

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL



TESIS

**EVALUACIÓN DE METALES Y METALOIDES EN SEDIMENTOS EN LA
SUB CUENCA DEL RIO AZÁNGARO Y SU MODELAMIENTO AMBIENTAL**

PRESENTADA POR:

DANTE SALAS MERCADO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN
AMBIENTAL**

PUNO, PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO



MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

TESIS

**EVALUACIÓN DE METALES Y METALOIDES EN SEDIMENTOS EN LA
SUB CUENCA DEL RIO AZÁNGARO Y SU MODELAMIENTO AMBIENTAL**

PRESENTADA POR:

DANTE SALAS MERCADO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTAE EN

TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

M. Sc. DALMIRO AURELIO CORNEJO OLARTE

PRIMER MIEMBRO

M. Sc. DAVID APOLINARIO PAREDES TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

M. Sc. ROGER HUANQUI PEREZ

ASESOR DE TESIS

Dr. DANTE ATILIO SALAS AVILA

ÁREA: Medio ambiente.

TEMA: Metales y metaloides en sedimentos.

LÍNEA: Ingeniería y tecnología de protección ambiental.

Puno, 24 de noviembre del 2017

DEDICATORIA

Para mis padres, Dante Salas Ávila e Yliana Mercado Quiroz,
quienes siempre me apoyaron incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS

- *A la Universidad Nacional Del Altiplano de Puno por haberme aceptado a ser parte de ella.*
- *A la Escuela de Posgrado por haber abierto sus puertas y poder estudiar la maestría, así como también a todos los docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo.*
- *También a mi Hermana María Luisa Salas Mercado por su constante apoyo.*

ÍNDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACION	
1.1 Antecedentes	4
1.2 Justificación	6
1.3 Objetivos	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	
2.1 Metales Pesados	9
2.1.1 Importancia del Análisis de los Metales Pesados	11
2.2 Suelos	13
2.2.1 Sedimentos	13
2.3 Los Metales Pesados en el Suelo	14
2.3.1 Procedencia de los Metales Pesados en los Suelos	14
2.4 Contaminación de Sedimentos por Metales Pesados	19
2.5 Geoquímica de los Sedimentos Respecto a Metales Pesados	22
2.6 Modelo Matemático Unidimensional Hec - Ras	23
2.6.1 Procedencia de los Metales Pesados en los Suelos	23
2.6.2 Modelamiento Hidrodinámico	24
2.6.3 Modelo de Flujo Permanente	24
2.7 Hipótesis	25
2.7.1 Hipótesis General	25

2.7.2 Hipótesis Específicas	25
-----------------------------	----

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1	Ámbito de Estudio	26
3.1.1	Ubicación	26
3.1.2	Descripción del Rio Ramis	28
3.1.3	Características Climáticas	28
3.2	Metodología	30
3.2.1	Características Climáticas	30
3.3	Muestreo de Metales Pesados	30
3.3.1	Procedimiento Analítico	31
3.4	Diseño Estadístico	31
3.5	Puntos de Muestreo	31
3.5.1	Muestreo y Análisis de Sedimentos	32
3.5.2	Resultados	34

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Niveles de Contaminación en Sedimentos en el Área de Estudio	35
4.1.1	Parámetros Físico - Químicos	35
4.1.2	Contaminación de Sedimentos	36
4.1.3	Resultados del Análisis de Sedimentos	39
4.2	Contenido de Metales Pesados y su Acumulación en los Sedimentos	46
4.2.1	Análisis de Arsénico	46
4.2.2	Análisis de Cadmio	48
4.2.3	Análisis del Cobre	50
4.2.4	Análisis del Cromo	51
4.2.5	Análisis del Mercurio	52
4.2.6	Análisis del Plomo	52
4.2.7	Análisis del Zinc	53
4.3	Modelamiento Matemático con Hec - Ras	54

CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	72

ÍNDICE DE CUADROS

		<i>Pág.</i>
1.	Concentración de Metales Pesados en Varios Tipos de Rocas	18
2.	Fuentes de los Elementos Pesados que Contaminan el Suelo 1	21
3.	Fuentes de los Elementos Pesados que Contaminan el Suelo 2	22
4.	Código de los Puntos de Muestreo	27
5.	Ubicación Geográfica y Política de las Estaciones de Monitoreo	29
6.	Temperatura Máxima Media Mensual Estación Progreso (°C)	29
7.	Temperatura Máxima Mensual Estación Progreso (°C)	30
8.	Métodos de Análisis de Metales Pesados en Suelos y Sedimentos	32
9.	Código de los Puntos de Muestreo de Sedimentos	33
10.	Resultados de Laboratorio	34
11.	Parámetros Físico - Químicos	35
12.	Caudal de los Tramos del Rio	36
13.	Estándar de Calidad de Suelo (ECA suelo) – Perú	36
14.	Límite máximo permisible en sedimentos – Holanda	37
15.	Límite máximo permisible en sedimentos - Suecia	37
16.	Límites máximos permisibles de sedimento (USEPA) - USA	38
17.	Guía para la calidad de suelos para la protección ambiental y salud humana – Canadá	38
18.	Resultados del Análisis de Arsénico	39
19.	Resultados del Análisis de Cadmio	40
20.	Resultados del Análisis de Cobre	41
21.	Resultados del Análisis de Cromo	42
22.	Resultados del Análisis de Mercurio	43
23.	Resultados del Análisis de Plomo	44
24.	Resultados del Análisis de Zinc	45



25.	Caudal Obtenido en los Puntos de Extracción de Muestras	58
26.	Datos Técnicos de los Puntos de Monitoreo Modelado	59
27.	Resultados del Modelamiento	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Pág.</i>
1. Modelo Conceptual de Metales Pesados	11
2. Área de Estudio de la Sub Cuenca del Rio Azángaro	26
3. Área de Estudio de la Sub Cuenca del Rio Azángaro	27
4. Resultados As Vs Tabla Sueca	46
5. Resultados As Vs Tabla USEPA	46
6. Resultados As Vs Tabla Holandesa	46
7. Resultados Cd Vs Tabla ECA Suelo	48
8. Resultados Cd Vs Tabla Sueca	48
9. Resultados Cd Vs USEPA	48
10. Resultados Cd Vs Tabla de Canadá	49
11. Resultados Cu Vs Tabla Sueca	50
12. Resultados Cu Vs USEPA	50
13. Resultados Cr Vs USEPA	51
14. Resultados Zn Vs Tabla Sueca	53
15. Resultados Zn Vs USEPA	53
16. Resultados Zn Vs Tabla de Canadá	53
17. Geometría Modelo del Rio	55
18. Pendientes del Rio	55
19. Sección Transversal del PMS1	56
20. Sección Transversal del PMS2	56
21. Sección Transversal del PMS3	57
22. Sección Transversal del PMS4	57
23. Sección Transversal del PMS5	58
24. Ingreso de Caudal en Flujo Permanente	59

ÍNDICE DE ANEXOS

	<i>Pág.</i>
1. Evidencia Fotográfica: Conservación de Muestra	73
2. Evidencia Fotográfica: Etiquetado de Muestra	73
3. Evidencia Fotográfica: Punto N° 1 de Muestreo	74
4. Evidencia Fotográfica: Punto N° 2 de Muestreo	74
5. Evidencia Fotográfica: Punto N° 3 de Muestreo	75
6. Evidencia Fotográfica :Punto N° 4 de Muestreo	75
7. Evidencia Fotográfica :Punto N° 5 de Muestreo	76
8. Certificados de Laboratorio	77

RESUMEN

La contaminación de sedimentos, suelos y de la cobertura vegetal, por metales pesados, es uno de los problemas ecológicos más severos a escala mundial y en forma particular en el Altiplano del Sur Peruano, La subsecuente contaminación de la cadena alimenticia es una de las vías más importantes en la exposición de la fauna y la población humana a los metales pesados. En los últimos años, los cambios en las actividades humanas y la explotación minera en exceso han estado influyendo en una disminución de los ecosistemas ribereños de la cuenca del río Ramis. La evaluación de metales y metaloides en sedimentos y su modelamiento ambiental se realizó en la sub cuenca del río Azángaro; El área de estudio abarca una longitud de 83.7 Km. en el tramo Crucero – San Antón. Se evaluó los parámetros físicos, químicos y metales pesados en sedimentos en cinco sitios los mismos que se ubican en el Puente Crucero, Carlos Gutierrez, Ccatuyo Grande, Choquesani y Puente San Antón. Los parámetros de campo evaluados fueron: pH, Conductividad, Temperatura, oxígeno disuelto y elementos como el Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo y Zinc. El modelamiento ambiental se realizó mediante el modelo matemático Hec – Ras versión 5.0.3. Los resultados de los parámetros físico-químicos evaluados, fueron menores que los ECAS correspondientes. Pero los valores del cadmio en los sedimentos superan los estándares nacionales; En el caso del Arsenio y el cromo supera los estándares internacionales como el de Canadá, Suecia y USA. Estos resultados evidencian la presencia de metales pesados en el área de estudio y en el futuro tomar decisiones importantes relacionadas a comportamientos preservacioncitas y la aplicación de la legislación ambiental que son esenciales para la regulación de las actividades humanas.

Palabras clave: contaminación, fisicoquímico, río, metales pesados y sedimento

ABSTRACT

The pollution of sediments, soils and vegetation cover by heavy metals, is one of the most severe ecological problems on a global scale; and particularly in the southern Peruvian highlands. The subsequent contamination of the food chain is one of the most important ways of exposing fauna and human population to the heavy metals. In recent years, changes in human activities and over mining exploitation have been influencing a decrease in the coastal ecosystems of the Ramis river basin. The evaluation of metals and metalloids in sediments and their environmental modeling was carried out in the sub-basin of the Azangaro river; the study area covers a length of 83.7 Km in the Crucero - San Anton section. We assessed the physical, chemical and heavy metals parameters in sediments in five sites that are located on the Crucero bridge, Carlos Gutierrez, Ccatuyo Grande, Choquesani and San Anton bridge. The field parameters assessed were: pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen and elements such as arsenic, cadmium, copper, chromium, mercury, lead and zinc. Environmental modeling was carried out using the mathematical model Hec – Ras version 5.0.3. The results of the physical-chemical parameters assessed were lower than the corresponding ECAS. However, the values of cadmium in sediments exceed the national standards; on the other hand, arsenic and chromium also exceeds international standards such as those from Canada, Sweden and US. These results demonstrate the presence of heavy metals in the study area; in the future, there must be key decisions related to preservationist behavior and the application of environmental legislation that could be essential in the regulation of human activities.

Keywords: *heavy metals, physicochemical, pollution, river, sediment.*

INTRODUCCIÓN

La cuenca Ramis se ubica en la región Sureste del Perú, sector Norte de la vertiente del Titicaca ($14^{\circ}03'$ - $15^{\circ}24'$ S y $71^{\circ}07'$ - $69^{\circ}34'$ O), su altitud máxima es de 5 828 msnm, en el nevado de Ananea y la mínima es de 3 815 msnm en la estación hidrométrica del puente Ramis. Está conformada por las siguientes subcuencas: río Grande, río Azángaro, río Ayaviri, río San José y laguna de Arapa.

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.

La sub cuenca del río Azangaro abarca una parte del río Ramis y el área de estudio fue en el tramo Crucero – San Antón que abarca una superficie de 83.7 km de longitud y se encuentra localizada al norte de la ciudad de Puno, siendo la zona minera de la región de Puno. En la zona Rinconada, Ananea y Crucero se han llevado a cabo actividades mineras para la extracción de oro hace varios años atrás. En esta zona existen mineros formales en mínima cantidad, informales y mineros ilegales. Para la extracción de oro del mineral, las minas y las plantas de beneficio utilizan procesos utilizando insumos químicos, molienda en molinos amalgamadores y últimamente el proceso combinado de amalgamación con Hg y lixiviación con cianuro; Permite una mayor recuperación y beneficio económico pero generando contaminación por no tener las tecnologías de protección ambiental implementado en cada uno de las

operaciones. El proceso de molienda del mineral sulfuroso rico en metales pesados y su posterior lavado produce lixiviados mineros con un alto contenido de metales potencialmente tóxicos, los cuales se encuentran tanto en la fracción disuelta como en la fracción particulada. Debido al inadecuado manejo de estos lixiviados mineros, la mayoría de ellos llegan a los principales tributarios del río Ramis, incorporando a ellos, grandes cantidades de metales pesados.

La contaminación por metales pesados, se ha convertido en una amenaza para la salud siendo la fuente de contaminación la explotación minera y los relaves mineros, metales pesados como el arsénico, plomo, mercurio, cobre, zinc, etc., tienen su origen natural, antropogénico, industrial, agropecuario, doméstico, minero de acuerdo a determinantes geológico mineros.

Nuestro ámbito de estudio muestra minería de tipo metálico, que se sitúan en la parte alta de la cuenca del Ramis, en algunos casos vierten sus aguas directamente al río Crucero; en otros casos son pasivos mineros; finalmente la presencia de metales pesados implica también la erosión fluvial litogénica.

Los metales pesados pueden clasificarse en dos grupos, el primero, al que pertenecen elementos como Cu, Zn y 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, Cd, Hg y Pb, los cuales provienen como consecuencia de la actividad minera, efectos toxicológicos constituyen un serio riesgo para la salud humana y la ecología. (Barbour, 2000).

Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación en razón de que son movilizados y liberados a la columna del

agua por cambios en las condiciones ambientales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto (Förstner, 1993).

Existen diversos trabajos que han analizado el contenido de algunos elementos como el Pb, Cd, Cu, As y Hg en agua, sedimentos suspendidos, sedimentos de fondo en los ríos de la cuenca del Ramis. De manera similar, estudios más recientes han determinado la concentración de Pb, As y Hg en agua, sedimentos suspendidos y sedimentos de fondo de estos ríos, haciendo énfasis en las implicaciones que este tipo de contaminación tiene sobre las poblaciones humanas que viven aguas abajo de las zonas mineras (Betancourt *et al.* 2005, García *et al.* 2012). Aunque estos estudios exponen el contenido de los elementos mencionados en diferentes matrices ambientales, no hacen referencia al contenido de otros elementos.

El impacto que se nota con mayor relevancia en la cuenca del río Ramis, así según el informe del SER (2007), desde hace varios años, la explotación minera informal de Ananea y La Rinconada viene produciendo un grave daño ambiental en Puno, siendo los más afectados los pobladores que viven alrededor del cauce del río Ramis. En todo este tiempo, han sido muchas las movilizaciones, reuniones, comisiones y decretos emitidos alrededor de este tema, sin que se haya logrado obtener ningún resultado concreto.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

Según SER (2007), la contaminación ambiental de la cuenca del río Ramis es producto de la explotación minera informal de distintos sectores del distrito de Ananea: La Rinconada y Cerro Lunar (donde actúan invasores de las concesiones mineras de la Corporación Minera Ananea), Pampa Blanca, Chaquiminas, Ancoccala y Huachani (donde se encuentran invasores de las concesiones de CENTROMIN Perú) y la Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto (CECOMSAP). En todos estos lugares la explotación de manera informal no considera ningún instrumento ni medida de gestión ambiental.

