto verdadero de la i-ésima zona de estudio

$\beta_j$  = Efecto verdadero del j-ésimo mes

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

### Prueba de rango múltiple de Duncan.

#### Procedimiento:

- 1) Encontrar el error estándar de la media:  $S_x$

$$S_x = \sqrt{\frac{2 CM_{EE}}{r}}$$

$r$  : Número de repeticiones

$CM_{EE}$  : Cuadrado Medio del Error Experimental

- 2) Encontrar la Amplitud Estudiantizada Significativas de Duncan: AES(D)

$$AES(D) = D_{(t-1, GL_{EE}); \alpha}$$

- 3) Determinar la Amplitud Límite de Significación de DUNCAN:

Amplitud Límite de Significación de Duncan: ALS (D)

$$ALS(D) = AES(D) S_x$$

- 4) Ordenar los promedios de los tratamientos en serie por su magnitud en forma decreciente y realizar las diferencias de medias entre pares de tratamientos.

Los análisis numéricos para estas pruebas estadísticas se realizaron en el software estadístico SPSS V.17. Previo al análisis de varianza se verificó la homogeneidad de las varianzas.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

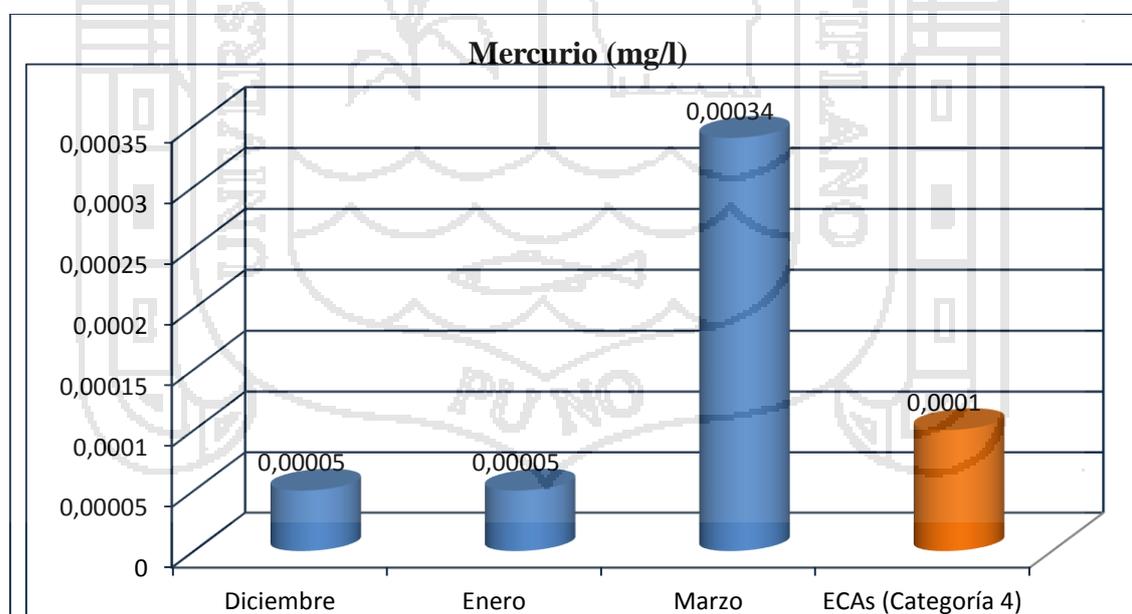
##### 4.1. Concentración de mercurio ( $Hg^{\circ}$ ) en aguas superficiales de la Rinconada, distrito de Ananea, departamento de Puno.

Los resultados de la concentración de mercurio ( $Hg$ ) en aguas superficiales, se muestran en la siguiente tabla:

**Cuadro 1.** Concentración de mercurio  $Hg$  (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar (A), quebrada del centro poblado la Rinconada (B), zona media de Pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

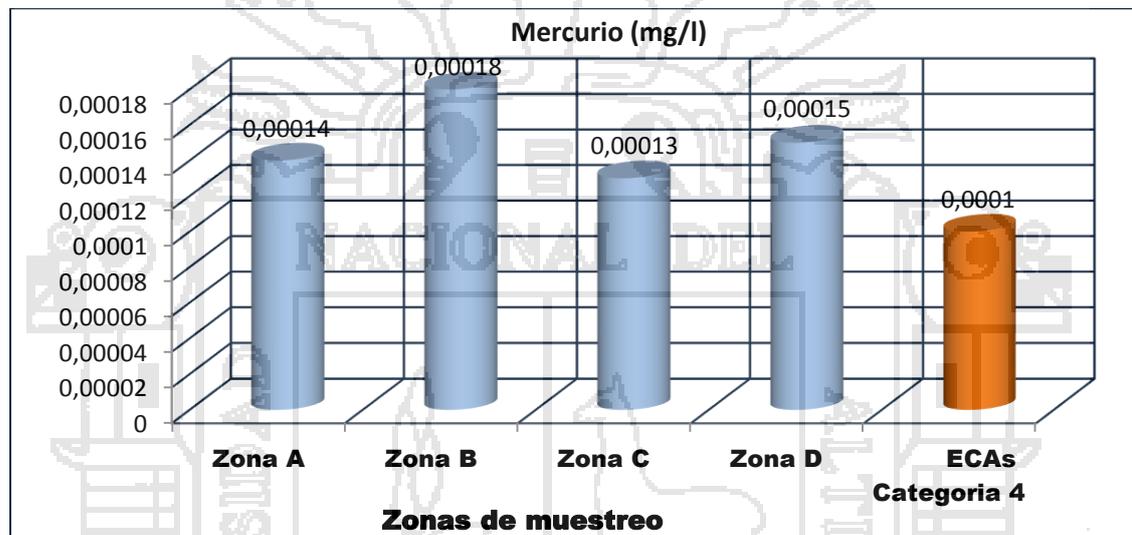
Meses \ Zonas	Zona A Hg (mg/l)	Zona B Hg (mg/l)	Zona C Hg (mg/l)	Zona D Hg (mg/l)	Promedio Hg (mg/l)	E.E Hg (mg/l)
Diciembre	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00000
Enero	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.00000
Marzo	0.00031	0.00043	0.00028	0.00034	0.00034	0.00003
Promedio	0.00014	0.00018	0.00013	0.00015		
E.E	0.00009	0.00013	0.00008	0.00010		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 1.** Concentración de mercurio ( $Hg$ ) en el agua superficial de la Rinconada, de las zonas A, B, C y D, distrito de Ananea - Puno (diciembre del 2014 - marzo 2015).

En el cuadro 1 y figura 1, se muestra los resultados de la concentración de mercurio (Hg) en aguas superficiales en la zona de La Rinconada según los tres meses de estudio, fueron en promedio para diciembre y enero de 0.000050 mg/l y en marzo 0.00034 mg/l. Se observó un ligero incremento de la concentración de mercurio en el mes de marzo, debido a la disminución del caudal de agua en el río, lo cual contribuye a un menor flujo del agua y mayor concentración de mercurio en el agua; para los meses de diciembre y enero los valores promedio estuvieron por debajo del estándar de calidad, sin embargo el mes de marzo presentó un promedio por encima del estándar de calidad ambiental (ECAs) para agua de río que es de 0.0001 mg/l (MINAM, 2008).



**Figura 2.** Niveles de concentración de mercurio Hg (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar (A), quebrada del centro poblado la Rinconada (B), zona media de Pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

En la figura 2, respecto a las concentraciones de mercurio por zonas de muestreo, en la zona del centro poblado Lunar de Oro (A) fue de 0.00014 mg/l, en el poblado la Rinconada (B) de 0.00018, en Pampa de Molino (C) 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).

De los resultados se evidencia que la concentración de mercurio en el agua superficial de la zona de la Rinconada, muestra una ligera mayor concentración en el mes de marzo debido a la disminución del caudal observada en esa fecha de muestreo, lo que permitió la reducción del caudal del río y una ligera mayor concentración de este metal pesado en el agua por pequeñas partículas en suspensión, ya que este elemento es insoluble en el

agua; sin embargo respecto a las zonas de estudio, los valores promedio de mercurio fueron similares en las cuatro zonas, lo cual se explica porque el mercurio al ser un metal pesado tiende a precipitar rápidamente, lo cual explica las similares concentraciones encontradas en el agua superficial en las zonas de muestreo.

Pese a la importancia que tiene el agua tanto para el hombre, animales y riego, existen pocos estudios en las zonas de estudio que puedan ser objeto de discusión, sin embargo en la cuenca del río Ramis (Puente Samán) se reportó en agua 0.51 mg/l (PELT, 2003), cuyo valor es mayor al reportado en nuestro estudio y que supera los límites permisibles, otro estudio en agua en la zona de Lunar de Oro encontró 0.0002 mg/l de mercurio y en La Rinconada el valor de 0.0002 mg/l (Apaza, 2011), cuyos valores se encuentran por encima de los límites permisibles, los mismos que son cercanos a los reportados en nuestro estudio, lo cual indica que la contaminación del agua por mercurio, en esta zona minera, continúa desde años anteriores hasta la actualidad.

Otro estudio en el ámbito de interés, indica en la quebrada Lunar de Oro 0.0088 mg/l de Hg, en aguas abajo de Pampa de Molino con 0.0039 mg/l, señalando que el mercurio se va depositando a lo largo del cauce de la quebrada (Cutipa *et al.*, 2011), estos valores superan los límites permisibles en agua y son mayores a los reportados en nuestro estudio.

En la zona de la Amazonia Peruana (Bajo Nanay) se reporta 0.008 ppm de Hg en muestras de agua (Sotero y Alva, 2013), lo cual permite señalar que la contaminación por mercurio es un problema generalizado en el territorio peruano, teniendo como fuente principal de contaminación, el uso de mercurio en la extracción de oro, la cual se realiza no solo en la cuenca del río Ramis en la región Puno, sino también existen problemas similares en la cuenca del Amazonas.

A nivel de Sud América en Colombia (Valle del Cauca) se reporta 4.97 µg/l de Hg en agua, valor que excede el límite permitido en ese país, lo cual representa un riesgo latente para la salud de los pobladores de la zona, ya que dicha agua no se encuentra apta para consumo humano (Granada y Escobar, 2012), del mismo modo el riesgo de consumo de agua contaminada por mercurio en la zona de la Rinconada es un peligro latente para la salud humana, debido a la bioacumulación de este elemento.

El análisis estadístico mediante el análisis de varianza y prueba de Duncan (anexo 1), concluye que los valores de mercurio en agua superficial (mg/l), no muestran diferencia estadística ( $P=0.455$ ) entre las zonas de muestreo, por lo que los valores promedio de mercurio se pueden considerar similares en las aguas superficiales en las cuatro zonas de estudio. Respecto a los meses de estudio el análisis encontró diferencia estadística significativa ( $P=0.0001$ ), indicando que en el mes de marzo el agua presenta una concentración de mercurio superior en comparación a los meses de diciembre y enero.

