

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS – INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE METALES TÓXICOS EN EL  
RÍO PROGRESO – PUNO**

**PRESENTADO POR:**

**SILVERIO FISCHER CONDORI CHINO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS – INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE METALES TÓXICOS EN EL RÍO  
PROGRESO – PUNO**

**PRESENTADO POR:**

**SILVERIO FISCHER CONDORI CHINO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....  
Dr. DANTE ATILIO SALAS AVILA

PRIMER MIEMBRO

.....  
M.Sc. VALENTIN ELIAS FERNANDEZ VALDIVIA

SEGUNDO MIEMBRO

.....  
M.Sc. ROGER HUANQUI PEREZ

ASESOR DE TESIS

.....  
Dr. WALTER ALEJANDRO ZAMALLOA CUBA

Puno, 08 de Agosto del 2018.

ÁREA: Medio Ambiente  
TEMA: Seguridad Ambiental  
LINEA: Seguridad Industrial y Ambiental

## DEDICATORIA

*Quiero dedicarle este trabajo a:*

**Dios**, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

**Santo Tomas de Aquino**, patrono de los estudiantes y a la **Virgen María**, Quienes inspiraron mi espíritu para la conclusión de esta tesis de Maestría.

**Mi madre**, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

**Mi padre** que al cielo marchó y sé que siempre estás a mi lado, nunca olvidaré lo que me enseñaste pues esa herencia que me has dejado y esa enseñanza es el tesoro más valioso de un hombre.

**Mis Amigos**, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y social.

Finalmente a los **Maestros**, aquellos que marcaron cada etapa de nuestra formación académica de la Maestría, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis

## AGRADECIMIENTOS

- Mis agradecimientos a la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela de Posgrado, Maestría en Ciencias, mención en Seguridad Industrial y Medio Ambiente, en la que complementé mi formación pos profesional.
- A los Docentes de la Maestría en Ciencias por su contribución académica a mi formación pos profesional.
- Al Dr. Walter Alejandro Zamalloa Cuba, por su apoyo y asesoramiento durante el desarrollo del trabajo de investigación y por compartir sus conocimientos y orientaciones en el aspecto profesional y académico.
- A todas las personas que contribuyeron directa e indirectamente a que este trabajo de investigación se realice.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

**CAPÍTULO I****REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1 Marco Teórico	3
1.1.1 Procedencias de los Metales Pesados en los Suelos	4
1.1.2 Calidad del Agua	6
1.2 Antecedentes	12

**CAPÍTULO II****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1 Planteamiento del Problema	24
2.1.1 Problema Científico	25
2.1.2 Preguntas del Problema	25
2.2 Justificación	25
2.3 Objetivos	26
2.3.1 Objetivo General	26
2.3.2 Objetivos Específicos	26

2.4	Hipótesis	26
2.4.1	Hipótesis General	26
2.4.2	Hipótesis Específicas	27

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Lugar de Estudio	28
3.2	Hidrología	29
3.2.1	Subcuencas Tributarias	29
3.3	Análisis Climatológico	30
3.3.1	Precipitación	31
3.3.2	Temperatura	33
3.3.3	Lluvia	34
3.3.4	Humedad Relativa	35
3.3.5	Velocidad y Dirección de Viento	36
3.4	Metodología	37
3.4.1	Muestreo	38
3.4.2	Muestreo Para Parámetros Físico Químicos	39
3.4.3	Muestreo Para Metales Pesados	39
3.5	Procedimiento Analítico	40
3.5.1	Digestión de Muestras y Lectura en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica	40
3.6	Diseño Estadístico	41
3.6.1	Análisis de Varianza	42
3.7	Reactivos	42
3.8	Técnicas de Muestreo	42

**CAPÍTULO IV****RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Hidrografía	43
4.2	Características Físico Químico de Agua del Río Progreso	44
4.2.1	Análisis de Parámetros Físico Químicos	46
4.3	Contenido de metales pesados en aguas del rio Progreso	51
4.3.1	Análisis de Metales Pesados en Agua - Bocatoma I	53
4.3.2	Análisis de Metales Pesados en Agua en el Punto de Muestreo N° 2	54
4.3.3	Análisis de Metales Pesados en Agua en el Punto de Muestreo N° 3	55
4.4	Longitud y Pendiente del Área de Muestreo	57
4.5	Discusión	58
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA	61
	ANEXOS	69

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Límites máximos permisibles (mg/l) de metales en aguas utilizables con diversos fines.	18
2. Presenta evaluación, y parámetros climatológicos de la estación Azángaro.	31
3. Puntos de muestreo de agua.	38
4. Variables hidroquímicas y metodologías.	39
5. Ubicación de los puntos de monitoreo de agua.	45
6. Parámetros físico-químico obtenido de la categoría 3: riesgo de vegetales y bebidas de animales.	45
7. Resultados de análisis de características físico químicas del río progreso.	45
8. Parámetros inorgánicos obtenidos de la Categoría 3: riesgo de vegetales y bebidas de animales.	51
9. Resultado de análisis de metales pesados en agua – Bocatoma I.	53
10. Comparación de resultados con la normativa ECA agua del punto de muestreo 01 (Bocatoma I).	54
11. Resultado de análisis de metales pesados en el agua de la Bocatoma I.	54
12. Comparación de resultados con la normativa ECA agua del punto de muestreo 02 (A 1km de la Bocatoma I).	54
13. Resultado de análisis de metales pesados en el agua en el Puente Progreso.	55
14. Comparación de resultados con la normativa ECA agua del punto de muestreo 03 (puente progreso).	55
15. Longitudes de los tramos entre puntos y la longitud total.	57
16. Pendiente de los tramos entre puntos.	57
17. Análisis Estadístico	57
18. Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo.	57
19. Análisis de varianza.	58
20. Prueba de rango Múltiple de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Área de estudio sector progreso.	28
2. Poblados ribereños de la cuenca del RAMIS.	29
3. Probabilidad diaria de Precipitación.	32
4. Cuadro de precipitación (Temperatura (°C) vs Precipitación (mm)).	32
5. Temperatura Máxima y Mínima promedio.	33
6. Temperatura promedio por hora.	34
7. Precipitación Pluvial mensual promedio.	35
8. Humedad relativa (Niveles de comodidad de la humedad).	35
9. Velocidad promedio del viento.	36
10. Dirección del viento.	37
11. Ubicación de los Puntos de Muestreo.	38
12. Conservación de muestras.	70
13. Mediciones de campo.	70
14. Punto N° 1 Zona de la bocatoma I.	71
15. Lugar de muestreo del Punto N° 1.	71
16. Punto N° 2 de muestreo, a 1km de distancia de la Bocatoma I.	72
17. Mediciones en el Punto N°2 de muestreo.	72
18. Punto N° 3, Puente Progreso.	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Panel y/o evidencias fotográficas	70
2. Certificados de laboratorio	74

## RESUMEN

La investigación sobre la evaluación físico química de la calidad del agua del río progreso en el área de influencia minera del río Crucero por arsénico y mercurio – Distrito de Asillo, El área de estudio es en el sector de Inampo desde el Km. 95 al Km 85 de la transoceánica entre el centro Poblado de Progreso y la Bocatoma con un tramo de 10 km, para lo cual se ha efectuado muestreo en tres zonas estratégicas dos veces en la zona de Bocatoma I un kilómetro antes de la misma bocatoma y en la Bocatoma, luego en el puente Progreso (Puente de Progreso), el presente trabajo se ha realizado considerando, que el agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas de la zona de la irrigación de progreso; se realizó con el objetivo de determinar los niveles de contaminación existentes en la zona, la metodología utilizada está basada en la toma de muestras de aguas, con los siguientes resultados; **Agua**, Arsénico fluctúa entre el valor máximo 0,0018 mg/L y mínimo <0,0010 mg/L setiembre-2017, Mercurio el valor <0,00020 mg/L setiembre-2017. Los resultados nos indican que en la zona de la bocatoma I existe mínima diferencia en la concentración de arsénico por ser una zona donde ocurre un movimiento de agua turbulenta por la rugosidad de la superficie y se identifica leve presencia del elemento arsénico a comparación de los puntos Bocatoma II y Puente. En resumen, no existe diferencia según la prueba de Tukey en los tres puntos de muestreo.

**Palabras claves:** agua, concentración, contaminación, metal, muestreo y toxico

## ABSTRACT

Research on the physical and chemical evaluation of river water quality progress in the area of mining influence of the Arsenic and Mercury Cruise River - District of Asillo, The study area is in the Inampo sector from Km. 95 to Km 85 of the transoceanic highway between the center of Poblado de Progreso and the Bocatoma with a stretch of 10 km, for which sampling has been carried out in three strategic zones twice in the area of Bocatoma I a kilometer before the same intake and in the Intake , then on the Progreso bridge (Puente de Progreso), the present work has been carried out considering that water constitutes an essential natural element for the development of life and human activities in the irrigation area of progress; In order to determine the levels of contamination existing in the area, the methodology used is based on taking water samples, with the following results; Water, Arsenic fluctuates between the maximum value 0.0018 mg / L and minimum <0.0010 mg / L September-2017, Mercury the value <0.00020 mg / L September-2017. The results indicate that in the area of the intake I there is a minimum difference in the concentration of arsenic as it is an area where a turbulent water movement occurs due to the roughness of the surface and a slight presence of the arsenic element is identified in comparison with the points Intake II and Bridge. In summary, there is no difference according to the Tukey test in the three sampling points.

**Keywords:** concentration, metal, pollution, sampling, toxic and water.

## INTRODUCCIÓN

La industria minera es una actividad productiva vital para el desarrollo social, económico de nuestro país; la mayoría de las actividades mineras se concentran en las cuencas altas de los ríos, y el mal manejo contribuye a desencadenar efectos ambientales adversos que repercuten en toda la cuenca y también en el desarrollo de otras actividades productivas. Esto nos lleva a definir el concepto de impacto ambiental de una actividad: la diferencia existente en el medio natural entre el momento en que la actividad comienza, el momento en que la actividad se desarrolla, y, sobre todo, el momento en que cesa. Estas cuestiones, que hace algunos años no se percibían como un factor de riesgo para el futuro de la humanidad, hoy se contemplan con gran preocupación, que no siempre está justificada, pues el hombre viene alterando el medio desde que ha sido capaz de ello, pero ciertamente los abusos cometidos en este campo han hecho que crezca la conciencia de la necesidad de regular estos impactos. De cualquier manera, también debe quedar claro que el hombre necesita los recursos minerales hoy, y los necesitará en el futuro. Se ha estimado que más de la mitad de las 5818 comunidades campesinas ubicadas principalmente en la sierra del Perú coexisten con actividades mineras, lo cual constituye un riesgo ambiental al modo de vida rural, porque ellos dependen de actividades agropecuarias como medios de sustento, donde la agricultura se encuentra amenazada por el riego de aguas contaminadas con metales pesados (elementos tóxicos), producto del ineficiente tratamiento de aguas residuales de la minería y de la presencia de pasivos.

Las alteraciones en la calidad de las aguas por presencia de metales pesados son preocupantes cada vez más generando conflictos sociales frecuentemente. Existen estudios como de (Zamora, G. 2007), donde indican que existe presencia en plantas de la época seca, los valores de máxima presencia de As (1,6 mg/l); mientras que en otros puntos en la misma época, se han registrado los máximos valores de Zinc, Cadmio, y Plomo (25, 0.02 y 1.0 mg/l) las concentraciones de mercurio correspondientes a sedimentos no contaminados son sumamente bajas, y sus niveles van de 0,03 mg/kg a 0,2 mg/kg (Forstner, 1993 y Bryan y Langston, 1992), en las muestras de Sedimento el plomo presento niveles de 2.9µg/gps hasta 8.72µg/gps como valor extremo (García, 2005).

Nuestro **ámbito de estudio** se encuentra en la **zona media** entre la cabecera de cuenca y el lago Titicaca del **Rio Progreso (Bocatoma I, a 1km de la Bocatoma I y Puente)**.

El estudio considera que la presencia de metales se deba a minería de tipo metálico, que se sitúan en la parte alta de la cuenca del Ramis, en algunos casos vierten sus aguas directamente al Rio Crucero; en otros casos son pasivos mineros finalmente la presencia de metales pesados implica también la erosión fluvial litogénica<sup>1</sup>.

La contaminación del agua puede provenir de la degradación de sustancias inorgánicas y orgánicas que se encuentran como componentes del suelo, como desechos de los relaves metalúrgicos.

Los metales pesados pueden clasificarse en dos grupos, el primero, al que pertenecen elementos como Cu, Zn y  $\text{Cr}^{3+}$ , El segundo grupo está constituido por aquellos metales que no tienen un rol biológico conocido, pero sí una clara toxicidad, a él pertenecen, entre otros, As y Hg, los cuales provienen como consecuencia de la actividad minera, cuyos efectos toxicológicos constituyen un serio riesgo para la salud humana y la ecología.

---

<sup>1</sup> **Erosión Fluvial Litogenica:** Es la acción de desgaste ocasionado por las aguas muy alcalinas, o demasiado ácidas de torrentes, aguas salvajes, y ríos. Las aguas de torrente se forman después de las fuertes lluvias, cuando las aguas impetuosas escurren en un cauce irregular; su acción es destructiva, al igual que la de las aguas salvajes, son el resultado de los deshielos o bien de las intensas lluvias, y dan lugar a escurrimientos violentos sin cause definido y a destrucción de todo lo que encuentra en su paso, los ríos se caracterizan por erosionar verticalmente el terreno; prueba de ello lo constituye los valles fluviales y los cañones.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1 Marco Teórico

**Metales Pesados:** Se definen como metales pesados a aquellos elementos químicos que tienen una densidad mayor que  $5 \text{ g/cm}^3$  o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Pero este término se suele utilizar en el lenguaje corriente con una connotación negativa, que hace referencia al riesgo de toxicidad que genera su presencia cuando supera determinados niveles en el suelo (Reid, 2001 y Gratão *et al.*, 2005).

Con respecto a su concentración habitual en la biósfera, los elementos ya sean metálicos o no metálicos se separan a su vez en dos grupos, macro y microelementos, según si su contenido en la materia seca viva sea mayor o menor que 0,01%. Algunos de los microelementos son indispensables para el desarrollo de los procesos biológicos, los *oligoelementos*. Los oligoelementos fundamentales para las plantas son: *B, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Ni* y *Zn*. Estos elementos son requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Se encuentran en concentraciones que oscilan entre 0,1 y 0,001 mg/kg y pasado cierto umbral se vuelven tóxicos (Ginocchio y Baker, 2004 y García y Dorranson, 2005).

Existen metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos ocasiona disfunciones en el funcionamiento de sus organismos, tales como *Cd, Hg* y *Pb* (López y Grau, 2005).

El concepto de metal pesado se cruza con el de elemento traza, macroelemento y oligoelemento, porque algunos de los miembros de aquellos grupos son metales pesados,

y algunos de los elementos traza no son metales, como es el caso del As (López y Grau, 2005).

Los metales pesados, en pequeñas cantidades, pueden ser beneficiosos y hasta imprescindibles para los organismos vivos. Sin embargo, pasado cierto umbral pueden convertirse en elementos muy peligrosos, debido a que no pueden ser degradados y tienen una lenta y difícil eliminación (Millan *et al.*, 2007).

Esta persistencia, acumulación progresiva y/o transferencia a la cadena alimentaria supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas (Gulson, 1996; Becerril *et al* 2007).

### **1.1.1 Procedencias de los Metales Pesados en los Suelos**

El conocimiento de la asociación de los elementos traza con la fase particular del suelo y su afinidad hacia cada constituyente es un factor clave para un mejor entendimiento de los principios que rigen su comportamiento en el suelo (Kabata-Pendias y Pendias, 2000).

Para un adecuado equilibrio del ecosistema, el contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que en él tienen lugar; sin embargo, la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas (García y Dorronsoro, 2005 y Gonzales, 1986).

#### **1.1.1.1 Origen Natural**

Los metales pesados contenidos en el material original, al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas. En condiciones normales los procesos geoquímicos que originan las rocas determinan su contenido en metales pesados (Roca, 2004).

Rocas básicas y ultramáficas, solidificadas en primer lugar a partir del magma, incorporan metales pesados como el *Co*, *Ni*, *Zn* y *Cr* por reemplazamientos isomórficos de *Fe* y *Mg* en los minerales

ferromagnesianos. En cambio, las rocas ácidas, las últimas en solidificar, tienden a enriquecerse en *Pb*, el cual es capaz de sustituir al *K* en diferentes minerales.

La alteración de los minerales en las condiciones superficiales de la Tierra favorece el enriquecimiento de metales pesados en las rocas sedimentarias. Las más abundantes son las argilitas, constituidas mayoritariamente por minerales secundarios del grupo de las arcillas.

Las arcillas incorporan elementos como el *Fe*, *Zn*, *Cr* y *Mn* al sustituir el *Al* de los octaedros, y adsorben gran cantidad de *Cu*, *Co*, *Mn*, *Ni* y *Zn* gracias a su gran superficie específica. Estas rocas pueden presentar altos contenidos en *Se* (que pueden oscilar entre 10 y 50 mg/kg) como son las lutitas del Cretácico del medio Oeste de USA (Reeves, 2006).