Por ello, los relaves que contienen químicos metálicos y principalmente sólidos en suspensión, lama, sedimentos limo arcilloso de color del cemento, llegan sin ningún tipo de tratamiento a la cabecera de la cuenca del río Ramis, generando la turbidez del agua, impidiendo que los rayos solares lleguen al fondo del río e imposibilitando el desarrollo de plancton y otras plantas acuáticas.

De esta forma, la cuenca del río Ramis ha venido contaminándose 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).

Guerrero y Zavala (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).

(Guerrero y Zavala, 2006) estudio metales pesados en sedimentos, que fueron analizados por el índice de geo acumulación y por los valores guías de calidad de sedimentos de Canada. Del estudio geoquímico para los sedimentos concluyen que los ríos y sus afluentes que fluyen a través de diferentes rocas con ciertos contenidos de valores de Cu, Pb, Zn, As, Cd y Hg por lo tanto sus sedimentos poseen una carga natural de metales, que

se toma en cuenta cuando se interpreta las concentraciones de metales en sus sedimentos. Las muestras de sedimentos 18, 24 y 30 en el río Crucero y la bocatoma Azángaro presentan moderada contaminación de Zinc y Arsénico.

Cornejo y Pacheco (2009) en el estudio de sedimentos se reportó concentraciones por encima de los límites permitidos (USEPA-USA): arsénico (*máx* 152 mg/Kg), mercurio (*máx* 0.140 mg/Kg) y plomo (*máx* 55 mg/Kg), Estas variaciones son producto del uso desmedido de mercurio en recuperación del oro en La Rinconada y Ananea, que generan además, grandes cantidades de sólidos en suspensión y como consecuencia sedimentos superficiales. Los pasivos mineros de la mina Cecilia (plomo-zinc), San Rafael y Arasi estarían contribuyendo a los procesos de contaminación registrados.

Mullisaca (2012) Nos dice que las concentraciones de mercurio en sedimentos fueron 1.5; 0.20 y 0.20 mg/kg, que son superiores a los límites permitidos por la USEPA que nos da un valor límite de 0.15 mg/kg

1.2 Justificación

La mineralización asociada al oro, los métodos de extracción como también de recuperación y los depósitos finales del material residual de la minería en la cabecera de la cuenca del río Ramís, contienen grandes cantidades de metales y metaloides que con el apoyo del factor climático son transportados hacia lagunas, ríos, etc. Los cuales son llevados por método hidráulico y por sedimentación, por todos los centros poblados colindantes al río ramis, los pobladores utilizan los sedimentos de suelos como áreas recreativas, área agrícola y ganadería.

Las altas concentraciones de los metales en sedimentos de suelo y la actividad minera en la cabecera de cuenca pueden estar teniendo efectos negativos para la hidrología del río aguas abajo como también el factor socioeconómico de los pobladores.

La evaluación de metales pesados ayudara a los pobladores del tramo Crucero – San Antón del río Ramis que tengan la identificación de las zonas con altos niveles de elementos metálicos tóxicos comparados con los estándares de calidad de sedimentos según norma nacional como internacional, para tener posteriormente una base de datos de elementos toxicológicos para la salud humana y optar por métodos de remediación.

Como también este estudio ayudara a las empresas de mineros formales u interesados en la preservación del medio ambiente a evaluar sectores que son fuentes de contaminación y reduzcan el transporte de metales pesados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Realizar la cuantificación del contenido de metales en los sedimentos; identificar su contaminación y su posterior modelamiento en la Sub cuenca del río Azángaro.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la contaminación por metales pesados en los sedimentos y evaluar la contaminación en la Sub cuenca de río Azángaro.
- Realizar el modelamiento ambiental en base a la caracterización de los metales en los sedimentos en la Sub cuenca del río Azángaro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Metales Pesados

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) y que presentan un peso específico superior a 4 (gr/cm^3). Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse y más importante el tipo de especie que forman en un determinado medio (Rivera, 2001). Todos los metales pesados se encuentran presentes en los medios acuáticos, aunque sus concentraciones son muy bajas. Los compuestos orgánicos pueden constituir fases con gran capacidad de captura de cationes metálicos, que en ocasiones dan lugar a fases extremadamente tóxicas (ejemplo el metilmercurio). Dentro de los metales pesados importantes tenemos: Be, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Hg, Tl, Pb, U y Hg (Castro & Monroy, 2002).

Según (Bitar & Camacho, 2005) los metales pesados presentan las siguientes características:

- Niveles naturales: La mayoría de ellos se presentan en forma natural. Es necesario sin embargo, considerar las acciones realizadas por el hombre.

- Mecanismos de decaimiento: La mayoría de los metales pesados son sustancias conservativas en cuanto a que la cantidad total de metales no disminuye por procesos como biodegradación, fotólisis o decaimiento radioactivo. La ausencia de estos procesos simplifica su modelación.
- Sorción inorgánica: Los metales a pesar de estar asociados a la materia orgánica pueden presentar el proceso de sorción, los cuales pueden ser absorbidos como sucede con tóxicos orgánicos. Sin embargo, otros procesos significantes incluyen el intercambio de iones, adsorción física en las superficies sólidas y procesos químicos que intervienen en la unión de las partículas.
- Especiación química: Esta propiedad está ligada con los procesos desorción de este tipo de tóxicos. Puede ser importante por el hecho de que interviene también en el proceso de transporte, aunque puede variar para cada sustancia tóxica.

En la Figura se presenta el modelo conceptual de metales pesados. Se considera que los metales están en forma disuelta y particulada en suspensión y en el lecho del fondo. Entre los procesos que se modelan están la sedimentación, la resuspensión y la difusión. Las pérdidas buriales son despreciables debido a que su cuantificación no es significativa (Bitar & Camacho, 2005).

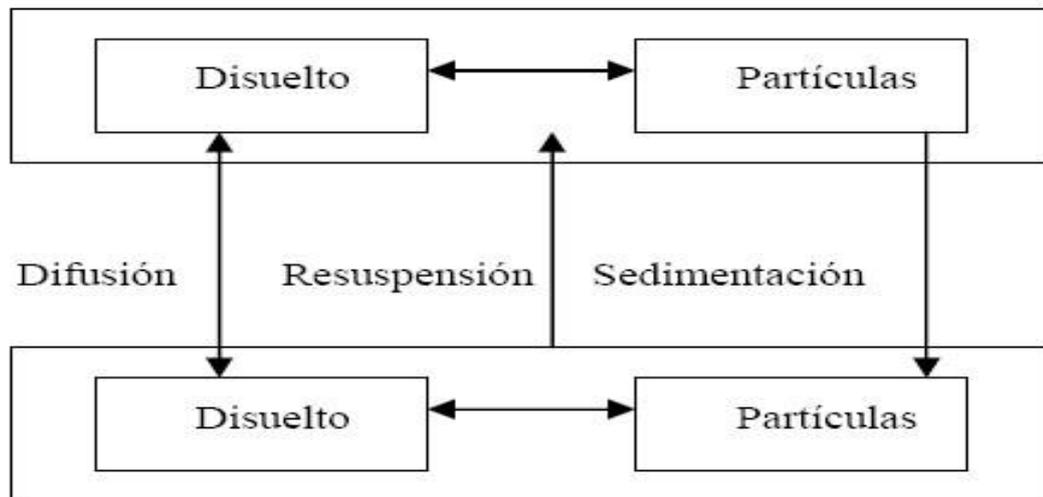


Figura 1. Modelo Conceptual de Metales Pesados

Fuente: Bitar & Camacho (2005)

2.1.1 Importancia del Análisis de los Metales Pesados

En los sistemas acuáticos se disuelven numerosas sales y sustancias de acuerdo a sus solubilidades. La presencia en el terreno de diferentes materiales y estructuras geológicas son fuente de una gran variedad de iones disueltos en aguas superficiales, los que nos permitirían saber, de no haber existido la actividad humana, que tipo de suelo atraviesa un cauce de agua. Algunos de estos iones se encuentran en forma mayoritaria, respecto a los demás elementos en todas las aguas continentales: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , mientras que otros se hallan a niveles de trazas, como es el caso de los metales pesados, siendo algunos de ellos necesarios para el correcto desarrollo de los microorganismos, plantas y animales.

La contaminación en los ríos se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Unos de los

componentes químicos potencialmente más tóxicos son los metales pesados, y entre ellos Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen lito génico geoquímico a partir de los minerales que por causas de erosión, lluvias, etc. son arrastradas al agua. No obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antropogénico debida la actividad humana. La minería, los procesos industriales, los residuos domésticos son fuente importante de contaminación, que aportan metales al aire, al agua y al suelo especialmente.

Los estudios de calidad de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado el incremento de población en sus riberas, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es por su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. Sus efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque sí puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos.

2.2 Suelos

El suelo es un cuerpo natural, no consolidado, compuesto por sólidos (material mineral y orgánico), líquidos y gases, que se caracteriza por tener horizontes o capas diferenciales, resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia a través del tiempo, y cuyo espesor puede ir desde la superficie terrestre hasta varios metros de profundidad (Sposito 1989).

Los suelos se clasifican, en función a su tamaño de partícula, en cuatro principales componentes: arcilla (tamaño de partícula menor a 0.002 mm), limo (0.002-0.05 mm), arena (0.05-2 mm) y grava (partículas mayores a 2 mm). Las cantidades relativas de cada tipo de partícula mineral determinan la textura de un suelo y tienen un impacto directo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Van Deuren *et al.*, 2002).

2.2.1 Sedimentos

Son capas de partículas minerales y orgánicas, a menudo muy finas, procedentes de las rocas o suelos y que son acarreadas por las aguas que escurren. (García & Maza, 1998)

Todos estos materiales, después de cierto acarreo finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos, en presas de almacenamiento, en la planicie y hasta el mar. Los sedimentos son de gran importancia porque es la disposición final de muchos elementos químicos. La transferencia de contaminantes inorgánicos, tiene lugar por transferencia intermedia a través del agua de los poros en el material sedimentario. A menudo, se acumulan en la capa superficial del suelo

pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas y cultivos. (Manaham, 2006)

2.3 Los Metales Pesados en el Suelo

El suelo es un componente esencial del medio ambiente, base de los ecosistemas terrestres, principio de muchas cadenas tróficas y soporte del medio urbano e industrial. Dentro de sus funciones actúa como tampón, controlando el transporte de elementos químicos y sustancias hacia la atmósfera, hidrosfera y biosfera (Kabata & Pendias, 2000). Sin embargo, la función más importante del suelo es su productividad, base de supervivencia de los seres humanos. Por tanto, el mantenimiento de sus funciones ecológicas y agrícolas es una responsabilidad de toda la humanidad.

Los suelos interaccionan químicamente con la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera y, sobretodo, recibe el impacto de los seres vivos que, directa o indirectamente, pueden romper su equilibrio químico (Doménech, 1995). Los contaminantes pueden permanecer por largo tiempo en el suelo, lo cual es especialmente grave en el caso de los compuestos inorgánicos, como los metales pesados que son difícilmente degradables Bech *et al.*, (2001) Mientras que, los compuestos orgánicos son más o menos biodegradables, excepto en algunos casos recalcitrantes (V. Dioxina), descomponiéndose y eliminándose hacia los freáticos o a la atmósfera en un tiempo no excesivamente largo (Bech *et al.*, 2001).

2.3.1 Procedencia 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).

- **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. Kidd *et al.*, (2007). 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 (Kidd *et al.*, 2007).

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).

Gong *et al.*, (1977). Areniscas y rocas carbonatadas –calizas y dolomías– suelen tener los contenidos más bajos de metales pesados. La adsorción y/o complexación 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; Rascio, 1977) o Bech *et al.*, (1995). Las concentraciones de *Cd*, *Cu*, *Pb* y *Zn* de suelos del area de Barcelona desarrollados sobre mineralizaciones dispersas de *Cu* (Bech *et al.*, 1995).

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 de los procesos erosivos sufridos 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). En la tabla 1, se recogen algunas concentraciones de metales pesados en rocas graníticas, esquistos, arcillas, areniscas y carbonatos. Destacan las diferencias de concentraciones que se aprecian entre los distintos materiales, sobre todo entre arcilla y carbonatos.

Las diferencias en la composición fisico-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; 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).

Cuadro 1. Concentración De Metales Pesados En Varios Tipos De Rocas (Ug/G)

Elementos	Rocas graníticas	Arcillas	Areniscas	Carbonatos	Esquistos
Antimonio	0.20	1.50	1.00	0.20*	0.20
Arsénico	1.90	13.0	13.0	9.70*	8.10*
Cadmio	0.13	0.30	0.42	0.02	0.035
Cobre	30.0	45.0	250.0	15.0	4.00
Cromo	22.0	90.0	90.0	35.0	11.0
Mercúrio	0.08	0.40	0.02*	0.03	0.04
Níquel	15.0	68.0	225.0	2.00	20.0
Plomo	15.0	20.0	80.0	7.00	9.00
Zinc	60.0	95.0	165.0	16.0	20.0

Fuente: Turekian & Wedepohl (1961)

- **Origen antropogénico**

Las actividades humanas han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en suelos, así como un destacable efecto medioambiental y, en algunas ocasiones, graves efectos a la salud de los seres vivos. El uso de los metales pesados ha ido aumentando paralelamente al desarrollo industrial y tecnológico (Förstner y Wittmann, 1981). .Las actividades humanas de mayor impacto en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados.son:

Aplicación de productos químicos agrícolas y lodos residuales. Los metales pesados son frecuentemente usados por su toxicidad como componentes de fungicidas, pesticidas o desinfectantes (Antonovics et al., 1971). Los lodos residuales tienen un alto contenido de metales pesados, entre los que cabe destacar *Cd*, *Pb* y *Hg* (Purves, 1977 y Kabata-Pendias y Pendias, 2000). Además, los orígenes agrícolas de metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas, fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono. Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y de tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados (Förstner y Wittmann, 1981; Adriano, 1986).

- Actividades de minería y fundición, que incluyen la extracción, el procesado preliminar, la evacuación de los residuos y el transporte de los productos semiprosesados. Todas estas operaciones pueden producir una contaminación localizada de metales in situ o ex situ. En los suelos afectados por la minería, las capas superiores de suelos minerales presentan concentraciones elevadas, principalmente, de *Cu*, *Ni*, *As*, *Se*, *Fe* y *Cd* (Doménech, 1995).

2.4 Contaminación de Sedimentos por Metales Pesados

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos. Según su forma de asociación, los metales son susceptibles o no de

solubilizarse durante las modificaciones fisico-químicas estacionales (estiaje, crecida, etc.). La desoxigenación de las capas profundas durante el verano, ocasiona la reducción química de los óxidos asociados a la fase sólida, produciendo así, la disminución de la concentración de Fe y Mn en el sedimento. La reducción de estos dos elementos puede ocasionar la solubilización de ciertos metales adsorbidos en el sedimento como el Zn, Cr y Ni (El Falaki *et al.*, 1994; Baruah *et al.*, 1996).

Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Fórstner, 1987; Sigg *et al.*, 1987; Carignan y Tessier, 1988; Vaithiyathan *et al.*, 1993; Singh *et al.*, 1999). Por otra parte, numerosos estudios han demostrado el poder quelatante del EDTA, que disuelve metales de los sedimentos incorporándolos a la columna del agua (Frimmel *et al.*, 1989; Alder *et al.*, 1990; Gonsior *et al.*, 1997). Otra posibilidad es que la presencia de ciertos componentes de las formulaciones detergentes como son los tensioactivos, agentes blanqueadores, estabilizantes, entre otros, participen en la movilización de los metales pesados (Weiner *et al.*, 1984; El Falaki *et al.*, 1994). Por tanto, el análisis de metales pesados en sedimentos nos permite detectar la contaminación que puede escapar al análisis de las aguas y también proporciona información acerca de las zonas críticas del sistema acuático (Fórstner-Salomons, 1980; Baudo y Muntau, 1990; Belkiny Sparck, 1993; Fórstner *et al.*, 1993; Chen *et al.*,

1996; Moalla *et al.*, 1998). De la concentración total del metal, sólo ciertas formas químicas son tóxicas para los organismos, estas incluyen iones libres y metales liposolubles (Morrison *et al.*, 1989; Chen *et al.*, 1997). En consecuencia, el estudio en la fracción biodisponible o móvil de metales ligados a sedimentos es más importante que la concentración total del metal en los cauces de los ríos.

Cuadro 2. Fuentes de los Elementos Pesados que Contaminan el Suelo 1

Fuente	Elementos
Fuentes Primarias	
Fertilizantes	Cd, Pb, As
Abonos Estiercol	As, Pb, Se
Pesticidas	Pb, As, Hg
Aguas Residuales	Cd, Pb, As
Riesgos	Cd, Pb, Se

Fuente: Manaham (2006)

Cuadro 3. Fuentes de los Elementos Pesados que Contaminan el Suelo 2

Fuente	Elementos
Fuentes Secundarias	
Aerosoles de Automóviles	Pb
Fundiciones	Pb, Cd, Sb, As, Se, In, Hg
Incineración de Basuras	Pb, Cd
Áreas Mineras	Pb, Cd, As, Hg
Desgaste de Neumáticos	Cd
Pinturas (meteorización)	Pb, Cd
Depósitos de Basura	Pb, Cd, As
Aerosoles	Pb, As, Cd, Se
Combustión de Carbón	As, Se, Sb, Pb
Pilas Cloroalcalinas	Hg

Fuente: Manaham (2006)

2.5 Geoquímica de los Sedimentos Respecto a Metales Pesados

Existen estudios sobre los factores que afectan la capacidad de los sedimentos para captar y concentrar compuestos iónicos, principalmente metales y metaloides (As, Zn, Cu, Cd, Hg, Pb, entre otros). Las principales

variables que determinan la concentración de metales son el potencial “redox”, la granulometría (Horowitz, 1985; Ronco et al., 2001), concentración de coloides (óxidos de Mn, Fe y Al) (Bendell-Young et al., 1994; Simpson et al., 2002, Camillon et al., 2003), la concentración de carbono orgánico y sulfuros (Di Toro et al., 1992; Chapman et al., 1998; Besser et al., 2004).

La granulometría del material (tamaño de grano), es un factor importante en la capacidad de retención de los metales. Existe una fuerte correlación positiva entre la disminución del tamaño de grano y la concentración de metales (Horowitz, 1986). Esta correlación se debe tanto a factores físicos como mineralógicos (composicionales). Las partículas de arcillas (< 2-4 μm) poseen una elevada área específica, determinando reacciones de superficie que M. Leticia Peluso favorecen las interacciones de metales con el sedimento. Como consecuencia los sedimentos de grano fino son importantes sumideros de algunos constituyentes inorgánicos.

2.6 Modelo Matemático Unidimensional Hec - Ras

2.6.1 Características Generales

El modelo matemático Hec – Ras es un software ampliamente usado en ingeniería para la modelación unidimensional de flujos, transporte de sedimentos y procesos morfológicos de erosión y sedimentación, Es de fácil acceso, presenta facilidad para la introducción y representación de datos, ya que está desarrollado bajo un entorno Windows. La versión que se usa para este modelo es la 5.0.3.

2.6.2 Modelo Hidrodinámico

El modelo hidrodinámico constituye el núcleo principal del sistema de modelación, es la base para los demás modelos, está basado en la ecuación de conservación de la energía, expresada en términos unidimensionales, con la pérdida de energía calculada con la ecuación de Manning.

La finalidad del modelo hidrodinámico es comprobar el funcionamiento de la bifurcación para las dos topografías disponibles complementándolas con secciones del río crucero hasta la parte de San Antón.

2.6.3 Modelo de Flujo Permanente

a. Geometría

Para el caso de la topografía del proyecto de investigación representada por 614 secciones transversales con una separación promedio de 150 m, obtenidas mediante el AutoCAD Civil 3D y exportadas a Hec – Ras. La topografía del río crucero dividida en 5 tramos desde Crucero hasta San Antón.

b. Condiciones de Frontera

Una vez que se tienen los datos geométricos, se ingresa los datos para flujo permanente, que son las condiciones iniciales del sistema a ser analizado.

Frontera aguas arriba: la frontera superior de la zona a modelar se localizó 1.5 km antes de la población de crucero.

Frontera aguas abajo: se localizó después de la población de San Antón.

c. Coeficiente de Rugosidad

La rugosidad constituye el principal parámetro de calibración durante la modelación hidrodinámica. Para obtener el coeficiente de rugosidad de Manning, se hace uso de la topografía y de las mediciones de gasto y elevación de secciones intermedias y se utilizó el coeficiente de rugosidad adecuado es 0.014 y este es el que se aplica para el resto de los análisis, tanto para el modelo unidimensional como el bidimensional.

2.7 Hipótesis

2.7.1 Hipótesis General

La cuantificación del contenido de metales en los sedimentos e identificación de su contaminación y su posterior modelamiento ambiental permitirá conocer si los niveles están por encima de los estándares y la normativa vigente en la sub cuenca del río Azángaro.

2.7.2 Hipótesis Específicas

- Las concentraciones de metales en los sedimentos producen probablemente la contaminación de la Sub cuenca del río Azángaro.
- El modelamiento ambiental en base a la caracterización de sedimentos del río Azángaro permitirá conocer la contaminación del área de estudio.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Ámbito de Estudio

3.1.1 Ubicación

El alcance de la presente investigación se circunscribe a realizar la evaluación de los sedimentos de la sub cuenca del río Azángaro. Exactamente entre Crucero y San Antón. A partir de la caracterización de metales de muestras en los sedimentos.

El modelamiento ambiental del área de estudio permite conocer los niveles de contaminación de la zona.

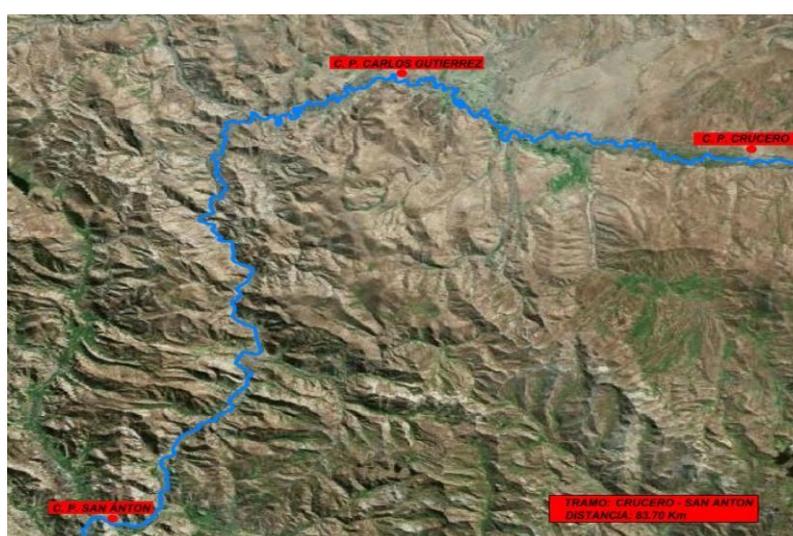


Figura 2. Área de Estudio de la Sub Cuenca del Río Azángaro

Fuente: Salas (2017)

En el siguiente cuadro representa los códigos de los puntos de muestreo y en la siguiente figura se presenta el mapa de la zona de estudio con los puntos respectivos.

Cuadro 4. Código de los Puntos de Muestreo

Código	Punto	COORDENADAS UTM WGS84 19L		ALTITUD (msnm)
		ESTE (m)	NORTE (m)	
PMS1	Pte. Crucero/ Dv. Limbani	391545	8411142	4142
PMS2	Zona Carlos Gutierrez	373985	8416554	4093
PMS3	Zona Ccatuyo Grande	364053	8404909	4047
PMS4	Zona Choquesani	363981	8395408	4013
PMS5	Pte. San Anton	357497	8387357	3958

Fuente: Salas (2017)

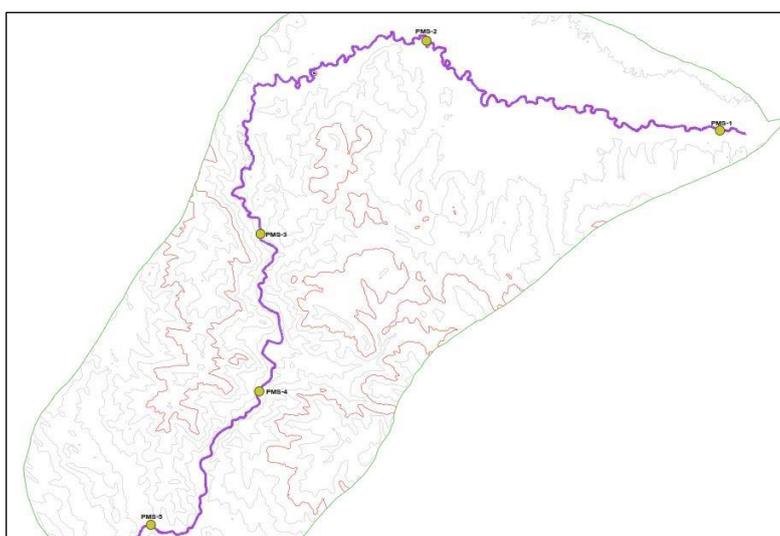


Figura 3. Área de Estudio de la Sub Cuenca del Rio Azángaro

Fuente: Salas (2017)

3.1.2 Descripción del Río Ramis

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.

3.1.3 Características Climáticas

El clima local en el departamento de Puno está profundamente afectado por la altitud, la proximidad al Lago Titicaca y la topografía local. El clima es frío y seco. En las épocas de mayor frío (Junio a Agosto), hay fuerte incidencia de las heladas, en este tiempo las temperaturas mínimas pueden registrarse a 15° C bajo cero. Las granizadas son más frecuentes en las primeras lluvias de cada año, y coinciden con los meses de Septiembre y Octubre, en condiciones normales puede presentarse en pleno verano. La temperatura varía de 4.5° C a 5.0° C en los meses de Junio a Agosto, y de 9.0° C a 9.3° C en los meses de Noviembre a Marzo.

Los valores promedios más altos de humedad relativa en el altiplano se registran durante los meses de verano, de Enero, Febrero y Marzo (mayores al 70%) los valores más bajos se dan durante los meses de invierno de Junio, Julio y Agosto (menores al 50%).

La precipitación pluvial anual varía entre 550 mm y 606 mm, concentrándose en un 75%, entre los meses de Diciembre a Marzo.

- **CLIMA Y METEOROLOGIA**

El análisis de los elementos meteorológicos y climatológicos del Estudio ha sido efectuado considerando la información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI, entre Junio y Agosto del 2012. La estación meteorológica fue determinada en base a que se encuentra localizada de manera representativa en el Área de Estudio, la misma que es mostrada en el cuadro 3.3.

Cuadro 5. Ubicación Geográfica y Política de las Estaciones de Monitoreo

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITU	DISTRIT	PROVINCI	REGIÓN
Progreso	14°41'	70°21'	397	Asillo	Azángaro	Puno

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

Cuadro 6. Temperatura Máxima Media Mensual Estación Progreso (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2011	15,0	14,7	14,8	16,9	17,2	15,6	14,9	16,6	18,0	16,1	18,8	15,3
2012	14,2	14,8	15,0	15,8	15,6	15,2	14,9	15,9	17,8	18,2	18,4	17,5
Prom.	15,4	15,2	15,5	16,12	16,2	15,4	14,98	16,0	17,24	17,4	18,2	16,9

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

- **VIENTOS**

El análisis de los vientos es un factor importante en el estudio, puesto que, es necesario conocer los aspectos de dirección y velocidad de vientos en el área de influencia del proyecto.

- **DIRECCION**

La estación de Progreso presenta una marcada tendencia de vientos noroeste y noreste, siendo entre mayo y agosto donde se presentan los noroeste y el resto del año, viento noreste. Es necesario aclarar que

eventualmente se presentan vientos con dirección sur - este, sobre todo en los meses de verano.

Cuadro 7. Temperatura Máxima Media Mensual Estación Progreso (°C)

AÑO	EN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2011	NW	N	NE	NE	NE	NW	NW	NW	NE	NE	NE	NE
2012	NE	SE	NE	NE	NW	NW	NW	NW	NE	NE	SE	NE

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

3.2 Metodología

3.2.1 Características Climáticas

Contemplando un programa de toma de muestras de tipo estacional. En las aguas se determinaron los contenidos de metales en los sedimentos en el río Azángaro.

Se seleccionaron sitios de muestreo representativos de las diversas actividades antrópicas en el área de estudio y a lo largo del cauce principal.

3.3 Muestreo de Metales Pesados

Los muestreos se realizaron de manera aleatoria, con doble repetición. Se utilizó perseverante de muestras, el peso de cada muestra es de 1kg cada muestra. Estas muestras se tomaron al azar, disponiéndolas en envases de plástico previamente lavados in situ y rotulados adecuadamente. Para transportar las muestras al laboratorio se empacarán en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador de “plastoform” manteniéndose aproximadamente a 4° C. Se tuvo el cuidado respectivo mediante la cadena de custodia. Al llegar las muestras al laboratorio se conservarán a la misma temperatura en un refrigerador hasta ser procesadas. Los análisis se realizaron en el Laboratorio Analíticos del Sur de Arequipa.

3.3.1 Procedimiento Analítico

Los análisis se realizaron según los procedimientos del laboratorio LAS (Laboratorios Analíticos del Sur), para la determinación de metales pesados en sedimentos se utilizó el método:

- 7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP-AES.