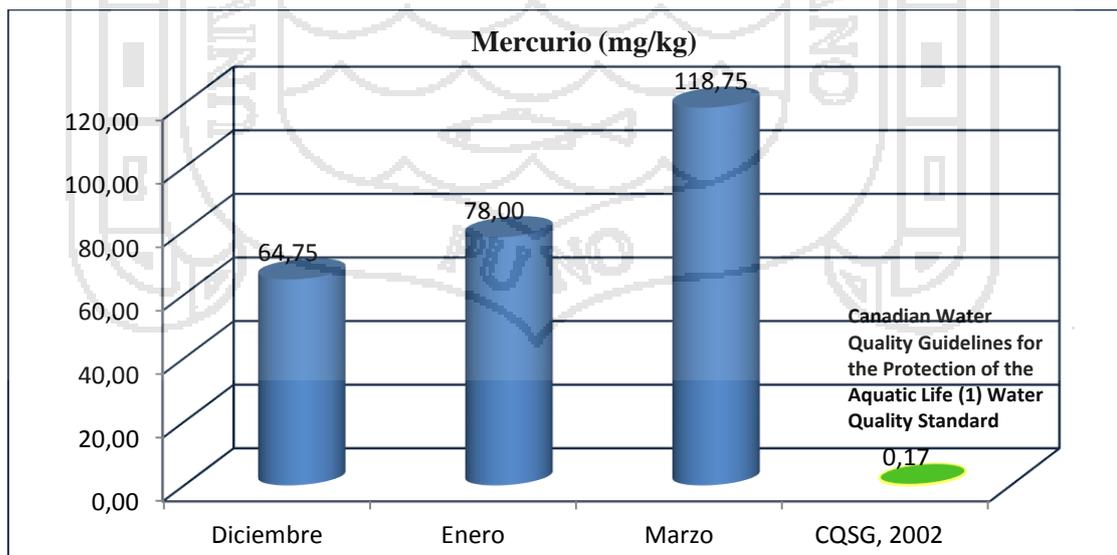
#### 4.2. Concentración de mercurio en sedimentos de la Rinconada

Los resultados de la concentración de mercurio (Hg) en sedimentos, se muestran en la siguiente tabla:

**Cuadro 2.** Concentración de mercurio Hg (mg/kg) en sedimentos del agua de la quebrada del centro poblado lunar (A), quebrada del centro poblado la Rinconada (B), zona media de Pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

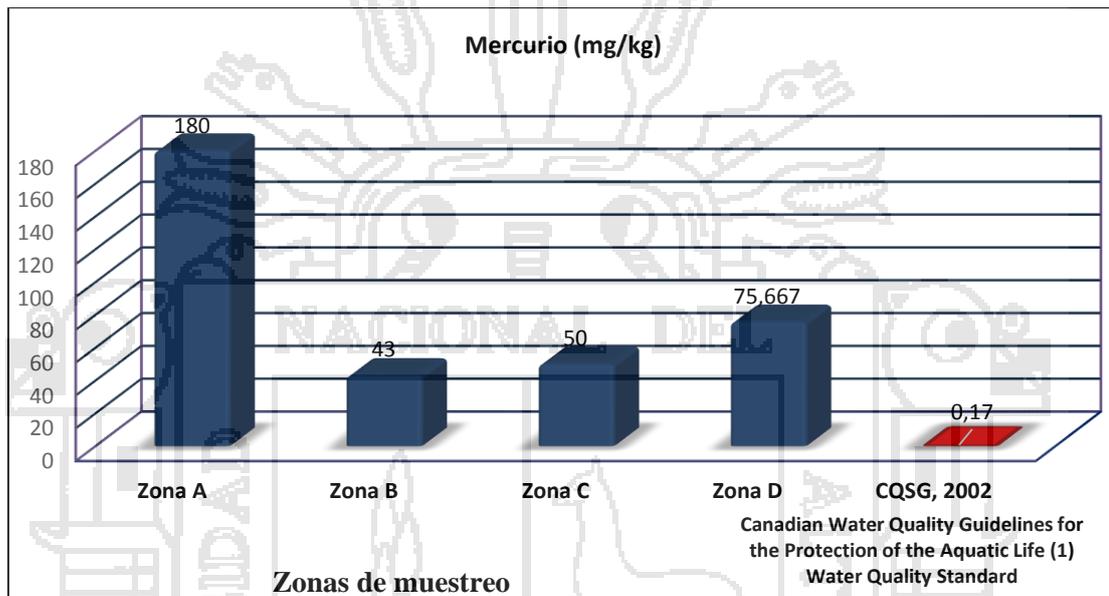
Meses \ Zonas	Zona A Hg (mg/kg)	Zona B Hg (mg/kg)	Zona C Hg (mg/kg)	Zona D Hg (mg/kg)	Promedio Hg (mg/kg)	E.E Hg (mg/kg)
Diciembre	99	80	35	45	64.75	14.946
Enero	68	30	106	108	78.00	18.457
Marzo	373	19	9	74	118.75	85.946
Promedio	180.000	43.000	50.000	75.667		
E.E	96.914	18.771	28.989	18.206		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 3.** Concentración de mercurio (mg/kg) en sedimentos de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015).

En el cuadro 2 y figura 3, se muestran los resultados de los valores promedio de mercurio (Hg) en sedimentos en la zona de la Rinconada, según el tiempo de estudio en el mes de diciembre fue 64.75 mg/kg, en enero de 78.00 y marzo con 118.75 mg/kg. Los valores de mercurio en sedimentos disminuye en la época de lluvia (diciembre y enero), mientras que en marzo la concentración es mayor debido a la mayor sedimentación por déficit de arrastre por disminución del caudal del agua; en los tres meses el mercurio se encuentra por encima del límite permisible según la normatividad internacional de calidad de aguas (CQSG, 2002; USEPA, 2004; OMS, 2004; CCME, 2002).



**Figura 4.** Promedio de la concentración de mercurio (mg/kg) en sedimentos de la Rinconada según las zonas de muestreo (diciembre del 2014 - marzo 2015).

En la figura 4, respecto a la concentración de mercurio en sedimentos por zonas de muestreo, se determinó que el centro poblado Lunar (A) se tiene 180 mg/kg, en la quebrada del poblado la Rinconada (B) fue 43, en la zona media de pampas de molino (C) fue 50 y en la laguna Rinconada con 75.67 mg/kg. El mayor promedio se observó en la quebrada del poblado Lunar de Oro, que indicaría un mayor grado de contaminación por mercurio por la actividad minera intensiva en esta zona. Las cuatro zonas de estudio muestran valores promedio por encima de los límites permisibles de los estándares de calidad para sedimentos (MINAM, 2008; CQSG, 2002; USEPA, 2004; OMS, 2004; CCME, 2002).

No se reportan estudios similares en sedimentos en el ámbito de estudio, sin embargo en una cuenca del Amazonas (Nanay), Sotero y Alva (2013) hallaron resultados de mercurio (Hg) en los sedimentos que acompañan a este río con 1.636 ppm en creciente y

3.03 ppm en decreciente, los resultados del análisis de mercurio se encuentran en concentraciones mayores a lo indicado en la normatividad de manera similar a nuestros resultados, lo cual pone en evidencia que las concentraciones de mercurio en los sedimentos no permitiría la vida en este medio, lo cual se verifica con las observaciones realizadas donde no observamos organismos vivos en las zonas de estudio.

Otro estudio en Colombia (rio Cauca), en sedimentos encontraron una concentración de mercurio de 181.97  $\mu\text{g/Kg}$ , valor que excede el límite permitido por la normatividad de ese país, concluyen que existe una contaminación continua del río, lo cual representa un riesgo latente para la salud de los pobladores de la zona (Granada y Escobar, 2012), del mismo nuestros resultados señalan valores de mercurio por encima de los valores límite, por lo cual este medio no permite la presencia de organismos vivos.

Los resultados del análisis de varianza (anexo 1), señala que los valores de mercurio en sedimentos, no muestran diferencia estadística ( $P=0.379$ ) entre las zonas de muestreo, sin embargo existe la tendencia de una mayor concentración en la zona de Lunar que el resto de zonas, debido a una muestra con una concentración de mercurio particularmente elevada (373 mg/kg). Respecto a los meses de muestreo el análisis estadístico tampoco encontró diferencia estadística ( $P=0.737$ ), indicando que en los meses de estudio se presentan concentraciones de mercurio similares en los sedimentos.

#### 4.3. Parámetros físicos y químicos en aguas superficiales de la zona de Rinconada.

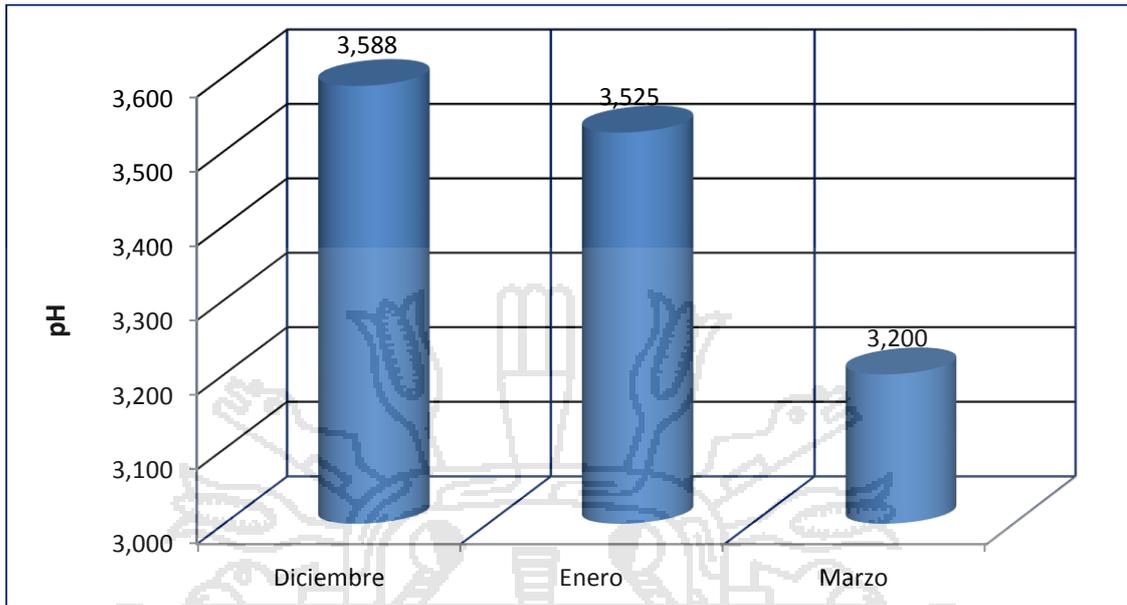
##### 4.3.1. Potencial de hidrogeniones (pH)

En la siguiente tabla se muestran los resultados del potencial de hidrogeniones, medido en muestras de agua superficial en la zona de la Rinconada.

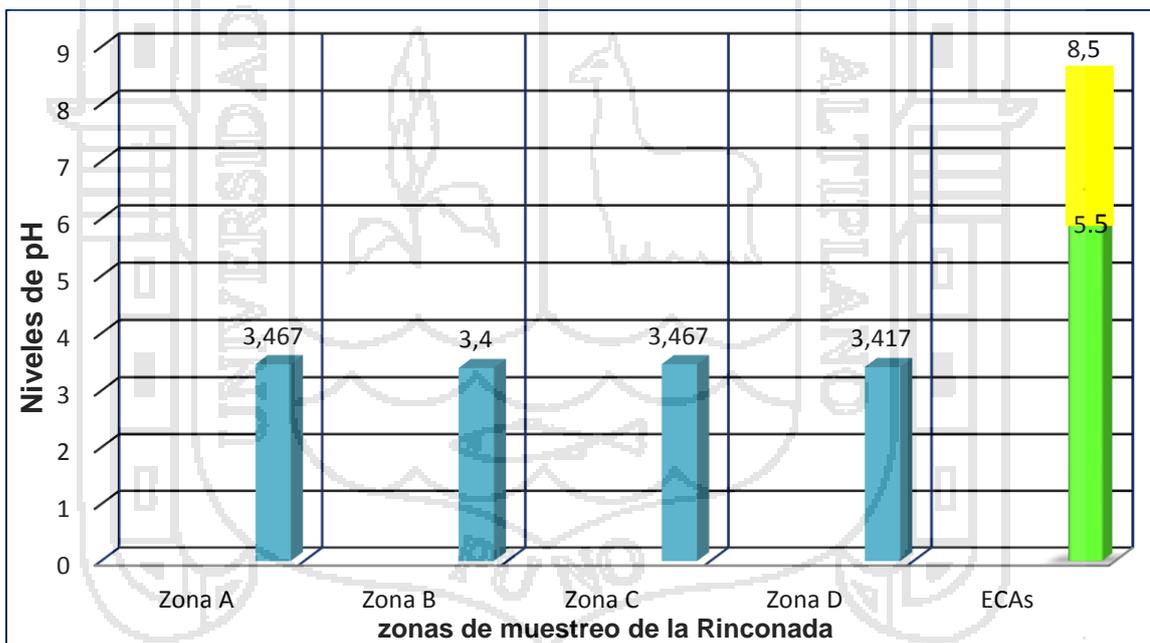
**Cuadro 3.** Potencial de hidrogeniones pH en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar Oro (A), parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada (B), zona media de pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

Zonas Meses	Zona A pH	Zona B pH	Zona C pH	Zona D pH	Promedio pH	E.E pH
Diciembre	3.6	3.5	3.7	3.55	3.59	0.043
Enero	3.6	3.4	3.6	3.5	3.53	0.048
Marzo	3.2	3.3	3.1	3.2	3.20	0.041
Promedio	3.467	3.400	3.467	3.417		
E.E	0.133	0.058	0.186	0.109		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 5.** pH en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de muestreados (diciembre del 2014 - marzo 2015).