Areniscas y rocas carbonatadas –calizas y dolomías– suelen tener los contenidos más bajos de metales pesados. La adsorción y/o complejación de metales pesados con la materia orgánica, en ambientes deposicionales reducidos ricos en restos orgánicos, es una de las principales causas de la alta concentración de metales pesados en las rocas típicas de estos ambientes sedimentarios (Gong *et al.*, 1977). Las rocas metamórficas, formadas en diferentes condiciones de presión y temperatura, tienen prácticamente los mismos contenidos que las rocas a partir de las cuales se forman. Más del 98% de la corteza está compuesta solo por 8 elementos pero existen concentraciones anormales de ciertos metales que, aunque con un porcentaje casi simbólico, tienen un gran interés económico.

Estos yacimientos minerales aportan de forma natural elevadas concentraciones de éstos metales al suelo. Existen diversos ejemplos en la bibliografía como los suelos derivados de carbonatos o silicatos de *Zn* con importantes aportes de *Zn*, *Pb*, *Cd* y *Cu* (Proctor y Woodell, 1971 y Rascio, 1977) o las concentraciones de *Cd*, *Cu*, *Pb* y *Zn* de suelos del área de Barcelona desarrollados sobre mineralizaciones dispersas de *Cu* (Bech *et al.*, 2002).

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias

humanas, depende en primer grado de la composición de la roca madre originaria y procesos erosivos sufrido por los materiales que conforman el mismo (Adriano, 1986).

La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales (niveles de fondo) de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota). Las diferencias en la composición físico-química de los sedimentos como el tamaño de las partículas, distribución y mineralogía afectan a las concentraciones de los metales pesados de origen natural (Loring, 1991 y Usero *et al.*, 1997).

Una alta concentración de metales en sedimentos puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual (White y Tittlebaum, 1985).

ITCR (2000) emplearon una metodología, para la recolección de muestras. Ubicaron puntos en el cauce principal en los primeros 500 metros de la desembocadura de cada uno de los cauces secundarios donde se tomaron muestras durante un año. En los cauces secundarios, de acuerdo con los datos obtenidos y la ubicación de las comunidades participantes, lo muestrearon en el segundo año. Los parámetros determinados por ITRC (2000) fueron: temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, pH, fosfatos nitritos y nitratos, residuos de plaguicidas. Los aspectos microbiológicos determinados fueron: coliformes totales y fecales. En cada punto de muestreo colectaron bentos de roca y sedimentos, los que se cuantificaron e identificaron a nivel de orden según los métodos y claves descritos en Water Quality Indicators Guide.

### 1.1.2 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 ha 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, la relación entre esta calidad del agua y 12 las necesidades del usuario. También la calidad del agua se puede definir por sus contenidos de sólidos y gases, ya sea que estén presentes en suspensión o en solución (Mendoza, 1976).

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).

El análisis de cualquier agua revela la presencia de gases, elementos minerales, elementos orgánicos en solución o suspensión y microorganismos patógenos. Los primeros tienen origen natural, los segundos son procedentes de las actividades de producción y consumo humano que originan una serie de desechos que son vertidos a las agua para su eliminación (Sáenz, 1999).

La contaminación causada por efluentes domésticos e industriales, la deforestación y las malas prácticas de uso de la tierra, están reduciendo notablemente la disponibilidad de agua. En la actualidad, una cuarta parte de la población mundial, que principalmente habita en los países en desarrollo, sufre escasez severa de agua limpia, lo que provoca que haya más de diez millones de muertes al año producto de enfermedades relacionadas a la contaminación hídrica (OPS, 1999).

Muchas de las actividades humanas contribuyen a la degradación del agua, afectando su calidad y cantidad. Entre las causas de mayor impacto a la calidad del agua en las cuencas hidrográficas de mayor importancia, está el aumento y concentración de la población, actividades productivas no adecuadas, presión sobre el uso inadecuado, mal uso de la tierra, la contaminación del recurso hídrico con aguas servidas domésticas sin tratar, por la carencia de sistemas adecuados de saneamiento, 13 principalmente en las zonas rurales. De igual manera, la contaminación por excretas humanas representa un serio riesgo a la salud pública (OMS, 999).

### 1.1.2.1 Los Conceptos y Tipos de Contaminación del Agua

Contaminación es la acción y efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica (Gallego, 2000).

Dado que el agua rara vez se encuentra en estado puro, la noción de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua (Sagardoy 1993).

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, pero en su mayoría el mayor de los impactos es de carácter antropogénico (FAO, 1993).

Dependiendo de su origen 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. En este punto el agua puede ser medida, tratada o controlada. Este tipo de contaminación está generalmente asociada a las industrias y las aguas negras municipales. Contaminación difusa: es el tipo de contaminación producida en un área abierta, sin ninguna fuente específica; este tipo de contaminación está generalmente asociada con actividades de uso de tierra tales como, la agricultura, urbanizaciones, pastoreo y prácticas forestales. La contaminación puntual es fácil de eliminar, si se cuenta con los medios para almacenar el agua vertida, contaminada y tratarla. Generalmente se utilizan tanques de sedimentación, donde se depositan los sedimentos en el fondo y luego se trata con químicos el agua para ser vertida a las aguas naturales.

El sedimento luego se utiliza como abono orgánico y se estabiliza en un lugar seguro. En el caso de la contaminación difusa, su control es más difícil debido a su naturaleza intermitente y su mayor cobertura. Entre las

fuentes de mayor dificultad de controlar, y que causan mayor impacto, se encuentran las fuentes no puntuales de contaminación, caso de parcelas donde fluye el agua sobre la superficie de la tierra arrastrando nutrientes, fertilizantes, plaguicidas y otros contaminantes aplicados en las actividades agropecuarias y forestales (FAO, 1993).

Importancia de la calidad del agua cada vez la disponibilidad de agua para consumo humano es menor, debido al crecimiento poblacional, incremento en el consumo per càpita, contaminación de las fuentes de agua en general y al manejo inadecuado de las cuencas hidrográficas (Randulovich, 1997).

“Tomando como ejemplo los países del Continente Africano, si en Honduras no se define una estrategia de preservación del agua, en los próximos 50 años se quedará sin agua, aunque tenga el suficiente recurso hídrico”, advirtió el coordinador de la Plataforma del Agua del PNUD, Julio Cárcamo, quien sugirió que los distintos sectores del país, involucrados en el tema, tomen acciones inmediatas (El Heraldo, 2004).

Aunque el recurso hídrico sea constante, la calidad de la misma va disminuyendo rápidamente, como consecuencia de la contaminación de las fuentes de agua, lo cual genera el estrés hídrico. En la región Centroamericana, la magnitud del problema de la contaminación es alarmante ya que a estas alturas es imposible solucionar el problema mediante la dilución por efecto del aumento del caudal (Ongley, 1997).

El peligro de que ciertos elementos solubles se incorporen al agua, y aún más peligroso, si estos elementos están en contacto directo con estas fuentes de agua, provocarán enfermedades en la salud pública. Las implicaciones de consumir agua contaminada son: En el contexto de la salud pública se establece que aproximadamente un 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en los países en vías de desarrollo tienen principal causa la ingestión del agua contaminada. Se estima que el 70% de la población que vive en áreas

rurales de países en desarrollo, está principalmente relacionada con la contaminación de agua por heces fecales (OPS, 1999).

Lo anterior tiene una estrecha relación con la escorrentía superficial, una forma de contaminación difusa o no localizada. La contaminación por fuentes no localizadas contribuye significativamente con niveles altos de agentes patógenos en las fuentes de aguas superficiales, especialmente por coliformes fecales de origen humano y animal. En este sentido, un suministro seguro de agua para uso potable en cantidad, calidad y continuidad, contribuye a la reducción de la probabilidad de enfermedades transmitidas por la vía fecal y oral (OPS, 1999).

### **1.1.2.2 Calidad y Cantidad de Agua en Una Cuenca Hidrográfica**

La cuenca hidrográfica es la unidad de análisis y planificación para darle el enfoque integrado al estudio del recurso hídrico superficial y subterráneo. Es el territorio o espacio de terreno limitado por cerros, partes elevadas y montañas, de los cuales se configura una red de drenaje superficial, que en presencia de precipitación de lluvias, forma el escurrimiento de un río para conducir sus aguas a un río más grande o a otro río principal, lago o mar (Faustino, 2001).

### **1.1.2.3 La agricultura y su Influencia en la Calidad del Agua**

La agricultura constituye una de las actividades más practicadas en el mundo, particularmente en áreas rurales. Su impacto sobre la calidad del agua es de mucha importancia. Aproximadamente el 70% de los recursos hídricos del mundo son usados por la agricultura, lo cual significa el principal factor de la degradación de éstos, como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química (FAO, 1993).

Según Ongley (1997), la agricultura es el mayor usuario del agua dulce a escala mundial y el principal factor de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, debido a la erosión y la escorrentía con productos proveniente de agroquímicos. Esto justifica la preocupación existente por sus repercusiones en la calidad del agua a escala mundial. La

agricultura tiene un fuerte impacto sobre el ambiente, especialmente sobre las condiciones de las aguas superficiales y subterráneas, es considerada como una 21 fuente importante de contaminación en las aguas dulces de América Latina.

Las principales fuentes agrícolas contaminantes la constituyen los fertilizantes, pesticidas y la ausencia del manejo de desechos sólidos. La agricultura no es solamente el mayor consumidor de los recursos hídricos, sino que debido a las ineficiencias en su distribución y aplicación sus efluentes que retornan a los recursos de aguas superficiales o subterráneas contienen grandes cantidades de sales, nutrientes, productos agroquímicos que también contribuyen al deterioro de su calidad (FAO, 1993).

La expansión agrícola y la deforestación en países tropicales son causas de degradación del agua. Se ha demostrado que plaguicidas asociados con sedimentos son una fuente muy común en países del trópico. En la actualidad, los organismos dedicados a determinar la calidad de agua realizan muestreos más diversos, incluyendo agua, sedimento y biota, con la finalidad de determinar con mayor precisión los plaguicidas que se encuentran en el medio acuático (IICA, 1997).

En la mayor parte de los países latinoamericanos, uno de los problemas más fuerte es la contaminación derivada de las fuentes no puntuales, como es el caso de la agricultura, dada por el uso de fertilizantes, plaguicidas, insecticidas y residuos que son arrastrados por las lluvias a las fuentes de agua (Wagner., 1986).

La contaminación de aguas superficiales está íntimamente relacionada con el proceso de pérdida de suelos, por el arrastre de sedimentos debido a la agricultura. Ésta posee dos dimensiones principales: la dimensión física, consistente en la pérdida de la capa arable del suelo, y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y cárcavas que provocan los altos niveles de turbidez. 22 El nitrato es típicamente lixiviado desde los campos cultivados y se mueve a poca profundidad, subterráneamente, hacia las fuentes superficiales; esta lixiviación se reduce hasta en un 15%

cuando se dan prácticas de manejo de conservación de suelos y agua (Wagner 1996 y Shilling y Libra, 2000).

De igual manera al usar estiércol de ganado como abono en la agricultura, una porción significativa de amonio puede ser transportada a los cuerpos de agua por esorrentías de los campos agrícolas (Chambers *et al.*, 2002).

#### **1.1.2.4 Actividades Humanas**

El uso inapropiado que el hombre ha hecho de la tierra, eliminado las masas boscosas, ha sido causa principal en relación con el caudal de los ríos. Es decir, se refleja en la más rápida evacuación del agua y en la calidad de la misma. La recepción de aguas contaminadas se da a través de dos fenómenos: las aguas de lluvias que discurren por el suelo y el subsuelo, que luego de su contacto con ella arrastran sub productos de las actividades humanas que cambian su calidad natural, y las aguas que luego de ser usada y transformada su calidad físico- química, son reintegradas a los cuerpos de aguas naturales. El receptor de todas las aguas que discurren por el territorio de la cuenca es el océano. De igual forma, los acuíferos que son otras fuente de abastecimiento de agua pueden ser contaminadas por las actividades del ser humano (Mendoza, 1989).

El deterioro de la calidad causado por la contaminación influye sobre el uso de las aguas curso abajo, amenaza la salud humana y el funcionamiento de los sistemas acuáticos, induciendo así la efectiva disponibilidad e incrementando la competencia por agua de calidad (GWP, 1996).

## **1.2 Antecedentes**

- Un análisis publicado por el Perú Support Group (2007) señala que no obstante la historia larga que tiene extracción minera en el Perú, las inversiones en este sector se incrementaron rápidamente desde años de la década de los 90's, luego de las reformas políticas introducidos por el gobierno de Alberto Fujimori; según esta fuente entre 1990 – 1997, las inversiones en exploraciones mineras, se habían

incrementado a nivel mundial en 90%, algo de cuatro veces en Latinoamérica y en veinte veces más en el Perú.

Para el año 2003, la minería constituía 57% de todas las exportaciones del Perú, como resultado de la inversión extranjera directa en este sector, entre el 2001 y el 2003 que totalizaba algo del 37%. Un correlato de esta importancia según el Perú Support Group (2007) es que las concesiones mineras durante los 90's se incrementaron de 4 millones a 16 millones de hectáreas afectando a finales de aquella década un promedio del 55%, de las comunidades campesinas del Perú, es decir un algo de seis mil comunidades ubicadas dentro de la zona de influencia por la actividad minera.

- La Defensoría del Pueblo (2007) al analizar el caso de la minería Majaz en Alto Piura, demostró que la minería Peruana incluía deficiencias crónicas en la normatividad de la exploración y explotación minera, argumentado que tales deficiencias socavan los derechos de los ciudadanos y civiles estipulados en La Constitución y las Leyes peruanas, afectando particularmente a la población rural que constituye el segmento más vulnerable.
- Según el Banco Mundial (2000) la pobreza debe ser entendido en tres dimensiones, oportunidad económica (esencialmente ingresos), seguridad humana (vulnerabilidad económica, social y medio ambiental) y el empoderamiento (autoestima, participación y libertad de expresión), consecuentemente la reducción de la pobreza implica el mejoramiento de oportunidades, seguridades y el poder de decisión de la población rural afectada por la minería. Esta concepción coincide en gran extensión con la noción del desarrollo como libertad, del premio Nobel Amartya Sen (1984) para quien el desarrollo implica la promoción de mayores libertades para el poblador común: la libertad de aflicciones (hambre, violencia, falta de abrigo, inseguridad) y libertad para gozar de la plenitud de las capacidades (palabra, expresión, creatividad, participación en la vida social y política); estas libertades son entendidas alternativamente tanto como causas o indicadores del desarrollo de un buen gobierno participativo en respuesta a las preocupaciones de los pobladores, talque redundara en la reducción y aun la eliminación de la pobreza.

- Ferro (2009) al referirse a la contaminación hídrica causada por actividad minera informal ubicada en los alrededores del distrito de Ananea – Puno, concluye que el impacto negativo sobre las aguas del Río Ramis se hace evidente por la colmatación de las tomas y canales de riego que inciden en la calidad disminuida de los productos agropecuarios; haciendo notar además la inexistencia de la gestión integral de los recursos hídricos por la ausencia de espacios de concertación.

El Estado peruano promulgó, en julio del año 2004, la Ley N° 28271, que regula los Pasivos Ambientales de la actividad minera, definiéndolos, en su artículo 2°, como "aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad". [www.fonamperu.org](http://www.fonamperu.org).

- Por cerca de 500 años el brillo del oro ha atraído a los pobladores a la Rinconada, primero los Incas y luego los Españoles (BBC, 2004).
- En las operaciones mineras en Ananea se han establecido varias organizaciones mineras dedicadas a la extracción del oro bajo diversas modalidades. Cala (2006) en un informe dirigido al Jefe nacional del Proyecto GAMMA – COSUDE, incluye un listado de las cooperativas mineras: Halcón de Oro, Municipal, San Juan de Dios, Estrella de Oro, El Dorado, San Antonio de Poto y San Santiago de Ananea.
- Lasat (2000) define los metales pesados como elementos con propiedades metálicas (ductilidad, conductividad, estabilidad cationica, especificidad de ligazón, etc.) y número atómico >20. Los metales pesados contaminantes más comunes según Lasat son Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, y Zn, que en suma son componentes naturales del suelo y se tornan en contaminantes como resultado de las actividades industriales como la minería y la fundición de minerales, tubos de escape de vehículos, la producción de energía y combustibles, la aplicación de fertilizantes y pesticidas y la generación de desechos de las ciudades.
- Evanko y Dzombak (1997) al referirse al efecto de las características del suelo en la movilización de los metales contaminantes mencionan entre las propiedades

químicas importantes la presencia de aniones inorgánicos (carbonatos, fosfatos, sulfitos) en el agua del suelo que determinan la habilidad del suelo para fijar químicamente los metales, formando complejos relativamente insolubles con los iones metálicos, causando por esto la desorción y precipitación de los metales en su presencia. Por otra parte respecto al pH del suelo sostienen que los valores del pH en el suelo varían generalmente entre 4.0 y 8.5 con un efecto buffer por Al a pH bajo y del  $\text{CaCO}_3$  a pH alto; siendo los cationes metálicos más móviles bajo condiciones ácidas mientras que los aniones tienden a adsorberse a los óxidos minerales bajo condiciones de pH alto, los cationes se precipitan o se adsorben a las superficies minerales y los aniones metálicos son movilizados.