3.4 Diseño Estadístico

Se considerará la evaluación de metales en sedimentos para el modelamiento ambiental de las concentraciones del río en el área de estudio. Los muestreos se realizaron de manera aleatoria; La concentración de metales pesados se da en miligramos/kilogramo (mg/Kg) de las muestras recolectadas. Para el presente trabajo el modelamiento ambiental se realiza en base al paquete estadístico de HECRAS 5.0.3

3.5 Puntos de Muestreo

Para el diagnóstico físico químico de aguas y sedimentos se ha zonificado la cuenca del Ramis en el sector Crucero – San Anton en cinco escenarios:

- PMS1 (Punto N° 1 de muestreo) = Puente Crucero
- PMS2 (Punto N° 2 de muestreo) = Zona de Carlos Gutierrez
- PMS3 (Punto N° 3 de muestreo) = Zona Ccatuyo Grande
- PMS4 (Punto N° 4 de muestreo)= Zona Choquesani
- PMS5 (Punto N° 5 de muestreo) = San Antón

3.5.1 Muestreo y Análisis de Sedimentos

El muestreo para sedimentos se realizó considerando el conocimiento previo existente del sistema hidrográfico. En general el alcance y representatividad de la muestra de sedimentos de río, dependen del tamaño y de las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica.

Sobre la base a lo anterior, en principio se ha podido diferenciar entre dos tipos de sedimentos, los que conforman la carga suspendida y los que conforman la carga de fondo, y parece claro que la representatividad de cada uno de ellos es distinta, debido a diferencias en la mayor facilidad que tienen para ser transportados por un lado y la mayor homogeneidad por otro que presentan los sedimentos suspendidos en relación a la carga de fondo. Por lo cual los sedimentos de fondo tienen un mayor alcance y representatividad en muestreos de tipo regional.

Cuadro 8. Métodos de Análisis de Metales Pesados en Suelos y Sedimentos.

METAL	MÉTODO
Metales pesados	EPA 200.7 ICP-AES

Fuente: Salas (2017)

Las muestras fueron enviadas al laboratorio LAS de la ciudad de Arequipa.

Cuadro 9. Código de los Puntos de Muestreo de Sedimentos

Puntos de Muestreo	Código de campo	Numero de Muestras de Sedimentos	Elementos Analizados	Lugar de muestreo	Tipo de Envase - Volumen
PMS1	AZA-CRU -SED1	1	- As - Cd - Cu - Cr - Hg - Pb - Zn	Puente Crucero	Plastico-1L
PMS2	AZA-CAR- SED1	1	- As - Cd - Cu - Cr - Hg - Pb - Zn	Zona de Carlos Gutierrez	Plastico-1L
PMS3	AZA-CCAT - - -SED1	1	- As - Cd - Cu - Cr - Hg - Pb - Zn	Zona Ccatuyo Grande	Plastico-1L
PMS4	AZA-CHOQ -SED1	1	- As - Cd - Cu - Cr - Hg - Pb - Zn	Zona Choquesani	Plastico-1L
PMS5	AZA-ANT -SED1	1	- As - Cd - Cu - Cr - Hg - Pb - Zn	San Antón	Plastico-1L

Fuente: Salas (2017)

3.5.2 Resultados

Cuadro 10. Resultados de Laboratorio

Código	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
PMS1	36.72	10.271	24.9	9.0039	a<0.041	26.74	1227
PMS2	21.09	7.1396	17.71	7.8676	a<0.041	21.97	573
PMS3	20.29	6.1006	25.45	6.0171	a<0.041	25.47	560.1
PMS4	16.65	5.9508	23.95	6.8729	a<0.041	23.36	524
PMS5	20.24	5.9776	25.71	6.2139	a<0.041	19.23	497

Fuente: Resultados de Laboratorio LAS (Ver Anexo 2)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Niveles de Contaminación en Sedimentos en el Área de Estudio

4.1.1 Parámetros Físico – Químicos

Cuadro 11. Parámetros Físico – Químicos

Punto de muestreo	pH	Conductividad eléctrica us/cm	Temperatura °C	REDOX mv
PMS1	8.8	149	7.3	0.9
PMS2	8.2	176	9.9	204
PMS3	8.5	242	13.5	217
PMS4	8.9	231	11.5	12
PMS5	8.8	207	16.4	271

Fuente: Salas (2017)

Cuadro 12. Caudal de los Tramos del Rio

Punto de muestreo	Caudal Q m ³ /s Aforo de campo Monitoreo
PMS1	15.35
PMS2	19.03
PMS3	15.47
PMS4	6.38
PMS5	13.54

Fuente: Salas (2017)

4.1.2 Contaminación de Sedimentos

Para la comparación de la calidad de sedimentos se utilizó:

Cuadro 13. Estándar de calidad de Suelo (ECA suelo) – Perú

Parámetros	Agrícola mg/kg
Arsénico	50
Bario	750
Cadmio	1.4
Mercurio	6.6
Plomo	70

Fuente: D.S. 011-2017-MINAM

Cuadro 14. Límite máximo permisible en sedimentos – Holanda

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

Fuente: INGEMMET – Boletín N° 5, Serie E

Cuadro 15. Límite máximo permisible en sedimentos – Suecia

Clase	Cobre (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Arsénico (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Níquel (mg/kg)
Muy bajo	<15	<50	<150	<0.8	<5	<0.15	<15	<5
Bajo	15-25	50-150	150-300	0.8-2.0	5-10	0.15-0.3	15-25	5-15
Mod. Alto	25-100	150-400	300-1000	2-7	10-30	0.3-1	25-100	15-50
Alto	100-500	400-2000	1000-5000	7-35	30-150	1-5	100-500	50-250
Muy alto	>500	>2000	>5000	>35	>150	>5	>500	>250

Fuente: INGEMMET – Boletín N° 5, Serie E

Cuadro 16. Límites máximos permisibles de sedimento (USEPA) - USA

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

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

Cuadro 17. Guía para la calidad de suelos para la protección ambiental y salud humana – Canadá

Parámetros	ISQL	PEL
Cadmio	0.6	3.5
Cromo	4.5	8.87
Cobre	37.3	90
Mercurio	0.17	0.49
Zinc	123	315
Arsénico	5.9	17

Fuente: Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic
Life

4.1.3 Resultados del Análisis de Sedimentos

Se adjunta en el anexo N° 1 – Informe de ensayo de sedimento:

- ✓ Informe de Ensayo LAS – 17-02783

Cuadro 18. Resultados del Análisis de Arsénico

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
As	SD17000075	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	36.72
As	SD17000079	PMS2	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	21.09
As	SD17000076	PMS3	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	20.29
As	SD17000078	PMS4	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	16.65
As	SD17000077	PMS5	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	20.24

Fuente: Salas (2017)

En el Cuadro N° 18 se observa el resultado de laboratorio en ARSENICO en sedimentos con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 2mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de sedimentos, punto de monitoreo 1 tiene el mayor resultado que es de 36.72 mg/kg y en el punto

de monitoreo de sedimentos numero 4 obtuvo el menor valor que es 16.65 mg/kg.

Cuadro 19. Resultados Del Análisis De Cadmio

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Cd	SD17000075	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.2	10.271
Cd	SD17000079	PMS2	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.2	7.1396
Cd	SD17000076	PMS3	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.2	6.1006
Cd	SD17000078	PMS4	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.2	5.9508
Cd	SD17000077	PMS5	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.2	5.9776

Fuente: Salas (2017)

En el Cuadro N° 19 se observa el resultado de laboratorio en CADMIO en sedimentos con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 0.2 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de sedimentos, punto de monitoreo 1 tiene el mayor resultado que es de 10.271 mg/kg y en

el punto de monitoreo de sedimentos numero 4 obtuvo el menor valor que es 5.9508 mg/kg.

Cuadro 20. Resultados Del Análisis De Cobre

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Cu	SD17000075	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.5	24.9
Cu	SD17000079	PMS2	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.5	17.71
Cu	SD17000076	PMS3	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.5	25.45
Cu	SD17000078	PMS4	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.5	23.95
Cu	SD17000077	PMS5	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.5	25.71

Fuente: Salas (2017)

En el Cuadro N° 20 se observa el resultado de laboratorio en COBRE en sedimentos con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 0.5 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de sedimentos, punto de monitoreo 5 tiene el mayor resultado que es de 25.71 mg/kg y en el

punto de monitoreo de sedimentos numero 2 obtuvo el menor valor que es 17.71 mg/kg.

Cuadro 21. Resultados Del Análisis De Cromo

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Cr	SD17000075	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.8	9.0039
Cr	SD17000079	PMS2	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.8	7.8676
Cr	SD17000076	PMS3	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.8	6.0171
Cr	SD17000078	PMS4	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.8	6.8729
Cr	SD17000077	PMS5	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.8	6.2139

Fuente: Salas (2017)

En el Cuadro N° 21 se observa el resultado de laboratorio en CROMO en sedimentos con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 0.8 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de sedimentos, punto de monitoreo 1 tiene el mayor resultado que es de 9.0039 mg/kg y en

el punto de monitoreo de sedimentos numero 3 obtuvo el menor valor que es 6.0171 mg/kg.

Cuadro 22. Resultados del Análisis de Mercurio

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Hg	SD17000075	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	a<0.041
Hg	SD17000079	PMS2	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	a<0.041
Hg	SD17000076	PMS3	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	a<0.041
Hg	SD17000078	PMS4	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	a<0.041
Hg	SD17000077	PMS5	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	a<0.041

Fuente: Salas (2017)

En el Cuadro N° 22 se observa el resultado de laboratorio en MERCURIO en sedimentos con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 2 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de sedimentos, en todos los puntos de monitoreo no se detectó animalias.

Cuadro 23. Resultados del Análisis de Plomo

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Pb	SD17000075	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	26.74
Pb	SD17000079	PMS2	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	21.97
Pb	SD17000076	PMS3	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	25.47
Pb	SD17000078	PMS4	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	23.36
Pb	SD17000077	PMS5	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	2	19.23

Fuente: Salas (2017)

En el Cuadro N° 23 se observa el resultado de laboratorio en PLOMO en sedimentos con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 2 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de sedimentos, punto de monitoreo 1 tiene el mayor resultado que es de 26.74 mg/kg y en el punto de monitoreo de sedimentos numero 5 obtuvo el menor valor que es 19.23 mg/kg.

Cuadro 24. Resultados del Análisis de Zinc

Parámetro	Cód. Lab.	Punto de muestreo	Método	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Zn	SD17000075	PMS1	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.3	1227
Zn	SD17000079	PMS2	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.3	573
Zn	SD17000076	PMS3	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.3	560.1
Zn	SD17000078	PMS4	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.3	524
Zn	SD17000077	PMS5	EPA 200.7 ICP-AES	mg/Kg	0.3	497

Fuente: Salas (2017)

En el Cuadro N° 24 se observa el resultado de laboratorio en ZINC en sedimentos con la unidad de medida de miligramos por kilogramo (mg/kg) codificados en laboratorio y en campo con un límite de detección de mínimo de 0.3 mg/kg, observando que en el punto de monitoreo de sedimentos, punto de monitoreo 1 tiene el mayor resultado que es de 1227 mg/kg y en el punto de monitoreo de sedimentos numero 5 obtuvo el menor valor que es

497
mg/kg.

4.2 Contenido de Metales Pesados y su Acumulación en los Sedimentos

4.2.1 Análisis de Arsénico

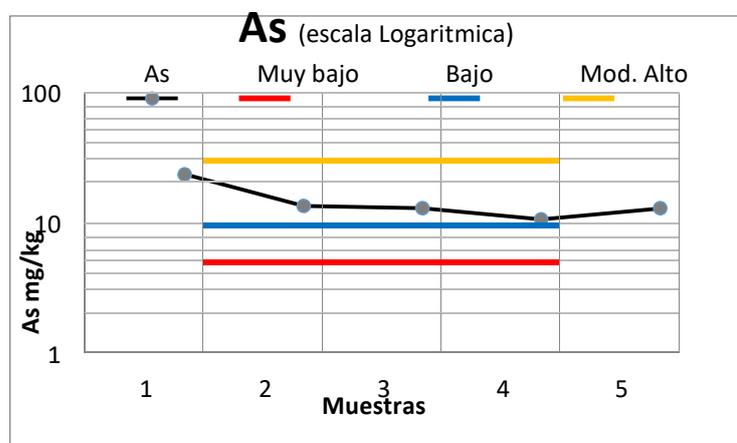


Figura 4. Resultados As Vs Tabla Sueca
Fuente: Salas (2017)

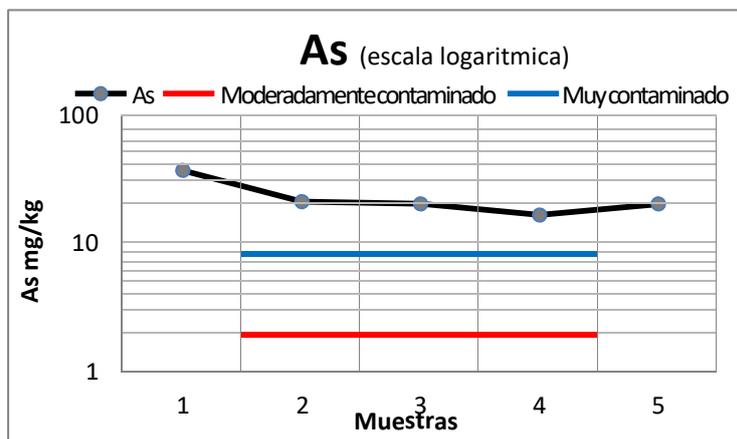


Figura 5. Resultados As Vs USEPA
Fuente: Salas (2017)

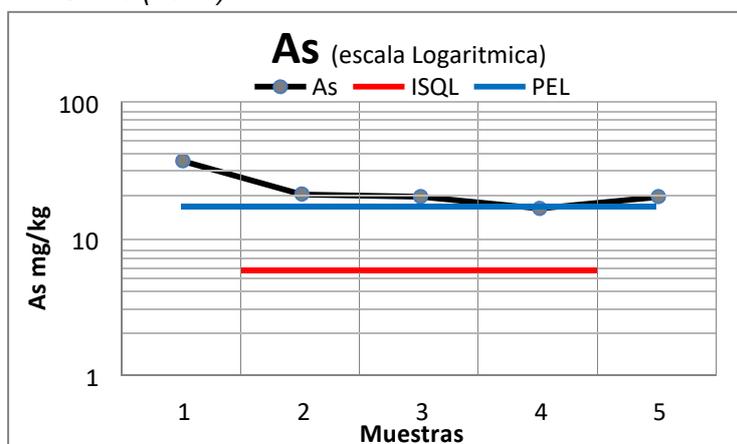


Figura 6. Resultados As Vs Tabla Holandesa
Fuente: Salas (2017)

Las concentraciones de Arsenico en los 5 tramos del rio ramis se encuentran por debajo de los estandares de calidad de suelo norma del Perú y de los limites maximos permisibles para suelo y sedimentos de Holanda, pero elevados para las tablas de calidad de sedimentos de los paises Suecia, USA y Canada. Según la Norma de Suecia el Punto 1 ubicado antes del ingreso a el poblado de crucero se encuentra la mayor concentracion de arsenico y para los puntos 2,3,4 y 5 se encuentran moderadamente altos con un intervalo de 10 a 30 mg/kg. Para los estandares de USA los 5 puntos analizados estan en condicion muy contaminada con concentraciones mayores a 8 mg/kg establecidas por ese pais . Los estandares de calidad de sedimentos para agua dulce de Canada comparados con los resultados de laboratorio de los 5 puntos de muestreo de sedimento, nos dice que los puntos 1,2,3,5 estan por encima del PEL (niveles de efectos probables) con concentraciones mayores a 17 mg/kg y que la muestra numero 4 por encima del ISQL con un contenido mayor a 5.9 mg/kg. Por lo tanto definimos que el tramo del proyecto de investigacion Crucero - San Anton sobre pasa los niveles de concentracion en arsenico en comparacion con 3 normas extranjeras.