**Figura 6.** Potencial de hidrogeniones (pH) en aguas superficiales de la Rinconada, centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

En el cuadro 3 y figuras 5 - 6, para los meses de estudio se obtuvo un pH de 3.59 en diciembre, 3.53 en enero y 3.20 en marzo, los mismos que son considerados como ácidos. Para las zonas de estudio se obtuvieron valores ácidos en los niveles de pH del agua superficial de la Rinconada, los valores hallados en las zonas fueron: zona A en la

quebrada Lunar con pH 3.47, en la zona media de C con pH 3.47, seguido de la zona D (ingreso de laguna Rinconada) pH 3.42 y finalmente la zona B (quebrada de la Rinconada) pH 3.4. Los valores de las cuatro zonas son ácidos, estos valores agua indican que el agua está por debajo de los límites permisibles, establecidos en los ECAs que para agua son entre 5.5 a 8.5 unidades (MINAM, 2008).

Un estudio anterior reporta en la zona de Ananea 7.6, en Lunar de Oro 7.6 y en la unión del río 7.7 unidades de pH (Salas, 2010), estos valores se encontraban dentro de los límites máximos permisibles (LMP) de los ECAs para agua según DS. 010-2010-MINEM; sin embargo nuestros resultados muestran valores inferiores que se consideran ácidos, lo cual se atribuye a una afectación mayor por el proceso de contaminación de sustancias químicas en la extracción de oro en la zona de estudio.

Así mismo otra evaluación en Ananea, en la represa Sillacunca el agua presentó un olor azufrado – fétido con pH 7.44, en Pampa blanca pH 6.72 y en Ananea pH 10.10 (Mamani, 2011), los valores de la represa Sillacunca y pampa blanca estaban dentro de los límites máximos permisibles en los ECAs para agua, con excepción de Ananea que excede los LMP de los ECAs; por el contrario en nuestro estudio se determinó valores de pH menores a los indicados en este estudio (ácidos), debido a un proceso avanzado de contaminación por el tiempo transcurrido entre ambas evaluaciones.

Otro estudio en la zona de Pampa de Molino, en cinco lugares de muestreo hallaron los siguientes valores en (P1) 5.24, (P2) pH 5.86, en (P3) pH 5.81, en (P4) pH 3.5 y (P5) pH 4.28; los valores se encontraban fuera de los límites máximos permisibles de los ECAs para agua categoría IV, D.S.N°-2008-MINAN (Cutipa *et al.*, 2011), estos valores de pH son similares a los de nuestro estudio, indicando un proceso de acidificación de las aguas por la acumulación de sustancias químicas por el proceso de extracción de oro.

Así mismo en la mina Rinconada y Lunar de oro, encontraron como resultado en la muestras de agua los siguientes valores: en el agua de Lunar de Oro pH (4.24) y en el agua de la Rinconada pH (5.10), los valores del análisis muestran un pH extremadamente ácido que sobrepasa los Límites máximos Permisibles de los ECAs, para consumo humano y categoría IV (Apaza y Justo, 2011), resultados también similares a los determinados en nuestro estudio que indican pH ácido en aguas superficiales.

El análisis de varianza y prueba de Duncan (anexo 1) de los valores de potencial de hidrogeniones (pH) en aguas superficiales, indica que existe diferencia estadística

significativa ( $P=0.048$ ) entre las zonas de muestreo, siendo la zona de la laguna Rinconada la que presenta el pH más ácido y diferente al resto de zonas. Respecto a los meses de estudio el análisis no encontró diferencia estadística ( $P=0.403$ ), indicando que en los meses de estudio se presentan valores de pH similares en las muestras aguas superficiales.

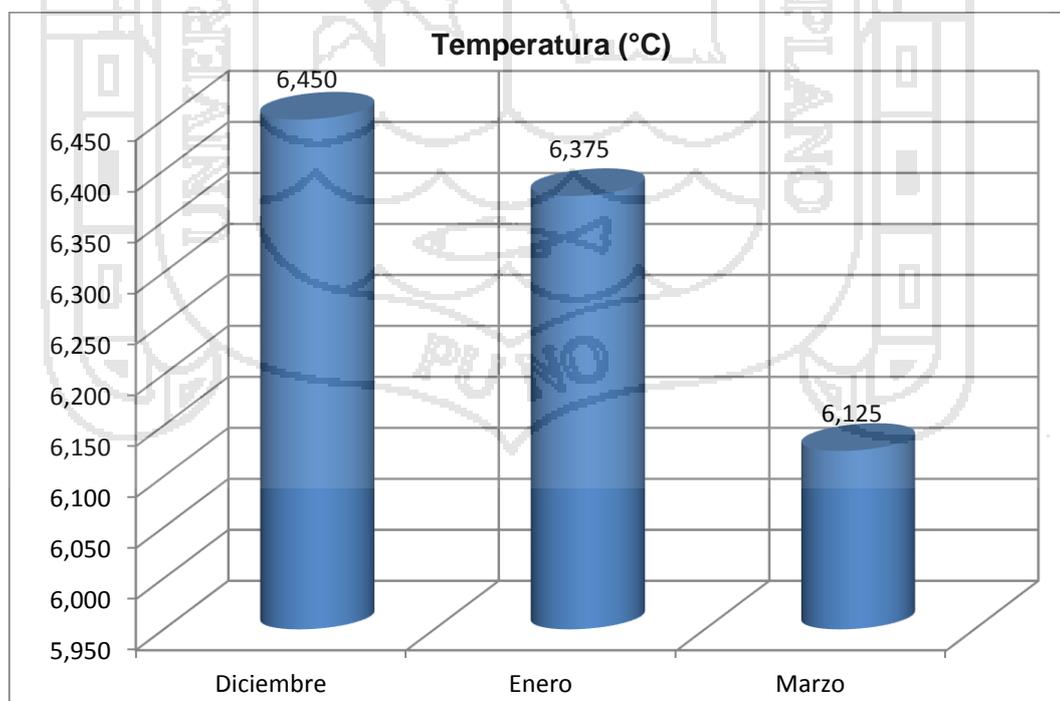
#### 4.3.2. Temperatura del agua superficial de la Rinconada.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la temperatura del agua, medido en muestras de agua superficiales en la Rinconada.

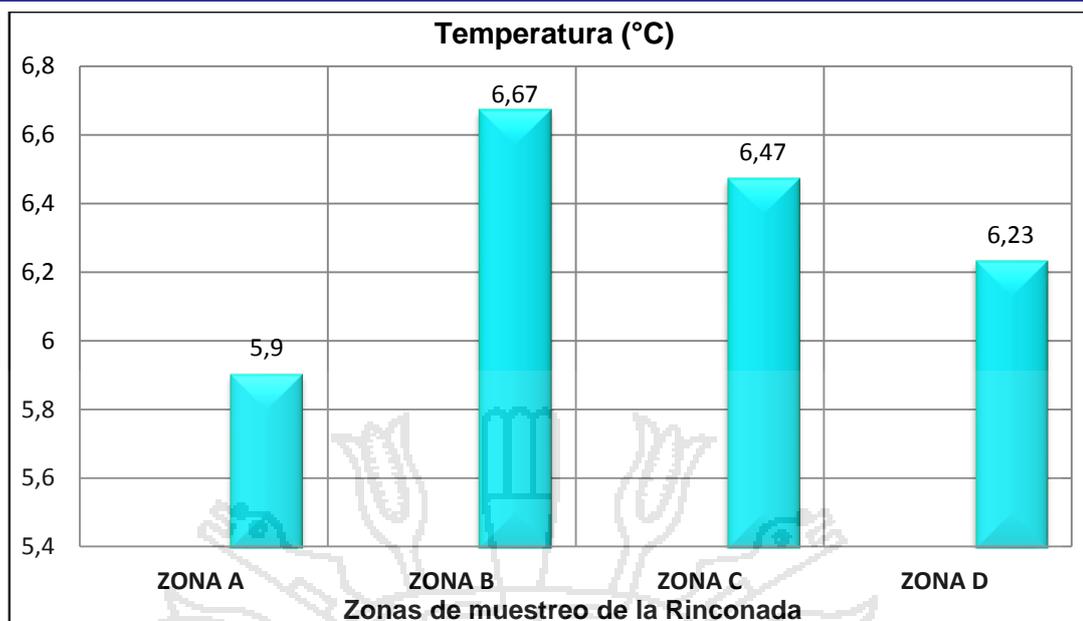
**Cuadro 1.** Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar Oro (A), parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada (B), zona media de pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

Meses \ Zonas	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Promedio	E.E
	Temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )					
Diciembre	5.8	6.9	6.7	6.4	6.45	0.277
Enero	6	6.7	6.5	6.3	6.38	0.172
Marzo	5.9	6.4	6.2	6	6.13	0.128
Promedio	5.900	6.667	6.467	6.233		
E.E	0.058	0.145	0.145	0.120		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 7.** Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015).



**Figura 8.** Promedio de los niveles de Temperatura (°C), quebrada del centro poblado lunar Oro (A), parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada (B), zona media de pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

En el cuadro 4 y figuras 7-8, según los meses de muestreo se tiene en diciembre 6.45 °C, en el mes de enero fue de 6.38 y en marzo 6.13 °C, respecto las zonas se observan temperaturas bajas en el agua superficial, los valores fueron: en la zona del poblado Rinconada (B) con 6.67 °C, en la zona Pampas de Molino (C) 6.47, seguido de la zona de laguna Rinconada (D) con 6.23 y finalmente la zona de poblado Lunar (A) con 5.9 °C, los valores de las cuatro zonas son bajos debido a la altitud geográfica de la zona.

Un estudio anterior reporta temperaturas del agua entre 6.4 y 6.8 °C en la zona de La Rinconada (Cutipa *et al.*, 2011), cuyos valores están relacionados más a las condiciones ambientales de la zona de estudio, que al proceso de afectación observado.

El análisis de varianza y prueba de Duncan (anexo 1) de los valores de temperatura del agua (°C), indica que existe diferencia estadística significativa ( $P= 0.003$ ) entre las zonas de muestreo, siendo la zona del centro poblado Lunar (A) con la menor temperatura y diferente al resto de zonas, mientras que las zonas B (centro poblado Rinconada) y C (pampa de Molinos) presentaron las mayores temperaturas en el agua. Respecto a los meses de estudio el análisis también encontró diferencia estadística ( $P=0.045$ ), indicando que en los meses de diciembre y enero presentan las mayores temperaturas y el mes de marzo con menor temperatura del agua, estos resultados se atribuyen a la hora de medición y la posición geográfica.