- Scott y Boyd (2002), refieren la existencia de seis hipótesis para explicar las concentraciones inusualmente elevadas de metales en los tejidos de especies de plantas híper acumuladoras:
  - 1) La hiperacumulación es un mecanismo de tolerancia a los metales, las plantas evaden la toxicidad de los metales secuestrando e inmovilizándolas en las paredes celulares o vacuolas, alejándolas de los compartimientos celulares activos.
  - 2) La hiperacumulación es un mecanismo de remoción, mediante el cual las plantas remueven los metales desde su zona radicular y los emplazan en las partes de la planta que sufren un proceso de decaimiento o que eventualmente son quemadas, o son transportadas a las hojas desde donde son lavadas por la lluvia.
  - 3) Son un mecanismo de la planta que incrementa la resistencia a sequías, mediante una regulación osmótica, evidenciada por el Níquel contenido en las paredes celulares de las células epidérmicas.
  - 4) Es un mecanismo de competencia, que impide el desarrollo de otras plantas mediante la acumulación de metales en la rizósfera próxima a la superficie del suelo por la especie hiperacumuladora.

- 5) Constituye una asimilación casual, en cuyo caso la hiperacumulación del metal genera un producto fisiológico secundario de un mecanismo que tiene una función adaptativa diferente.
- 6) La hiperacumulación funciona, como un mecanismo de protección de la planta contra los herbívoros incluyendo los patógenos.

Sin embargo, según estos autores existe una evidencia experimental muy pobre para confirmar la mayoría de las hipótesis referidas. No obstante, que señalan a las plantas terrestres como más efectivas que las plantas acuáticas, debido a que desarrollan un sistema radicular fibroso extenso que facilita la interacción en la construcción de humedales para el tratamiento costo/efectivo de aguas servidas. Funciona como una forma de Rizofiltración.

- DREM (2001) los informes de exámenes especiales de verificación de actividades a las zonas de Chaquiminas y Pampa Blanca de Centromin Perú S.A. realizadas por la Dirección Regional de Minería – Puno (DREM PUNO) en varias oportunidades según la documentación existente dan cuenta del impacto aparente de la minería sobre pastizales y zonas agrícolas por la erosión eólica e hídrica de los desmontes y relaves no cohesionados que son arrastrados por las aguas a los cursos y fuentes de agua mas bajas, reduciendo la capacidad de almacenamiento de las lagunas, causando una sedimentación de material fino en los cursos de agua y áreas adyacentes donde se compactan afectando la flora acuática y terrestre y ocasionando la migración de la fauna a otros áreas y el traslado de los rebaños de camélidos. El mismo reporte de la DREM – Puno, señala que los análisis químicos de las aguas mostraban una alta concentración de sólidos en suspensión, que rebasa los límites máximos permisibles (LMP), igualmente un pH, y una concentración de Mercurio, Hierro, Arsénico, Plomo por encima de los LMP. En cuanto al análisis de la concentración de Cianuro no se reportan resultados como se indicó previamente por no contar la región con un laboratorio para procesar este elemento.
- Una de las conclusiones más relevantes del Perú Support Group (2007) es que la minería debe ser planificada en forma conjunta con el manejo y desarrollo del recurso agua y que este proceso requiere una concepción y planeamiento

estratégicos que no son considerados actualmente en los procedimientos de aprobación de los proyectos mineros.

- Los efectos del estado del tiempo son el resultado de las precipitaciones pluviales que actúan como transportadoras potenciales de contaminación desde el sitio de las operaciones mineras a los poblados y propiedades agropecuarias localizadas en las partes más bajas. Los vientos son otro medio de transporte aerosoles, usualmente en la misma dirección que los cursos de agua.
- La Universidad Nacional del Altiplano, Puno y la Universidad Montana Tech, USA (2003), encontraron en muestras de tejidos de *Basilichthys bonaerensis* (pejerrey), que tres especímenes del Lago Titicaca, exceden los estándares de la Environmental Protection Agency (EPA) americano para el consumo humano (0.3 mg/g de Hg). La mayor concentración fue de 0.42 mg/g que está cerca del límite de 0.5 mg/g adoptado por la mayoría de los países para el consumo humano.
- El Proyecto Especial Lago Titicaca – PELT (1999) realizó investigaciones referidas a 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 determinar 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 establecidos por los estándares internacionales.
- Investigadores de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (1999), determinaron en muestras de agua para el Lago Titicaca – desembocadura del río Ramis que el plomo (0.014 mg/l) se encuentra por encima del límite permisible según los valores guía de US/EPA (0.0058 mg/l) referida para metales totales, mientras los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, Cd, Hg y As se encuentran por debajo de los límites permisibles. En sedimentos se determinó ciertos rangos para el As = 17.2 – 16.3 mg/kg; Cd = 2.1 – 2 mg/kg; los cuales se encuentran dentro de los niveles mas bajos de toxicidad considerados por la OMEE (6-33 mg/kg para As y 0.6 – 10 mg/kg para Cd). En vegetación, la concentración correspondiente a *Schoenoplectus totora* muestra valores de Fe = 935.2 mg/kg; Mn = 2569 mg/kg; Pb = 14.7 mg /kg; B = 22911 mg/kg y Al = 8687 mg/kg; en *Elodea potamogeton*

para el As se obtuvo 122.5 mg/kg. Estas concentraciones sobrepasan los valores referenciales para plantas que sin embargo no se observan efectos tóxicos.

- La Dirección de Estudios del PELT (2004), en base a estándares utilizados en el país, establece los Límites Máximos Permisibles para el contenido de metales de metales en aguas de la cuenca del lago Titicaca, según se describen en la tabla N<sup>o</sup> 1, a continuación.

Tabla 1

*Límites máximos permisibles (mg/l) de metales en aguas utilizables con diversos fines.*

Metal	Agua potable(1)	Agua potable(2)	Agua potable(3)
Mercurio (Hg)	0.002	0.002	0.01
Cadmio (Cd)	0.01	0.01	0.05
Plomo (Pb)	0.05	0.05	0.1
Arsénico (As)	0.1	0.1	0.2
Hierro (Fe)*	2	2	1
Cobre (Cu)	1	1	0.4

\* Estudios 2007.

- (1) Suministro de agua potable con simple desinfección.
- (2) Suministro de agua doméstica con tratamiento equivalente a procesos combinados que involucran mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
- (3) Agua de irrigación para vegetales y agua potable para abreviamiento de animales.

Los resultados y gráficos correspondientes de los estudios realizados para determinar el contenido de metales pesados en la cuenca del Titicaca por el PELT, durante los años del 2004 y 2007, se resumen a continuación en forma individualizada por elementos tomando como referencia los datos y gráficos incluidos en el apéndice (tabla 1 – 9 del Apéndice y sus gráficos correspondientes).

El **contenido de mercurio** en los cuerpos de agua conexos a las minas de la Rinconada (Ríos Crucero, Azángaro, Samán) y (Putina - Huancané) muestran en

forma invariable un nivel de 0.4 mg/L y aquellos fuera de esta área (Río Pomahuasi, Coata, Ilave) valores variables entre 0.057 a 0.356 mg/L. En todos los casos superando el límite máximo permisible incluso para aguas de irrigación de 0.01 mg/L (PELT, 2004).

- El **contenido de cadmio**, en los estudios reportados por el PELT, para las aguas de la cuenca del Titicaca, varía entre límites no detectables (0) en el Río Azángaro y otros hasta 0.009 mg/L en el Río Ananea, en ninguno de los casos supera el límite máximo permisible de 0.05 mg/L, para las aguas utilizables con fines de irrigación, estos valores ligeramente incrementados (0.008 – Río Azángaro a 0.038 – Río Ananea, Crucero) se mantienen para las muestras de aguas durante la época de estiaje, es decir Junio 2007 en la misma cuenca. Contrariamente en los muestreos realizados al final de la estación de lluvia (Marzo 2007) las concentraciones a lo largo de la cuenca del Río Ramis, desde Lunar de Oro hasta su desembocadura en el lago, muestran una concentración de 0.530 mg/l que excede largamente el Límite Máximo Permisible para aguas de consumo humano (0.05 mg/L) y de regadío (0.1 mg/L). (PELT, 2004, 2007).
- DIGESA (2008) Los resultados de los estudios de monitoreo realizados muestran una concentración importante de AS, Fe, Mn y Pb en las estaciones de muestreo de la Laguna Sillacunca y Lunar de Oro, en esta última además Zn, que sobrepasan los Límites Máximos permisibles de las Normas del Ecuador (NATAE) o los valores Límites Permisibles para la fauna acuática (clase IV) de la Legislación Peruana. Muestran mayor prevalencia las concentraciones de Hierro (notable en Río Ananea, Río Grande 5, Río Grande 6 y el Río Azangaro) e igualmente el Manganeso que se encuentra en toda la cabecera de la cuenca entre Sillacunca hasta Río Crucero y Chogñacota, con niveles que exceden las normas Ecuatorianas.
- En la cuenca alta se ubica la Corporación Minera Ananea S.A. conjuntamente con la presencia de minería informal de explotación del oro, lavaderos de oro abandonados y asentamientos humanos que arrojan los residuos sólidos a botaderos, principalmente en la localidad de Cerro Lunar (Rinconada) de modo que un gran volumen de vertimientos tiene que ser evacuado; algunos de ellos vierten directamente a la laguna Rinconada. En las cuencas media y baja de esta

cuenca los pobladores se dedican a la agricultura y la ganadería, quienes usan las aguas para regadío del río Ramis con un alto contenido de sólidos suspendidos, sufriendo las consecuencias de la contaminación generada en la cuenca alta (DIGESA, 2008).

- Gammons *et al.* (2006) luego de un análisis extenso de las aguas del Río Ramis desde la cabecera de cuenca hasta su desembocadura en el Lago Titicaca, encontraron que el pH del agua en las inmediaciones de la laguna Lunar de Oro, eran extremadamente ácidas ( $\text{pH} < 3.80$ ) y con valores similares próximos en el punto de descarga del Riachuelo Cecilia ( $\text{pH} 5.09$ ); atribuyendo estos valores al alto contenido en azufre de los minerales portantes del oro (pyrrholita, piritita, galena, chalcopirita, y otros), asimismo estos investigadores encontraron que contenido de mercurio recuperable en las aguas de la laguna Lunar de Oro era considerablemente alta (260 ng l-1 a 81 ng l-1), decreciendo luego a unos 0.45 ng l-1 en el afluente de la laguna Rinconada. (Inicio del Río Ramis o Río Grande) siguiendo luego con esta tendencia de baja concentración en los tramos siguientes hasta niveles límites mínimos de detección (34 ng l-1) hasta la confluencia del Riachuelo Cecilia donde se registro la mas alta concentración de mercurio (375 ng l-1) disminuyendo luego nuevamente hasta los límites detectables (34 ng l-1) a partir de Crucero hasta la desembocadura del Río Ramis en el Lago Titicaca.
- Gammons *et al.* (2006) reportan que las concentraciones de metales pesados (Cu, Pb, Zn) fueron relativamente bajos en las aguas ácidas de los afluentes de cabecera del Río Ramis, hasta la confluencia del Riachuelo Cecilia, un tributario que descarga unos 5 litros por segundo al Río Grande (Ramis) con altos contenidos de Pb(103 ng l-1), Cd( 268 ng l-1), Mn(21 ng l-1), Fe(46 ng l-1), y Zn(104 ng l-1), haciendo notar que el alto contenido de Zn, significa una descarga de unos 500 Kg por día a las aguas del Ramis excediendo largamente los estándares de la Agencia de Protección Ambiental (EPA)de los EUA. Igual que las concentraciones de Pb, Cd, y Hg. Adicionalmente la comparación de la concentración de estos metales en muestras filtradas y no filtradas mostró que una fracción significativa del contenido total del Al, As, Cu, Fe, P y Pb se encontraba en forma de partículas, mientras que el B, Cd, Mn, y Zn se transportaban mayormente en forma disuelta. Sin embargo, estas altas concentraciones de

metales, se atenuaban gradualmente hasta la desembocadura del río Ramis en el Lago Titicaca, presumiblemente por la adsorción de las arcillas u otras superficies sólidas, precipitación de minerales o co-precipitación y la absorción biológica; pudiendo esperarse cambios e épocas de mayor descarga del río.

- Gammon *et al.*, (2006), concluyen la existencia de concentraciones elevadas de mercurio en los tejidos de los peces de consumo humano, pejerreyes y carachi del Lago Titicaca, pero que no pueden ser atribuidos directamente a la contaminación minera de las aguas del Río Ramis, por los niveles bajos de mercurio que contienen sus aguas antes de desembocar al Lago Titicaca durante la época de descarga mínima, recomendando realizar mediciones durante las épocas de descarga máxima.
- La Universidad Nacional del Altiplano, Puno y la Universidad de British, Columbia – Canadá (1988), determinaron que la totora tiende a concentrar mayor cantidad de contaminantes en las raíces seguido por el tallo y finalmente el rizoma. Los niveles encontrados en el tallo son: Cu = 5.9 mg/kg; Mn = 18.3 mg/kg; Zn = 6.2 mg/kg; Pb = 9.5 mg/kg; Cr = 11.8 mg/kg; Fe = 5.6mg/kg. Así mismo, la totora es muy resistente a cualquier tipo de contaminación y es capaz de eliminar una gran cantidad de metales y otros agentes contaminantes del agua.
- DREM, INRENA y MINSA de Puno (2001), indican que la vegetación natural expuesta a metales pesados puede incluir toxicidad, captación y bioacumulación, ya que esta vegetación sirve de alimento para los animales pudiendo impactar en los procesos metabólicos, inducir cambios fisiológicos e incrementar la susceptibilidad a las enfermedades. Estos pueden ser biológicamente magnificados en la cadena alimenticia ya que el hombre y animales mayores, se contaminarán ingiriendo animales afectados.
- Lewander (1996) plantaron *Myriophyllum verticillatum* y *Potamogeton pectinatus* en sedimento contaminado y no contaminado para averiguar si el Cd, Pb y Zn eran absorbidos por los retoños o raíces. Después de 6 semanas de exposición las plantas acumularon metales pesados principalmente por las hojas expuestas al agua; obteniendo concentraciones crecientes de Pb río abajo, así

como de Cd y Zn. Sin embargo las concentraciones de Zn en *M. verticillatum* aumentaron un grado más de lo que hizo *P. pectinatus*.

- Samecka (1998), en un estudio sobre las concentraciones de metales pesados en briofitas acuáticas (*Fontinalis antipyretica*, *Platyhypnidium rusciforme* y *Chiloscyphus* sp.) de un arroyo que posee elevados niveles de Cu, Zn, Sr, V, Ni y Co, se determinó que las especies están en correlación con la composición química del agua y que estos niveles elevados causaron perturbaciones posiblemente en el equilibrio iónico por el exceso de Mg respecto a Ca en el agua.
- La cuenca del río Ramis está siendo contaminada progresivamente, afectando directamente a los distritos de la cuenca Ramis desde su origen en la Laguna de Sillacunca (Ananea), pasando por Crucero, San Antón, Azangaro, Calapuja, Achaya, Caminaca (todos afectados por los relaves mineros) hasta llegar al lago Titicaca, ocasionando perjuicios a los agricultores y regantes. Todos estos hechos han generado enfrentamientos entre los mineros, agricultores y la población aledaña a las riberas del río. Como parte del estudio geo ambiental de dicha cuenca, se realizó la evaluación de la calidad de las aguas superficiales (Zavala y Guerrero, 2006).
- Zavala y Guerrero (2006), inventariaron los pasivos ambientales generados por la actividad minera, para determinar su probable influencia en las aguas. Muestrearon y analizaron aguas y sedimentos superficiales en las cercanías a las minas en actividad y/o abandonadas. La mayoría de las muestras exceden los valores límites en nitratos; en las muestras tomadas alrededor de la Mina San Rafael, en la confluencia de la quebrada que vierte sus afluentes al río Trapiche, se detectó un valor bajo de pH, y alto en manganeso; en las quebradas Yanamayo y Cacanuasipala se presentaron valores altos en sulfatos, producto de la actividad minera y terrenos ricos en yeso; y en una muestra en el río Crucero, se detectó un alto contenido de hierro (1,40 mg/l).
- En el estudio que realizó el Ministerio de Energía y Minas estudio base para la construcción de un dique (Muro de contención) en la parte baja de la cuenca en su línea base reportó concentraciones por encima de los límites permitidos (USEPA-USA): Cadmio, mercurio y plomo.