4.2.2 Análisis de Cadmio

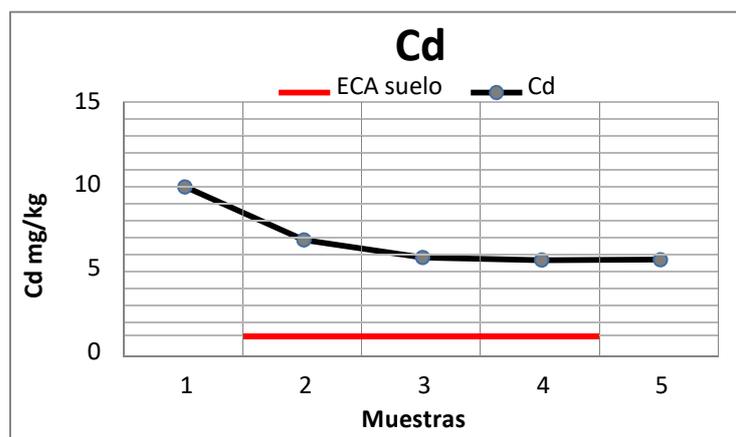


Figura 7. Resultados Cd Vs Eca Suelo
Fuente: Salas (2017)

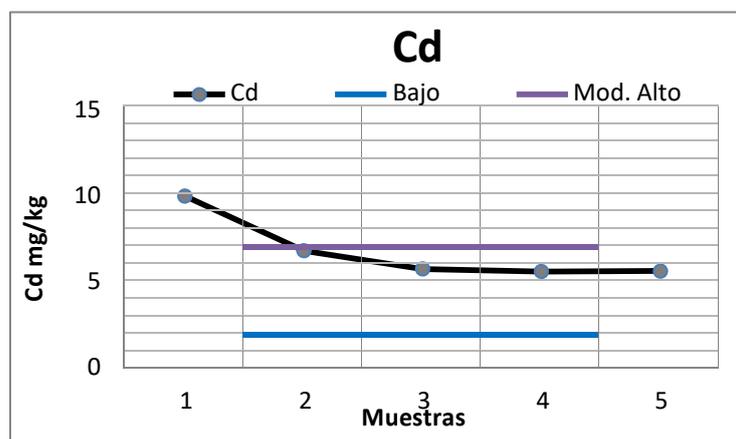


Figura 8. Resultados Cd Vs Tabla Sueca
Fuente: Salas (2017)

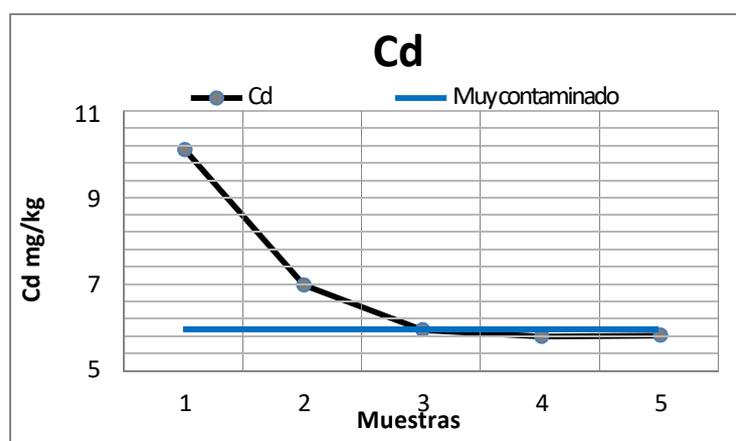


Figura 9. Resultados Cd Vs USEPA
Fuente: Salas (2017)

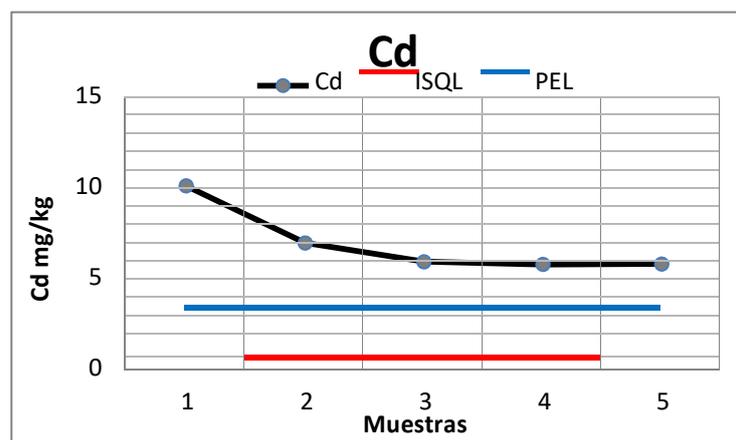


Figura 10. Resultados Cd Vs Tabla De Canadá

Fuente: Salas (2017)

Las concentraciones de Cadmio en los 5 tramos del rio ramis se encuentran por debajo de los limites maximos permisibles para suelo y sedimentos de Holanda, pero elevado para el Eca suelo del Perú y para las tablas de calidad de sedimentos de los países Suecia, USA y Canada. El estandar de calidad ambiental de suelo para uso agricola comparado con los resultados de laboratorio nos refleja que las 5 muestras estan por encima del estandar con concentraciones mayores a 1.4 mg/kg. Según la Norma de Suecia el Punto 1 y 2 se encuentran con concentraciones altas con un rango de concentracion de 7 a 35 mg/kg mientras que las muestras 3,4 y 5 estan con concentracion moderadamente altas con marge de 2 a 7 mg/kg. Para los estandares de USA los puntos 1,2 y 3 analizados estan en condicion muy contaminada con concentraciones mayores a 6 mg/kg y las muestras numero 4 y 5 son descritas como moderadamente contaminado con niveles mayores a 0 mg/kg establecidas por ese país . Los estandares de calidad de sedimentos para agua dulce de Canada comparados con los resultados de laboratorio de los 5 puntos de muestreo de sedimento, nos dice que todas las muestras estan por encima del PEL (niveles de efectos probables) con concentraciones mayores

a 3.5 mg/kg. Por lo tanto definimos que el tramo del proyecto de investigación Crucero - San Anton sobre pasa los niveles de concentracion en Cadmio en comparacion con el ECA suelo y 4 normas extranjeras.

4.2.3 Análisis del Cobre

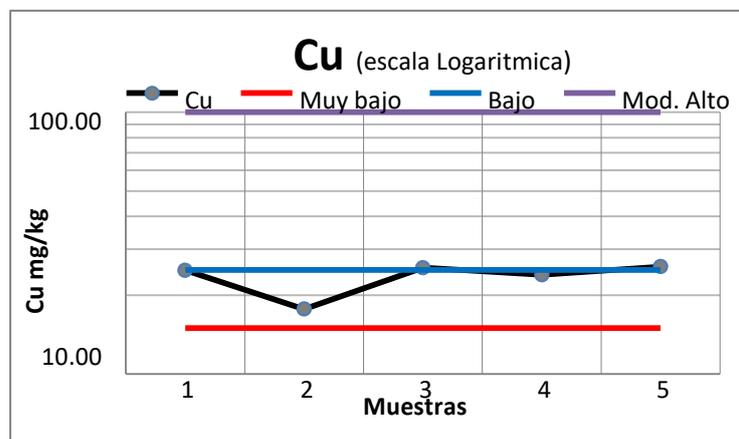


Figura 11. Resultados Cu Vs Tabla Sueca
Fuente: Salas (2017)

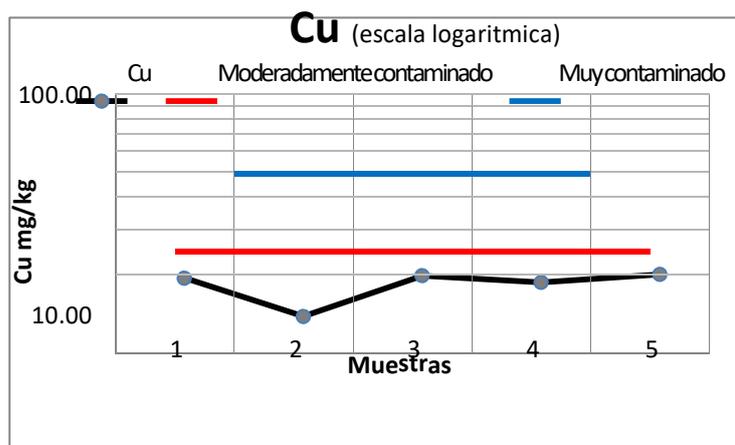


Figura 12. Resultados Cu Vs USEPA
Fuente: Salas (2017)

Las concentraciones de Cobre en los 5 tramos del rio ramis se encuentran por debajo de los estandares de calidad de suelo norma del Perú y de los limites maximos permisibles para suelo y sedimentos de Holanda y Canada pero elevados para las tablas de calidad de sedimentos de los paises Suecia, USA. Según la Norma de Suecia las muestras 3 y 5 se encuentran la mayor

concentración de cobre describiéndose como moderadamente alto con un rango de 25 a 100 mg/kg y para los puntos 1,2 y 4 se encuentran niveles bajos con un intervalo de 15 a 25 mg/kg. Para los estándares de USA los puntos 3 y 5 analizados están en condición moderadamente contaminada con concentraciones mayores a 25 mg/kg y las muestras 1,2 y 4 están por debajo de los estándares establecidos por ese país. Por lo tanto definimos que el tramo del proyecto de investigación Crucero - San Anton sobre pasa los niveles de concentración en cobre los puntos 3 y 5 en comparación con 2 normas extranjeras.

4.2.4 Análisis del Cromo

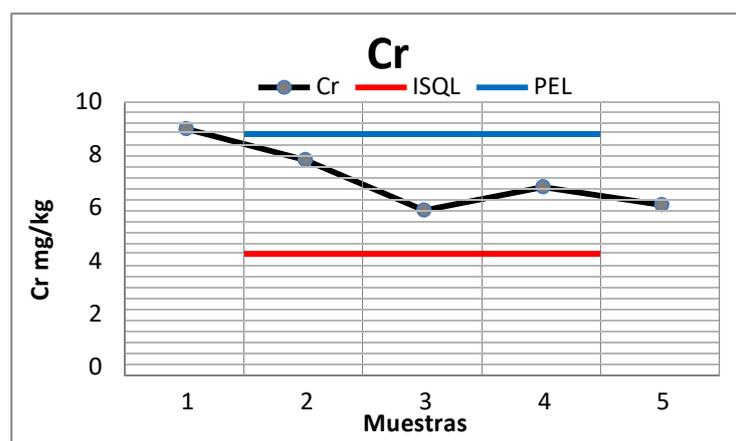


Figura 13. Resultados Cr Vs USEPA

Fuente: Salas (2017)

Las concentraciones de Cromo en los 5 tramos del río ramis se encuentran por debajo de los límites máximos en calidad de sedimentos de los países Suecia y USA y en los países de Perú como también Holanda no consideran elemento Cromo, pero se detecta elevado en las tablas de calidad de Canadá. Según la Norma de Canadá el Punto 1 ubicado antes del ingreso a el poblado de crucero se encuentra la mayor concentración de cromo y esta por encima del PEL (niveles de efectos probables) con una concentración mayor a 8.87

mg/kg y para los puntos 2,3,4 y 5 se encuentran en el estrato ISQL con niveles de concentración de cromo mayores a 4.5 mg/kg. Por lo tanto definimos que el tramo del proyecto de investigación Crucero - San Anton sobre pasa los niveles de concentración en cromo en comparación con la norma Canadiense.

4.2.5 Análisis del Mercurio

Referente al mercurio, los valores de detección no sobrepasan los estándares de calidad de suelo (ECA) ni los límites máximos permisibles de sedimentos de los 4 países, indicando que no existe presencia de elevadas concentraciones pero si considerar como un elemento que puede presentarse en la zona de estudio por efectos antrópicos

4.2.6 Análisis de Plomo

Referente al plomo, los valores de detección no sobrepasan los estándares de calidad de suelo (ECA) ni los límites máximos permisibles de sedimentos de los 4 países, indicando que no existe presencia de elevadas concentraciones pero si considerar como un elemento que puede presentarse en la zona de estudio.

4.2.7 Análisis del Zinc

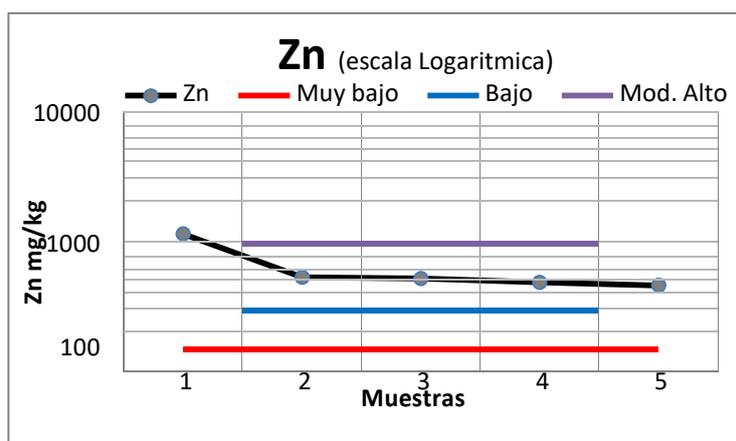


Figura 14. Resultados Zn Vs Tabla Sueca
Fuente: Salas (2017)

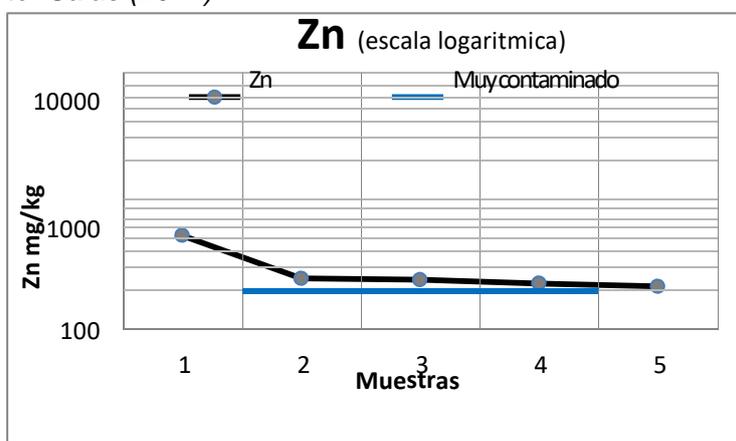


Figura 15. Resultados Zn Vs USEPA
Fuente: Salas (2017)

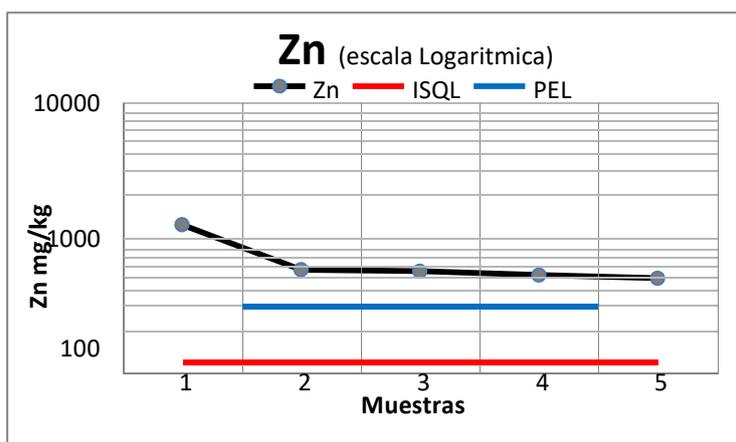


Figura 16. Resultados Zn Vs Tabla de Canadá
Fuente: Salas (2017)

Las concentraciones de Zinc en los 5 tramos del río ramis se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles para suelo y sedimentos de Holanda mientras que el (ECA suelo) estándares de calidad de suelo norma del Perú no considera este elemento, pero elevados para las tablas de calidad de sedimentos de los países Suecia, USA y Canadá. Según la Norma de Suecia el Punto 1 ubicado antes del ingreso a el poblado de crucero se encuentra con una descripción de concentración de Zinc alta con un rango de 1000 a 5000 mg/kg y para los puntos 2,3,4 y 5 se encuentran moderadamente altos con un intervalo de 300 a 1000 mg/kg. Para los estándares de USA los 5 puntos analizados están en condición muy contaminada con concentraciones mayores a 200 mg/kg establecidas por ese país. Los estándares de calidad de sedimentos para agua dulce de Canadá comparados con los resultados de laboratorio de los 5 puntos de muestreo de sedimento, nos dice que los 5 puntos están por encima del PEL (niveles de efectos probables) con concentraciones mayores a 315 mg/kg. Por lo tanto definimos que el tramo del proyecto de investigación Crucero - San Anton sobre pasa los niveles de concentración en Zinc en comparación con 3 normas extranjeras.

4.3 Modelamiento Matemático con Hec - Ras

Se modeló el tramo analizado aplicando el HEC RAS 5.0.3 Se ubicó la zona del tramo estudiado y se trazó el eje del río. En la siguiente figura se presenta el eje del río y los puntos de extracción de muestras para análisis de metales pesados.

Utilizando el modelo digital de elevación de la zona se determinó las secciones transversales la que junto con el eje del río se presentan en la siguiente figura.

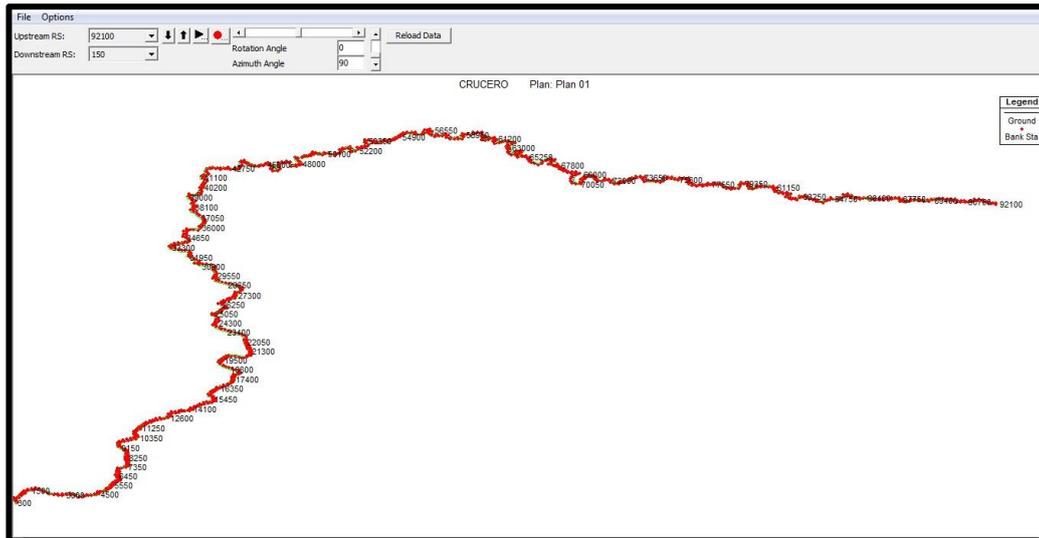


Figura 17. Geometría Modelo del Rio
Fuente: Salas (2017)

Con el modelo digital de elevación de la zona se determinó las pendientes del rio en todo el tramo ya mencionado.

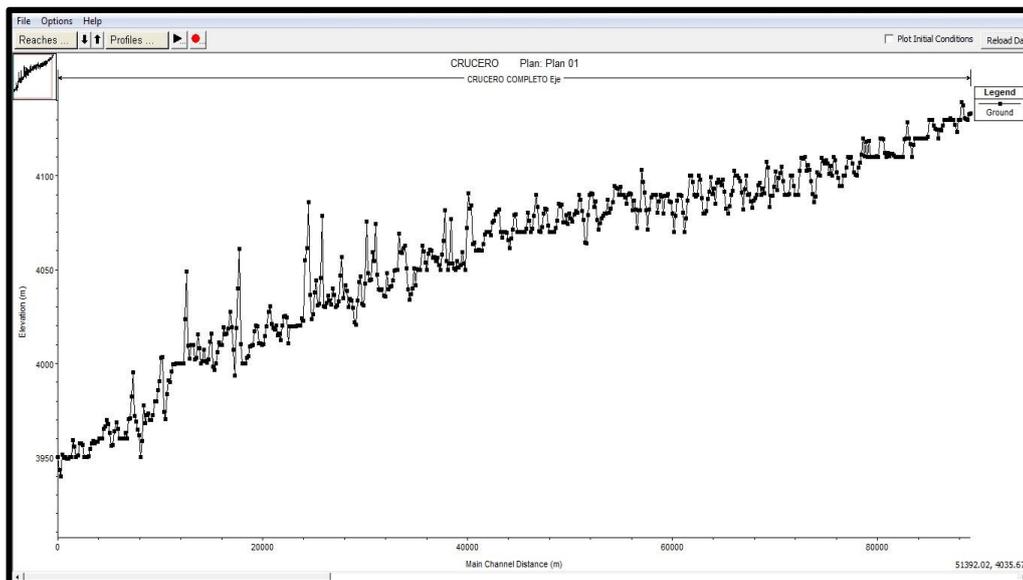


Figura 18. Pendientes del Rio
Fuente: Salas (2017)

Los datos de las secciones transversales en los puntos de extracción de muestras 90+450 km (PMS1= Pte. Crucero, Dv. Inambari), 60+300 km (PMS2= Zona Carlos Gutierrez), 29+400 km (PMS3= Zona Ccatuyo Grande),

16+050 km (PMS4= Zona Choquesani) y 1+950 (PMS5= Pte. San Anton) se presentan en las siguientes figuras del HEC RAS 5.0.3

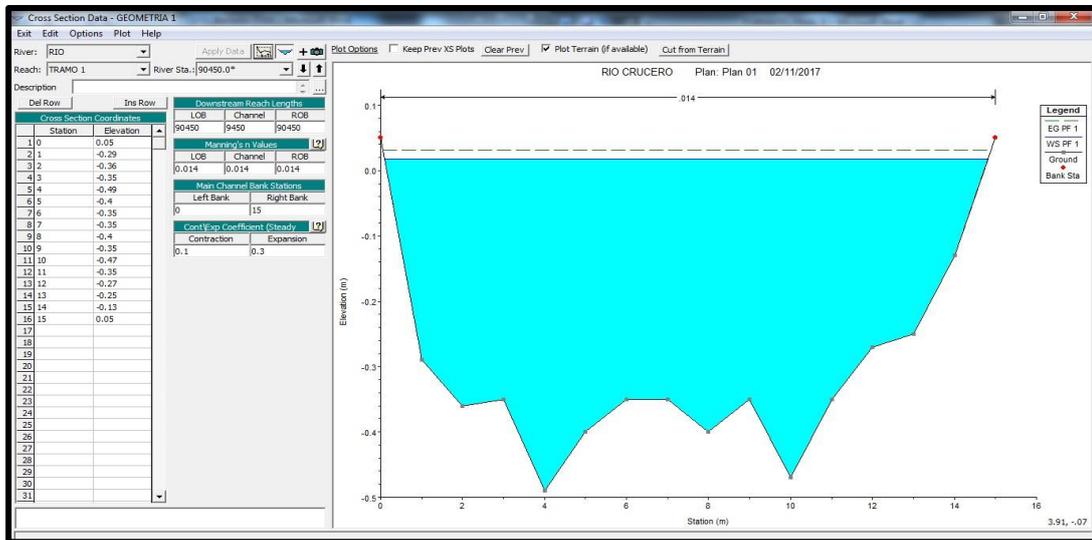


Figura 19. Sección Transversal del PMS1

Fuente: Salas (2017)

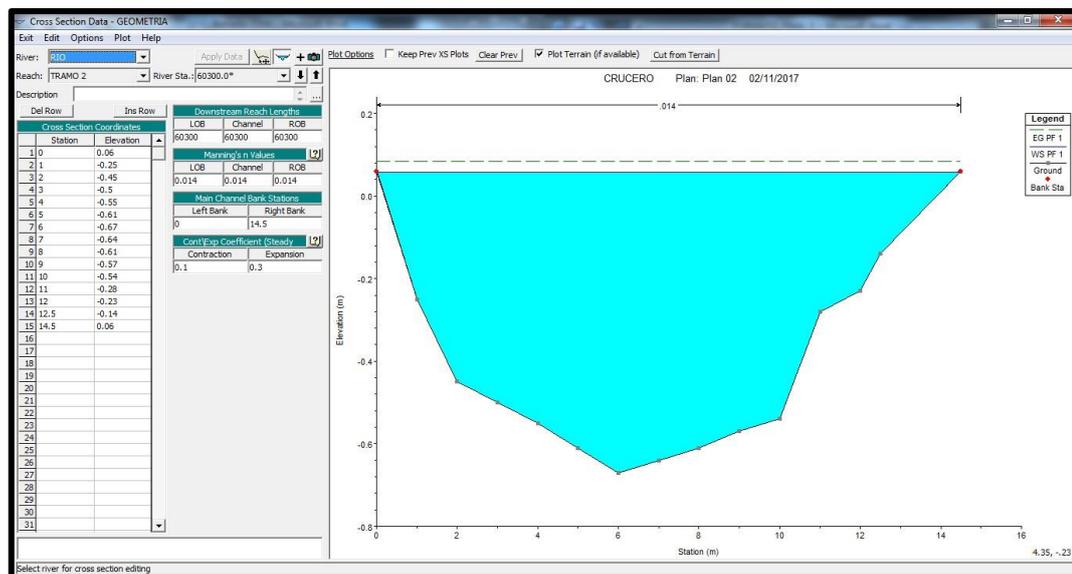


Figura 20. Sección Transversal del PMS2

Fuente: Salas (2017)

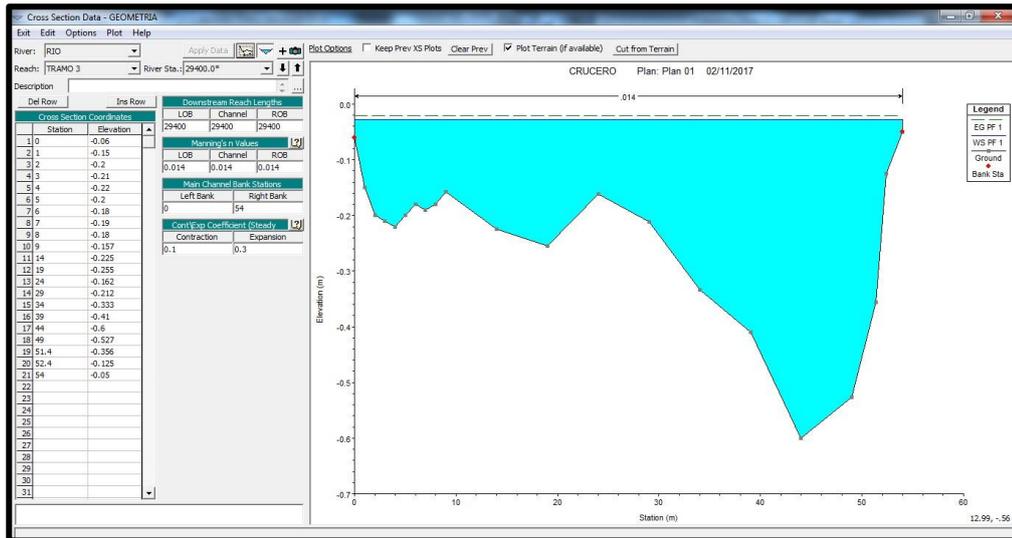


Figura 21. Sección Transversal Del PMS3

Fuente: Salas (2017)

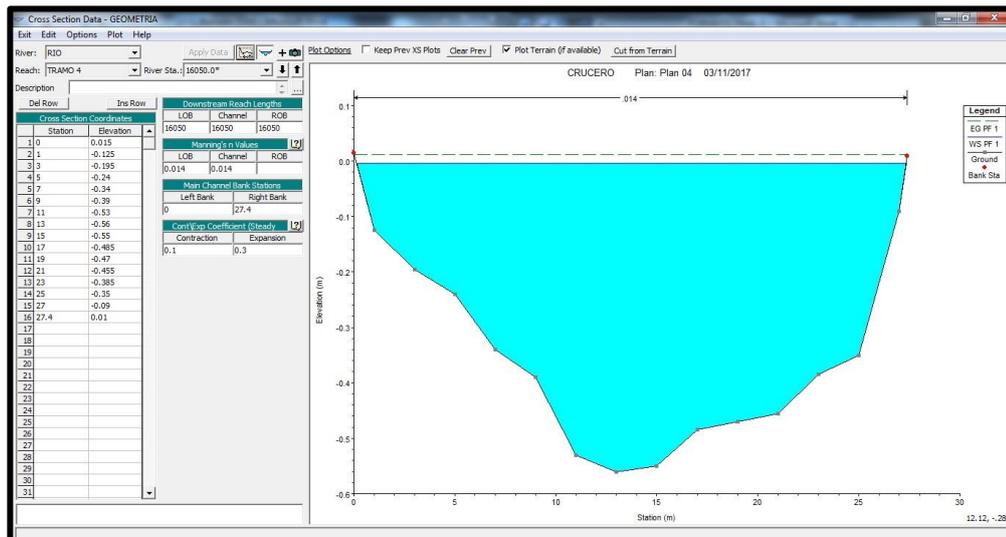


Figura 22. Sección Transversal Del PMS4

Fuente: Salas (2017)

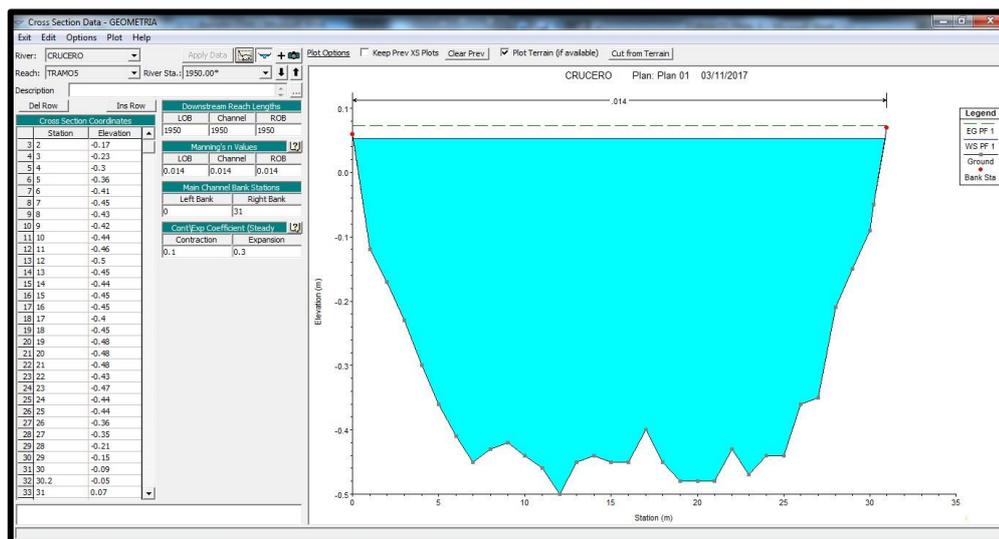


Figura 23. Sección Transversal Del PMS5

Fuente: Salas (2017)

Se determinó el caudal del río mediante aforos obteniéndose los siguientes caudales mostrados en el siguiente cuadro.

Cuadro 25. Caudal Obtenido en los Puntos de Extracción de Muestras

Punto de muestreo	Caudal Q m3/s Aforo de campo monitoreo
PMS1	15.35
PMS2	19.03
PMS3	15.47
PMS4	6.38
PMS5	13.54

Fuente: Salas (2017)

Se obtiene un caudal promedio de 13.954 m³/s que se utilizó como entrada al modelo HEC RAS 5.0.3. Lo cual se muestra en la siguiente figura.

En el modelo HEC RAS 5.0.3 se utilizó un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.014 asumido por las características del río como tamaño de sedimentos y grado de desarrollo de meandros. También se asumió los coeficientes de contracción y expansión como 0.1 y 0.3, respectivamente

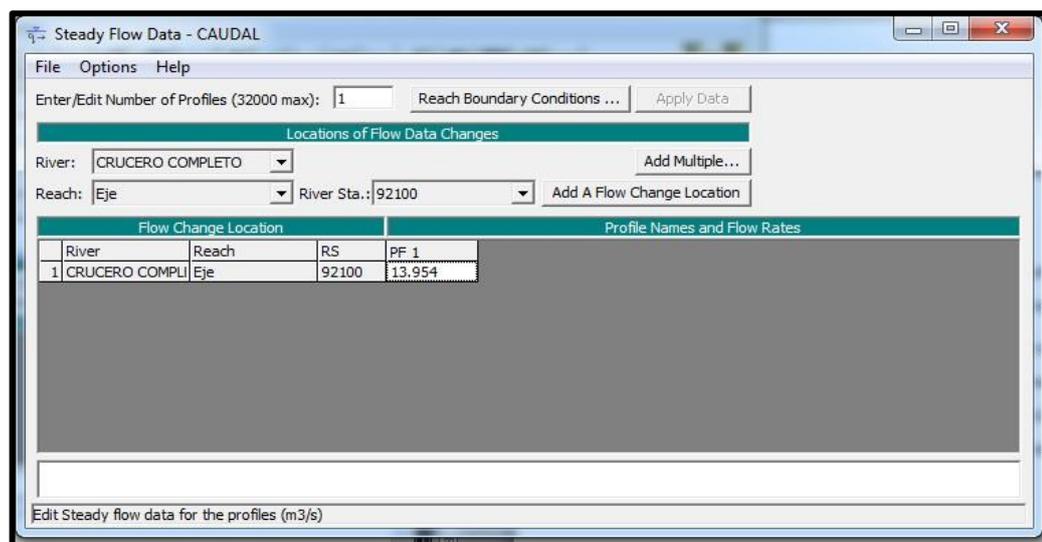


Figura 24. Ingreso de Caudal en Flujo Permanente
Fuente: Salas (2017)

Cuadro 26. Datos Técnicos de los Puntos de Monitoreo Modelado

Tramos	Punto de Monitoreo	Estación de Río	Pendiente	Velocidad	Área de Flujo	Ancho de canal
			(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)
TRAMO 1	PMS1	90450.0*	0.000414	1.19	11.76	15
TRAMO 2	PMS2	60300.0*	0.000418	1.21	11.53	14.5
TRAMO 3	PMS3	29400.0*	0.000241	0.62	22.59	54
TRAMO 4	PMS4	16050.0*	0.000317	0.87	15.95	27.4
TRAMO 5	PMS5	1950.00*	0.000304	0.83	16.89	31

Fuente: Salas (2017)

Cuadro 27. Resultados Del Modelamiento

TRAMOS	Estación de Río	Q Total (m3/s)	Elev. Mínima (m)	Tirante de Elev (m)	Energía Pot. (m)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Área de Flujo (m2)	Ancho de canal (m)	Nº de Froude
TRAMO 1	90600	13.95	-0.54	0.53	0.59	0.000254	1.04	13.64	15	0.35
TRAMO 1	90550.0*	13.95	-0.52	0.51	0.57	0.000288	1.08	13.12	15	0.37
TRAMO 1	90500.0*	13.95	-0.51	0.49	0.56	0.000331	1.13	12.56	15	0.39
TRAMO 1	90450.0*	13.95	-0.49	0.47	0.54	0.000414	1.19	11.76	15	0.43
TRAMO 1	90400.0*	13.95	-0.47	0.43	0.52	0.000483	1.27	11.17	15	0.47
TRAMO 1	90350.0*	13.95	-0.46	0.39	0.49	0.000631	1.38	10.28	15	0.53
TRAMO 1	90300	13.95	-0.44	0.32	0.44	0.001	1.59	8.91	15	0.65
TRAMO 2	60450	13.95	-0.72	0.46	0.51	0.000261	1.04	13.42	14.5	0.35
TRAMO 2	60400.0*	13.95	-0.7	0.44	0.5	0.000296	1.08	12.9	14.5	0.37
TRAMO 2	60350.0*	13.95	-0.69	0.42	0.48	0.000339	1.13	12.36	14.5	0.39
TRAMO 2	60300.0*	13.95	-0.67	0.39	0.46	0.000418	1.21	11.53	14.5	0.43
TRAMO 2	60250.0*	13.95	-0.65	0.36	0.44	0.000491	1.27	11.01	14.5	0.46
TRAMO 2	60200.0*	13.95	-0.64	0.31	0.41	0.000639	1.38	10.14	14.5	0.53
TRAMO 2	60150	13.95	-0.62	0.24	0.37	0.001	1.58	8.82	14.5	0.65
TRAMO 3	29550	13.95	-0.65	0.16	0.17	0.000132	0.52	27.08	54	0.23
TRAMO 3	29500.0*	13.95	-0.63	0.15	0.17	0.000158	0.54	25.67	54	0.25
TRAMO 3	29450.0*	13.95	-0.62	0.14	0.16	0.000191	0.58	24.23	54	0.27
TRAMO 3	29400.0*	13.95	-0.6	0.13	0.15	0.000241	0.62	22.59	54	0.3
TRAMO 3	29350.0*	13.95	-0.58	0.11	0.13	0.000323	0.67	20.69	54	0.35
TRAMO 3	29300.0*	13.95	-0.57	0.08	0.11	0.000475	0.76	18.41	54	0.41
TRAMO 3	29250	13.95	-0.55	0.03	0.08	0.001001	0.95	14.71	54	0.58
TRAMO 4	16200	13.95	-0.61	0.26	0.28	0.000191	0.75	18.63	27.4	0.29
TRAMO 4	16150.0*	13.95	-0.59	0.24	0.27	0.000221	0.78	17.8	27.4	0.31
TRAMO 4	16100.0*	13.95	-0.58	0.23	0.26	0.00026	0.82	16.94	27.4	0.33
TRAMO 4	16050.0*	13.95	-0.56	0.21	0.25	0.000317	0.87	15.95	27.4	0.37
TRAMO 4	16000.0*	13.95	-0.54	0.18	0.23	0.000405	0.94	14.81	27.4	0.41
TRAMO 4	15950.0*	13.95	-0.53	0.15	0.2	0.000559	1.04	13.42	27.4	0.47
TRAMO 4	15900	13.95	-0.51	0.09	0.16	0.001001	1.24	11.24	27.4	0.62
TRAMO 5	2100	13.95	-0.55	0.23	0.25	0.000179	0.7	19.84	31	0.28
TRAMO 5	2050.00*	13.95	-0.53	0.22	0.24	0.000209	0.74	18.93	31	0.3
TRAMO 5	2000.00*	13.95	-0.52	0.2	0.23	0.000248	0.78	17.98	31	0.33
TRAMO 5	1950.00*	13.95	-0.5	0.18	0.22	0.000304	0.83	16.89	31	0.36
TRAMO 5	1900.00*	13.95	-0.48	0.16	0.2	0.000392	0.89	15.64	31	0.4
TRAMO 5	1850.00*	13.95	-0.47	0.13	0.18	0.000551	0.99	14.1	31	0.47
TRAMO 5	1800	13.95	-0.45	0.06	0.14	0.001001	1.19	11.68	30.37	0.61

En el Cuadro N° 27 se observa datos técnicos, como son el caudal total, la pendiente, el ancho de canal de los 5 tramos, la velocidad de cada uno de los tramos con estos datos se puede simular el cauce de río, sus variantes y sobre todo su comportamiento de los sedimentos en temporadas de avenida y de estiaje.

CONCLUSIONES

- Se demuestra que hay la presencia de las concentraciones de los metales pesados en los sedimentos del área de estudio, debido a que presentan en los cinco puntos como el arsénico el mayor valor de 36.72mg/kg, cadmio 10,271 mg/kg, el cromo 9.0039 y el plomo 26,74 respectivamente, Producto de las actividades humanas.
- El cadmio en la zona de estudio se encuentra por encima de los estándares de calidad para suelo, por que dieron un valor máximo de 9,0039 mg/kg de modo que en el corto plazo se podría esperar efectos a nivel de la biología y ecología de organismos asociados al río en la zona de Crucero y San Antón.
- El Pb, As, Cr y el Hg se encuentran por debajo de los estándares de calidad pero se en el mediano y largo plazo se puede tener alteraciones en la biología, ganadería y salud de los pobladores de la zona. Debido a que en la cabecera de cuenca existe minería ilegal.
- El modelamiento mediante HEC Ras permite conocer la sección transversal del río en los cinco puntos de monitoreo la pendiente, velocidad, área de flujo y el ancho del río mediante el modelo matemático aplicado.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de evaluación en el agua, la sangre de los pobladores aledaños, flora que se encuentran en las riberas del río, así también los peces para así poder determinar el grado de contaminación en la zona.
- Realizar estudios similares en todos los ríos afluentes del lago Titicaca, en diferentes estaciones del año y haciendo correlación con las precipitaciones mínimas y máximas.
- Realizar en forma periódica la evaluación ambiental de los ríos de la cuenca del lago Titicaca aplicando software y sistemas hidrológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, J. (2011), Informe Preparado por el Instituto de la Amazonía peruana - IIAP y el Ministerio del Ambiente, Lima- Perú, p. 29
- Astete, J., Cáceres, W., & Gatanaga, M., (2009). *Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros*. Revista Peruana de medicina. salud pública. Pp 15-19.
- Badilla, H., Viquez, C., & Zamora, E., (2005). *Evaluación de las Fuentes de Agua Potable de la Ciudad de Grecia*. Taller de Diseño Escuela de Ingeniería Civil.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D., & Stribling, J.B., (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition*. EPA 841B99002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C
- Bech, J., Tobías, F., & Roca, N., (1995). *nivells basals de metalls pesants i elements traça a sòls de catalunya*. Dossiers Agraris: Sòls contaminats, Institución catalana d'estudis agraris pp. 19-35.
- Betancourt, O., Narvaez A., & Roulet, M. (2005). *Small- scale gold mining in the Puyango River basin, southern Ecuador: A study of environmental impacts and human exposures*. EcoHealth, ed. 2, pp. 323-332.
- Bitar, J., & Camacho, L., (2005). *Implementación de un modelo de transporte de metales pesados en el Río Magdalena tramo Girardot – Honda*.
- Bombardelli, F.A., Menendez, A.N., & Montalvo, J.L., (1994). *Cuantificación del Impacto de los Vertidos en la Ría de Bahía Blanca*, Informe LHA-INCYTH 124-03-94, Vol. I, pp. 11-16.

- Boxall, J.B., Gyumer, I., & Marion, A., (2003). *Transverse mixing in sinuous natural open channel flows*, Journal of Hydraulic Research Vol. 41, No. 2 pp. 153–165.
- Bradshaw, A.D., & Mcneilly (1985). *Evolución y Contaminación*. Ed. Omega, 82 p.
- Brooks, R.R., Morrison, R.S., Reeves, R.D., & Malaisse, F., (1978). *Copper and cobalt in african species of aeolanthus mart. (plectranthinae, labiatae)*. Plant and Soil. pp. 503-507.
- Calcina L. E., (2006). *Presencia de metales pesados en la biota acuática (Orestias sp y Schoenoplectus tatora) de la desembocadura del río Ramis – lago Titicaca*. UNAP, 180 p.
- Cardini, J.C., & Garea, M., (2000). *Gasoducto Buenos Aires – Montevideo. Impactos Ambientales del Cruce del Río de la Plata. Anexo A – Estudios Hidrosedimentológicos de Dispersión de los Sedimentos Dragados*, Serman & asociados s.a. para Gasoducto Cruz del Sur. 159 p.
- Cardini, J.C., Garea, M., & Campos, M., (2002). *Monitoreo y pronóstico de evolución de la pluma de turbiedad para las operaciones de zanjeado y tapada en el Río de La Plata*. Informe Final, Informe PFR - IF - 08/03/02, Serman & asociados s.a. para Gasoducto Cruz del Sur.
- Cardini, J., Zabalett, A., Oliver, N., & Mársico, D., (2004). *Efecto de los coeficientes de dispersión sobre la modelación bidimensional del transporte de contaminantes. Caso de estudio*. Bariloche, Argentina. Mecánica Computacional Vol. XXIII, pp. 1201-1214.
- Castro J., & M. Monroy., (2002). *Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente*. San Luís de Potosí, México. UNESCO – INGEMMET – Perú.
- Cullen, W., & Reimer, K.J., (1989). *Arsenic Speciation in the Environment*, Chemical Revit. N° 89, pp. 713-764.
- Chapra, S. C., (1997). *Surface water quality modeling*. Ed Mc Graw Hill, University of Colorado at Boulder, United States.

- Chessman, B.C., (1995). *Rapid assessment of river using macroinvertebrates: a procedure based on habitatspecific sampling, family level identification and biotic index*. Australian Journal of Ecology 20: 122129
- Chaney, R.L., Chaney, L.I., Brown, S.L., Homer, F.A., Malik, M., Angle, J.S., Baker, A.J.M... & Chin, M. (2000). *Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems: approaches and progress*. En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Elder, J.M., (1959). *The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow*, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 5, 541-560.
- Estay L. A., (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, Departamento: Ordenación del Territorio Urbanismo y Medio Ambiente programa de doctorado: Ingeniería Civil y Medio Ambiente. 57- Universidad: Politécnica de Madrid.
- Ferrer, A., (2003). *Metal poisoning*. San Navarra; 141-153. Análisis. 26 p.
- Fisher, H.B. (1969). *The Effects of Bends on Dispersion in Streams*, Water Resources Research 5(2), pp. 496–506.
- Flores, H., (2008) *Inspección del Rio Ramis, Puno: Núcleo de afirmación del saber andino*. Autoridad Nacional del Agua. 35 p.
- 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. Ed. 51, pp. 5-23.
- Forstner, U., & Wittmann, G.T.W., (1979). *Metal pollution in the Aquatic Environment*. Springer-Verlag, Berlín, 486 p.
- Gerbrandt, B., (2004). *Contaminación del Lago Titicaca y afluentes por mercurio y otros elementos pesados*. Metalurgia, Materiales y Soldadura, N° 1, pp. 34-39.
- Ghetti, P.F., (1986). *I macroinvertebrati nell' analisi di qualitia dei corsi d' aqua*. Provincia Autonoma de Trento. In: Toman, M.J. & F. Steinman, (Eds.). *Biological assessment of stream water quality (theory, application and comparison methods)*. University of Ljubjana. Ljubjana. 145 pp.

- González V.J., & León V. L., (1992). *Estudio de Trazado y Calibración de Modelo Numérico en un Tramo del Río Lerma*, México. 200 p.
- González, J.A., & Martínez, A.P., (1990), *Método general para calcular coeficiente de dispersión longitudinal en ríos*, Revista Ingeniería Hidráulica en México, Vol. V, (2), II Época, pp. 26-31.
- Guerrero B., Carlos B. y Zavala C., (2006). *Influencia de la actividad minera en la cuenca del río Ramis – Puno*. Obtenido el 17 de Noviembre del 2008 en el sitio web <http://www.ingemmet.gob.pe/publicaciones/Cap2-Trab4.pdf>
- García, I., & Dorronsoro, C., (2005). *Contaminación por metales pesados. En: Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. 125 p.
- GEO Titicaca (2011). *Apoyo a la gestión integrada y participativa del agua en el sistema hídrico Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS)*. Copyright © 2011, PNUMA. Avenida Morse, edificio 103. Clayton, Ciudad del Saber, corregimiento de Ancón. Ciudad de Panamá, Panamá. Editora Novo Art, S.A. en Panamá.
- Gutiérrez, A., (1997). *Concentraciones de metales pesados en la vegetación autóctona desarrollada sobre suelos del entorno de una mina abandonada Bubierca-Zaragoza*. Boletín Geológico y Minero.; 108 p. edc. 1, pp69-74.
- Guevara, R., Gonzales, J., & Sanoja, E. (2005). *Vegetación pionera sobre rocas, un potencial biológico para la revegetación de áreas degradadas por la minería de hierro*. Interciencia, 30 p.
- Harleman, D.H.F., (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 (Eds.). Biological indicators of water quality. John Wiley & Sons. Great Britain, 145 p.
- Hellawell, J.M., (1986). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier Applied Science, London. 122 p.
- ITCR (2000). *Evaluación ambiental para un manejo sostenible de la Cuenca del Río San Carlos y Río Tres Amigos*. Obtenido el 17 de Noviembre del 2008 en el sitio web http://www.eco-index.org/search/pdfs/APROSAMA_4.pdf

- Kuiper, D., (1984). *Genetic differentiation and phenotypic plasticity in populations of Plantago lanceolata I response to nutrient level. In: Genetic differentiation and Dispersal in Plants.* Ed. P. Jacquard, G.Heim y J. Antonovics. Ecological Science 5. pp: 251-269.
- León, L.F., & Martínez, A.P., (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, pp. 381-386.
- Lopez, M.V., (1981). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales en Prospectiva de la Biotecnología.* México: Ed. CONACYT.
- López, M., & 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.
- López H.M., (1997). *Caracterización limnológica del Río Duero, Michoacán* Tesis Doctoral en ciencias Biológicas UNAM Facultad de ciencias. 105 p.
- López, M., Ramos, M., & Hernández, M., (2002). *Biomonitoreo rápido para evaluar contaminación orgánica en el río Lerma.* UFBA, Argentina, 215 p.
- Llugany, M., Tolrà, R.; Poschenrieder, C. & Barceló, J., (2007). *Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre?* *Ecosistemas*, edic.2, 16 p: pp.4-9.
- Macnair, M. (1987). *Heavy metals tolerance in plants: A model evolutionary system.* *Tree.* 2(12).
- Mcnaughton, S.J., Folsom, T.C., Lee, T., Park, F., Price, C., Roeder, D., Schmitz, J., Stockwell, C., (1974). *Heavy metal tolerance in Typha latifolia without the evolution of tolerant races.* *Ecology*, edic: 55, pp. 1163-1165.
- Monroy, M., Diaz, F., Razo, I., Carrizales, L., (2009). *Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados (Pb, Cu, Zn) y análisis de riesgo en salud en Villa de la Paz, Matehuala, S.L.P,* Cuad. med. Forense 2004, 35 (fecha de acceso 15 de junio del 2009).
- Martínez A., (1988). *Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría.* Primera Edición. Editorial Trillas. México DF, México. 756 p.

- Müller, G., (1979), *Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins-Veränderungen SEIT*. Umschau, 79, p. 778-783
- Mustow. S.E., (2002). *Biological monitoring of rivers in Thailand; use and adaptation of the BMWP score*. Hydrobiology 479: 229-229.
- Minson, D. J., (1990). *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press: San Diego, USA
- Payne A.I., (1986). *The ecology of tropical lakes and rivers*. John Wiley & Sons, Chichester, Great Britain. 245 p.
- Prasad, .M.N.V., & Hagemeyer, J., (1999). *Eds. Heavy metals Stress in plants*, Springer, Berlin, 401 p.
- Proctor, J., (1992). *Chemical and ecological studies on the vegetation of ultramafic sites*, Britain, pp. 135-167. In, Roberts, B.A. and J. Proctor (eds). *The ecology of areas with serpentized rocks*. A world view. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Rascio, N., (1977). *Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits*. Oikos 29, pp. 250-253.
- Reid, R., (2001). *Mechanisms of micronutrient uptake in plants*. Australian Plant Physiology. pp. 659-666.
- Reeves, R.D., & Baker, A.J.M., (1984). *Studies on metal uptake by plants 190 from serpentine and non-serpentine populations of Thlaspi goesingense Hálácsy (Cruciferae)*. New Phytologist, pp. 191-204.
- Reeves, R.D., (2006). *Hyperaccumulation of trace elements by plants*. In: *Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 2 (68), pp. 25-52.
- Rivera, H., (2001). *Introducción a la geoquímica general y aplicada*. UNI Lima- Perú, 279 p.
- 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.
- Rutherford, J. C., (1994). *River mixing, NIWA Ecosystems Natural Institute of Water and Atmosphere Research Hamilton, New Zealand*, 85 p.

- SEDUE (1989). *Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Criterios Ecológicos de Calidad de Agua*, CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación, Tomo CDXXX. No. 9. México, D.F.
- 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. 13 p.
- Taylor, G.J., & Crowder, A.A., (1984). *Copper and nickel tolerance in Typha latifolia clones from contaminated and uncontaminated environments*. Canadian Journal of Botany, 62, 1304-1308.
- Taylor, G.L., (1954). *The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe*, Proc. Soc. London Ser., A-223, pp. 446-468.
- Thorne, R.S., & W.P. Williams. (1997). *The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment*. Freshwater Biology 37: 671-686.
- Tlustos, P., Pavlíková, D., Száková, J., & Balík, J., (2006). *Plant accumulation capacity for potentially toxic elements. In: Phytoremediation of Metal-Contaminated Soils*. Ed. Springer. 3 (68), 53-84.
- Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H. (1961). *Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust*. Geological Society of America, Bulletin 72: 175-192.
- UNIVERSIDADE DE VIGO (2002). *As troitas do río miño, en Ourense están contaminadas con metales pesados*.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO; UNIVERSIDAD MONTANA TECH, CALIFORNIA -USA. (2003). *Evaluación Ambiental de Procesamiento de Oro por Amalgamación por Mercurio*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Usero, J., Morillo, J., Gracia, I., (1997). *Contaminación por metales en los sedimentos acuáticos*. Tecnología del agua, pp. 47-54.
- Valdez. F., & Cabrera, VM., (1999). *Contaminación por metales pesados en Torreon, Coahuila*, México 1° Edi. Texas Center for Policy Studies CILADHAC, Torreon. 75 p.
- Wilhm, L. F., (1975). *Biological indicators of pollution*. En: Whiton, B.A. (ed). *River Ecology*. Univ. of Calif. Press. Berkeley, California. 375-402 pp.

WHO, (1993). *Guidelines for drinking-water quality. Volume 1: Recommendations, 2nd ed.*

World Health Organisation, Geneva.

Zavala, B., & Guerrero, C. (2005). *Estudio geoambiental de la cuenca del río Ramis,*
informe en edición. Normas Riverside.



ANEXOS

Anexo 1. Evidencias Fotográficas



Figura 25. Conservación De Muestras.



Figura 26. Etiquetado De Muestras.



Figura 27. Punto N° 1 De Muestreo.



Figura 28. Punto N° 2 De Muestreo.



Figura 29. Punto N° 3 De Muestreo.



Figura 30. Punto N° 4 De Muestreo.



Figura 31. Punto N° 5 De Muestreo.



Anexo 2. Certificados de Laboratorio



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-17-02783

Pág: 1/4

Hoja de datos

Señores: DANTE SALAS
 Dirección: Av. Seicentenario N° 1150 Ciudad Universitaria - Puno
 Atención: DANTE SALAS
 Proyecto: Trabajo de Investigación

Producto(s) Declarado(s): Sedimentos
 Nro de muestras: 5
 Muestreo a cargo de(l): DANTE SALAS
 Fecha de recepción: 05/06/2017
 Fecha de ensayo: 05/06/2017
 Fecha de emisión: 08/06/2017
 Condiciones de recepción de la muestra: Muestras Conservadas
 Observaciones : ----

Método de ensayo aplicado

*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP -AES, Revisión 4.4.

Cod Int. #	Nombre de muestra	Lugar de muestreo	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD17000075	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	PUENTE CRUCERO DV.LIMBANI / CARABAYA / PUNO	E:391545 N:8411142	04/05/17	08:00 a.m.
SD17000076	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	ZONA CCATUYO GRANDE / CARABAYA / PUNO	E:357497 N:8387357	04/05/17	09:20 a.m.
SD17000077	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	PUENTE SAN ANTON CARABAYA / PUNO	E:373985 N:8416554	04/05/17	11:00 a.m.
SD17000078	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	ZONA CHOQUESANI / CARABAYA / PUNO	E:363981 N:8385408	04/05/17	12:30 p.m.
SD17000079	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	ZONA CARLOS GUTIERREZ / CARABAYA / PUNO	E:364053 N:8404909	04/05/17	01:50 p.m.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Germán A. Jiménez Solo
 Gerente de Operaciones
 M. Sc. Ingeniería Química CIP 114428

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-17-02783

Hoja de resultados

08/06/2017

Pág.: 2/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	COORDENADAS	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003
			Ag MT mg/Kg	Al MT mg/Kg	As MT mg/Kg	B MT mg/Kg	Ba MT mg/Kg	Be MT mg/Kg	Ca MT mg/Kg	Cd MT mg/Kg	Co MT mg/Kg	Cr MT mg/Kg
SD17000075	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:391545 N:8411142	<0,24	7 410	36,72	<0,53	82,277	0,116135	3 610	10,271	13,107	9,0039
SD17000076	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:357497 N:8387357	<0,24	4 980	20,29	<0,53	106,10	0,077437	9 530	6,1006	10,726	6,0171
SD17000077	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:373985 N:8416554	<0,24	5 140	20,24	1,197	120,71	0,077764	> 10 000	5,9776	10,247	6,2139
SD17000078	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:363981 N:8395408	<0,24	5 140	16,65	<0,53	106,20	0,071863	> 10 000	5,9508	9,846	6,8729
SD17000079	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:364053 N:8404009	<0,24	5 780	21,00	9,520	92,369	0,070504	5 620	7,1396	10,213	7,8676

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Cesar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114424

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-17-02783

Hoja de resultados

08/06/2017

Pág.: 3/4

Codigo Interno #	Nombre de Muestra	COORDENADAS	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003
			Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P
			MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
			mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD17000075	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E-391545 N-8411142	24,90	> 10.000	≪0,041	799	19.706	2.725	477,41	≪0,038	110	18.964	472,5
SD17000076	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E-357497 N-8387357	25,45	> 10.000	≪0,041	572	13,321	1.803	365,20	≪0,038	90,7	15,358	421,4
SD17000077	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E-373985 N-8416554	25,71	> 10.000	≪0,041	641	15,003	1.988	324,49	0,483	≪67	15,190	373,3
SD17000078	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E-363981 N-8395408	23,95	> 10.000	≪0,041	637	13,982	2.049	389,86	0,40695	133	15,149	380,4
SD17000079	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E-364053 N-8404909	17,71	> 10.000	≪0,041	636	15,477	2.223	393,53	≪0,038	83,1	15,790	415,3

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114425

“<Valor numérico” = Límite de detección del método, “≪Valor Numérico” = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS-17-02783

Hoja de resultados

08/06/2017

Pág.: 4/4

Código Interno #	Nombre de Muestra	COORDENADAS	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003	7003
			Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	TI	V	Zn
			MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT	MT
			mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
SD17000075	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:391545 N:8411142	26,74	2,9049	<<0,2	0,693	23,46	77,918	<<0,13	13,979	1 227
SD17000076	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:357497 N:8387357	25,47	0,67661	<<0,2	<<0,085	31,18	56,109	<<0,13	9,4417	560,1
SD17000077	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:373985 N:8416554	19,23	2,9138	<<0,2	<<0,085	61,97	66,702	<<0,13	9,6943	497,0
SD17000078	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:363981 N:8395408	23,36	1,1233	<<0,2	0,194	33,09	59,879	<<0,13	9,3755	524,0
SD17000079	SEDIMENTO - RIO CRUCERO	E:364053 N:8404909	21,97	2,0495	<<0,2	0,661	24,84	62,169	<<0,13	10,365	573,0

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

™<Valor numérico> = Límite de detección del método, ™<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.