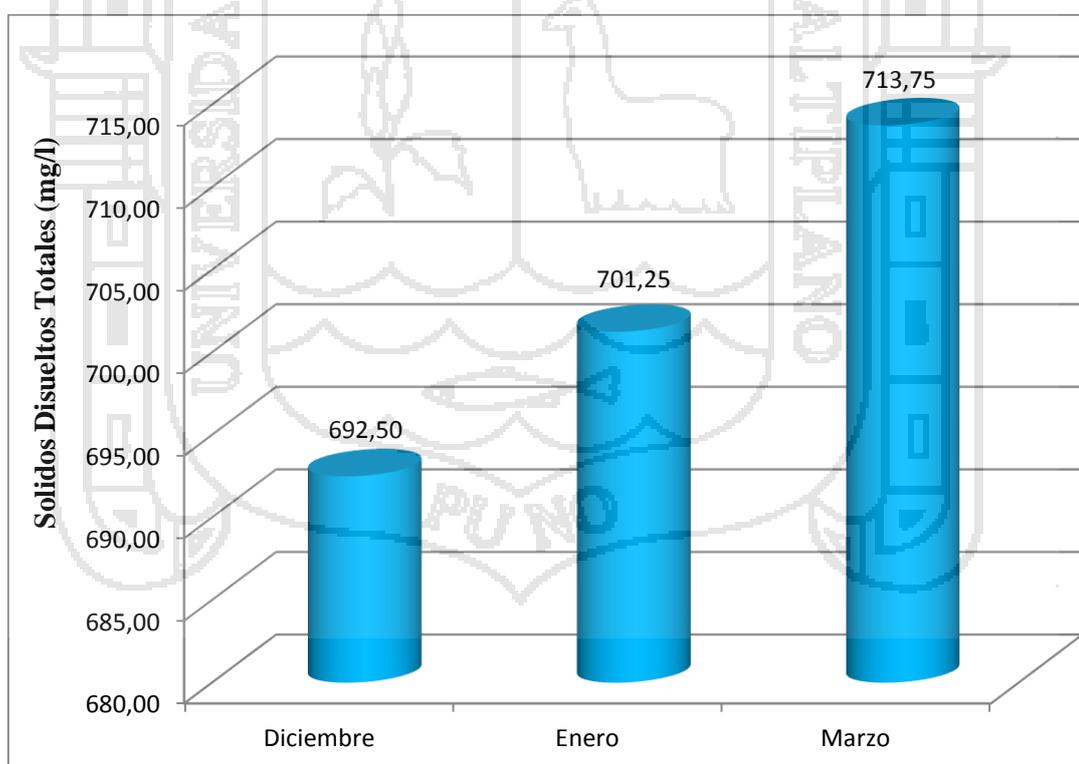
### 4.3.3. Sólidos disueltos totales (SDT)

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la temperatura del agua, medido en muestras de agua superficiales en la Rinconada.

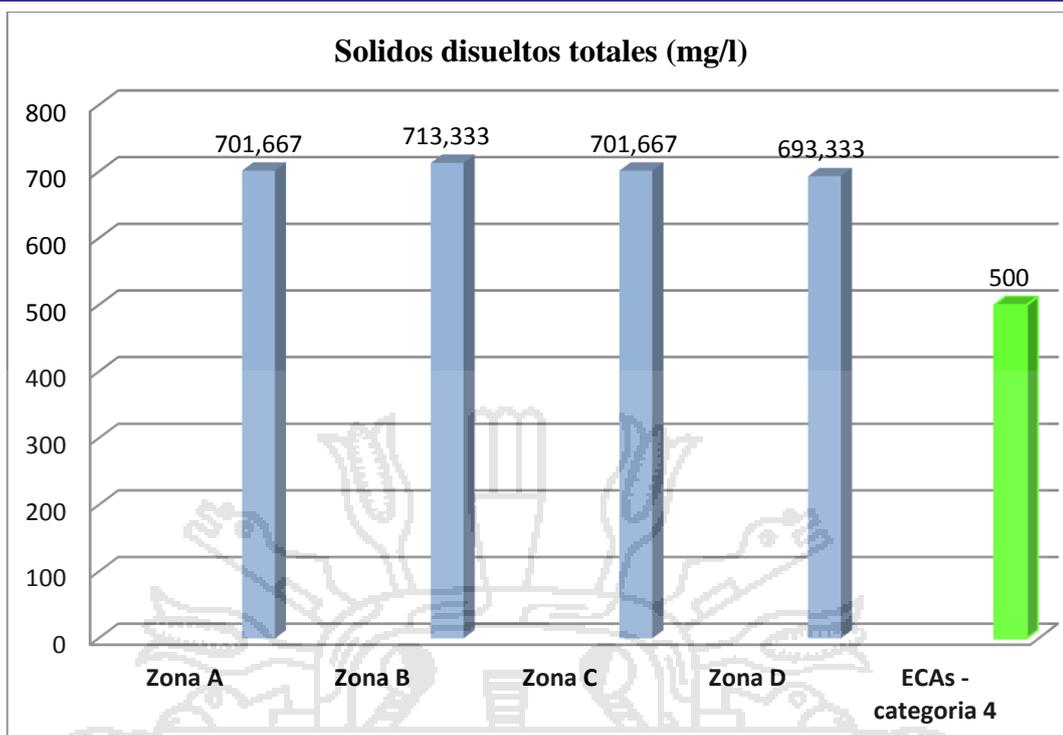
**Cuadro 2.** Sólidos disueltos totales (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar Oro (A), parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada (B), zona media de pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

Zonas Meses	Zona A SDT (mg/l)	Zona B SDT (mg/l)	Zona C SDT (mg/l)	Zona D SDT (mg/l)	Promedio SDT (mg/l)	E.E SDT (mg/l)
Diciembre	695	700	690	685	692.50	3.727
Enero	700	715	700	690	701.25	5.951
Marzo	710	725	715	705	713.75	4.930
Promedio	701.667	713.333	701.667	693.333		
E.E	4.410	7.265	7.265	6.009		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Sólidos disueltos totales (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015).



**Figura 10.** Sólidos disueltos totales (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

En el cuadro 5 y figuras 9-10, los valores para sólidos disueltos totales (TSD), en el agua superficial de la Rinconada, exceden los límites máximos permisibles de los ECAs para agua, y en el gráfico 10 los promedios de sólidos disueltos totales fueron: en la zona B (STD) 713.33, en la zona C (STD) 701.67, seguido de la zona A (STD) 701.67 y finalmente en la zona D (STD) 693.33. Los valores de las cuatro zonas exceden los límites máximos permisibles de los ECAs para agua que es 50 mg/l (MINAM, 2008), lo cual indica que por efecto de los vertimientos en el efluente por la actividad minera, las aguas presentan valores excesivos de sólidos disueltos totales.

Se reportó en la represa Sillacunca sólidos disueltos totales de 112.28 mg/l, en la zona Pampa Blanca el agua presentó 356.47 mg/l; en Ananea 302.76 mg/l, evidenciando la contaminación del agua, superando los límites máximos permisibles de los estándares de calidad ambiental que es 50 mg/l (Mamani, 2011), estos resultados son cercanos a los determinados en nuestro estudio, que de igual modo ponen en evidencia una afectación apreciable del agua respecto a los sólidos disueltos totales en el agua.

Del mismo modo en la quebrada Lunar de Oro se reportó (TSD) 414, en Pampa de Molino (TSD) 395, en la desembocadura de la laguna Rinconada (TSD) 400 y en la

laguna Rinconada (TSD) 380 mg/l; los valores se encontraban fuera de los límites máximos permisibles de los ECAs para agua de consumo humano (MINAN, 2008), según lo señalado por Cutipa *et al.*, (2011); estos valores son similares también a los determinados en nuestro estudio, que evidencian el grado de deterioro en la calidad del agua provocado por la actividad minera en el ámbito de estudio.

El análisis de varianza y prueba de Duncan (anexo 1) de los valores de sólidos disueltos totales del agua, indica que existe diferencia estadística significativa ( $P=0.001$ ) entre las zonas de muestreo, siendo la quebrada de la Rinconada (B) con la mayor cantidad de SDT, mientras que la zona D (laguna Rinconada) presentó la menor concentración de SDT. Respecto a los meses de estudio el análisis también encontró diferencia estadística ( $P=0.001$ ), indicando que en el mes de marzo se observa la mayor concentración de SDT diferente a los otros meses y el mes de diciembre muestra el menor contenido de SDT en el agua superficial, se observa que los SDT disminuyen en época de lluvia por el mayor cauda y también se observa que varían por la mayor actividad minera en algunas zonas de muestreo.

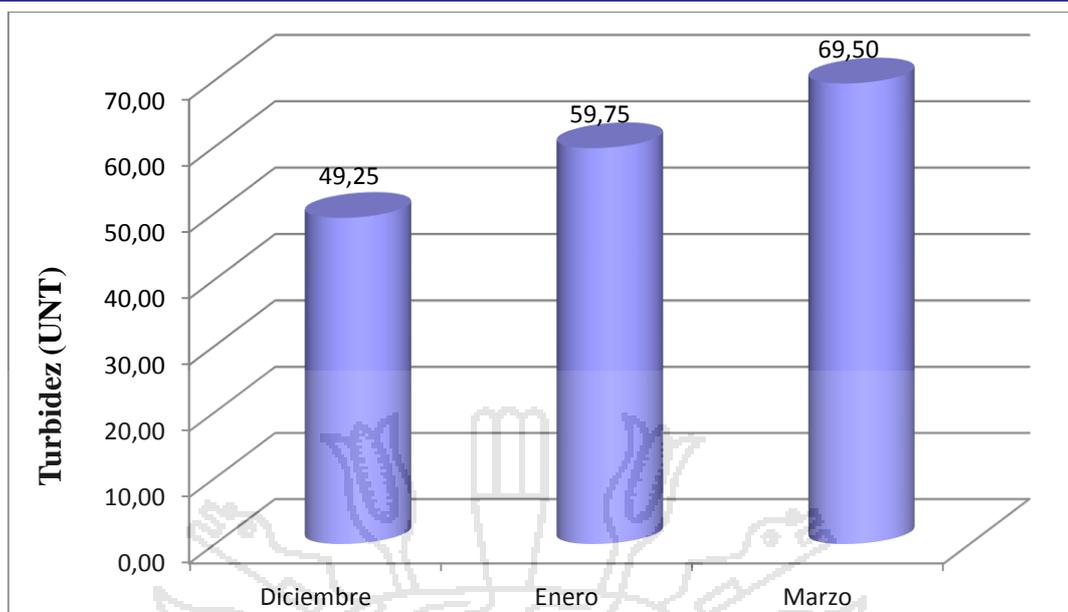
#### 4.3.4. Turbidez en el agua superficial de la Rinconada

En la siguiente tabla se muestran los resultados de turbidez del agua, medido en muestras de agua superficiales de la Rinconada.