- Los porcentajes de casos con niveles hemáticos de plomo en sangre desde 0 hasta 69  $\mu\text{g/dL}$  en La Oroya y Concepción divididos en cuatro grados de elevación: de menos de 10  $\mu\text{g/dl}$ ; de 10 a 19  $\mu\text{g/dl}$ ; de 20 a 44  $\mu\text{g/dl}$ ; y de 45 a 69  $\mu\text{g/dl}$ . Se puede apreciar en este cuadro que mientras en La Oroya solo un 2.7% de los casos (equivalente a una sola persona) tiene un nivel de menos de 10  $\mu\text{g/dl}$ , en Concepción el 76.19% esta en este grado de nivel no elevado de plomo en sangre. Lo opuesto se puede ver especialmente en niveles elevados de 20 a 44  $\mu\text{g/dL}$  donde el 72,22% de la población de La Oroya tiene estos niveles de elevación en comparación con Concepción donde sólo el 4,6% tiene estos niveles, (Universidad de San Luis en St. Louis, Missouri, Estados Unidos, y el Arzobispado de Huancayo, 2005).
- En el río Illpa, diferentes metales pesados fueron analizados y comparados en *Schoenoplectus tatora* "totora" entre agosto 2005 y febrero 2006 indicando que: en cobre se obtuvieron valores entre 0,3 y 1,05 mg/kg; el zinc entre 2 y 8,5 mg/kg; en cadmio, los valores fueron menores o iguales a 0,005 mg/kg; en cromo se obtuvieron valores de 0,4 y menores a 0,2 mg/kg; en arsénico, valores menores a 0,2 mg/kg y en mercurio, entre 0,2 y 0,3 mg/kg. En el caso del plomo debido a su alta potencialidad de contaminación sólo se consideraron los valores registrados en febrero del 2006 que están entre 0,2 y 0,4 mg/kg. Los diferentes elementos analizados y comparados entre agosto 2005 y febrero del 2006 del río Ramis indican que: en cobre se obtuvieron valores entre 0,45 y 1,85 mg/kg; en zinc entre 2,5 y 10 mg/kg; cadmio, desde 0,01 a valores menores o iguales a 0,005 mg/kg; para el cromo se obtuvieron valores de 0,25 y menores a 0,2 mg/kg, en arsénico, 0,22 y menores a 0,2 mg/kg; en mercurio los valores son menores a 0,2 y 0,3 mg/kg y finalmente en plomo, los valores registrados estuvieron entre 0,10 y menores e iguales a 0,05 mg/kg (Aquino, 2005).

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1 Planteamiento del Problema

En el mundo y en el Perú la minería se ha practicado desde tiempos ancestrales. La mina más antigua conocida en los registros arqueológicos es Lion Cave en Swazilandia (SE de África). Hace 43 mil años, los hombres del Paleolítico excavaban esta mina en busca de hematita, mineral de hierro, que extraían para producir un pigmento ocre. El cobre es uno de los primeros metales en ser utilizado ya que puede encontrarse en la naturaleza en estado nativo. Los primeros registros de la manipulación de otros minerales para la obtención de cobre datan del V milenio a.C. Se han encontrado pruebas de la explotación de minas de carbonatos de cobre tanto en Tracia como en la península del Sinaí. En la América precolombina, la cultura “Moche” en el Perú desarrolló la metalurgia del cobre ya refinado a partir de la malaquita y otros carbonatos cupríferos en torno al siglo IV a.C. En la península Ibérica existen también registros de minas de cobre hacia el año 4500 a.C (Bradshaw y McNeilly, 1985). Pero, es a partir de mediados del siglo XIX cuando la industria metalúrgica se expande rápidamente.

Actualmente, el desarrollo y el mejoramiento de la maquinaria y de los métodos han dado como resultado explotaciones a gran escala (Williamson *et al.*, 1982). Esta industrialización de la minería ha contribuido de manera importante a la pérdida de los ecosistemas, mediante la aportación de elevadas cantidades de componentes tóxicos al medio ambiente (Wong, 2003, Cluis, 2004 y Guevara *et al.*, 2005).

El mayor problema ambiental de la minería metálica está relacionado con el nivel de metales residuales sin valor económico que contaminan el suelo, ya sea: a) físicamente, afectando la textura, estructura, estabilidad y disponibilidad de agua; b) químicamente,

con alteración del pH, déficit de nutrientes y exceso de metales tóxicos, y c) biológicamente, mediante el descenso o eliminación de microorganismos del suelo y de los organismos mayores (Williamson *et al.*, 1982).

En nuestra región la cuenca del río Ramis, principal efluente del lago Titicaca, sufre una contaminación por metales pesados y metaloides producto de la actividad de explotación minera y pasivos mineros existentes en la zona, el río Grande (Cabecera del río Ramis) en estudio, es uno de los principales afluentes que presenta contaminación orgánica e inorgánica (Geo Titicaca, 2011).

### 2.1.1 Problema Científico

- ¿Cuáles serán los problemas ambientales ocasionados por especies tóxicas en agua del río Progreso en Puno?

### 2.1.2 Preguntas del Problema

#### a) General:

- ¿Cómo se expresa ambientalmente la contaminación por metales tóxicos en las aguas del río Progreso-Puno?

#### b) Específicas:

- ¿Cómo influyen los parámetros físico-químicos en la calidad ambiental del agua?
- ¿Cómo influye la concentración de metales tóxicos en la contaminación de aguas del río Progreso?

## 2.2 Justificación

Las principales afecciones al medio ambiente a nivel global, se relacionan con el agotamiento de los recursos naturales y con la disminución de la capacidad del sistema ambiental para asimilar los efectos producidos por las actividades antropogénicas, como la creciente actividad minera, el desarrollo de industrias, el uso de fertilizantes y otros compuestos orgánicos e inorgánicos, ponen de manifiesto la creciente preocupación que en las últimas décadas ha suscitado el problema de la contaminación del medio ambiente en la sociedad. Esto ha generado un enorme interés en el ámbito científico y propiciado

el desarrollo de diferentes sistemas para estimar y remediar la contaminación de metales en los suelos del mundo.

La flora de zonas tropicales o andinas han sido poco estudiadas y dada la elevada diversidad y abundancia de depósitos minerales metálicos de estas regiones por tanto la existencia de metales y metaloides en sus formas iónicas, metálicas o formando compuestos en cuerpos de agua, como ríos, lagunas, lagos y otros, existen enormes posibilidades de descubrir plantas tolerantes a metales pesados o metaloides.

El trabajo de investigación pretende mostrar los niveles de contaminación por metales y metaloides tóxicos del río Grande por medio del análisis químico de aguas, además, que este río es el principal aportante de aguas al río Ramis y es utilizado para el riego de grandes áreas agrícolas y ganadera en las partes bajas antes de evacuar sus aguas al Lago Titicaca que en la actualidad es considerada Maravilla Natural de la Humanidad.

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 Objetivo General**

Determinar las concentraciones de metales tóxicos presentes en agua y evaluar la contaminación del río Progreso.

### **2.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el pH, temperatura y Conductividad del agua, como medio de contaminación de aguas.
- Caracterizar la contaminación por metales tóxicos del río Progreso

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis General**

La contaminación del río Progreso es como consecuencia de actividad minera y erosión lito génica.

#### 2.4.2 Hipótesis Específicas

- El pH, temperatura y conductividad son factores relevantes en la contaminación por metales del río Progreso.
- Las concentraciones de metales tóxicos no superan los límites permitidos para calidad de aguas.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de Estudio

La presente investigación se circunscribe a realizar la evaluación de calidad de agua del río Ramis en el sector de Progreso – Asillo, Exactamente entre la bocatoma de la irrigación Progreso y el puente del poblado de progreso. A partir de la caracterización físico-química de muestras de aguas superficiales, la caracterización de metales. El análisis estadístico realiza posterior a la evaluación de la calidad de agua y en base a tres puntos de monitoreo en la zona de estudio del cauce principal del río en la que presenta la mayor carga contaminante.



*Figura 1.* Área de estudio sector progreso.

Fuente: Google Earth.

La cuenca del río Ramis por sus características físico naturales, constituye el elemento de mayor importancia, la superficie total de la cuenca del río Ramis es de 14,705.89 Km<sup>2</sup> con una variación altitudinal de 5,334 a 3,800 m.s.n.m., representa el 26% de la cuenca del lago Titicaca y el río Ramis representa el primero de los afluentes principales hacia el lago Titicaca.



*Figura 2.* Poblados ribereños de la cuenca del RAMIS.

Fuente: Google Earth.

### 3.2 Hidrología

Las precipitaciones totales que presenta la cuenca del Ramis en el sector de Progreso – Asillo, tienen un promedio anual de 715 mm y se distribuyen de manera desigual durante el año produciéndose las mayores precipitaciones en los meses de Noviembre a Abril. El caudal medio anual del río Ramis según la estación hidrométrica de Samán (Puente Ramis) es de 71.44 m<sup>3</sup> /s, variando de 148 m<sup>3</sup> /s en el mes de marzo a 6.4 m<sup>3</sup> /s para el mes de setiembre. El coeficiente medio anual de escorrentía para la cuenca es de 0.23, resultando un caudal específico de 4.85 l/s/ km<sup>2</sup>.

#### 3.2.1 Subcuencas Tributarias

Para efectos de describir la cuenca en cuencas menores (cuencas o subcuencas) se procedió a dividir la cuenca en ocho subcuencas, como son la

subcuenca de: Crucero, Nuñoa, Santa Rosa, Llallimayo, San José y las subcuencas de: Ayaviri, **Azángaro** y Ramis, las que describimos a continuación.

#### a. **Subcuenca de Azángaro**

La subcuenca del río Azángaro tiene un área de 676 km<sup>2</sup> con un perímetro de 177 km, su parte más elevada está en la cota 4,560 msnm y se ubica en el cerro Veluyo y su parte más baja se ubica en la cota 3,839 msnm donde confluye con el río Ayaviri, Se ubica entre las coordenadas Este de 357,851 a 386,192 y Norte de 8'308,975 a los 8'367,970. La longitud total del río principal es de 96 km resultando una pendiente mínima de 0.015% en las partes bajas a 0.09% en las partes altas. Presenta una dirección Sureste a Sur y tiene forma rectangular. El número de orden de la cuenca es 6 y su altura media es de 3,940 msnm. Los ríos principales de la subcuenca son: el río Arrieromayo, Yanamayo y Chuñojani y las lagunas de importancia son: Quearia, Quequerani y San Juan de Salinas. La precipitación total que presenta la subcuenca Azángaro tiene un promedio anual de 646 mm y se distribuyen de manera desigual durante el año produciéndose las mayores precipitaciones en los meses de Noviembre a abril. El caudal medio anual del río Azángaro es de 49.9 m<sup>3</sup> /s según datos de la estación hidrométrica limnimétrica Azángaro (puente Azángaro), variando de 144.2 m<sup>3</sup> /s en el mes de marzo a 5.7 m<sup>3</sup> /s para el mes de agosto. En esta subcuenca se realizaron 22 puntos de aforo y se tiene 01 punto planteado para su evaluación obligatoria la misma que se ubica en el sector denominado Achaya y también 01 punto de aforo como de segundo orden de prioridad ubicado en el puente Azángaro.

### 3.3 **Análisis Climatológico**

La información utilizada, para caracterizar el clima en el área de estudio, corresponde a la estación de Azángaro, los parámetros analizados son precipitación, temperaturas, humedad relativa, lluvia, velocidad y dirección del viento, correspondiente a un período considerable.

De acuerdo a la evaluación climatológica, los factores más importantes del clima son generalmente la altitud y la latitud, ellos definen las características particulares del clima, el efecto orográfico y las amplias oscilaciones de temperatura y los fuertes vientos.

Tabla 2

Presenta evaluación, y parámetros climatológicos de la estación Azángaro.

PARAMETROS	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Temperatura media (°C)	9.9	9.7	9.4	8.6	7	4.9	4.6	6	8.2	9.4	9.5	10
Temperatura mín. (°C)	3.1	3.3	2.8	0.7	-2.1	-5.9	-6.3	-4.7	-0.9	0.4	0.7	3
Temperatura máx. (°C)	16.8	16.2	16.1	16.5	16.1	15.7	15.5	16.8	17.3	18.4	18.4	17
Humedad Relativa Cte. (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Velocidad del Viento (m/s)	8.9	8.9	8.6	8	8.3	9.3	9.6	9.6	9.5	9.1	9	9.2
Lluvia (mm)	82	79	71	37	13	3	2	7	13	24	33	70
Precipitación (mm)	138	108	102	50	10	4	3	8	30	45	69	104

Fuente: SENAMHI.

### 3.3.1 Precipitación

Un día *mojado* es un día con por lo menos *1 milímetro* de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Azángaro varía considerablemente durante el año.

La *temporada más mojada* dura *3,6 meses*, de *8 de diciembre* a *27 de marzo*, con una probabilidad de más del *23 %* de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del *43 %* el *14 de enero*.

La *temporada más seca* dura *8,4 meses*, del *27 de marzo* al *8 de diciembre*. La probabilidad mínima de un día mojado es del *2 %* el *18 de julio*.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen *solamente lluvia*, *solamente nieve* o una *combinación* de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es *solo lluvia*, con una probabilidad máxima del *43 %* el *14 de enero*.

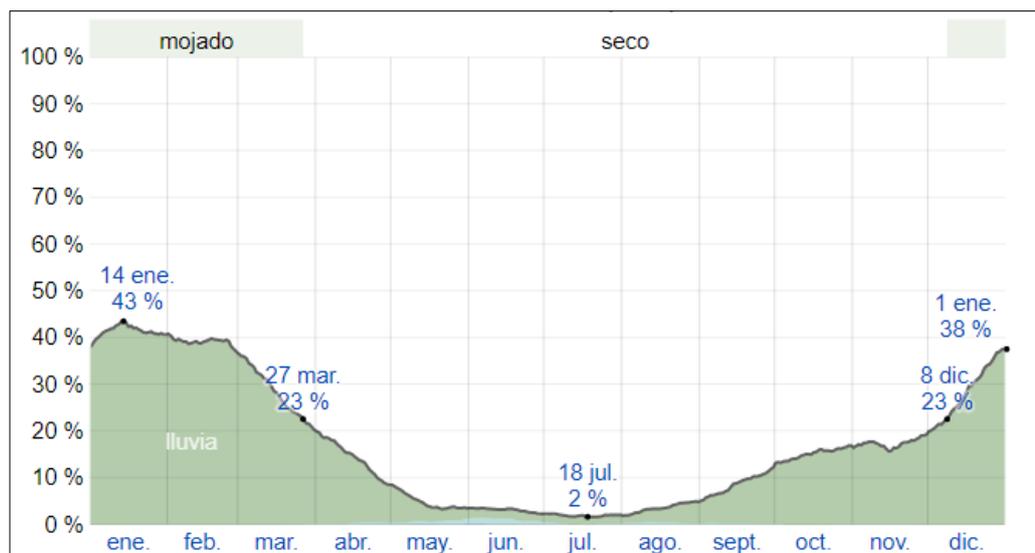


Figura 3. Probabilidad diaria de Precipitación.

Fuente: SENAMHI.

Nota: El porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieve, mezcla (llovió y nevó el mismo día).

El mes más seco es julio, con 3 mm. 138 mm, mientras que la caída media en enero. El mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año.

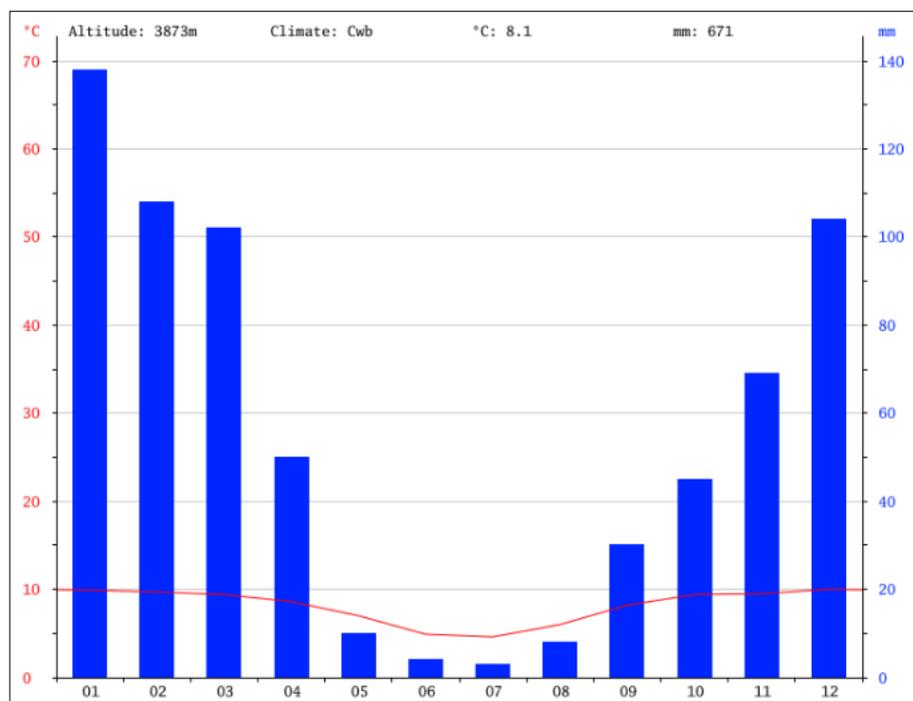


Figura 4. Cuadro de precipitación (Temperatura (°C) vs Precipitación (mm)).

Fuente: SENAMHI.

### 3.3.2 Temperatura

Las temperaturas en el área de estudio presentan la siguiente variación:

#### a. Temporada Templada *Dura*:

- ✓ La *temporada templada dura* 1,9 meses, del 17 de octubre al 14 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 17 °C.
- ✓ El día más caluroso del año es el 15 de noviembre, con una temperatura máxima promedio de 18 °C y una temperatura mínima promedio de 4 °C.

#### b. Temporada Fría *Dura*:

- ✓ La *temporada fría dura* 1,6 meses, del 8 de junio al 27 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 16 °C.
- ✓ El día más frío del año es el 15 de julio, con una temperatura mínima promedio de -5 °C y máxima promedio de 15 °C.

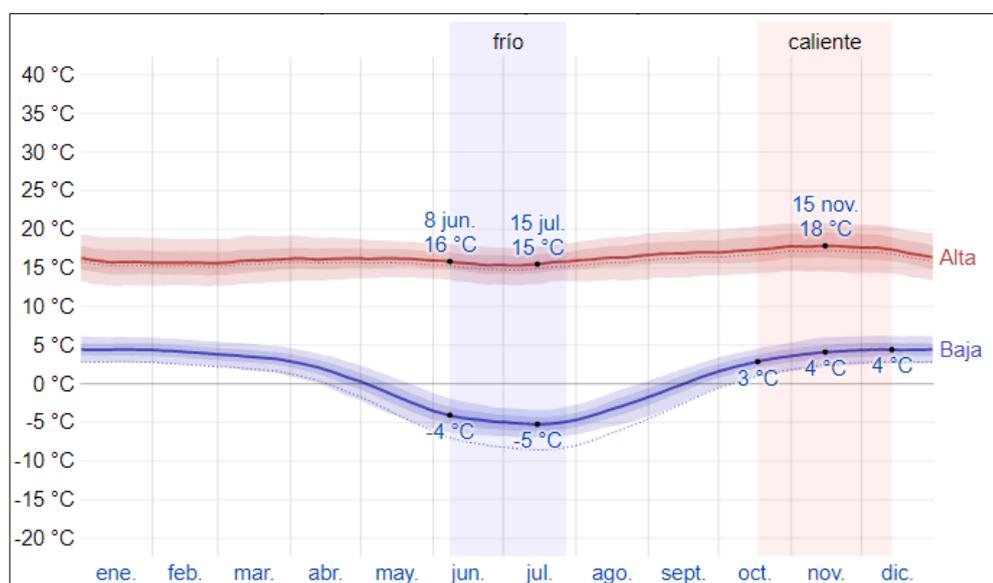


Figura 5. Temperatura Máxima y Mínima promedio.

Fuente: SENAMHI

Nota: La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diaria con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

La figura 6 muestra una ilustración compacta de las temperaturas promedio por hora de todo el año. El eje horizontal es el día del año, el eje vertical es la hora y el color es la temperatura promedio para ese día y a esa hora.

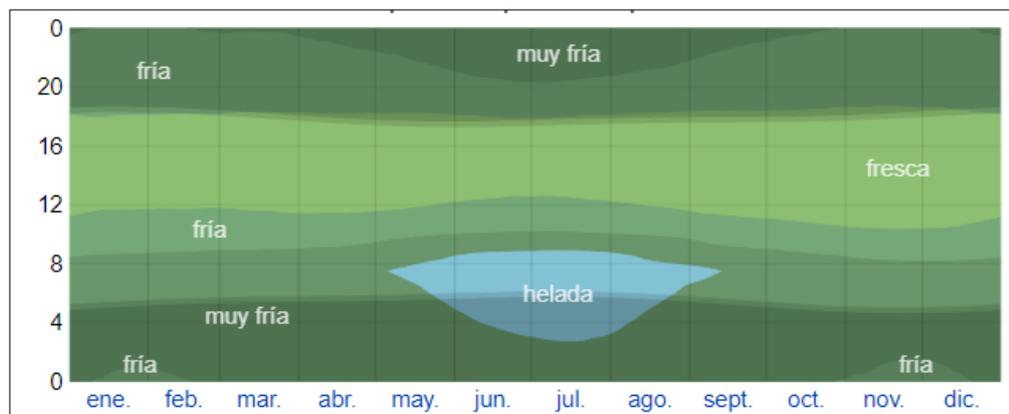


Figura 6. Temperatura promedio por hora.

Fuente: SENAMHI

NOTA: La temperatura promedio por hora, codificada por bandas de colores: *frígida* <  $-9^{\circ}\text{C}$  < *helada* <  $0^{\circ}\text{C}$  < *muy fría* <  $7^{\circ}\text{C}$  < *fría* <  $13^{\circ}\text{C}$  < *fresca* <  $18^{\circ}\text{C}$  < *cómoda* <  $24^{\circ}\text{C}$  < *caliente* <  $29^{\circ}\text{C}$  < *muy caliente* <  $39^{\circ}\text{C}$  < *tórrida*. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.

### 3.3.3 Lluvia

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. Azángaro tiene una variación *considerable* de lluvia mensual por estación.

La temporada de *lluvia* dura 7,5 meses, del 16 de septiembre al 1 de mayo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La *mayoría de la lluvia* cae durante los 31 días centrados alrededor del 19 de enero, con una acumulación total promedio de 82 milímetros.

El periodo del año *sin lluvia* dura 4,5 meses, del 1 de mayo al 16 de septiembre. La fecha aproximada con *la menor cantidad de lluvia* es el 23 de julio, con una acumulación total promedio de 2 milímetros.

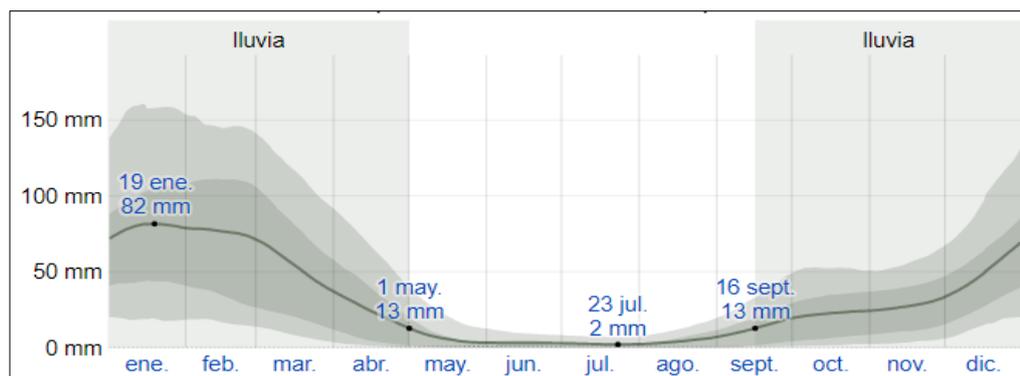


Figura 7. Precipitación Pluvial mensual promedio.

Fuente: SENAMHI

Nota: La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un promedio móvil de 31 días centrados en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. La línea delgada punteada es el equivalente de nieve en líquido promedio correspondiente.

### 3.3.4 Humedad Relativa

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El nivel de humedad percibido en Azángaro, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es *bochornoso, opresivo o insoportable*, **no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 0 %.**



Figura 8. Humedad relativa (Niveles de comodidad de la humedad).

Fuente: SENAMHI.

Nota: El porcentaje de tiempo de los diferentes niveles de humedad, categorizado por el punto de rocío: seco < 13°C < cómodo < 16°C < húmedo < 18°C < pocho no solo < 21°C < opresivo < 24°C < insoportable.

### 3.3.5 Velocidad y Dirección de Viento

#### Viento:

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a *10 metros* sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Azángaro tiene variaciones estacionales *leves* en el transcurso del año.

La parte *más ventosa* del año dura *9,1 meses*, del *4 de junio* al *9 de marzo*, con velocidades promedio del viento de más de *8,5 kilómetros por hora*. El día *más ventoso* del año es el *29 de agosto*, con una velocidad promedio del viento de *9,6 kilómetros por hora*.

El tiempo *más calmado* del año dura *2,9 meses*, del *9 de marzo* al *4 de junio*. El día *más calmado* del año es el *28 de abril*, con una velocidad promedio del viento de *7,4 kilómetros por hora*.

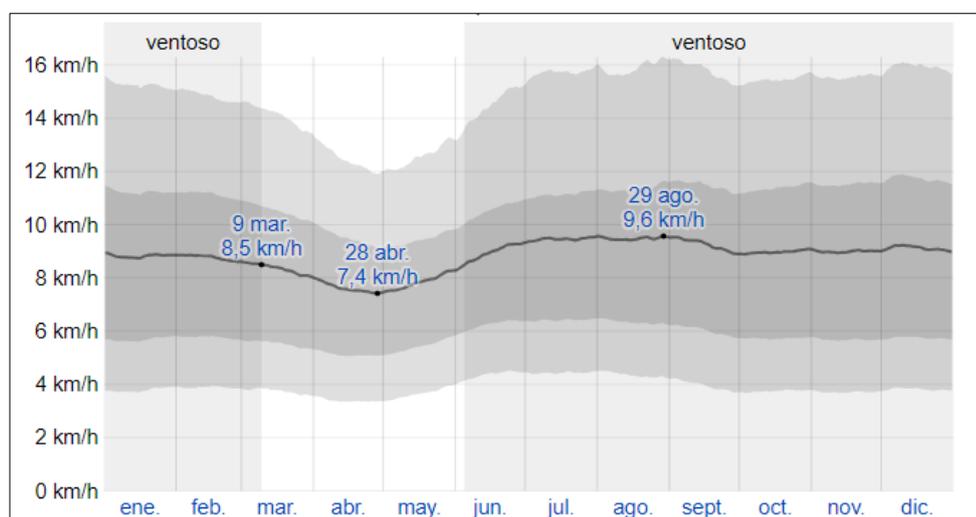


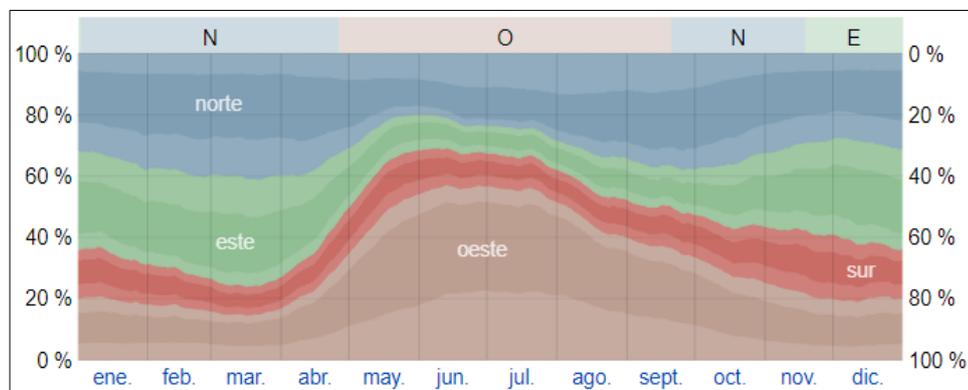
Figura 9. Velocidad promedio del viento.

Fuente: SENAMHI.

Nota: El promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25° a 75° y 10° a 90°.

### Dirección del Viento:

La dirección predominante promedio por hora del viento en Azángaro varía durante el año.



*Figura 10.* Dirección del viento.

Fuente: SENAMHI.

Nota: El porcentaje de horas en las que la dirección media del viento viene de cada uno de los cuatro puntos cardinales (norte, este, sur y oeste), excluidas las horas en que la velocidad media del viento es menos de 2km/h. las áreas de colores claros en los límites son el porcentaje de horas que pasa en las direcciones intermedias implícitas (noreste, sureste, suroeste y noroeste).

El viento con más frecuencia viene del *norte* durante 3,8 meses, del 2 de enero al 26 de abril y durante 1,9 meses, del 20 de septiembre al 18 de noviembre, con un porcentaje máximo del 41 % en 21 de marzo. El viento con más frecuencia viene del *oeste* durante 4,8 meses, del 26 de abril al 20 de septiembre, con un porcentaje máximo del 57 % en 13 de junio. El viento con más frecuencia viene del *este* durante 1,5 meses, del 18 de noviembre al 2 de enero, con un porcentaje máximo del 32 % en 1 de enero.

### 3.4 Metodología

Los principales parámetros fisicoquímicos son indicadores de contaminación y el contenido total de As y Hg en la columna de agua determinan la calidad de agua, para lo cual se seleccionaron tres sitios de muestreo representativos a lo largo del cauce principal del río Crucero sector Progreso – Inampo, (Bocatoma I, Bocatoma II y Puente progreso). Área de la zona de estudio en aproximadamente 10 km. Los sitios se muestrearon durante los meses de septiembre.

La investigación es de tipo cualitativa, primeramente se caracterizó los parámetros físico químicos del agua del río, luego se realizó la caracterización de metales pesados. Los datos obtenidos fueron procesados estadísticamente con el programa SAS 9.0.

### 3.4.1 Muestreo

La información preliminar consistió en la documentación general sobre el tema ambiental de la zona, la caracterización de la calidad del agua en investigaciones anteriores, su campo de aplicación, cantidad de campañas a realizar, logística y protocolo de toma de muestras.

Tabla 3  
Puntos de muestreo de agua.

PUNTO	MONITOREO DE:	COORDENADAS UTM WGS84		LUGAR	DESCRIPCION	DIRECCION
		ESTE	NORTE			
A-1	AGUA	354095	8383241	Bocatoma I	Cauce principal del Río Crucero sector Progreso – Inampo	Progreso, Asillo
A-2	AGUA	364892	8413950	1km Antes de la Bocatoma I		Progreso, Asillo
A-3	AGUA	391585	8411144	Puente Progreso		Progreso, Asillo

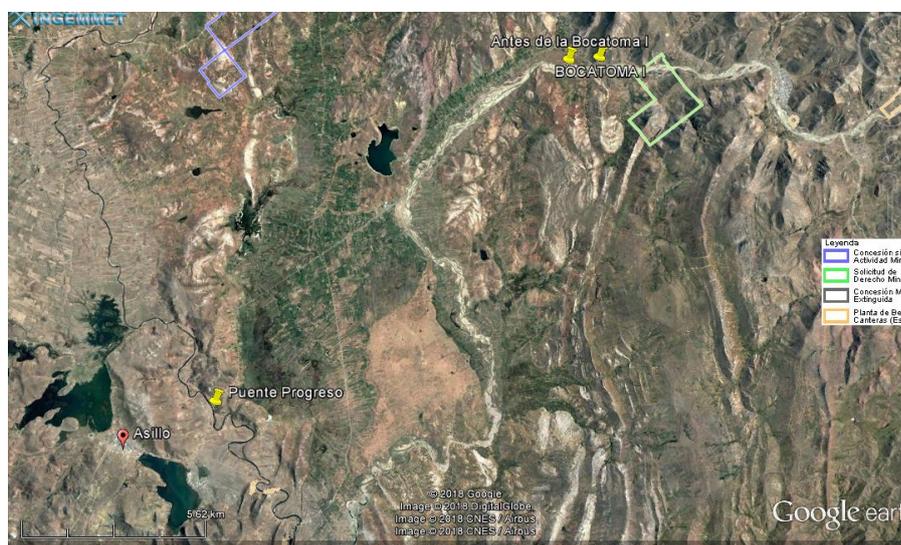


Figura 11. Ubicación de los Puntos de Muestreo.

Fuente: Goolge Earth 2017.

### 3.4.2 Muestreo Para Parámetros Físico Químicos

Los métodos utilizados para definir los parámetros fisicoquímicos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4  
*Variables hidroquímicas y metodologías.*

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODOS UTILIZADOS	LÍMITE DETECCIÓN / RANGO
<b>pH</b>	Unidad de pH	Electroquímico: WTW pH 330, Hanna pHmetro.	
<b>Conductividad</b>	$\mu\text{S}/\text{cm } 25^\circ$	Célula conductimétrica: WTW LF 340, Hanna Conductimetro Portatil HI 8733, YSI-33.	
<b>Oxígeno disuelto</b>	mg/l de oxígeno disuelto	Electroquímico WTW Oxi 320 / 340 Winkler, 1988	> 0.1 mg/l
<b>Temperatura</b>	$^\circ\text{C}$	Sonda electrométrica: WTW, Hanna, mercurio.	

Fuente: Metodología utilizada - Laboratorios LCA

### 3.4.3 Muestreo Para Metales Pesados

La caracterización de metales pesados se efectuó en 3 puntos, se recolectaron 2 muestras de agua y se analizaron dos metales por muestra de agua (As y Hg). Los análisis se realizaron en el laboratorio de Calidad Ambiental de la Paz Bolivia mediante métodos estándar.

Se ubicaron tres (03) puntos para realizar este proyecto los cuales se detallan en la tabla N° 3. Los muestreos se realizaron de manera aleatoria, con dos repeticiones. Estas muestras se tomaron al azar, disponiéndolas en envases de plástico previamente lavados in situ dos veces y rotulados adecuadamente. Para transportar las muestras al laboratorio se empacaron en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador de “plastoform” manteniéndose aproximadamente a  $4^\circ\text{C}$ . Al llegar las muestras al laboratorio se conservaron a la misma temperatura en un refrigerador hasta ser procesadas. Los análisis se realizaron en el laboratorio acreditado de calidad ambiental (LCA) – ciudad de la Paz.

- ✓ Método de Análisis de Arsénico: Espectrofotometría de Absorción Atómica

- ✓ Método de Análisis de Mercurio: Absorción Atómica de vapor en frío.

### 3.5 Procedimiento Analítico

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

- ✓ Hg = Microwave Reaction System/EPA 218.2
- ✓ As = Microwave Reaction System/EPA 206.2

El sistema de reacción acelerada microondas está diseñado para digerir, disolución, hidrolizar una amplia variedad de materiales en un entorno de laboratorio. El sistema utiliza la energía de microondas para calentar las muestras en soluciones polares o iónicos rápidamente y elevadas presiones. Su objetivo principal es para la preparación de muestras para el análisis por atómica absorción (AA), acoplado inductivamente espectroscopía de emisión de plasma (ICP), gas o cromatografía líquida.