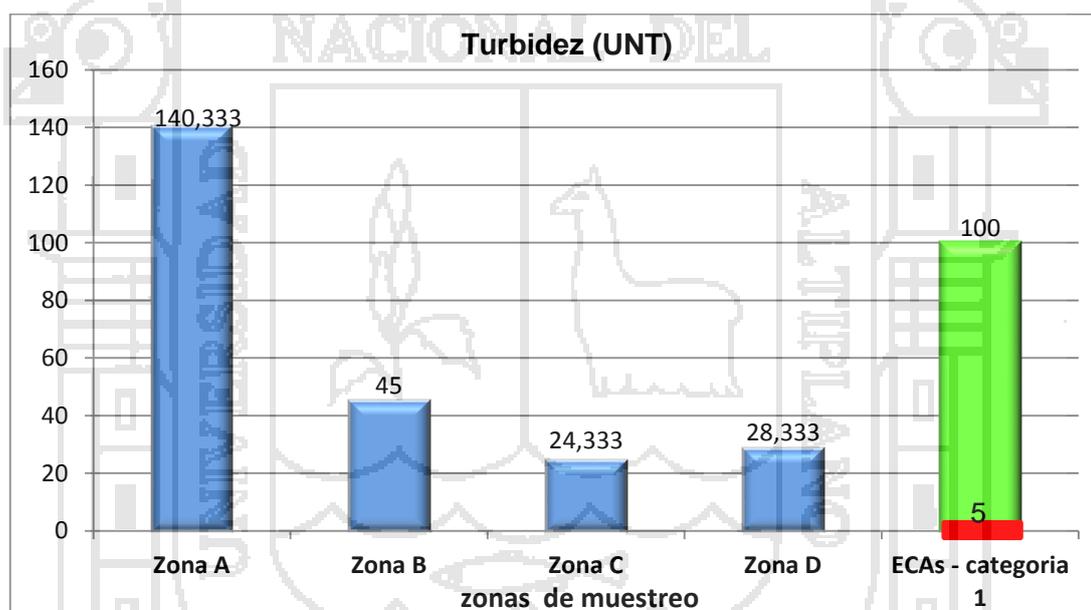
**Cuadro 3.** Turbidez del agua (UNT) en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar Oro (A), parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada (B), zona media de pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

Meses \ Zonas	Zona A Turbidez (UNT)	Zona B Turbidez (UNT)	Zona C Turbidez (UNT)	Zona D Turbidez (UNT)	Promedio Turbidez (UNT)	E.E Turbidez (UNT)
Diciembre	120	35	18	24	49.25	27.534
Enero	140	45	25	29	59.75	31.289
Marzo	161	55	30	32	69.50	35.823
<b>Promedio</b>	140.333	45.000	24.333	28.333		
<b>E.E</b>	11.837	5.774	3.480	2.333		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 11.** Turbidez (UNT) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015).



**Figura 12.** Turbidez (UNT) en aguas superficiales de la Rinconada en el centro poblado lunar (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D)

En cuadro 6 y figura 11, los valores de la turbidez en el agua superficial de la Rinconada, exceden los límites máximos permisibles para aguas que podrían ser potabilizadas de los ECAs (5 UNT); en la figura 12 el promedio de los valores de turbidez por cada zona es: en la zona A (UNT) 140.33, en la zona B (UNT) 45.0, en la zona D (UNT) 28.33 y en la zona C (UNT) 24.33; los que exceden los LMP de los ECAs para agua (MINAM, 2008).

Un estudio anterior reporta para Ananea 2.9, en Lunar de Oro 0.8 y 2.9 en punto de unión, los valores están dentro de los límites máximos permisibles (Salas,2010), valores que se encuentran por debajo a los determinados en nuestro estudio, lo cual se debería a la técnica y época de medición. Del mismo modo en la represa Sillacunca el agua presentó una turbidez de 6.0, en la zona Pampa Blanca 7.0; en la zona de Ananea una turbidez de 6.0; los valores superaban los límites máximos permisibles de los estándares de calidad ambiental (Mamani, 2011), coincidiendo que los valores excedan lo permitido para nuestro estudio, pero con valores inferiores a los determinados actualmente.

Aplicando el análisis de varianza y prueba de Duncan (anexo 1), indica que existe diferencia estadística significativa ( $P=0.001$ ) entre las zonas de muestreo, siendo la zona del centro poblado Lunar de Oro (A) con la mayor turbidez, mientras que la zona C (Pampas de molino) presentó la menor turbidez en aguas. Respecto a los meses de estudio el análisis también encontró diferencia ( $P=0.023$ ), indicando que en el mes de marzo se observa la mayor turbidez y el mes de diciembre muestra la menor turbidez en el agua superficial. Los resultados indican que la turbidez disminuye en época de lluvia por un mayor caudal en el río, observándose que el mayor grado de afectación se produce en la zona de Lunar por la mayor actividad minera observada en dicha zona.

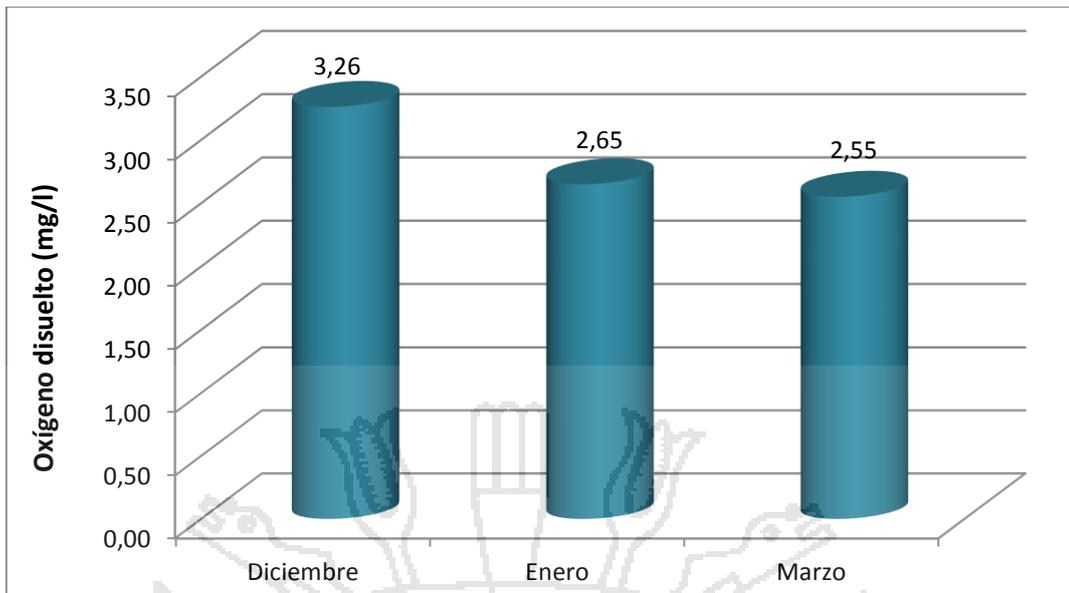
#### 4.3.5. Oxígeno disuelto (OD)

En la siguiente tabla se muestran los resultados de oxígeno disuelto, medido en muestras de agua superficiales en la zona de la Rinconada.

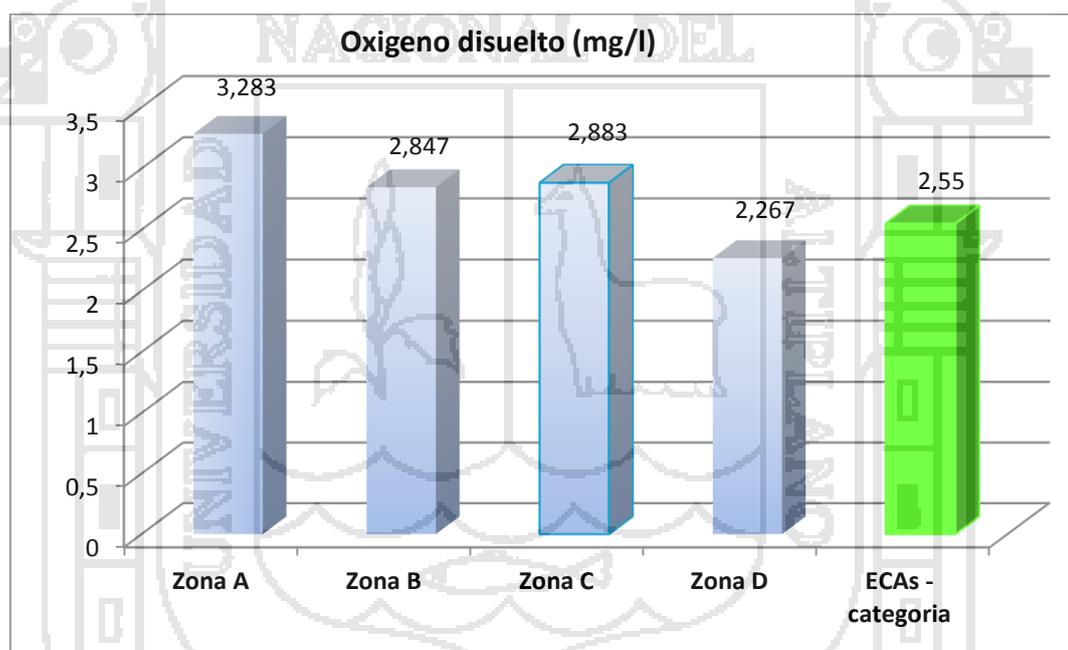
**Cuadro 4.** Oxígeno disuelto (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar Oro (A), parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada (B), zona media de pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

Zonas Meses	Zona A OD (mg/l)	Zona B OD (mg/l)	Zona C OD (mg/l)	Zona D OD (mg/l)	Promedio OD (mg/l)	E.E OD (mg/l)
Diciembre	3.4	3.14	3.1	3.4	3.26	0.094
Enero	3.25	2.9	2.85	1.6	2.65	0.417
Marzo	3.2	2.5	2.7	1.8	2.55	0.335
Promedio	3.283	2.847	2.883	2.267		
E.E	0.060	0.187	0.117	0.570		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 13.** Oxígeno disuelto (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015).



**Figura 14.** Promedio de los valores del Oxígeno disuelto (mg/l) en aguas superficiales de la Rinconada; quebrada del poblado lunar de oro (A), pampas de molino (B), centro poblado la Rinconada (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

En el cuadro 7 y figura 13, los valores de oxígeno disuelto, en el agua superficial de la Rinconada, están fuera de los límites máximos permisibles de los ECAs para agua; en la figura 14, el promedio de los valores de oxígeno disuelto son: en la zona A (O.D) 3.28, en la zona C (O.D.) 2.88, en la zona B (O.D.) 2.85 y finalmente en la zona D (O.D.) 2.27. El promedio de los niveles de oxígeno disuelto, de las cuatro zonas están fuera de

los límites máximos permisibles de los ECAs para agua que es  $>4$  mg/l (MINAM, 2008).

Una evaluación anterior reporta en la quebrada Lunar de Oro (O.D.) 4.69, en Pampa de Molino (O.D) 5.11, en la orilla de la laguna Rinconada (O.D.) 4.69, laguna Lunar de Oro (O.D) 4.96 y laguna Rinconada (O.D) 4.90; donde los puntos 1, 3, 4 y 5 están fuera de los límites máximos permisibles de los ECAs para agua (MINAN, 2008), evidenciando bajo contenido de oxígeno disuelto (Cutipa *et al.*, 2011); cuyos resultados son cercanos a los reportados en nuestro estudio, manifestando de igual forma un bajo contenido de oxígeno disuelto en el agua, que se traduce en ausencia de organismos vivos y sin aptitud para su consumo humano.

El análisis de varianza y prueba de Duncan (anexo 1), indica que no existe diferencia estadística ( $P=0.122$ ) entre las zonas de muestreo, indicando similar contenido de oxígeno disuelto en las cuatro zonas de estudio. En los meses de estudio tampoco encontró diferencia ( $P= 0.108$ ), indicando que en los tres meses de muestreo los valores de oxígeno disuelto son similares en el agua superficial. Se evidencia que la afectación producida en el ámbito de estudio por la actividad minera, se manifiesta en una disminución importante del oxígeno disuelto del agua, lo que no permitiría el desarrollo de organismos vivos, así mismo esta no sería apta para el consumo humano.