#### 3.5.1 Digestión de Muestras y Lectura en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica

##### 3.5.1.1 Lectura de Muestras.

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

### 3.6 Diseño Estadístico

Se considerará la evaluación de As y Hg en base a la concentración de los muestreos que se realizaron de manera aleatoria; con repetición. Para el presente trabajo se utilizará el Diseño completo al Azar, donde será evaluada el área de estudio. Para la solución del modelo aditivo lineal se aplicó el programa de SAS 9.0.

El modelo de la clasificación de doble entrada es:

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + e_{ij}, i = 1, \dots, r, j = 1, \dots, t$$

$$E(e_{ij}) = 0, E(e_{ij}^2) = \sigma^2, E(e_{ij}e_{i'j'}) = 0$$

Dónde:

$\mu$  = media

$\tau_j$  = efecto del tratamiento j (efecto de los ríos tributarios).

$e_{ij}$  = error aleatorio producido por el bloque i y el tratamiento j.

$E( )$  = operador valor esperado.

Y el sistema de ecuaciones normales, toma la forma:

$$rt\hat{\mu} + t \sum_{i=1}^r \hat{\beta}_i + r \sum_{j=1}^t \hat{\tau}_j = G$$

$$t\hat{\mu} + t\hat{\beta}_i + \sum_{j=1}^t \hat{\tau}_j = B_i, i = 1, 2, \dots, r$$

$$r\hat{\mu} + \sum_{i=1}^r \hat{\beta}_i + r\hat{\tau}_j = T_j, j = 1, 2, \dots, t$$

Donde, claramente, G es el gran total,  $T_j$  es el total sobre todas las repeticiones del tratamiento j, de la variable de estudio. El símbolo  $\hat{\phantom{x}}$  significa estimador del parámetro respectivo.

### 3.6.1 Análisis de Varianza

Para el modelo estadístico lineal el análisis de varianza va a tener tres fuentes de variación. Tratamientos, bloques, error, que juntos constituyen la variabilidad total.

#### 3.6.1.1 Prueba Estadística de Hipótesis

- Hipótesis nula :  $H_0: \tau_i = 0 (i = 1, \dots, t)$
- Hipótesis alterna :  $H_A: \tau_i \neq 0$

Se probó mediante el cálculo de  $F_c$ .

$$F_c = \frac{CM_{tratam.}}{CM_{error}}$$

La que está distribuida como F calculada ( $F_c$ ) ó llamada también F de diseño con  $(t-1)$  y  $(r-1) \times (t-1)$  grados de libertad.

### 3.7 Reactivos

- ✓  $HNO_3$
- ✓ Hidróxido de sodio
- ✓ Agua destilada

### 3.8 Técnicas de Muestreo

#### a) Muestreo de Aguas

El proceso de la toma de muestras requiere especial cuidado a fin de preservar las características primigenias que tiene en el lugar; para lo cual se aplicara el protocolo correspondiente, evitando toda contaminación accidental, con un transporte adecuado y una conservación en condiciones idóneas.

Se realizó el muestreo en zonas de máximo caudal de agua, evitando la remoción de sedimentos. La toma de muestras se realizó en recipientes de polietileno de alta densidad, lavados previamente en el laboratorio con ácido nítrico al 1% de acuerdo al protocolo. Se llevó tres veces el recipiente con agua de río del punto de muestreo.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Hidrografía

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

Cerca al lugar denominado Progreso, recibe el aporte del río Quenamari, formando el río Azángaro. Aguas abajo éste confluye con el río Pucará y pasa a llamarse río Ramis por 32 kilómetros hasta su desembocadura en el lago Titicaca, pero desde su nacimiento hasta la desembocadura en el Titicaca, recorre 299 kilómetros aproximadamente. El caudal medio anual del río Ramis es de 76 (m<sup>3</sup>/s).

Este río nace con el nombre de río Carabaya en la laguna de la Rinconada, recorre paralelo a la cordillera de Carabaya con rumbo noroeste hasta el distrito de Potoni en donde cambia su curso con rumbo al sur. Recibe el nombre de río Azángaro desde su confluencia con el río Ñuñoa y desde su confluencia con el río Ayaviri pasa tomar el nombre de río Ramis, en el distrito de Achaya, desde donde toma rumbo este y describe una curva hasta su desembocadura en el lago Titicaca en el distrito peruano de Taraco. El río Ramis cuenta con una longitud aproximada de 32 km, una cuenca hidrográfica de 14 684 km<sup>2</sup>, y un caudal medio anual de 76 m<sup>3</sup>/s.1 Sus aguas se ven incrementadas por los deshielos de Quenamari y Quelcayo.

## 4.2 Características Físico Químico de Agua del Río Progreso

El ser humano obtiene el agua para su consumo, producto de un proceso de tratamiento ó de fuentes naturales; es frecuente que el agua contenga diversas sustancias de manera natural, tales como: sales y algunos minerales que no necesariamente resultan perjudiciales para la salud humana, en tanto no excedan los límites establecidos. Se considera agua apta para consumo humano, toda aquella que no dañe la salud de las personas, y puede provenir de fuentes naturales o haber sido tratada específicamente para uso humano. En el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, se especifican los parámetros microbiológicos, organolépticos y químicos, que debe cumplir el agua para ser considerada bebible por el ser humano.

En el río Crucero en el sector de Inampo desde el km. 95 al km 85 de la transoceánica entre el centro Poblado de Progreso y la Bocatoma con un tramo de 10 km se hizo el estudio, para lo cual se ha efectuado muestreo en tres zonas estratégicas dos veces en la zona de Bocatoma I un kilómetro antes de la misma bocatoma y en la Bocatoma, luego en el puente Progreso (Puente de Progreso), el presente trabajo se ha realizado considerando, que el agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas de la zona de la irrigación de progreso; resulta difícil imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se utilice, de una u otra forma.

El recurso agua para satisfacer distintas necesidades se transforma en un recurso indispensable para cualquier actividad que realiza el hombre. Sin embargo no todas las personas disponen de él. Esto sucede por varios motivos, entre los cuales se puede mencionar la desigual distribución natural del agua en la superficie terrestre. Esta imposibilidad lleva a situaciones de escasez, que no tiene causas exclusivamente naturales, sino que también sociales. Esto nos permite decir que existe una estrecha relación entre la posibilidad de abastecimiento y el desarrollo, porque cuanto mayor es el desarrollo, mayor es la capacidad para obtenerla y mayor es la contaminación. La humanidad requiere el agua cada vez en mayores cantidades para realizar sus actividades. El mayor consumo de agua también se debe al incremento de las prácticas de la explotación minera, las irrigaciones agrícolas, el gran desarrollo industrial o a la existencia de hábitos de consumo que, en ocasiones, implican su derroche.

Puntos de muestreo:

- Punto de Muestreo N° 1: Bocatoma I.
- Punto de Muestreo N° 2: a 1 km de la Bocatoma I.
- Punto de Muestreo N° 3: Puente Progreso.

Tabla 5  
*Ubicación de los puntos de monitoreo de agua.*

PUNTO	MONITOREO DE:	COORDENADAS		LUGAR
		ESTE	NORTE	
A-1	AGUA	354095	8383241	Bocatoma I
A-2	AGUA	364892	8413950	A 1km de la Bocatoma I
A-3	AGUA	391585	8411144	Puente Progreso

En la tabla 7, se muestran los resultados de las características físico – químicas del río Progreso.

Tabla 6  
*Parámetros físico-químico obtenido de la categoría 3: riesgo de vegetales y bebidas de animales.*

Parámetros FISICOQUÍMICOS	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (C)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Potencial de Hidrogeno	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Oxígeno Disuelto min.	mg/L	$\geq 4$		$\geq 5$

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM; ECA AGUA. – Categoría 3: riesgo de vegetales y bebidas de animales.

Tabla 7  
*Resultados de análisis de características físico químicas del río progreso.*

Características	Unidades	Bocatoma I	A 1 km de la Bocatoma I	Puente Progreso
<b>pH</b>		7.4	7.3	7.3
<b>Conductividad</b>	$\mu$ S/cm	422	421	401

Fuente: Equipo de Campo

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

#### 4.2.1 Análisis de Parámetros Físico Químicos

##### 4.2.1.1 pH

Los ríos en nuestra región de Puno, son de gran importancia socioeconómica y son la fuente principal de agua de las poblaciones de la región andina. Particularmente los ríos afluentes del río Ramis la parte alta y media son utilizados para el abastecimiento de pequeños poblados y para el sostenimiento de extensas zonas de pasturas naturales y ganaderas. Estudiar la dinámica de las condiciones físicas y químicas en sistemas muy variables como los ríos de la sierra, requiere el desarrollo de varias aproximaciones debido a que la química del agua varía espacial y temporalmente. Dentro de los organismos que habitan los sistemas lóticos, las diatomeas (Bacillariophyceae) han sido ampliamente utilizadas como indicadores de las condiciones del medio acuático. Su importancia radica en la capacidad que tienen para registrar rápidamente cambios influenciados por las características físicas y químicas del agua (Cox, 1996, Pan *et al.*, 1996 y Sabater *et al.* 1988).

El grado de tolerancia en algunas especies permite inferir o asociar niveles de polución y contaminación basándose únicamente en su composición. El cambio de especies, reducción del número total de especies, cambios en el número de individuos por especie y cambios en la proporción relativa de especies dentro de la comunidad, son los principales indicadores utilizados (Descy y Micha, 1988 y Stevenson y Pan, 1999).

La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. De acuerdo a la norma vigente el pH es de 6.5 – 8.5 y en nuestros resultados se han obtenido pH de 7.4, 7.3, y 7.3 para los puntos de Bocatoma I, Bocatoma II y Puente de Progreso. Respectivamente y en comparación con los

estándares de calidad ambiental de agua desde el punto de la categoría 3 se encuentran en el rango óptimo de la calidad de agua.

El desarrollo de los ecosistemas en el globo terráqueo prospera muy bien en un pH próximo a pH 7. Tanto un pH alto, como un bajo pueden ser perjudiciales, ocasionando la muerte de los peces y la esterilidad general en corrientes naturales e inactivando los microorganismos esenciales en los procesos. Los peces y otros organismos dependen de la alta calidad del agua con la cantidad justa de oxígeno disuelto y sus nutrientes. Un alto o bajo pH puede romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas.

#### **4.2.1.2 Conductividad**

El estándar de calidad ambiental para el riego de cultivos considera una conductividad límite de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y para bebida de animales considera 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , para riego y 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para bebida de animales, el cual comparando con los resultados del análisis muestra que no se supera este valor en la Bocatoma I 422  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en Bocatoma II 421  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en el Puente progreso 401  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por tanto no existe problemas de conductividad para riego y bebida de animales.

La conductividad es una medida de la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica y varía con el tipo y cantidad de los iones que la solución contiene y los diversos sólidos disueltos. Los valores obtenidos se pueden definir como normales debido a que niveles superiores de los estándares nacionales, podrían provocar efectos adversos para la vida vegetal y acuática (Stocker y Seager, 1981).

#### **4.2.1.3 Oxígeno Disuelto en el Agua**

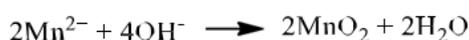
Toda la vida acuática depende de la disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua. Mientras que los organismos terrestres viven en una atmósfera compuesta aproximadamente de un 20% de oxígeno, los organismos acuáticos sobreviven con una cantidad de oxígeno considerablemente menor. La solubilidad del oxígeno en agua dulce varía

entre 14.6 mg/L a 0 °C hasta aproximadamente 7 mg/L a 35 °C bajo una presión de 760 mmHg. La concentración de oxígeno disuelto en agua está determinada por la ley de Henry, que describe la relación de equilibrio entre la presión parcial de oxígeno atmosférico y la concentración de oxígeno en agua. Otros factores que influyen la concentración de oxígeno disuelto en agua son: la presión atmosférica (y por lo tanto la altitud sobre el nivel del mar), el contenido de sales en el agua, y la temperatura del agua. El programa Enviroland contiene una tabla de concentración de oxígeno disuelto de una solución saturada en función de la temperatura del agua. El contenido de oxígeno disuelto en cuerpos de agua puede disminuir significativamente por efecto de la respiración, especialmente la microbiana, resultante de la degradación de compuestos orgánicos.

Hay dos métodos que se utilizan comúnmente para determinar la concentración de oxígeno disuelto en muestras de agua: la titulación de Winkler (**método iodométrico**) y la técnica de **electrodos de membrana**. Los detalles de cada uno de estos métodos se encuentran en *Standard Methods (1995)* y en *Chemistry for Environmental Engineering (1978)*.

#### a. Método Iodométrico:

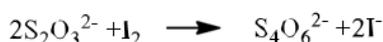
El método iodométrico es el más exacto de los dos. La concentración de oxígeno disuelto se determina a través de una serie de reacciones de oxidación-reducción. Primero se añade  $Mn^{2+}$  (en forma de sulfato de manganeso) a una muestra de 250 mL de agua. Después se añade un reactivo de KI en NaOH. Bajo estas condiciones cáusticas, el oxígeno presente en la muestra oxidará el  $Mn^{2+}$  a  $Mn^{4+}$ , que precipita como un óxido hidratado de color marrón. Esta reacción es relativamente lenta y la solución debe ser agitada varias veces hasta que la reacción se complete. Las siguientes ecuaciones explican esta reacción:



Después que el precipitado de  $\text{MnO}_2$  se asienta en el fondo del frasco, se añade ácido sulfúrico para acidificar la solución. Bajo condiciones de pH bajo, el  $\text{MnO}_2$  oxida el  $\text{I}^-$  a  $\text{I}_2$  libre como se muestra en la siguiente reacción:



Ahora la muestra de agua está lista para ser titulada con tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). En esta reacción, el ion tiosulfato se añade cuantitativamente para convertir el  $\text{I}_2$  nuevamente a  $\text{I}^-$ . Recuerde que la cantidad de  $\text{I}_2$  presente en esta etapa del procedimiento está directamente relacionada a la cantidad de oxígeno  $\text{O}_2$  presente en la muestra original. Esta reacción se representa con la expresión:



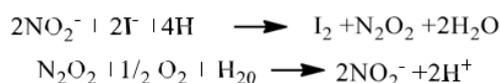
La titulación se completa cuando todo el  $\text{I}_2$  se ha convertido en  $\text{I}^-$ . El punto final de esta titulación se determina por potenciometría o por un indicador colorimétrico. El indicador más común es el almidón que cambia de color azul a transparente.

La concentración de oxígeno disuelto se determina usando la siguiente ecuación que refleja la serie de reacciones de oxidación-reducción de las ecuaciones anteriores:

$$\text{O}_2 \text{ conc. (mg/L)} = \frac{[(\text{Volume S}_2\text{O}_3^{2-})(\text{Conc. S}_2\text{O}_3^{2-})] \left(\frac{\text{I}_2}{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}\right) \left(\frac{\text{MnO}_2}{\text{I}_2}\right) \left(\frac{\text{O}_2}{2 \text{ MnO}_2}\right) \left(\frac{32 \text{ g O}_2}{\text{mol O}_2}\right) \left(\frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}\right)}{\text{Volume of original sample}}$$

Se han desarrollado varias modificaciones al método Winkler para eliminar interferencias. La modificación más común es el agregado de azida sódica

(o de potasio), que elimina en forma efectiva la interferencia causada por la presencia de nitritos en muestras provenientes de efluentes de agua con tratamiento biológico, o en muestras incubadas para determinar demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Los nitritos interfieren en la conversión de  $I^-$  a  $I_2$ , así que su presencia hace que se sobreestime la presencia de oxígeno disuelto en la muestra. Esto se ilustra en las ecuaciones que siguen:



Se puede notar que en la segunda reacción el  $N_2O_2$  es oxidado por el oxígeno que se forma en la muestra durante la titulación, y se convierte a  $NO_2^-$ , lo que produce una reacción cíclica que lleva a resultados erróneamente altos.

La interferencia de nitritos se puede eliminar fácilmente a través del agregado de azida de sodio ( $NaN_3$ ). La azida usualmente se añade junto con el reactivo KI-alcalino, y, cuando se añade el ácido sulfúrico, se eliminan los  $NO_2^-$  según las siguientes reacciones:



Existen otros métodos para eliminar óxido de hierro (II) (modificación del permanganato), óxido de hierro (III) (modificación del fluoruro de potasio), y sólidos en suspensión (modificación de la floculación con alúmina).

#### **b. Método del Electrodo:**

El método del electrodo de oxígeno ofrece varias ventajas sobre el método de titulación, porque es un método rápido, elimina o minimiza interferencias, permite el monitoreo continuo y la realización de

mediciones *in situ*. Sin embargo, este método no es tan exacto como el método de titulación. Los electrodos modernos dependen de una membrana que es selectivamente permeable, dejando entrar oxígeno disuelto en la celda de medición, lo que permite eliminar la mayoría de las interferencias. Consultar la referencia de Sawyer y McCarty (1978) para la operación de estos electrodos. La calibración y la medición son procesos relativamente simples y normalmente se obtiene una lectura directa de la concentración de oxígeno. (Sawyer and McCarty, 1978).