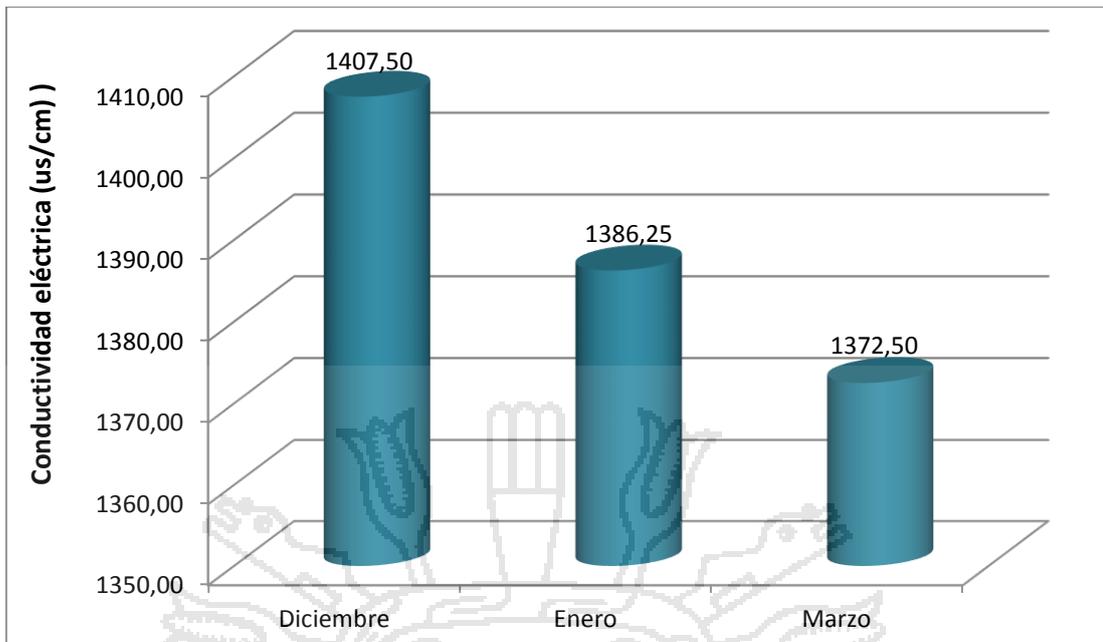
#### 4.3.6. Conductividad eléctrica

En la siguiente tabla se muestran los resultados de conductividad eléctrica, medido en muestras de aguas superficiales en la zona de la Rinconada.

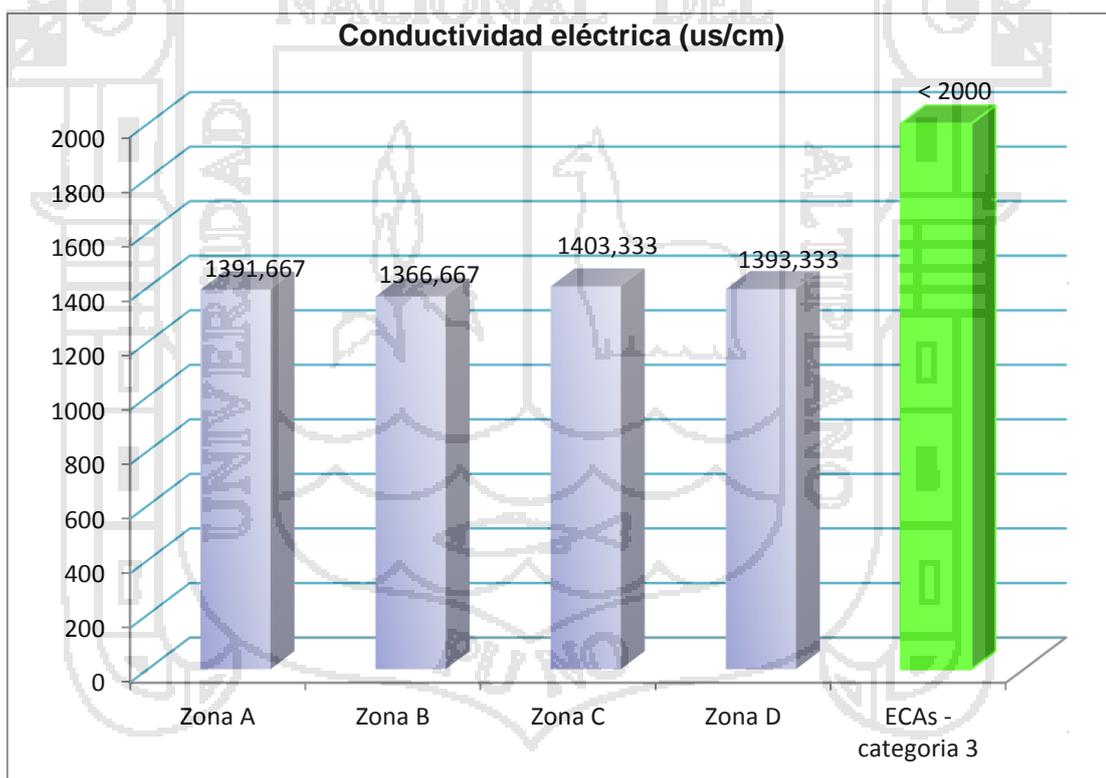
**Cuadro 5.** Conductividad eléctrica (us/cm) en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar Oro (A), parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada (B), zona media de pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

Zonas Meses	Zona A Cond. Eléc. (us/cm)	Zona B Cond. Eléc. (us/cm)	Zona C Cond. Eléc. (us/cm)	Zona D Cond. Eléc. (us/cm)	Promedio Cond. Eléc. (us/cm)	E.E Cond. Eléc. (us/cm)
Diciembre	1400	1380	1440	1410	1407.50	14.434
Enero	1390	1365	1390	1400	1386.25	8.620
Marzo	1385	1355	1380	1370	1372.50	7.638
Promedio	1391.667	1366.667	1403.333	1393.333		
E.E	4.410	7.265	18.560	12.019		

Fuente: elaboración propia.



**Figura 15.** Conductividad eléctrica (us/cm) en aguas superficiales de la Rinconada según los meses de estudio (diciembre del 2014 - marzo 2015)



**Figura 16.** Promedio de los niveles de Conductividad eléctrica (us/cm) en aguas superficiales de la Rinconada, quebrada del centro poblado lunar Oro (A), parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada (B), zona media de pampas de molino (C) e ingreso de la laguna Rinconada (D).

En la tabla 8 y figura 15, los valores de conductividad eléctrica en aguas superficiales de la Rinconada, se encuentran dentro los límites máximos permisibles de los ECAs para

agua; en el gráfico 16; el promedio de los niveles de conductividad eléctrica (us/cm) de las zonas son; zona C conductividad eléctrica (us/cm) 1403.33, zona D, conductividad eléctrica (us/cm) 1393.33, zona A conductividad eléctrica (us/cm) 1391.67 y finalmente en la zona B conductividad eléctrica (us/cm) 1366.67. El promedio de los valores de conductividad eléctrica, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de los ECAs que para agua es 1500 us/cm (MINAM, 2008).

Una evaluación anterior en la represa Sillacunca, el agua presentó una conductividad eléctrica 0.007 us/cm; en la zona Pampa Blanca 0.09 us/cm; en la zona de Ananea 1.92 us/cm, los valores no superaban los límites máximos permisibles de los estándares de calidad ambiental (Mamani (2011). Así mismo en la quebrada Lunar de Oro ( us/cm) 824, Pampa de Molino (us/cm) 720, en la desembocadura de la laguna Rinconada (us/cm) 194, los valores se encontraban fuera de los límites máximos permisibles de los ECAs para agua (MINAM,2008) categoría IV. Cutipa *et al.*, (2011), si bien los valores son menores a los determinados en nuestro estudio, tampoco superan los límites permisibles.

El análisis de varianza y prueba de Duncan (anexo 1), señala que existe diferencia estadística significativa ( $P=0.046$ ) entre las zonas de muestreo, indicando que la zona B parte baja de la quebrada del centro poblado de la Rinconada, muestra la menor conductividad eléctrica, mientras que las otras 3 zonas presentan similar conductividad y mayor a la zona indicada. Respecto a los meses de estudio el análisis encontró diferencia estadística ( $P= 0.018$ ), indicando que en el mes de diciembre se observó la mayor conductividad que el resto de meses en el agua superficial.

## CONCLUSIONES

1. La concentración de mercurio en aguas superficiales de la Rinconada fue: en la quebrada del centro poblado Lunar de Oro (A) 0.00014 mg/l, en la quebrada del centro poblado la Rinconada (B) de 0.00018, en Pampas de Molino (C) fue 0.00013 y en el ingreso de la laguna Rinconada (D) con 0.00015 mg/l, los valores fueron menores a los límites permisibles y estadísticamente similares entre las zonas ( $P>0.05$ ), en el mes de diciembre el contenido de mercurio fue 0.00005 mg/l al igual que en enero y en marzo fue 0.00034 mg/l superior al resto de meses ( $P<0.05$ ).
2. Las concentraciones de mercurio en sedimentos de la Rinconada fueron: en la quebrada del centro poblado Lunar de Oro (A) con 180 mg/l, en centro poblado la Rinconada (B) 43, en Pampas de Molino (C) fue 50 y en el ingreso de la laguna Rinconada (D) con 75.67 mg/l; los valores son mayores a los límites permisibles y estadísticamente similares entre zonas ( $P>0.05$ ), en el mes de diciembre la concentración de mercurio fue 64.75 mg/l, en enero 78 y en marzo fue 118.75 mg/l.
3. El pH en aguas superficiales de la Rinconada, fueron ácidos entre 3.4 a 3.47 unidades, la temperatura del agua varió de 5.9 a 6.4 °C debido a la altitud, los sólidos disueltos totales fueron de 693.3 a 713.3 mg/l con mayores valores en la zona alta del efluente, la turbidez fue de 24.3 a 140.3 UNT, el oxígeno disuelto varió de 2.27 a 3.28 mg/l, la conductividad eléctrica de 1366.67 a 14.03.3 ms/cm.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios en la cuenca del río Ramis sobre contaminación por relaves mineros hasta la desembocadura al lago Titicaca, para evaluar el nivel de contaminación en la totalidad de la cuenca.
- Realizar estudios sobre el efecto ecotoxicológico de las concentraciones de mercurio obtenidas en el presente estudio, sobre organismos bioindicadores.
- Realizar estudios para mitigar el efecto contaminante de los relaves mineros en la zona de la Rinconada, para evitar su expansión y desembocadura en el lago Titicaca.
- Realizar estudios de ordenamiento ambiental, definiendo espacios para cada actividad productiva, además de población y biodiversidad con parámetros cuantitativos.
- Desarrollar programas de recuperación ambiental a través de investigaciones y aplicación de tecnologías económicas.
- Los resultados de este estudio deben ser complementados con estudios de salud pública como la prevalencia de enfermedades ocasionados por los niveles de contaminación del mercurio en las comunidades cercanas, ubicadas en la rivera del río Ramis.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G; Iza, A. 2009. Gobernanza de Aguas Compartidas: Aspectos Jurídicos e Institucionales. Gland, CH, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN). Serie de Política y Derecho Ambiental N° 58, 240 p.
- Ahumada B. R. (1994). Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb y Zn) en tejidos de invertebrados bénticos de Bahía San Vicente, Chile.
- Andía, W. (2010). Gerencia de Proyectos Sociales y de Inversión Social. 1ra edición. El Saber Editores. Lima- Perú.
- Apaza P. & Justo M. (2011). "Contaminación de aguas por mercurio originado por la minería artesanal en la mina Rinconada y Lunar de oro". Tesis para optar el título profesional de ingeniero Geólogo. Facultad de ingeniería metalúrgica y geológica. Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú. 100 p.
- APHA; AWWA; WEF (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, US). 2005. Standard methods for the examination of water and waste water. Method 2130 A-B/
- ATSDR, (2009). Evaluación de la exposición al mercurio: información para profesionales sanitarios. Atlanta, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.1-20
- Barón, A. V. (2003). "Cuál es la Situación de la Ecología y el Medio ambiente en el Perú", LIMA – PERÚ. p. 45-57.
- Banco Central de Reserva, Informe Económico y Social Región Arequipa, BCR, junio 2007.
- Basáez, L. 2009. ¿Qué es el pH? Formas de medirlo. Ciencia Ahora.12 (23):59-60.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) 2013. Gestión del Impacto de la Explotación Minera a Cielo Abierto sobre el Agua Dulce en América Latina. Nota técnica 520-P. 40.
- Camargo, J. y Alonso, A. 2007. Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: Problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. Ecosistemas. Revista Científica, Técnica de

- Ecología y Medio Ambiente. Asociación Española de Ecología Terrestre. España 16(2).
- Camacho, L., y Bitar, J. 2005. Implementación del modelo de transporte de metales pesados en el Río Magdalena tramo Girardot – Honda. Obtenido el 17 de Noviembre del 2008.
- Castro J. Y M. Monroy. 2002. "Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente". San Luís de Potosí, México. UNESCO - INGEMMET - Perú.
- Clesceri. L.S. Standard methods. 1998. Examination of water and wastewater. Edition 20 th.
- Chien, L., Han B., Hsu Ch., Jaing Che., You H., Shieh M., Yeh C., (2006). "Analysis of the health risk of exposure to breast milk mercury in infants in Taiwan". *Chemosphere* 64: 79-85.
- Corbet, PS. 1999. Dragonflies behavior and ecology of odonata. University of Edinburgh. Scotland, UK. 828 p.
- Cotton, FA., Wilkinson, G. (1980). "Química Inorgánica avanzada De limusa". España: 715-747 p.
- Cutipa A., Aquino E., Tujillo M., (2010). "Evaluación del impacto ambiental en la zona pampas de molino, en Lunar de Oro del distrito de Ananea – Puno – Perú. 3450:1350 p.
- Diario Gestión, 2008. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, según las RM N° 179-2006-MEM/DM y RM. N° 550-2006-MEM/DM. "La Minería Ilegal se extiende peligrosamente en el Perú", pág. 25
- Español, C., (2001). Toxicología del mercurio. Actuaciones preventivas en salinidad laboral y ambiental. Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica, Lima – Perú.
- Eyzaguirre Pérez, R. (2004) "Métodos Estadísticos para la Investigación" Lima - Perú.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1993). Manual de Métodos de Investigación del Medio Ambiente Acuático. Parte 9. Análisis de presencia de metales y organoclorados en los peces. FAO. Doc. Tec. Pesca 212:35 p.
- Förstner, U. (1979) Assessment of metal pollution in rivers and estuaries. In: Applied Environmental Geochemistry. I. Thornton (Ed) Academic Press. London, pp 395-423.

- Gallego, M. 2000. El agua, vinculo de contaminación. Página electrónica en (línea) Turrialba, Costa Rica. Consultado agosto 2005. [www.badad.com/com/no01/agua.html](http://www.badad.com/com/no01/agua.html).
- González, AM. 2008. Diseño de metodología para la identificación de pasivos ambientales mineros en Colombia. Mag. S.c. Medellín, Colombia, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín > Facultad de Minas. 107 p.
- Granada N. & Escobar D. (2012). Análisis y cuantificación de metales pesados (Pb, Cd, Ni y Hg) en agua, sedimentos y bioacumulación en la especie *Rhandia wagne* (*barbudo*) del río Cauca en el municipio de la Virginia. Tesis para optar el título profesional de Tecnóloga Química. Facultad de Tecnología -Universidad Tecnológica de Pereira.128 p.
- Jill, S; Baron, N; LeRoy Poff, PL; Angermeier CN; Dahm, PH; Gleick, NG; Hairston, RB; Jackson, CA. Johnston, BD; Steinman, R; Steinman, AD. 2003. Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems. Issues in Ecology. Ecological Society of America. Washington DC. US. P. 18:1-18
- Johnson, C., Salisten G., Schütz A., Sjörs A., Barregard L. (2004). "Hair mercury levels versus freshwater fish consumption in household members of Swedish angling societies". Environmental research 96: 257-263.
- Khatoonabadi, A., Sheikh H., B. (2008). "Effect of mercury on the human health and environmental: A review". International Journal of Food Safety, Nutrition and Public Health 1:33-50.
- Kosnett, M. (2006). Mercury. Poisoning & Drug Overdose. Olson K. San Francisco. McGraw Hill.
- Kuramoto, J. R. 2004. La Minería Artesanal e Informal en el Perú. -Grupo de Análisis para el Desarrollo. (GRADE).pág. 23.
- Iskander Y. F, Vega - Carrillo H, Manzanares - Acuña E. 1994 "Determinación de Mercurio y Otros Elementos en el lago Zacatecana de Sedimentos en México" México df - México.
- Mamani J. G. (2011). Evaluación de los recursos Agua y Suelo, y sus alteraciones producido por la minería informal de Ananea, Puno. Tesis para optar el título de Magister Scientie en ingeniería ambiental. Maestría en ciencias de la ingeniería agrícola. Universidad nacional del altiplano Puno - Perú 90 p.
- Martin T.D., Brockhoff C.A., Creed J.T. and EMMC Methods work Group. (1994). Method 200.7, determination of metals and trace elements in water and wastes

- inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry. Revision 4.4.
- Marrugo, N., y Benitez (2008). "Distribution of mercury in several environmental compartments in an aquatic ecosystem impacted by gold mining in northern Colombia". 55:305-18.
- Medina, G., Arévalo, J., Quea, F. (2007). "Estudio de Investigación de la Minería Ilegal en el Perú: Repercusión para el Sector Minero y el país". Arequipa-Perú. pág. 5.
- Mendoza, M. 1996. Impacto de la tierra, en la calidad de la microcuenca río sábalos. Cuenca del río Turrialba, CR, CATE, 81 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, CR) 2003. Propuesta de Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales de Costa Rica. San José, CR. 22 p.
- MINEM (2012). Ministerio de Energía y Minas. Perú 2011, Anuario Minero – Reporte Estadístico de Minería. "Dirección de Promoción Minera. Lima, Perú Primera Edición. Abril. 132 p.
- MINAM (2011). Protocolo Nacional de Monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales del Perú, aprobado mediante Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA.
- Ming-Ho, Y. (2005). Soil and Water pollution - Environmental metals and Metalloids. Environmental Toxicology. Boca Raton, CRC Press: 203- 210.
- Mitchell, M., Stapp, W., Bixby, K. 1991. Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo. Segunda edición. Proyecto del Río. New Mexico, USA. 200p.
- Moun, C; Moulton, P. 1991. Monitoring Guidelines to Evaluate Effects of Forestry Activities on Streams in Pacific Northwest and Alaska. EPA (en línea). Consultado 10 dic. 2009.
- Navarro, A. (2009). Contaminación Térmica. Recuperado el 7 de Octubre de 2011, de Profesor en Línea: <http://pofesorenlinea.cl/ecologiaambiente/Contaminaciontermica.htm>
- Laws, Ward A. (1993). Aquatic pollution, an introductory text. New York : John Wiley & Sons Limited.
- Lenntech. 2009. Agua residual & purificación del aire Holding B.V. TDS y conductividad eléctrica (en línea). Madrid, Sp. Consultado 02 dic.2009. disponible en <http://www.lenntech.es>
- López, Pedro (1998). Minería de aluvión en el departamento del Guainía. Volumen 1.p. 58.

- López, Pedro (2002). Propuesta de prevención y manejo de la contaminación por mercurio en la región de la-mojana. Programa de desarrollo sostenible de la región de la mojana” Colombia-informe final de consultoría. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, Bogotá.
- Llorente, B., Virseda Ch., Peral J., Sanz G., ruiz T., Lopez C. (2011). "Metilmercurio en el cabello de poblacion infantil". Sanidad Militar. P. 67:299-303.
- Ongley, E.D. ONG 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Roma, Italia.
- Palacio J., Aguirre N., Barrera J. (2003).Contaminación por mercurio, Revista Mundo Científico, N° 242, Barcelona (España), p. 56 – 63. 2003.
- Peñaloza Mercedes, Camargo Mauricio, Palacio Jaime (2003). “Genotoxicidad del cloruro de mercurio en dos especies ícticas (*prochilodus magdalena* (boca chico) y *Oreochromis sp.* (Tilapia)) Universidad de Antioquia; revista Actualidades Biológicas 25 (79): p. 106.
- Prieto, M., Gonzales C., Gutierrez r., Prieto F. (2009). "Contaminacion y Fitotoxicidad en plantas por Metales pesados Provenientes de Suelos y Agua". Tropical and Subtropical Agroecosystem 10:29-44.
- PNUMA, (2005). Evaluacion Mundial Sobre el mercurio.Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- PNUMA, (2010). Informe relativo a la información sobre sistemas armonizadas para medir la carga de mercurio, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Poulin, J., H. (2008). Mercury Assessing the environmental burden of disease at national and local levels Geneva, WHO. P. 16.
- PROYECTO ESPECIAL BINACIONAL LAGO TITICACA - PELT (2003) "Diagnóstico del Nivel de Contaminación de los Recursos Hídricos del Lago Titicaca" PUNO - PERÚ.
- Prosi, F. (1991) Heavy metals in aquatic organisms. In: Metal Pollution in the Aquatic Environment Cap. F, Förstner and Wittmann (Eds) Springer-Verlag, Berlin 271-323.
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2008). Guías para la calidad del agua potable, tercera edición. P. 85.
- Ramírez, E.; Tornero M. y Bonilla N. (2007). Evaluación de concentración de metales pesados en el agua residual del canal Chilhuacán, Atlixco, Puebla. Departamento de Agroecología y Ambiente. Universidad Autónoma de Puebla. México.

- Repetto, R. 1990. Deforestation i the tropics Scientific American, EUA V, 262 (4) p. 36-42.
- Ruelas, J., Amler Sh. (2009)." Mevercury in Biota and Superficial Sediments from Coatzacoalcos Estuary, Gulf of Mexico: Distribuccion and Seasonal Variation". Journal of Water Air and Soil Polltion 197:165-174.
- Salas F. U. (2010). "Estudio de los niveles de contaminación por metales pesados en la zona de Ananea de la cuenca del río Ramis". Tesis para optar el título de Magister Scientie en ingeniería ambiental. Maestría en ciencias de la ingeniería agrícola. Universidad nacional del altiplano Puno - Perú. 96 p.
- SENAMHI (2009). Pronósticos del eestado del clima en todo el Perú, estudios de hidrología, meteorología, agrometeorología y ambientales. [senamhi.gob.pe](http://senamhi.gob.pe)
- SER Asociación (2007). Actividad minera informal en Ananea y contaminación de la cuenca del río Ramis. Producido por la oficina regional Puno Documento informativo, Conflicto en el altiplano: 12p.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE). "La Minería Ilegal se extiende peligrosamente en el Perú". 2008. Diario Gestión, pág. 25.
- Sotero, V. y M. Alva. (2013). Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay. Ciencia amazónica, Vol. 3, No. 1, p. 24-32.
- Teaf, C., M. (2012). Mercury Exposure Considerations: Evaluating the Chemical Form and Activities of the Invidual. Annual International Conference on soil, Sediments, Water and Energy.
- Timbrell, J. (2009). Biochemical Mechanisms of Toxicity: Specific Examples. Principles of Biochemical Toxicology. New York, Inform Healthcare, p. 387- 390.
- Unda F. Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública (1969). México: ed. Hispano- Americana 870p. (p.58-311, 389 – 459).
- Valko M., Morris H., Cronin M. (2005). "Metals, Toxicity and Oxidate Stress" Current Medicinal Chemistry 12: 1161-1208.
- Vidalon J. Suarez, J. (2005) - Programa de Desarrollo sostenible en la Áreas de Pampa Blanca Viscachani y Chaquiminas, Ananea Puno - Perú. Propuesta de prevención y manejo de impactos en las operaciones Mineras de Pampa Blanca, Viscachani y Chaquiminas.
- Voegborio, R., Matsuyama A., Adimado A., Akagi H. (2010). "Head hair total mercury and methylmercury levels in some Ghanaian individuals for the estimation of their exposure to mercury: Preliminary studies".