### 4.3 Contenido de metales pesados en aguas del rio Progreso

Los metales llegan a los cursos de agua a través de múltiples vías. Mientras que una fracción se retiene en suelos y sedimentos, otra circula libremente por el agua de ríos, embalses y lagunas. Muchos metales son tóxicos para la biota cuando su concentración supera las bajísimas que son necesarias como micronutrientes. Sin embargo la capacidad de respuesta y adaptación de los sistemas naturales se vio ampliamente excedida por el tamaño de la agresión, quedando efectos duraderos sobre los elementos vivos del sistema. En una frecuencia de eventos mucho mayor, pero a concentraciones que no pueden calificarse de catastróficas, la llegada de tóxicos a los sistemas acuáticos puede producir efectos notables sobre la composición de la biota y la organización del ecosistema.

Tabla 8

*Parámetros inorgánicos obtenidos de la Categoría 3: riesgo de vegetales y bebidas de animales.*

Parámetros INORGANICOS	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (C)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>Arsénico</b>	mg/L		0,1	0,2
<b>Mercurio</b>	mg/L		0,001	0,01

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM; ECA AGUA. – Categoría 3: riesgo de vegetales y bebidas de animales.

#### a. Arsénico

El arsénico (As) es un elemento muy común en la atmósfera, en rocas y suelos, en la hidrosfera y la biosfera. Es movilizado al medio ambiente a través de una combinación de procesos que incluyen tanto procesos naturales (meteorización, actividad biológica,

emisiones volcánicas), así como procesos antropogénicos (actividad minera, uso de combustibles fósiles, uso de pesticidas, herbicidas, desecantes, conservadores de la madera, y uso como aditivos de piensos). El arsénico es un elemento extremadamente tóxico para el organismo humano. Y no solo en concentraciones altas, donde la exposición causa efectos agudos que pueden llegar a ser letales, también la exposición durante un largo período a bajas concentraciones relativas de arsénico (por ejemplo, por ingestión de agua) tiene efectos negativos crónicos para la salud. Por eso, el arsénico en las aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) y subterráneas (acuíferos) susceptibles de ser utilizadas para consumo, constituye una gran amenaza para la salud. Ello es así, que ha llevado a organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Unión Europea (Directiva 98/83) o la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (USEPA) a establecer la reducción del límite del contenido de arsénico en agua de consumo de 50 a 10  $\mu\text{g/l}$  (WHO, 1993).

#### **b. Mercurio**

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

Hay varias formas por las que la gente puede ser intoxicada por mercurio: una es respirando aire contaminado con los vapores o ingiriéndolo directamente a través de agua u alimentos contaminados. Dado el clima tan húmedo de la Amazonía, la mayoría de los casos de intoxicación se producen a través del agua, los peces y otros organismos acuáticos. Los síntomas incluyen alteraciones en el comportamiento y daños severos en el sistema nervioso, daños en los aparatos digestivo y urinario y en el sistema reproductivo, incluyendo graves malformaciones congénitas, por lo que los expertos

aconsejan a las personas expuestas al mercurio evitar los embarazos (las autoridades brasileñas recomiendan esto a las mujeres que viven en zonas de extracción aurífera donde ocurren altos niveles de contaminación con mercurio). (Álvarez, 2011)

En resumen el caso del arsénico y el Mercurio, en todas las muestras se encontraron niveles biodisponibles por debajo del límite de cuantificación de los métodos analíticos utilizados. Lo cual nos demuestra que la contaminación por metales pesados en el río es mínima en agua puesto que por su densidad se precipitan generando mayores concentraciones en los sedimentos.

#### 4.3.1 Análisis de Metales Pesados en Agua - Bocatoma I

La tabla 9 muestra los resultados de análisis de agua para determinar las concentraciones de metales pesados en este punto de muestreo.

Tabla 9

*Resultado de análisis de metales pesados en agua – Bocatoma I.*

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Bocatoma-I
<b>Arsénico</b>	EPA 206.2	mg/l	0.001	<b>0.0018</b>
<b>Mercurio</b>	EPA 245.1	mg/l	0.0002	<b>&lt; 0.00020</b>

Fuente: Laboratorio de calidad ambiental – Bolivia 2017.

El estándar de calidad ambiental para riego de cultivos respecto a Arsénico es D1 para riego es 0.1 mg/L y D2 para bebida de animales es 0.2 mg/L, el valor máximo obtenido es 0.0018 mg/L Bocatoma I, por consiguiente se concluye que no supera los límites y no se presenta problemas por este metal pesado en la zona de muestreo denominado Bocatoma I. El correspondiente límite del estándar de calidad ambiental para el estándar de Mercurio para D1 para riego de vegetales es 0.001 mg/L y para bebida de animales es 0.01 mg/L, el resultado obtenido en laboratorio está por debajo del límite de detección de 0.00020 mg/L, entonces no se presenta problemas con este metal pesado en la Bocatoma.

Tabla 10

Comparación de resultados con la normativa ECA agua del punto de muestreo 01 (Bocatoma I).

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de animales	RESULTADOS	Coordenadas UTM WGS84	
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales		Este	Norte
<b>Arsénico</b>	mg/L	0,1		0,2	0,0018	354095	8383241
<b>Mercurio</b>	mg/L	0,001		0,01	<0.00020		

#### 4.3.2 Análisis de Metales Pesados en Agua en el Punto de Muestreo N° 2

En la tabla 11 muestra los resultados de análisis de agua para determinar las concentraciones de metales pesados en este sitio de extracción.

Tabla 11

Resultado de análisis de metales pesados en el agua de la Bocatoma I.

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	A 1km de la Bocatoma I
<b>Arsénico</b>	EPA 206.2	mg/l	0.001	<b>&lt;0.0010</b>
<b>Mercurio</b>	EPA 245.1	mg/l	0.0002	<b>&lt; 0.00020</b>

Fuente: Laboratorio de calidad ambiental – Bolivia 2017.

El estándar de calidad ambiental para riego de cultivos respecto a Arsénico es D1 para riego de 0.1 mg/L y D2 para bebida de animales es 0.2 mg/L, el valor máximo obtenido es 0.0010 mg/L en el Punto de Muestreo N° 2 (a 1km de la Bocatoma I), por consiguiente se concluye que no supera los límite y no se presenta problemas por este metal pesado en la zona de muestreo N°2. El correspondiente límite del estándar de calidad ambiental para el estándar de Mercurio para D1 para riego riego de vegetales es 0.001 mg/L y para bebida de animales es 0.01 mg/L, el resultado obtenido en laboratorio está por debajo del límite de detección de 0.00020 mg/L, entonces no se presenta problemas con este metal pesado en la Bocatoma.

Tabla 12

Comparación de resultados con la normativa ECA agua del punto de muestreo 02 (A 1km de la Bocatoma I).

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de animales	RESULTADOS	Coordenadas UTM WGS84	
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales		Este	Norte
<b>Arsénico</b>	mg/L	0,1		0,2	0,0010	364892	8413950
<b>Mercurio</b>	mg/L	0,001		0,01	<0.00020		

### 4.3.3 Análisis de Metales Pesados en Agua en el Punto de Muestreo N° 3

En la tabla 13 muestra los resultados de análisis de agua para determinar las concentraciones de metales pesados en este sitio de extracción.

Tabla 13

*Resultado de análisis de metales pesados en el agua en el Puente Progreso.*

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Puente Progreso
<b>Arsénico</b>	EPA 206.2	mg/l	0.001	<b>&lt;0.0010</b>
<b>Mercurio</b>	EPA 245.1	mg/l	0.0002	<b>&lt; 0.00020</b>

Fuente: Laboratorio de calidad ambiental – Bolivia 2017.

El estándar de calidad ambiental para riego de vegetales y bebida de animales respecto a Arsénico es D1 para riego de 0.1 mg/L y D2 para bebida de animales es 0.2 mg/L, el valor es 0.0010 mg/L, por consiguiente se concluye que no supera los límite y no se presenta problemas por este metal pesado en la zona de muestreo denominado Puente Progreso, por consiguiente se concluye que no supera los límites y no se presenta problemas por este metal pesado en el Puente Progreso.

El correspondiente límite del estándar de calidad ambiental para el estándar de Mercurio para D1 para riego de vegetales es 0.001 mg/L y para bebida de animales es 0.01 mg/L, el resultado obtenido en laboratorio está por debajo del límite de detección de 0.00020 mg/L, entonces no se presenta problemas con este metal pesado en el Puente Progreso.

Tabla 14

*Comparación de resultados con la normativa ECA agua del punto de muestreo 03 (puente progreso).*

Parámetros	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de animales	RESULTADOS	Coordenadas UTM WGS84	
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales		Este	Norte
<b>Arsénico</b>	mg/L	0,1		0,2	0,0010	391585	8411144
<b>Mercurio</b>	mg/L	0,001		0,01	<0.00020		

Las autoridades del sector aparentemente indican que la minería artesanal de pequeña escala solo causaría una contaminación localizada, sin embargo actualmente la minería informal de pequeña escala que opera en la Rinconada y Anexos tiene aparentemente un impacto de gran escala en el ecosistema del

altiplano, a tal punto que las aguas del Lago Titicaca, fuente bebibible de cerca de un millón de habitantes se encuentra amenazada y en peligro de contaminación por la minería que se practica en la cabecera de la cuenca del Río Ramis que desemboca en el lago luego de un recorrido de aproximadamente 250 Km. (BBC, 2004). Es obvio pensar que esta contaminación comprende y afecta primero a las áreas más próximas a las minas y recorre gradualmente hacia las áreas ocupadas por poblaciones adyacentes en las áreas más bajas.

Es aparente que a nivel regional y nacional aún no existe registro de contaminación de los cuerpos de agua que conforman los diferentes sistemas hidrográficos.

Los informes de exámenes especiales de verificación de actividades a las zonas de Chaquiminas y Pampa Blanca de Centromin Perú S.A. realizadas por la Dirección Regional de Minería – Puno (DREM PUNO) en varias oportunidades según la documentación existente dan cuenta del impacto aparente de la minería sobre pastizales y zonas agrícolas por la erosión eólica e hídrica de los desmontes y relaves no cohesionados que son arrastrados por las aguas a los cursos y fuentes de agua más bajas, reduciendo la capacidad de almacenamiento de las lagunas, causando una sedimentación de material fino en los cursos de agua y áreas adyacentes donde se compactan afectando la flora acuática y terrestre y ocasionando la migración de la fauna a otros áreas y el traslado de los rebaños de camélidos.

El mismo reporte de la DREM – Puno, señala que los análisis químicos de las aguas mostraban una alta concentración de sólidos en suspensión, que rebasa los límites máximos permisibles (LMP), igualmente un pH, y una concentración de Mercurio, Hierro, Arsénico, Plomo por encima de los LMP. En cuanto al análisis de la concentración de Cianuro no se reportan resultados como se indicó previamente por no contar la región con un laboratorio para procesar este elemento.

Una de las conclusiones más relevantes del Perú Support Group (2007) es que la minería debe ser planificada en forma conjunta con el manejo y desarrollo del recurso agua y que este proceso requiere una concepción y planeamiento

estratégicos que no son considerados actualmente en los procedimientos de aprobación de los proyectos mineros.

#### 4.4 Longitud y Pendiente del Área de Muestreo

Las longitudes del canal principal y de los bancos izquierdo y derecho se asumieron como iguales. La longitud modelada del cauce tiene las longitudes mostradas en la tabla 15.

Tabla 15  
*Longitudes de los tramos entre puntos y la longitud total.*

PUNTO		L(m)
448	449	7819.6138
<b>Total (m)</b>		<b>7819.6138</b>

Se obtuvo la pendiente entre tramos mostrada en la tabla 16, y la pendiente promedio entre el punto 448 y 450 es 0.00272996 m/m.

Tabla 16  
*Pendiente de los tramos entre puntos.*

TRAMO	S(m/m)
448 449	0.00514603

Tabla 17  
*Análisis Estadístico*

	Punto N° 1	Punto N° 2	Punto N° 3
<b>Arsénico</b>	0,0018	0,001	0,001
<b>Mercurio</b>	0,0002	0,0002	0,0002

Tabla 18  
*Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo.*

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Arsénico	3	0,0038	0,00126667	2,13E-07
Mercurio	3	0,0006	0,0002	0
Punto N° 1	2	0,002	0,001	0,00000128
Punto N° 2	2	0,0012	0,0006	0,00000032
Punto N° 3	2	0,0012	0,0006	0,00000032

Tabla 19  
*Análisis de varianza.*

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	1,71E-06	1	1,71E-06	16	0,06	185,128,205
Columnas	2,13E-07	2	1,07E-07	1	0,5	19
Error	2,13E-07	2	1,07E-07			
Total	2,13E-06	5				

El análisis de varianza considerando zonas de muestreo como tratamiento, determinada la prueba de  $F_c = 18.51$  y cuya probabilidad es de 0.5, la cual indica que entre zonas de muestreo no existe diferencia estadística, porque la probabilidad es superior a  $\alpha = 0.05$ , por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, es decir no hay variación.

Tabla 20  
*Prueba de rango Multiple de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).*

<b>Orden</b>	<b>Zona</b>	<b>AS (mg/L)</b>	<b>Tukey (<math>P \leq 0.05</math>)</b>
<b>1</b>	Bocatoma I	0.0018	b
<b>2</b>	Bocatoma II	<0.0010	b
<b>3</b>	Puente	<0.0010	b

#### 4.5 Discusión

Los resultados nos indican que en la zona de la bocatoma I existe mínima diferencia en la concentración de arsénico por ser una zona donde ocurre un movimiento de agua turbulenta por la rugosidad de la superficie y se identifica leve presencia del elemento arsénico a comparación de los puntos Bocatoma II y Puente.

En resumen en los tres puntos no existe diferencia según la prueba de Tukey en los tres puntos de muestreo.

### CONCLUSIONES

- La contaminación de agua por metales pesados de Arsénico y Mercurio, es leve por estar las concentraciones por debajo de los estándares de calidad ambiental. Sin embargo el trabajo de la minería informal en la cabecera de cuenca generaría un incremento de las concentraciones de metales pesados como de Arsénico y Mercurio.
- El pH y la Conductividad del agua se encuentran dentro de los estándares de calidad Ambiental.
- Según los resultados obtenidos podemos indicar que la rugosidad de la superficie y la turbulencia del río permite que exista presencia de metales tóxicos en el agua.

### RECOMENDACIONES

- La necesidad de que las instituciones públicas realicen estudios de agua, sedimentos, flora y fauna con respecto a metales pesados.
- Difundir los estudios realizados hacia la población para sensibilizar.
- Realizar los trabajos de limpieza de la bocatoma y canales de regadío en la zona con tecnologías de protección ambiental.
- Es necesario impulsar la construcción de la Bocatoma grande en la parte baja de la cuenca denominado para controlar la contaminación y que los contaminantes no lleguen al lago Titicaca.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adriano, D.C. (1986). *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. (Ed. Springer Verlag). New York.
- Alir, E. L. (1990). *Estudio de los niveles de contaminación por metales pesados y otros parámetros de calidad en las aguas y sedimentos del rio henares* (Tesis Doctoral). Ingeniería Civil y Medio Ambiente, Ordenación del Territorio Urbanismo y Medio Ambiente. Programa de doctorado.
- Álvarez, J. (2011). *Informe Preparado por el instituto de la amazonia peruana - IIAP y el Ministerio del Ambiente*. Lima.
- Aquino, E. (2005). *Contaminación por mercurio y cianuro en el Distrito Minero de Ananea Puno*. Ananea, Puno: Reflexiones y Propuestas.
- Badilla, H. V. (2005). *Evaluacion de las Fuentes de Agua Potable de la Ciudad de Grecia*. Escuela de Ingenieria Civil, Taller de Diseño.
- Barbour, M. J. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams an Wadeable Rivers: Periphyton Benthic Macroinvertebrates and Fish*. Environmental Protection Agency, Office of water, Washington, D.C.
- BBC – News (2004). *Perú Mine, Treat to water supply. The Most Inhospitable Places on Earth BBC – Science and Nature*. England.
- Bebbington, A., Conarty, M. y Coxshall, H. (2007). *Minería y desarrollo en el Perú: con especial referencia al Proyecto Río Blanco, Piura*. Perú.
- Becerril, J. M., Barrutia, O., García Plazaola, J.I., Hernández, A., Olano, J.M y Garbisu, C. (2007). *Especies nativas de suelos contaminados por metales: Aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. Ecosistemas, 2*.