Ward, D., Nislow K., Folt C.(2010). "Bioaccumulation Syndrome: Identifying that make some stream food webs prone to elevated mercury bioaccumulation". Annals of the New York Academy of Science (The year in Ecology and Conservation Biology): 62-83.

WHO. (2003).Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects. Geneva, World Health Organization.

WHO. (2005). Mercury in Helth Care. Ginebra, World Health Organization; p. 1-3.

Zegarra, Eduardo (2008). Minería e ingresos rurales: entiendo las bases micro-económicas del conflicto” propuesta ganadora del concurso de proyectos medianos del centro de investigación Económica y Social. Lima - Perú.

#### **Páginas web**

- [MINEMhttp://www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe)
- <http://www.iied.org/mmsd> <https://www.arcgis.com/features/>.





**ANEXO 1. ANALISIS ESTADISTICO**

## 1. Análisis de varianza para contenido de mercurio (Hg) en agua superficial

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Zona	3	0.000000004	0.000000001	1.000	0.455
Mes	2	0.000000224	0.000000112	80.095	< 0.0001
Error	6	0.000000008	0.000000001		
Total	11	0.000000237			

## Prueba de Duncan para contenido de mercurio (Hg) en agua superficial según meses

Categoría	Media	Grupos
Marzo	0.00034	A
Diciembre	0.00005	B
Enero	0.00005	B

## 2. Análisis de varianza para contenido de mercurio (Hg) en sedimentos

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Zona	3	36247.000	12082.333	1.225	0.379
Mes	2	6336.167	3168.083	0.321	0.737
Error	6	59162.500	9860.417		
Total	11	101745.667			

## 3. Análisis de varianza para pH en aguas superficiales

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Zona	3	0.267	0.089	4.878	0.048
Mes	2	0.039	0.019	1.061	0.403
Error	6	0.110	0.018		
Total	11	0.416			

Prueba de Duncan para para pH en aguas superficiales según zonas

Categoría	Media	Grupos	
A	3.600	A	
B	3.517	A	
C	3.433	A	B
D	3.200	B	

4. Análisis de varianza para Temperatura del agua

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Zona	3	0.977	0.326	15.221	0.003
Mes	2	0.232	0.116	5.416	0.045
Error	6	0.128	0.021		
Total	11	1.337			

Prueba de Duncan para temperatura del agua según zonas

Categoría	Media	Grupos	
B	6.667	A	
C	6.467	A	B
D	6.233	B	
A	5.900	C	

Prueba de Duncan para temperatura del agua según meses

Categoría	Media	Grupos	
Diciembre	6.450	A	
Enero	6.375	A	B
Marzo	6.125	B	

5. Análisis de varianza para Turbidez del agua

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Zona	3	26857.000	8952.333	165.020	< 0.0001
Mes	2	820.500	410.250	7.562	0.023
Error	6	325.500	54.250		
Total	11	28003.000			

Prueba de Duncan para turbidez según zonas

Categoría	Media	Grupos	
A	140.333	A	
B	45.000		B
D	28.333		C
C	24.333		C

Prueba de Duncan para turbidez según meses

Categoría	Media	Grupos	
Marzo	69.500	A	
Enero	59.750	A	B
Diciembre	49.250		B

6. Análisis de varianza para Oxígeno disuelto

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Zona	3	1.577	0.526	2.927	0.122
Mes	2	1.182	0.591	3.290	0.108
Error	6	1.077	0.180		
Total	11	3.836			

7. Análisis de varianza para Conductividad eléctrica

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Zona	3	2189.583	729.861	4.981	0.046
Mes	2	2487.500	1243.750	8.488	0.018
Error	6	879.167	146.528		
Total	11	5556.250			

Prueba de Duncan para conductividad eléctrica según zonas y meses

Categoría	Media	Grupos	
C	1403.333	A	
D	1393.333	A	
A	1391.667	A	
B	1366.667		B

Categoría	Media	Grupos	
Diciembre	1407.500	A	
Enero	1386.250		B
Marzo	1372.500		B

ANEXO 2.

2.1. Estándares nacionales de Calidad Ambiental para Agua Decreto supremo N° 002-3008-MINAM

ANEXO I

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm <sup>25</sup>	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. <sub>5</sub>	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4	>= 5	>= 4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT <sup>20</sup>	5	100	**	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometanos	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles, COVs</b>						
1,1,1-Tricloroetano -- 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano -- 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno -- 95-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno -- 87-68-3	mg/L	0,0006	0,0006	**	**	**
Tetracloroetano -- 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloruro de Carbono -- 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano -- 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
<b>BETX</b>						

Descargado desde www.elperuano.com.pe

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO3-N)	mg/L	10
Nitritos (NO2-N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S. A. A. M. (detergentes)	mg/L	1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	Unidad	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
<b>Biológicos</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella sp.</i>		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente

Descargado desde wv



PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
<b>Fisicoquímicos</b>		
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	≤5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	≤15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruro	mg/L	2
Nitratos-(NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	1
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	500
Sulfuros	mg/L	0,05
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,1
Berilio	mg/L	0,1
Boro	mg/L	5
Cadmio	mg/L	0,01
Cianuro WAD	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	1
Cobre	mg/L	0,5
Cromo (6+)	mg/L	1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Niquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	24
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
<b>INORGÁNICOS</b>						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	----
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	----
Clorofila A	mg/L	10	----	----	----	----
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
<b>INORGÁNICOS</b>						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		----	----
Niquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	----	----	----	----	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno ( H <sub>2</sub> S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis  
**Dureza:** Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)  
**Nitrógeno total:** Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO)  
**Amonio:** Como NH<sub>3</sub> no ionizado  
**NMP/100 mL:** Número más probable de 100 mL  
**Ausente:** No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

Descarga

## 2.2. ESTÁNDARES INTERNACIONALES

- Organización Mundial de la Salud: *Estándares para agua potable* (OMS 2004); Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente: *Guías de Calidad Ambiental* (CCME 2004). Incluye estándares para agua potable (cap. 2), preservación de fauna acuática (cap. 4), agua para irrigación (cap. 5) y agua para consumo de animales domésticos (cap. 5).
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos: *Estándares Nacionales Primarios para Agua Potable* (USEPA 2003);
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos: *Criterios Nacionales de Calidad de Agua Recomendados* (USEPA 2002).
- Corporación Financiera Internacional (Grupo del Banco Mundial): *Manual de Prevención y Mitigación de la Contaminación - Requerimientos para la Descarga de Efluentes Presentes en las Guías para la Industria* (WBG 1998).

**Tabla 2.3.1.** Resumen de los estándares internacionales de calidad de agua ambiental.

Parámetro	Unidad	Agua Potable			Preservación de Fauna Acuática		Irrigación	Consumo Animales
		OMS (2004)	CCME (2005)	USEPA (2005)	CCME (1999)	USEPA (2005)	CCME (1999)	CCME (1999)
Plata	mg/L				0,0001			
Estroncio	mg/L							
Vanadio	mg/L						0,1	0,1
Zinc	mg/L		<5,0 (1)		0,03	0,12	1 - 5	50
Fenoles	mg/L				0,004			
Detergente aniónico	mg/L			0,5				
Turbidez	mg/L	5		5				
STS	mg/L							
STD	mg/L	1000	<500	500			500-1500	3000
pH			6,5-8,5	8,5	6,5-9			

\* En Cromo, III= Cromo trivalente; VI= Cromo hexavalente.

**Tabla 2.3.2.** Resumen de los estándares internacionales de calidad de agua ambiental citados, clasificados según el uso del agua.

Parámetro	Unidad	Agua Potable			Preservación de Fauna Acuática		Irrigación	Consumo Animales
		OMS (2004)	CCME (2005)	USEPA (2005)	CCME (1999)	USEPA (2005)	CCME (1999)	CCME (1999)
Alcalinidad	mg/L					20		
Aluminio	mg/L		0,1		0,005 - 0,1		5	5
Antimonio	mg/L		0,006	0,006				
Arsénico	mg/L	0,01	0,005	0,01	0,005	0,15	0,1	0,025
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,005	0,000017	0,00025	0,0051	0,08
Plomo	mg/L	0,01	0,01	0,015	0,001 -	0,0025	0,2	0,1
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,002	0,000026	0,00077		0,003
Molibdeno	mg/L	0,07			0,073		0,01 - 0,05	0,5

#### 2.4. Valores de referencia para la calidad de sedimentos y agua

No se dispone en el país de normatividad que limite los contaminantes en los sedimentos en cuerpos de agua. Por tanto, en este trabajo, a manera de guía, en las Tablas se presentan los valores de referencia para las diferentes variables propuestas, tomados de

Parámetros	Unidad	Canadá <sup>1</sup>	Estados Unidos <sup>2</sup>
Oxígeno disuelto	mg/l	6.5 – 9.5	7
pH		6.5 – 9	6.5 - 9
<b>Metales</b>			
Arsénico	mg/l	0.005	0.15
Cadmio	mg/l	0.000017	0.0025
Plomo	mg/l	0.001 – 0.007	0.0064
Mercurio	mg/l	0.0001	0.00077

otros países, como Canadá y Estados Unidos.

Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of the Aquatic Life (1) Water Quality Standard (CQSG, 2002).

#### Normativa para la protección de la vida acuática - Agua

Parámetros	Unidad	Canadá
Oxígeno disuelto	mg/l	6.5 – 9.5
pH		6 – 9
Arsénico	mg/kg	5.9
Cadmio	mg/kg	0.6
Plomo	mg/kg	35
Mercurio	mg/kg	0.17

Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of the Aquatic Life (1) Water Quality Standard (CQSG, 2002).

ANEXO 3. Panel fotográfico



Fotografía 1. Contaminación del agua superficial por la población de Luna de Oro.



Fotografía 2. Vista panorámica de las zonas mineras Luna de oro, Ritik'ucho y la Rinconada.



Fotografía 3. Vista de un túnel de extracción de minerales – Lunar de oro



Fotografía 4. Vista de la quebrada Lunar de oro- ubicación Zona (A).



Fotografía 5. Vista de la toma de muestra de agua de la Zona (A).



Fotografía 6. Medición de los parámetros físico químicos del agua.



Fotografía 7. Vista del agua que recorre de la zona Lunar de oro hasta pampa de molino.



Fotografía 8. Vista de la conservación de las muestras de agua tomadas, en las 4 zonas.



Fotografía 9. Vista de la muestra de sedimentos de las zonas de muestreo.



Fotografía 10. Muestras tomadas tanto de aguas y sedimentos, de las 4 zonas de estudio.



Fotografía 11. Vista del exceso de sedimentación causado por la actividad minera- periferie de la laguna Rinconada



Fotografía 11. Presencia de la contaminación del agua por residuos sólidos – ingreso de la laguna Rinconada.



Fotografía 12. Vista de la evidente contaminación de la laguna Rinconada.



Fotografía 13. Vista de la presencia de nevadas en el centro poblado de la Rinconada.



Fotografía 14. Característica de la época de lluvia del centro poblado de la rinconada.