- Bech, J., Poschenrieder, C., Barceló, J., Lansac., A. (2002). Plants from mine spoils in the South American Area as Potential Sources of Germplasm, for Phytoremediation Technologies. *Acta Biotechnol.* 22: 1-2, 5-11.
- Bitar, J. C. (2008). *Implementación de un modelo de transporte de metales pesados en el Río Magdalena tramo Girardot - Honda.*
- Bombardelli, F. M. (1994). *Cuantificación del Impacto de los Vertidos en la Ría de Bahía Blanca, Informe LHA-INCYTH.*
- Boxall, J. B. (2003). Transverse mixing in sinuous natural open channel flows. *Journal of Hydraulic Research* .
- Bradshaw, A. D. y Mcneilly (1985). *Evolución y Contaminación.* Ed. Omega.
- Bryan, G.W. and Langston, W.J. (1992). Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom Estuaries: a review. *Environmental Pollution* 76, 89-131.
- Cala, Y. R. (2006). *Información final Globalizado del sub Proyecto: Fortalecimiento de Capacidades y Organización de Mujeres Mineras artesanales – FCOMMA, Puno 09 marzo – 2006.* Puno, Perú.
- Cardini, J. G. (2002). *Monitoreo y pronóstico de evolución de la pluma de turbiedad para las operaciones de zanjeado y tapada en el Río de La Plata.* Argentina: Serman & Asociados S.A. para Gasoducto Cruz del Sur. Informe Final, Informe PFR - IF - 08/03/02.
- Cardini, J. y. (2000). *Impactos Ambientales del Cruce del Río de la Plata. Anexo A .* Estudios Hidrosedimentológicos de Dispersión de los Sedimentos Dragados. Gasoducto Buenos Aires – Montevideo - Cruz del Sur: Serman & asociados s.a. .
- Cardini, J. Z. (2004). *Efecto de los coeficientes de dispersión sobre la modelación bidimensional del transporte de contaminantes.* Caso de estudio, Mecánica Computacional , Cardini, J., Zabalett.
- Chambers, P., Guy, M., Grove, G., Kent, R., Roberts, E. y Gagnon, C. (2002). Nutrient losses from agriculture: effects on Canadian surface and ground waters. in, Steenvoorden, J; Claessen, F; Willems, J. eds. *Agricultural effects on ground and surface waters: research at the edge of science and society.* Oxfordshire, UK, International Association of Hydrological Sciences..
- Chapra, S. C. (s.f.). *Surface water quality modeling.* University of Colorado at Boulder. United States: Mc Graw Hill.

- Chessman, B. 1. (s.f.). Rapid assessment of river using macroinvertebrates: a procedure based on habitatspecific sampling, family level identification and biotic index. *Australian Journal of Ecology* .
- Cluis, C. (2004). Junk-greedy greens: phytoremediation as a new option for soil decontamination. *Bio. Tech. Journal* 2, 60–67.
- Defensoria del Pueblo (2007). *Minería en Perú: Caso Majaz*. Piura, Perú.
- Descy, J. P. & Micha, J. C. (1988). Use of biological indices of water quality. *Statistical Journal of the United Nations* 5: 249-261.
- DGAA- MEM (S/F). *Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua*. Dirección General de Asuntos Ambientales – Ministerio de Energía y Minas.
- Elder, J. (1959). The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. *Journal of Fluid Mechanics*.
- Elizabeth., C. R. (2006). *Presencia de metales pesados en la biota acuática (Orestias sp y Schoenoplectus tatora) de la desembocadura del río Ramis – lago Titicaca* .
- Evanko, C. R. y Dzombak, D. A. (1997). *Remediation of metals- contaminated soils and groundwater*. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, TE-97.01, Pittsburg, PA.
- Faustino, J. (1986). *Criterios para la clasificación de los problemas y soluciones en la conservación de suelos y aguas*. Turrialba, CR. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Ferro – Mayhua, F.P. (2009). *Contaminación de la Cuenca del Rio Ramis, Puno – Peru*. (www.poferro@yahoo.com)
- Fisher, H. (1969). The Effects of Bends on Dispersion in Streams. *Water Resources Research* .
- Forstner, U. (1993) Metals speciation general concept and application. en proceeding of the workshop on the sequential extraction of trace metals in soils and sediments. *Ins. J. Environ. Anal. Chen.* 51, 5-23.
- Gallego, M. (2000). *El agua, vehiculo de contaminacion*. Turrialba, Costa Rica.
- Gammons, C. H., Slotton, D. G., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C.A., McNearny, R. L., Cámac, E., Calderón, R., & Tapia, H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru. *The Science of the total environment*, 368 2-3, 637-48..

- García, C. (2005). *Metales tóxicos en el sistema Lagunar Mandinga*. Veracruz Lab. de eco toxicología Dpto. Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, México, D. F., a 02 de diciembre del 2005.
- García, I. y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados. En: *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- García, I. y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados. En: *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Disponible en: <http://edafología.ugr.es/conta/tema15/introd..htm>
- Gerbrandt, B. E. (2004). Contaminación del Lago Titicaca y afluentes por mercurio y otros elementos pesados. *Metalurgia, Materiales y Soldadura*.
- Ghetti, P. (1986). *I macroinvertebrati nell' analisi di qualittia dei corsi d' aqua*. University of Ljubjana., Biological assessment of stream water quality (theory, application and comparison methods), Provincia Autonoma de Trento.
- Ginocchio, R. y Baker, A. (2004). Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely know and studied in the region. *Revista Chilena de Historia Natural*. 77: 185-194
- Gong, H.; Rose, A.W. y Suhr, N. H. (1977). The geochemistry of cadmium in some sedimentary rocks. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 41:1687-1692.
- González V., J. (2008). *Estudio de Trazado y Calibración de Modelo Numérico en un Tramo del Río Lerma*. Mexico.
- González, J. y. (1990). *Método general para calcular coeficiente de dispersión longitudinal en ríos*. Revista Ingeniería Hidráulica en México.
- Gratão, P., Polle, A., Lea, P. y Azevedo, R. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*. 32 ( 481-494)
- Guevara, R., Gonzales, J. y Sanoja, E. (2005). Vegetación pionera sobre rocas, un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería de hierro. *Interciencia* 30(10).
- Gulson, B. (1996). Tooth Analyses of Sources and Intensity of Lead Exposure in Children. *Environmental health perspectives*. 104 (3), 306-312.
- Harleman, D. (1971). *Estuarine Modelling: An Assessment, TRACON, Inc., for the Water Quality Office – EPA*.

- Hawkes, H. A. (1979). *Invertebrates as indicators of river water quality*. In: James A. y L. Evison. Biological indicators of water quality.
- Hellawell, J. (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. London: Elsevier Applied Science.
- Kabata-Pendias, A. y Pendias, H. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants* (3rd ed.). CRC Press. Boca Ratón, Florida, EEUU. 412 pp.
- Lasat, M. M. (2000). Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research* 2(5):1-6.
- León, L. (1990). Stability Criterion for Explicit Schemes (Finite-Difference Method), on the Solution of the Advection-Diffusion Equation, *Proc. of the VIII International Conf. on Computational Methods on Water Resources*. Venice, Italy.
- Lewanoer M. (1996). Macrophytes as indicators of bioavailable Cd, Pb and Zn flor in the river Przemsza, Katowice Region. En *Apptied Geochemistry*. Volumen 11. Copyright Elsevier Science.
- López Hernández, M. R. (2002). *Biomonitoreo rápido para evaluar contaminación orgánica en el río Lerma*.
- López, M. y Grau J.M. (2005). *Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular*. II Resultados por Provincias. Ministerio de Educación y Ciencia e Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria
- Loring, D. (1991). Normalization of heavy metals data of from stuarine and Coastal Sediment. *ICES*, 101-115.
- Martínez G., Á. (1988). *Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría*. México : Trillas.
- Mendoza, M. (1996). *Impacto de la tierra , en la calidad del agua de la 103 microcuenca rio Sabálos. Cuenca del Rio San Juan*. Turrialba, CR, CATIE.
- Mendoza, M. (1996). *Impacto de la tierra, en la calidad del agua de la microcuenca río Sábalos, Cuenca del río San Juan*. Turrialba, CR, CATIE.
- Millán, R., Carpena, R.O., Schmid, T., Sierra, M. J., Moreno, E., Peñalosa, J., Gamara, R. y Esteban, E. (2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: Estrategias aplicables en el área de Almadén. *Ecosistemas*, 2.

- Ministerio de Energía y Minas, (1999). *Investigación y monitoreo de los ríos Carabaya - Ramis y Cabanillas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias Forestales Informe final. Lima.
- Ministerio de Energía y Minas. (2002). *Ley N° 27651: Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesana*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2013). *Guía para la Evaluación del Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo –resolución ministerial N° 121-2013*.
- Minson, D. J. (1990). *Forage in Ruminant Nutrition*. San Diego, USA: Academic Press.
- Müller, G. (1979). *Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins–Veränderungen SEIT*.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2010). *Chemical safety of drinking water*.
- Ongley, E.D. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. *Riego y Drenaje*, 55: 116. Roma, Italia: Estudio FAO.
- OPS (Organización Mundial de la Salud). (1988). *Agua y Salud Humana*. México D. F. México: Limusa.
- Pan, Y. & Stevenson, R. J. 1996. Gradient analysis diatom assemblages in western Kentucky wetlands. *Journal of Phycology*, 32: 222-232.
- Pan, Y., Stevenson, R. J., Hill, B. H., Herlihy, A. T. y Collins, G. B. (1996). Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems a regional assessment. *Journal of the North American Benthological Society* 15(4): 481-495.
- Peru Support Group (2007). *Mining and Development in Perú*. Lima.
- Porter, S. D. y Cox, E. J. (1996). *Identification of Freshwater Diatoms from Live Material*. Londres: Chapman & Hall.
- Proctor, J y Woodell, S. (1971). The Plant Ecology of Serpentine: I. Serpentine Vegetation of England and Scotland. *Journal of Ecology*, 59,(2): 375-395.
- Randulowich (1997). Sostenibilidad en el uso del agua en America Latina. *Revista Forestal Centroamericana*, 18: 15-20
- Rascio, N. (1977). Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. *Oikos* 29, 250-253.
- Reeves, R.D. (2006). Hyperaccumulation of trace elements by plants. In: *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 2 (68): 25-52.
- Reid, R. (2001). Mechanisms of micronutrient uptake in plants. *Australian Plant Physiology*. 28, 659-666.

- Roca, N. (2004). *Salinidad, alcalinidad y metales pesados en suelos semiáridos de Fray Mamerto Esquiú (Catamarca, Argentina): Aplicabilidad de la taxonomía de suelos* (Tesis doctoral). Universidad de Barcelona. Barcelona, España.
- Rutherford, J. C. (1994). *River mixing*. NIWA Ecosystems Natural Institute of Water and Atmosphere Research Hamilton, New Zealand.
- Sabater, S., Sabater, F. & Armengol, J. (1988). Relationships between Diatom Assemblages and Physico-chemical Variables in the River Ter (NE Spain). *Int. Revueges. Hidrobiol* 73(2): 171-179.
- Sáenz, F. (1995). *Identificación de áreas críticas para el manejo de la cuenca del río Pacuare, Costa Rica* (Tesis de maestría). Turrialba, CR, CATIE.
- Sagardoy, J. (1994). *Irrigation management transfer; selected paper*. Roma, Italia: FAO..
- Salomons, W. and Forstner, U. (1984). *Metals in the Hydrocycle*. ISBN 3-540-12755-0, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Samecka, A. (1998). Background concentrations of heavy metals in aquatic briophytes used for biomonitoring in basaltic areas a cases study from central France. *Environmental Geology*, 39. (2): 119-122.
- Sawyer, C.N. and McCarty. (1978). *Chemistry for Environmental Engineering* (3rd ed). New York: McGrawHill Book Company.
- SEDUE. (1989). *Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México, D.F.: Diario Oficial de la Federación,.
- Sen A. (1984). *Resources Values and Development*. Oxford Blackwell. Cambridge: Harvard University Press.
- SER. (2007). *Conflicto en el Altiplano Actividad minera informal en Ananea y contaminación de la cuenca del río Ramis*. Documento informativo, Oficina Regional Puno Asociación SER, Puno, Perú.
- Shilling , K. E. y Libra, R. D. (2000). The relationship of nitrate concetrations in stream to row crop land use in Iowa. *Journal Environment Quality*, 29:1846-1851.
- Stevenson, R. J. & Pan, Y. 1999. Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. 11-41 en: E. F. Stoermer & J. P. Smol (eds.). *The diatoms: applications for the Environmental and Earth Sciences*. . Londres, UK: Cambridge University Press.
- Stocker, H.S. y Seager, L.S. (1981). *Química Ambiental Contaminación del Aire y del Agua*. Barcelona, España: Editorial Blume.

- Taylor, G. (1954). *The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe*. Proc. Soc. London Ser, London.
- Thorne, R. &. (1997). *The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment*. Freshwater Biology.
- Trelles, R. A. (1978). *El problema sanitario de las aguas destinadas a la bebida humana con altos contenidos de arsénico, vanadio y flúor*. Saneamiento .
- Universidad de San Luis en St. Louis, Missouri, Estados Unidos, y el Arzobispado de Huancayo, (2005). *Niveles de plomo en niños del centro poblado Concepción La Oroya*.
- Universidad Nacional del Altiplano y Universidad Montana Tech, California -USA. (2003). *Evaluación Ambiental de Procesamiento de Oro por Amalgamación por Mercurio*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Usero, J., Morillo, J., & Garcia, I. (1997). Contaminación por metales en los sedimentos acuáticos. *Tecnología del Agua*, 47-54.
- Wagner, T. (1996). *Contaminación: causas y efectos*. Mexico, D.F. Ediciones Garnika.
- White, K., & Tittlebaum, M. (1985). Metal distribution and contamination in sediment. *J. Environ Engen.*
- WHO. (1993). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organisation, Geneva.
- Wilhm, L. F. (1975). *Biological indicators of pollution*. California: River Ecology. Univ. of Calif. Press.
- Williamson, N. A., Johnson, M. S. y Bradshaw, A. D. (1982). Mine Wastes Reclamation. *Mining Journal Books*. London.
- Wong, M. H. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere* 50: 775-780.
- World Bank - Banco Mundial (2000a). *World Development Report 2000/2001. Attacking Poverty*. Versión pdf. <http://www.worldbank.org>
- World Bank - Banco Mundial (2000b). *Understanding Poverty*. PovertyNet. En Internet: <http://www.worldbank.org/poverty/mission/up1.htm>. Consultado agosto 7.
- Zavala, B., & Guerrero, C. (2006). Estudio Geoambiental de la Cuenca del Río Ramis. *Boletín N° 30 Serie C. Geodinamica e Ingenieria Geologica*. Lima: Dirección de Geología Ambiental – INGEMMET.



**ANEXOS**

**Anexo 1.** Panel y/o evidencias fotográficas



*Figura 12.* Conservación de muestras.



*Figura 13.* Mediciones de campo.



*Figura 14.* Punto N° 1 Zona de la bocatoma I.



*Figura 15.* Lugar de muestreo del Punto N° 1.



*Figura 16.* Punto N° 2 de muestreo, a 1km de distancia de la Bocatoma I.



*Figura 17.* Mediciones en el Punto N°2 de muestreo.



*Figura 18.* Punto N° 3, Puente Progreso.

**Anexo 2. Certificados de laboratorio**

Universidad Mayor de San Andrés  
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
 Instituto de Ecología  
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 113/12

Página 1 de 3

**INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A 125/12**

Cliente:	PARTICULAR
Solicitante: Dirección	Sr. Fisher Condori
del cliente:	Av. Heroes del Acre # 1821
Procedencia de la muestra:	Río Crucero Azangaro
Provincia:	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Progreso – B I
Responsable del muestreo:	Sr. Fisher Condori
Fecha de muestreo:	08 de septiembre de 2017
Hora de muestreo:	10.00
Fecha de recepción de la muestra:	10 de septiembre de 2017
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 10 al 24 de septiembre, 2017
Caracterización de la muestra:	Agua de río
Tipo de muestra:	Puntual
Envase:	Botella plástica de un litro
Código LCA:	113 - 1
Código original:	Progreso

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Bocatoma I 113 - 1
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	0.0018
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0.00020	< 0.00020

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, octubre 04 de 2017



c.c.: Arch.  
 JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Fax: 2772522  
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 113/12

Página 2 de 3

## INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A 125/12

Cliente:	PARTICULAR
Solicitante: Dirección del cliente:	Sr. Fisher Condori Av. Heroes del Acre # 1821
Procedencia de la muestra:	Río Crucero Azangaro
Provincia:	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Progreso - B II
Responsable del muestreo:	Sr. Fisher Condori
Fecha de muestreo:	08 de septiembre de 2017
Hora de muestreo:	10.30
Fecha de recepción de la muestra:	10 de septiembre de 2017
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 10 al 24 de septiembre, 2017
Caracterización de la muestra:	Agua de río
Tipo de muestra:	Puntual
Envase:	Botella plástica de un litro
Código LCA:	113 - 2
Código original:	Progreso 2

## Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Bocatoma II 113 - 2
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	< 0.0010
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0.00020	< 0.00020

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, octubre 04 de 2017



c.c.: Arch.  
JCH/LCA

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Universidad Mayor de San Andrés  
Facultad de Ciencias Puras y Naturales  
Instituto de Ecología  
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 113/12

Página 3 de 3

**INFORME DE ENSAYO DE AGUAS A 125/12**

Cliente:	PARTICULAR
Solicitante: Dirección del cliente:	Sr. Fisher Condori Av. Heroes del Acre # 1821
Procedencia de la muestra:	Río Crucero Azangaro
Provincia:	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	Progreso - Puente
Responsable del muestreo:	Sr. Fisher Condori
Fecha de muestreo:	08 de septiembre de 2017
Hora de muestreo:	12.00
Fecha de recepción de la muestra:	10 de septiembre de 2017
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 10 al 24 de septiembre, 2017
Caracterización de la muestra:	Agua de río
Tipo de muestra:	Puntual
Envase:	Botella plástica de un litro
Código LCA:	113 - 3
Código original:	Progreso 3

**Resultado de Análisis**

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	Puente 113 - 3
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	< 0.0010
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0.00020	< 0.00020

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.  
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, octubre 04 de 2017

c.c.: Arch.  
JCH/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Fax: 2772522  
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia