

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**EVALUACIÓN DE METALES PESADOS Y COSTO AMBIENTAL  
EN LOS SEDIMENTOS DEL RIO CHACAPALCA, PROVINCIA DE  
LAMPA – REGIÓN PUNO, 2017**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Br. MIRIAN VASQUEZ CHOQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**

**EVALUACIÓN DE METALES PESADOS Y COSTO AMBIENTAL  
EN LOS SEDIMENTOS DEL RIO CHACAPALCA, PROVINCIA DE  
LAMPA – REGIÓN PUNO, 2017**



**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

Br. MIRIAN VASQUEZ CHOQUE

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE:**

  
Dr. NICANOR MIGUEL BRAVO CHOQUE

**PRIMER MIEMBRO:**

  
M.Sc. GILMAR GAMALIEL GOYZUETA CAMACHO

**SEGUNDO MIEMBRO:**

  
M.Sc. VICKY CRISTINA GONZALES ALCOS

**DIRECTOR / ASESOR:**

  
Blgo. HERMINIO RENE ALFARO TAPIA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26/12/18

ÁREA : Ciencias Biomédicas

TEMA : Calidad de agua

## DEDICATORIA

*A la memoria de mi Sra. Madre, FLORENCIA CHOQUE CUCHO, quien junto con Dios me bendice y me guía siempre a ser mejor persona y profesional.*

*Mi eterna gratitud a mi sr. Padre, ALEJANDRO VASQUEZ GARCIA, a mi compañero de la vida, HARNOLD HUAMAN SURCO, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzado una meta en mi formación profesional, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo seguir hasta el final.*

*A mi hijo JIN GARETH HUAMAN VASQUEZ, por su comprensión por el tiempo completo que debió ser para él.*

*Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.*

## AGRADECIMIENTO

- Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano Puno, y en especial a la Escuela Profesional de Biología, por haber contribuido en mi formación como profesional.
- A los docentes de la Escuela Profesional de Biología quien impartieron sus conocimientos durante mi formación profesional.
- Mi reconocimiento a mi director y asesor de tesis Blgo. HERMINIO RENE ALFARO TAPIA, por su orientación y apoyo constante para la concretización de la presente investigación.
- A los docentes integrantes miembros del jurado, quienes contribuyeron con su comprensión y orientación en la culminación satisfactoria del presente trabajo.
- Finalmente, expreso mi gratitud a todas las personas que de alguna manera han colaborado con ideas y consejos durante todo el transcurso de mi carrera y especialidad en el desarrollo de esta investigación.

**INDICE GENERAL**

I.	INTRODUCCIÓN .....	11
II.	REVISION DE LITERATURA.....	12
2.1.	ANTECEDENTES .....	12
2.2.	MARCO TEORICO .....	16
2.2.1	Metales pesados.....	16
2.2.2	Costo ambiental .....	21
2.2.3	Sedimentos.....	21
2.2.4	Rio .....	21
2.2.5	Lixiviación en pilas y cianuro.....	22
2.2.6	Unidad minera Arasi.....	22
2.3.	MARCO CONCEPTUAL .....	23
III.	MATERIALES Y METODOS .....	25
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO .....	25
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS .....	25
3.2.1	CAMPO .....	25
3.2.2	LABORATORIO.....	25
3.3.	METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTO.....	26
3.3.1	TIPO DE INVESTIGACION .....	26
3.4.	POBLACION Y MUESTRA .....	27
3.5.	Método de análisis .....	27
3.7.	VARIABLES .....	30
3.8.	Estadística aplicación de datos.....	30
3.9.	Análisis por objetivos específicos.....	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1.	Determinación de las concentraciones de metales pesados en los sedimentos en el rio chacapalca de la región puno, 2017.....	32
4.2.	Evaluacion del costo ambiental de las concentraciones de metales pesados .....	36
V.	CONCLUSIONES .....	49
VI.	RECOMENDACIONES.....	50
VII.	CITAS BIBLIOGRAFICAS .....	51
VIII.	ANEXOS .....	61

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Materiales y equipos utilizados en el muestreo en el río Chacapalca región puno, 2017.....	26
Figura 2. Valores (media $\pm$ 1EE) de metales. bajo diferentes puntos de muestreo. N por cada barra = Letras iguales significan que no hay diferencias significativas (p<0.05).....	34
Figura 3. Mortandad de alpacas al consumir agua contaminada de río Chacapalca- Puno 2017.....	39
Figura 4. Morbilidad de ganado ovino al consumir agua contaminada de río Chacapalca- Puno 2017.....	40
Figura 5. Ingreso de metales pesados a la cadena alimenticia a través del ganado ovino al consumir agua contaminada de río Chacapalca- Puno 2017.....	41
Figura 6. Ingreso de metales pesados a la cadena alimenticia a través del ganado vacuno al consumir agua contaminada de río Chacapalca- Puno 2017.....	43
Figura 7. vertimiento de lixiviación sin tratamiento de la ptar de la minera Arasi al río Chacapalca- Puno 2017.....	44
Figura 8. Vertimiento de lixiviación sin tratamiento de la ptar de la minera Arasi al río Chacapalca- Puno 2017.....	45
Figura 9. Vertimiento de lixiviación sin tratamiento de la ptar de la minera Arasi al río Chacapalca- Puno 2017.....	47
Figura 10. Mapa cartográfico del río Chacapalca (rectángulo). ....	61
Figura 11. Zona de investigación en los tres puntos de muestreo. ....	61
Figura 12. Procedimiento de muestreo del análisis de metales pesado en el río Chacapalca de la región Puno 2017.....	62
Figura 13. Extracción de muestra en las bolsas herméticas pesado en el río Chacapalca de la región puno 2017.....	62

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de vertimiento autorizados por ANA Chacapalca región Puno, 2017..	16
Tabla 2. Puntos de muestreo en el rio Chacapalca región Puno, 2017.....	27
Tabla 3. Criterio de puntuación. ....	29
Tabla 4. Categorías del costo ambiental. ....	29
Tabla 5. Límites permisibles para metales reportados en sedimentos por CEQG.....	31
Tabla 6. Concentraciones de metales pesados en los sedimentos del rio Chacapalca - región Puno, 2017.....	32
Tabla 7. Análisis de varianza de metales pesados en los sedimentos (mg/KG) del rio Chacapalca - región Puno, 2017.....	33
Tabla 8. Concentraciones de metales pesados que supera el LMP en los sedimentos comparados con el ISQG en el rio Chacapalca, región Puno, 2017.....	36

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- **Ar:** Configuración electrónica
- **AsB:** Arsenobetaína
- **AsC:** Arsenocolina
- **CEQG :** Canadian Environmental Quality Guidelines
- **DMA:** Acidodimetilarsínico
- **FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- **HCl:HNO<sub>3</sub>:** Ácido clorhídrico: ácido nítrico
- **ISO:** Norma Internacional de Estandarización
- **ISQG:** Guía interina de calidad para sedimentos
- **LD<sub>50</sub>:** Dosis letal
- **MMA:** Monometilarsónico
- **NTP:** Norma Técnica Peruana
- **PM:** Puntos de muestreo
- **PTAR:** Plantas d tratamientos para aguas residuales
- **-SH:** Grupo sulfridilo
- **TETRA:** Ion tetrametilarsonio
- **TMAO:** Óxido de trimetrilarsina
- **UNESCO:** Organización de las Naciones Unidas para Educación, la Ciencia y la Cultura
- **UPFI:** Uso personal-farmacéutico-industrial



## RESUMEN

La contaminación de los ecosistemas acuáticos por sedimentos expuestos a elementos químicos, constituye no solo un riesgo ambiental sino, posible costo ambiental no deseado sosteniblemente. El objetivo del estudio fue evaluar la concentración de metales pesados y el costo ambiental en los sedimentos del río Chacapalca, Provincia Lampa-Región, Puno. Entre septiembre y diciembre del 2017, fue realizado un muestreo probabilístico aleatorio en tres puntos A, B y C. de exposición donde la cuantificación se realizó por espectrometría de absorción atómica con plasma inductivamente acoplado mediante digestión ácida. Se evaluó un total de 31 metales en el río Chacapalca, 24 metales están por debajo del LMP, 7 metales por encima de LMP como: arsénico, aluminio, cromo, cobre, plomo, zinc, níquel, los datos se introdujeron al software statgraphics centurión en el test shapiro-wilk y la comparación con análisis de varianza con significativo  $p < 0,05$ . El costo ambiental el cual relacionó mediante un cociente, el costo de evaluación medido contra el costo preventivo normativo. Se encontró que las concentraciones de arsénico (mg/Kg) en los puntos de muestreo fueron: A=  $8,39 \pm 0,01$ ; B=  $9,41 \pm 0,01$  C=  $6,33 \pm 0,01$ , aluminio (mg/Kg) A=  $9988 \pm 0,01$ ; B=  $9011 \pm 0,01$  C=  $9067 \pm 0,01$ , cromo (mg/Kg) A=  $13,29 \pm 0,01$ ; B=  $22,55 \pm 0,01$ , C=  $20,34 \pm 0,01$ , cobre (mg/Kg) A=  $91,19 \pm 0,01$ ; B=  $114,2 \pm 0,01$ , C=  $44,30 \pm 0,01$ , níquel (mg/Kg) A=  $5,55 \pm 0,01$ ; B=  $20,13 \pm 0,01$ , C=  $15,17 \pm 0,01$ , plomo (mg/Kg) A=  $24,83 \pm 0,01$ ; B=  $59,62 \pm 0,01$ , C=  $69,14 \pm 0,01$ , zinc (mg/Kg) A=  $54,03 \pm 0,01$ ; B=  $185,3 \pm 0,01$ , C=  $84,51 \pm 0,01$ , las cuales superaron el límite permisible (ISQG) según refirió la norma canadiense utilizada (CEQG). Entre los valores hallados se observó que, no hay diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los puntos de muestreo. Según el análisis del RESCO se obtuvo un cociente de 0,23 por lo que, fue categorizado entre 0.0 a 0.40 COA de forma integrada los sedimentos como recursos no sostenibles. Se concluyó que, ante las concentraciones elevadas de metales pesados en los sedimentos, existió contaminación ambiental lo cual, fue perjudicial como valoración sobre el estado de equilibrio del río Chacapalca. Asimismo, la calidad de los sedimentos no fue aceptada y al categorizarse como recurso poco sostenible relativo, el valor de uso del río Chacapalca, por lo tanto se ve afectado la biodiversidad acuática y la población siendo el río más grande del distrito Ocuvirí el ganado ingresa a beber de esta agua con metales pesados, ingresando de esta manera a la cadena alimenticia, produciendo enfermedades en el ser humano.

**Palabras clave:** persistencia, costo ambiental, metales pesados, sedimentos superficiales, río Chacapalca

## ABSTRACT

The contamination of aquatic ecosystems by sediments exposed to chemical elements, constitutes not only an environmental risk but also a possible environmental cost that is not sustainable. The objective of the study was to evaluate the concentration of heavy metals and the environmental cost in the sediments of the Chacapalca River, Lampa Region, Puno. Between September and December 2017, random probabilistic sampling was carried out at three points A, B and C. of exposure where the quantification was performed by atomic absorption spectrometry with inductively coupled plasma by acid digestion. A total of 31 metals were evaluated in the Chacapalca River, 24 metals are below the LMP, 7 metals above LMP such as: arsenic, aluminum, chromium, copper, lead, zinc, nickel, the data were introduced to the software statgraphics centurion in the shapiro-wilk test and the comparison with analysis of variance with significant  $p < 0.05$ . The environmental cost which was related by means of a quotient, the cost of evaluation measured against the normative preventive cost. It was found that the concentrations of arsenic (mg / Kg) at the sampling points were: A=  $8.39 \pm 0.01$ ; B= $9.41 \pm 0.01$ ., C=  $6.33 \pm 0.01$ , aluminum (mg / Kg) A=:  $9988 \pm 0.01$  B=;  $9011 \pm 0.01$ ., C=  $9067 \pm 0.01$ , chromium (mg / Kg) A=  $13.29 \pm 0.01$ ; B=  $22.55 \pm 0.01$ ., C=  $20.34 \pm 0.01$ , copper (mg / Kg) A= $91.19 \pm 0.01$ ; B=  $114.2 \pm 0.01$ ., C=  $44.30 \pm 0.01$  (3) nickel (mg / Kg) A=  $5.55 \pm 0.01$ ; B=  $20.13 \pm 0.01$ ; C=  $15.17 \pm 0.01$ , lead (mg / Kg) A=  $24.83 \pm 0.01$ ; B=  $59.62 \pm 0.01$ ., C=  $69.14 \pm 0.01$ , zinc (mg / Kg) A=  $54.03 \pm 0.01$ ; B=  $185.3 \pm 0.01$ ., C=  $84.51 \pm 0.01$  which exceeded the permissible limit (ISQG) according to the Canadian standard used (CEQG). Among the values found, there were no statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) between the sampling points. According to the RESCO analysis, a quotient of 0.23 was obtained, so sediments were categorized as unsustainable resources. It was concluded that, in the presence of heavy concentrations of heavy metals in the sediments, there was environmental contamination, which was detrimental as an assessment of the equilibrium state of the Chacapalca River. Likewise, the quality of the sediments was not accepted and, when categorized as a relatively unsustainable resource, the use value of the Chacapalca River.

**Keywords:** persistence, sustainable environmental cost, heavy metals, surface sediments, Chacapalca river.

## I. INTRODUCCIÓN

En las tres décadas, se ha visto surgir el interés de la población por entender el agua como un recurso indispensable para la salud humana de una manera sencilla, con el fin de dar a conocer el valor que ofrece la naturaleza como aspecto vital, el agua es un recurso necesario a nivel mundial, estando en desequilibrio dentro de los ecosistemas acuáticos, ya que las plantas de tratamientos convencionales, no están diseñadas para la remoción de los contaminantes emergentes conociendo sus efectos endocrinos sobre la salud humana. Numerosos procedimientos tecnológicos implementados en las plantas de tratamiento por lo general, no eliminan la toxicidad de los metales pesados, lo cual hace que los efluentes sean vertidos con elevada peligrosidad, resultando que su seguridad por valor de uso posterior sea poco eficiente.

Particularmente, la no biodegradabilidad de los metales pesados hace que puedan bioacumularse en organismos inferiores y luego, biomagnificarse causando riesgos irreparables en la salud humana. En el río de Chacapalca al estar expuestos a metales en sus aguas permanente durante todo el año, pudiendo traer consecuencias negativas al ecosistema y la salud humana que desarrollan determinadas actividades de beneficio comunitario como la ganadería y la agricultura, la cual se desarrolla en este espacio geográfico, los metales presentes en el río de Chacapalca son movilizados hacia los sedimentos debido a, las corrientes de agua y a su propio peso, la variabilidad hidrogeológica puede contribuir a una redistribución de los sedimentos, así como un ciclo biogeoquímico alterando en la interface agua – sedimento, incluyendo los metales pesados retenidos la eco toxicológico por exposición a metales pesados, ha sido medida mediante modelos informatizados uso de índices y por bioensayos, Sin embargo, estas mediciones de forma independientes, quizás limiten algunas interpretaciones sobre la calidad ambiental económica y sostenible de los recursos acuáticos.

### **OBJETIVOS**

Evaluar los metales pesados y costo ambiental en los sedimentos del río Chacapalca, Provincia Lampa – Región Puno

#### **Objetivos específicos**

1. Determinar las concentraciones de metales pesados en los sedimentos.
2. Evaluar el costo ambiental sostenible de las concentraciones de metales pesados.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES

Calderón et al, (2003); Qadir & Malik, (2011), indican que la contaminación de las aguas en las cuencas hidrográficas por metales, representan una gran preocupación ambiental (Dixit et al., 2015), la exposición de metales pesados en los ecosistemas acuáticos, potencialmente perjudican su funcionalidad, por cuanto se hace necesario comprender sus contenidos totales, movilidad y persistencia ambiental dentro en la columna de agua (Hepp et al., 2017) de primer orden indican que es ineludible para cualquier gestión ambiental y restauración ecosistémica, ya que el uso de aguas contaminadas para fines de riego, podría causar problemas en la producción de cultivos y en consecuencia, a la cadena alimentaria.

Subhani et al., (2015), señala que la toxicidad de las concentraciones de metales pesados es reconocida como carcinogénica causando deformidades y mutaciones (Norra, Chandrasekharam & Stu, 2005) incluso a bajas concentraciones, (Gall, Boyd & Rajakaruna, 2015). Asimismo, en seres humanos y otros animales causa trastornos neurológicos, enfermedades hepáticas y renales, cáncer, trastornos gastrointestinales y otros problemas de salud.

Salgado et al., (2010), al estar expuestos al cromo y el cadmio son considerados cancerígenos por la Agencia de Investigación sobre el Cáncer de la OMS, la IARC1-2, mientras que el plomo y el mercurio preocupan especialmente por su neurotoxicidad (Atkins, 2008), el cromo es además alergénico. El cadmio produce afectación pulmonar y renal y osteomalacia y osteoporosis (Reimann et al, 2009), el plomo, a su vez, produce daño renal y anemia.

Tchounwou et al., (2014). Se ha enumerado una variedad de complicaciones a la exposición al arsénico en sistemas de órganos los que pueden ser el sistema tegumentario, nervioso, endocrino, respiratorio, cardiovascular, hematopoyético, inmunológico, hepático, renal, reproductivo y desarrollo (Silva, 2015), es por ello que el As, es un elemento químico del medio ambiente de gran preocupación para la salud humana, ya que el efecto tóxico crónico del As produce diversas manifestaciones sistémicas por encima de las lesiones cutáneas, siendo importantes las enfermedades pulmonares crónicas como bronquitis crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y

bronquiectasias, enfermedad hepática (Guha & Dasgupta, 2011), como fibrosis portal no cirrótica y otras enfermedades como polineuropatía, enfermedad vascular periférica, hipertensión e isquemia enfermedad cardiaca, diabetes mellitus, edema no pitting de pies / manos, debilidad y anemia.

Majumdar & Mazumder, (2012), debido al consumo de agua contaminada con arsénico causa una morbilidad significativa en los niños, lo que resulta en lesiones cutáneas, enfermedad pulmonar y defectos en la función intelectual (Le et al., 2004). se debe principalmente a que puede interferir con las funciones enzimáticas esenciales y procesos de transcripción celulares, provocando multitud de efectos adversos sobre la salud humana. La elevada toxicidad de las especies trivalentes de arsénico se debe a su capacidad de interacción con los grupos sulfhidrilo (-SH), presentes en proteínas y enzimas ricas en residuos de cisteína Winship, (1984). adenosín trifosfato (ATP), privando a la célula de energía, mientras que la arsina causa la hemólisis de las células sanguíneas.

Agudelo, 2005; He *et al.*, (2014), contribuye que la disponibilidad de agua dulce en todo el mundo es crítica y cada día es más compleja, debido a factores como la contaminación del recurso hídrico, la manipulación económica y la fuente de poder que representa para quienes la posee (Duarte *et al.*, 2002), la creciente demanda de agua para la agricultura, industria y el consumo doméstico, han creado competencias que se reflejarán probablemente en unos 15 años debido al crecimiento demográfico; y a la falta de planificación, educación y conciencia.

Durante el 3er Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo celebrado el 16 de marzo de 2009 en la ciudad de Estambul-Turquía, se mostraron con múltiples datos que, en el 2030, el 47% de la población mundial vivirá en zonas con estrés hídrico (OECD, 2008), donde diversos científicos sostuvieron el argumento que el calentamiento global intensificará, acelerará o aumentará el ciclo hidrológico global.

Loaiciga et al., (2014). Asimismo, una revisión realizada por Huntington (2006), sobre más de 100 estudios basados en observaciones sobre los cambios recientes en el ciclo hidrológico mundial, puso en evidencia que sobre la segunda mitad del siglo XX hubo una mayor tendencia a sufrir escorrentías (Montenegro *et al.*, 2015). inundaciones y sequías, así como otros fenómenos y variables relacionados con el clima a niveles regionales y mundial

FAO (1992), definió la contaminación del agua como "la introducción por el hombre en el ambiente acuático (mares, ríos y lagos) de elementos abióticos o bióticos que causen efectos dañinos o tóxicos, perjudiquen los recursos vivos, constituyan un peligro para la salud humana, obstaculicen las actividades marítimas (incluida la pesca), menoscaben la calidad del agua", incluyendo lo planteado por Wang y Zang (2014) que la contaminación del agua disminuyan los valores estéticos y de recreación. Sin embargo, hoy en día la contaminación de las aguas es cada vez más preocupante, ya que están expuestas a sustancias y preparados químicos peligrosos, uso de biocidas y plaguicidas fitosanitarios, sustancias carcinógenas, mutágenos y tóxicas para la reproducción, compuestos orgánicos volátiles (Olivares *et al.*, 2012;), sustancias persistentes bioacumulables y tóxicas: las dioxinas (Kogevinas & Janer, 2000) y furanos, bifenilos policlorados, alteradores endocrinos.

Olea *et al.*, (2002), así como los metales pesados que afectan la salud animal en los ecosistemas acuáticos (Dixit *et al.*, 2015), donde todos los contaminantes anteriormente mencionados representan reales amenazas, por cuanto deberán ser objeto de medidas de evaluación, reducción y control de su riesgo, (Wang y Zang, 2014), pudiendo ser entonces incorporados a cualquier legislación nacional e internacional para la protección ambiental de las aguas y, por ende, su valoración económica.

Butlerl (2005), refiere que el costo ambiental de la calidad ambiental ha sido abordada desde diferentes perspectivas, externalidades, derecho de propiedad y eficiencia económica, así como desde la razón sobre la pérdida del bienestar. Por su parte Volk *et al.*, (2008), refieren que se han planteado otros enfoques donde se busca establecer conexiones teóricas entre los sistemas ecológicos y los económicos, integrándose en ellos la relación hombre-naturaleza. Aunque los beneficios económicos de la minería aurífera artesanal y a pequeña escala que es practicada en más de 70 países es reconocida por la generación de empleos que convierten a esta actividad en cargo de subsistencia, especialmente para los sectores más pobres de la población mundial, se genera a partir de sus procesos varias externalidades negativas como la contaminación de recursos deseados y que representan fuentes de ingreso para el desarrollo humano.

Cordy *et al.*, (2011), En su estudio sobre la explotación minera, sus impactos ambientales y en salud: El caso de Potosí en Bogotá, señalaron que el tratar de entender (La Rotta & Torres, 2017), el modelo de desarrollo en las ciudades, pero con el costo de enfermedades

generadas por la contaminación, habría que modificar tales perspectivas, ya que la sociedad se expone a patrones de protección vulnerables. (Aparicio, 2010), otro estudio destaca, los riesgos de la contaminación minera y su impacto en los niños donde existe evidencia de neurotoxicidad en niños de 6 a 8 años que viven en la zona San José de Oruro, como producto de la contaminación minera (Saldarriaga., *et al.*, 2013), como también efectos de neurotóxicos en niños de 6 a 8 años de la ciudad de Copacabana del departamento de La Paz.

UNESCO (2015), indica que el saneamiento y el tratamiento de aguas residuales son esenciales para el desarrollo sostenible y son fundamentales para los ecosistemas y la salud humana como resultado, el número de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que operan en todo el mundo ha aumentado significativamente. Por lo tanto, la evaluación de su eficiencia desde un punto de vista holístico, debe integrar cuestiones económicas y ambientales para garantizar su sostenibilidad a largo plazo (Lu, Du & Huang, 2017). Es por ello que, en las últimas décadas, el tratamiento de aguas residuales ha recibido una creciente atención en todo el mundo como una de las actividades relevantes para asegurar la sostenibilidad ambiental.

Merington et al., (2017), la tendencia de toda regulación ambiental está en la necesidad de desarrollar métodos para conocer la biodisponibilidad, ya que permiten evaluar el riesgo ecológico sobre los ecosistemas, la medición económica y sostenible sobre la calidad ambiental, ha sido abordada desde diferentes perspectivas, externalidades, contingencias, derecho de propiedad, eficiencia económica y desde la razón sobre la pérdida del bienestar (Butler, Corvalan & Koren, 2005). Algunos enfoques intentan, además, establecer conexiones teóricas entre los sistemas ecológicos y económicos (Volk *et al.*, 2014) pero estas conexiones resultan muy complejas; posiblemente por la inexistencia valorativa en muchas legislaciones internacionales con razón a la orientación económica (David *et al.*, 2004; Pérez, Peña & Alvarez, 2011). La tendencia de toda regulación ambiental está en la necesidad de desarrollar métodos para conocer la biodisponibilidad, (Merrinton et al., 2017), ya que permiten evaluar el riesgo ecológico sobre los ecosistemas

Santos *et al.*, (2013), las plantas de tratamientos de aguas residuales convencionales están diseñadas principalmente para la eliminación de sólidos en suspensión y materia orgánica (Binelli *et al.*, 2014). Como resultado, otros elementos llegan a los cuerpos de agua



receptores, donde los mismos se propagan y se acumulan en el agua, los sedimentos y los organismos (Carmona *et al.*, 2014; Arlos *et al.*, 2015). Se estima que el 50% de los UPFI que llegan a las (PTAR) se descargan, a través del efluente sin ningún cambio en su actividad tóxica. Muchos autores han analizado las concentraciones de UPFI en ríos y lagos, en los cuales se han descargado los efluentes de las plantas de tratamientos de aguas residuales.

En la unidad minera Arasi, la explotación del mineral se realiza a tajo abierto. El beneficio del mineral extraído se lleva a cabo luego mediante un proceso de lixiviación en pilas, siendo la recuperación del oro posteriormente obtenida en una planta Merrill Crowe. Finalmente, el oro recuperado en la planta Merrill Crowe ingresa a un proceso de fundición y refinación, en donde se obtiene el dore de oro como producto final. Asimismo, cabe mencionar que la empresa Aruntani S.A.C. (en empresa Arasi S.A.C.) propietaria de la unidad minera Arasi cuenta con autorización para el vertimiento de aguas residuales industriales y domésticas tratadas (PTAR) otorgado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), mediante Resolución Directoral N° 011-2014-DGCRH (OEFA/OD PUNO, 2016), las coordenadas de ubicación y la descripción de puntos de vertimiento se presentan en la siguiente (tabla 1).

**Tabla 1.** Puntos de vertimiento autorizados por ANA.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM - WGS 84 ZONA 19		DESCRIPCIÓN	CUERPO RECEPTOR
	ESTE	NORTE		
PDC-A	299782	8313525	Efluente industrial tratado proveniente de la planta de cianuro.	Río Chacapalcca
V-1	299977	8312336	Efluente industrial tratado proveniente del botadero 1.	Río Chacapalcca
VBOT-3	301355	8311721	Efluente industrial tratado proveniente del botadero 3.	Río Azufrini
TI-01	300798	8311012	Efluente doméstico tratado proveniente del campamento.	Río Pataqueña

*Fuente:* Informe 2434-2016 OEFA/OD PUNO.

## 2.2. MARCO TEORICO

### 2.2.1 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 (g cm<sup>-3</sup>). Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los



elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero (Mailler *et al.*, 2016), se tiene de origen natural el contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo (aguas, sedimentos y biota). (Mailler *et al.*, 2016) y de origen antropogénico que da por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. Actualmente pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales que dependen e inciden directamente en la salud del río: agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico (Mailler *et al.*, 2016).

#### - **Arsénico**

Uno de los elementos más tóxicos ambientalmente es el arsénico y donde las especies de este elemento se encuentran principalmente en las formas de arseniato [As (V)] y arsenito [As (III)] en aguas naturales y sedimentos (Gorny et al., 2015a). La solubilidad, movilidad y la toxicidad del arsénico depende de su estado de oxidación (Jain & Ali, 2000; Dixit & Hering, 2003;) la determinación de la especiación As y la transformación, resulta esencial para comprender el comportamiento de As anóxicos en los sedimentos de cualquier río, aunque, resulta de elevada complejidad debido a, las numerosas reacciones biogeoquímicas. Transformaciones de estas especies principales, combinadas con otros procesos incluso bacterianos son capaces de modificar profundamente la especiación y el destino de arsénico dentro de los primeros centímetros de la columna sedimentaria (reconocida como la huella histórica), así como su toxicidad potencial hacia los organismos acuáticos (Borch et al., 2009)

#### - **Plomo**

El plomo es un metal gris azulado maleable y dúctil su uso generalizado ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del medio ambiente, exposición humana y graves problemas de salud pública (Fahd *et al.*, 2014) las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, la metalurgia, el uso persistente de pinturas y gasolinas con plomo en fabricación de baterías de plomo soldadura a base de este metal (Corrales, 2016). se absorbe por vía digestiva, respiratoria e incluso por la piel. Sólo un porcentaje del total del Pb ingerido por vía gastrointestinal

es absorbido entre el 10 y 15% en adultos, el 50% en niños, la absorción de plomo (Fahd *et al.*, 2014), la neuropatía por plomo se produce por toxicidad de las neuronas motrices de la asta anterior de la medula espinal o degeneración de las terminaciones axónicas y el recubrimiento de la mielina. El plomo es un neurotóxico periférico y central interfiere la liberación de la acetilcolina, (Riddle, 2003). La vida media del plomo en sangre es aproximadamente 30 días. se distribuye en todos los tejidos teniendo afinidad por el sistema nervioso central, en especial por el que se encuentra en desarrollo, se acumula principalmente en los huesos donde puede permanecer hasta 20 años (Gorny *et al.*, 2015).

#### - **Aluminio**

El aluminio es un metal plateado con una densidad de  $2.70 \text{ g/cm}^3$  a  $20^\circ\text{C}$  ( $1.56 \text{ oz/in}^3$  a  $68^\circ\text{F}$ ). El que existe en la naturaleza consta de un solo isótopo, Al se conoce por su alta conductividad eléctrica y térmica, lo mismo que por su gran reflectividad (Incoronata, 2013), es un riesgo para ciertos ambientes de trabajo, como son las minas, donde se puede encontrar en el agua. La gente que trabaja en fábricas donde el Aluminio es aplicado durante el proceso de producción puede aumentar los problemas de pulmón cuando ellos respiran el polvo de Aluminio (Jiajun *et al.*, 2014) puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas en lagos un número de peces y anfibios están disminuyendo debido a las reacciones de los iones de Aluminio con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas (Dhar, 201) también se encuentra en aguas subterráneas y suelos ácidos. Hay fuertes indicadores de que el Aluminio puede dañar las raíces de los árboles cuando estas están localizadas en las aguas subterráneas (Hering, 2003).

#### - **Níquel**

Es un metal de transición de color blanco con un ligerísimo tono amarillo, conductor de la electricidad y del calor, muy dúctil y maleable por lo que se puede laminar, pulir y forjar fácilmente, y presentando ferromagnetismo a temperatura ambiental. Es otra de los metales muy densos como el hierro, iridio y osmio. Se encuentra en distintos mineros, en meteoritos (aleado con hierro) y, en principio, hay níquel en el interior de la tierra principalmente en su núcleo (Jiajun *et al.*, 2014).

El níquel metálico es fuerte y duro (3.8 en la escala de Mohs), Cuando está finamente dividido, es de color negro. La densidad del níquel es 8.90 veces la del agua a  $20^\circ\text{C}$  ( $68^\circ\text{F}$ ); Resiste la corrosión alcalina y no se inflama en trozos grandes está por encima del

hidrógeno en la serie electroquímica; se disuelve con lentitud en ácidos diluidos liberando hidrógeno. En forma metálica es un agente reductor fuerte (Subhani et al., 2015), en su estado de oxidación (Subhani et al., 2015) absorberán por los sedimentos o partículas del suelo y llegará a inmovilizarse en suelos ácidos a menudo alcanza el agua subterránea (Silva,2015).

#### - **Cromo**

El cromo, en este sentido, es un metal de escasa presencia en la corteza de la tierra. Se trata de un elemento brillante, de tonalidad blanca o plateada, que suele encontrarse como óxido y que, gracias a su capacidad para resistir la corrosión, se utiliza para proteger otros metales (Incoronata, 2013).

Vías de ingreso al organismo: Vía respiratoria, ingestión, piel, por contacto de esta con cromo o sus compuestos. La inhalación es la principal trayectoria de exposición al cromo. El Cr total es la principal corriente del humo del cigarro y varía entre 0,0002-0,5 µg/cigarro (Gorny et al., 2015), puede afectar el corazón y ocasionar trastornos metabólicos y diabetes, reacciones alérgicas y las erupciones cutáneas, además de irritación en la nariz y sangrado después de ser respirado. También ocasiona debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, problemas respiratorios, alteración del material genético, malestar de estómago y úlceras, cáncer de pulmón y muerte (Elgallal *et al.*, 2016).

#### - **Cobre**

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos. La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calco cita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. El cobre natural, antes abundante en Estados Unidos, se extrae ahora sólo en Michigan. El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo (Fahd *et al.*, 2014).

## - Zinc

Elemento químico de símbolo Zn, número atómico 30 y peso atómico 65.37. Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se conocen 15 isótopos, cinco de los cuales son estables y tienen masas atómicas de 64, 66, 67, 68 y 70. Cerca de la mitad del zinc común se encuentra como isótopo de masa atómica 64. Los usos más importantes del zinc los constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados, y esto puede hacerse por inmersión del artículo en zinc fundido (proceso de hot-dip), depositando zinc electrolíticamente sobre el artículo como un baño chapeado (electro galvanizado), exponiendo el artículo a zinc en polvo cerca de su punto de fusión (sherardizing) o rociándolo con zinc fundido (metalizado). El zinc puro y recientemente pulido es de color blanco azulado, lustroso y moderadamente duro (2.5 en la escala de Mohs). El aire húmedo provoca su empañamiento superficial, haciendo que tenga color gris. Es un metal químicamente activo. Puede encenderse con alguna dificultad produciendo una flama azul verdosa en el aire y liberando óxido de zinc en forma de humo. El zinc metálico en soluciones ácidas reacciona liberando hidrógeno para formar iones zinc,  $Zn^{2+}$ . Se disuelve también en soluciones fuertemente alcalinas para formar iones di negativos de tetrahidroxozincatos,  $Zn(OH)_2-4$ , escrito algunas veces como  $Zn O_2- 2$ . en todas las fórmulas de los zincatos (Gorny et al., 2015).

Vías de entrada al organismo: Ingestión e inhalación de los llamados «humos de zinc», además de la vía dérmica por contacto con el óxido de zinc (Elgallal, Fletcher & Evans, 2016) la ingestión en exceso afecta negativamente la supervivencia de todos los mamíferos, incluyendo a los seres humanos, y produce variados trastornos de tipo neurológico, hematológico, inmunológico, renal, hepático, cardiovascular, de desarrollo y efectos genotóxicos (Gorny et al., 2015) La enfermedad llamada "fiebre de los humos metálicos". La patogénesis de la enfermedad es desconocida, pero se cree que es una respuesta inmune a la inhalación de óxido de Zn (Evans, 2016). Como en los ejemplos anteriores, la relación entre las fuentes de emisión de los metales pesados, sus aplicaciones, sus vías de ingreso al organismo y el riesgo a intoxicarse los trabajadores expuestos, es muy estrecha (Rodríguez *et al.*, 2017).

### 2.2.2 Costo ambiental

La medición económica y sostenible sobre la calidad ambiental, ha sido abordada desde diferentes perspectivas, externalidades, contingencias, derecho de propiedad, eficiencia económica y desde la razón sobre la pérdida del bienestar (Butler, Corvalan & Koren, 2005). Algunos enfoques intentan, además, establecer conexiones teóricas entre los sistemas ecológicos y económicos (Volk *et al.*, 2007) pero estas conexiones resultan muy complejas; posiblemente por la inexistencia valorativa en muchas legislaciones internacionales con razón a la orientación económica (David *et al.*, 2004).

### 2.2.3 Sedimentos

Entre los contaminantes más perjudiciales del ambiente se encuentran los metales pesados, ya que éstos no se degradan, sino que permanecen en él por tiempo indefinido. Al mismo tiempo se ha demostrado que dichos elementos producen daños morfológicos y fisiológicos en los organismos. Los sedimentos de los cuerpos acuáticos son los depósitos preferidos por los metales pesados, por lo que es posible encontrarlos en altas concentraciones, cuando éstos se encuentran como contaminantes en las aguas (Jiajun *et al.*, 2014).

La sedimentación ocurre cuando un material sólido es transportado por una corriente de agua y se posa en el fondo del río, embalse, etc. Las corrientes de agua tienen la capacidad de transportar materia sólida en suspensión y de generar sedimentos por sus propias características o a través de la erosión de los cauces (Binelli 2014) que se acumula en la superficie terrestre y que surge por la acción de diversos fenómenos naturales que actúan en la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Los vientos, las precipitaciones y los cambios de temperatura son algunos de los factores vinculados al desarrollo de sedimentos (Rlos & Servos 2015).

### 2.2.4 Río

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez es constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura. Algunas veces terminan en desérticas donde sus aguas se pierden por infiltración y evaporación por las intensas temperaturas, la contaminación del agua es un recurso renovable en peligro por culpa de la actividad humana. Toda el agua pura procedente de las lluvias, ya antes de llegar al suelo recibe su primera carga

contaminante, cuando disuelve sustancias como anhídrido carbónico, óxido de azufre y de nitrógeno que la convierten en lluvia ácida. Ya en el suelo, el agua discurre por la superficie o se filtra hacia capas subterráneas. Al atravesar los campos el agua del río se carga de pesticidas y cuando pasa por ciudades arrastra productos como naftas, aceites de automóvil, metales pesados, etc. Los ríos muestran una cierta capacidad de deshacerse de los contaminantes, pero para eso necesitan tener un tramo muy largo en el cual las bacterias puedan realizar su trabajo depurador. En un río contaminado por materia orgánica (Pérez & Alvarez, 2011).

### **2.2.5 Lixiviación en pilas y cianuro**

El método de lixiviación en pilas o (pads) tiene como objeto la extracción de los metales valiosos del mineral (fragmento rocoso). Para ello se extrae el mineral, se acarrea y se coloca en las pilas de lixiviación, donde a continuación se filtra una solución de lixiviación a través del mineral. A medida que la solución pasa a través de la mena, disuelta selectivamente uno o más elementos presentes en la roca o mineral, luego mediante un sistema de tuberías colocadas en la base del pad la solución es enviada a la planta de procesos, donde posteriormente se extraen los metales o elementos valiosos y se refinan. La solución resultante que suele reciclar y aplicar de nuevo a la pila, creando un proceso cerrado. La lixiviación en pilas puede afectar la calidad de agua mediante fallas en el mantenimiento del proceso a través de fugas y drenajes, así como otras descargas y vertimientos imprevistos (durante la colecta y extracción de la solución rica en metales), esto debido a que las soluciones de lixiviación, además de, metales pesados, contienen cianuro, un compuesto que es altamente tóxico para los seres humanos, mamíferos, aves y peces (informe N° 054-2017-OEFA/OD PUNO).

### **2.2.6 Unidad minera Arasi.**

la unidad minera Aruntani S.A.C. una de las mayores compañías auríferas de Perú, produce 350.000 oz/a de oro, se ubica en el Distrito de Ocuvi, provincia de Lampa adopto en la zona norte de Puno. El Organismo de Evolución y Fiscalización Ambiental adopto esta medida porque la empresa no trato las aguas contaminadas de su pozo de subdrenaje dispuso no realizar ninguna actividad de explotación durante el cierre final del tajo (informe N° 054-2017-OEFA/OD PUNO).

### 2.3. MARCO CONCEPTUAL

**Agua.** - El agua es un líquido compuesto de oxígeno(O) e hidrogeno (H<sub>2</sub>) su fórmula es H<sub>2</sub>O tiene disuelto diversos minerales y materias orgánica que le dan color, olor y sabor peculiares, se presentan en estado líquido, gaseoso (vapor atmosférico =nubes) solidos hielos (Salgado et al., 2010).

**Ríos.** - Los ríos son sistemas naturales de importancia para el planeta, que, debido al transporte y circulación cíclica del agua, permiten la existencia de los seres vivos, el crecimiento económico y el desarrollo social de una región o un país (Winship, 1984).

**Sedimentos.** - es la materia que, después de haber estado en suspensión en un líquido, termina en el fondo por su mayor gravedad. Este proceso se conoce como sedimentación (Binelli 2014).

**Metal pesado.** - 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 (g cm<sup>-3</sup>). Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero (Mailler et al., 2016).

**Arsénico.** - El Arsénico es un metaloide de olor aliáceo se obtiene como subproducto en la producción de metales como cobre y plomo (Luo, 2003).

**Aluminio.**- El aluminio es un elemento químico, de símbolo Al y número atómico 13. Se trata de un metal no ferromagnético. Es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre (Incoronata, 2013).

**Plomo.** - Es un metal gris azulado maleable y dúctil (Fahd et al., 2014).

**Cromo.**- El cromo es un elemento químico de número atómico 24 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cr. Es un metal que se emplea especialmente en metalurgia (Gorny et al., 2015).

**Cobre.**- El cobre (del latín *cuprum*, y éste del griego *kypros*, *Chipre*), cuyo símbolo es Cu, es el elemento químico de número atómico 29. Se trata de un metal de transición de color rojizo y brillo metálico (Pal et al., 2014).



**Níquel.** - El níquel es un metal pesado de color plateado se genera como sub producto de zinc, plomo y cobre. (Shah, 2016).

**Zinc.** - también escrito cinc, es un elemento químico esencial de número atómico 30 y símbolo Zn, situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos (Gorny et al., 2015).

**Cadena trófica.** - Cadena trófica (del griego throphe: alimentación) es el proceso de transferencia de energía alimenticia a través de una serie de organismos (Gall, 2015).

**Cuenca.** - La cuenca hidrográfica es un área de la superficie terrestre cuyo desagüe superficial confluye en un río principal (Jomova,2011).

**Contaminación del agua.** - El agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural (Lock, 2008)

**Espectrofotometría de plasma.** - Es una técnica capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos de la tabla periódica. Sus campos de aplicación son, por tanto, muy diversos. Este método se puede aplicar para la determinación de ciertos metales tales como: antimonio, cadmio, calcio, cesio, cromo, cobalto, oro, plomo, níquel, entre otros. Se emplea en el análisis de aguas, análisis de suelos, bioquímica, toxicología, (Argota & Iannacone 2014).



### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

Chacapalca se encuentra ubicado en el Distrito de Ocuvi, Provincia de Lampa, Departamento de Puno. Geográficamente este río se extiende con una longitud aproximada de 15–18 Km. con una altitud de 4,220 m.s.n.m, latitud Sur a  $15^{\circ} 7' 10''$  y Longitud Oeste  $70^{\circ} 54' 50''$  del meridiano de Greenwich, con código de ubigeo es 210705. El periodo de estudio estuvo comprendido entre los meses de julio, agosto y setiembre del año 2017. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio acreditado Envirotest.

#### 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

##### 3.2.1 CAMPO

Utilizamos GPS etrex10 marca GARMIN sus características físicas son: dimensiones 6,1x11,4x3,3cm, tamaño de la pantalla 3,8 ancho x 6,3 cm alto 7,6 am, batería dos pilas, memoria interna 3,5 GB para tomar los puntos de georreferencia (UTM), un cooler de 150x150cm con tapa de color rojo y blanco con capacidad de 10 kg donde transportamos los materiales y la indumentaria completa como (mandil, gorro, botas, guantes) de látex de un solo uso con mayor facilidad, comodidad en el trabajo por ello son de protección, bolsas herméticas para almacenamiento de las muestras de sedimentos alta resistencia a la fisuración, draga manual con capacidad de 5 kg con dientes punto agudos que ayuda en la extracción de sedimentos, cuaderno de apuntes, cámara fotográfica (figura 1).

##### 3.2.2 LABORATORIO

Se utilizo la balanza Cp plus 75p Bench Scales Marca Adam estructura de acero inoxidable batería recargable opción auto apagado para ahorro de batería múltiples unidades de peso g, kg, lb, Oz, visor fácil de lectura de distintos ángulos se pesa la muestra para luego secarlo, la temperatura de secado se registra con un termómetro digital marca Traceablese puede usar para controlar la temperatura de congeladoras, baño maría, alama programada valores de temperatura alta, baja y actual señales visuales y sonoras continuas; colocando la muestra en un vaso precipitado de 100ml recipiente cilíndrico de vidrio borosilicatado fino utilizado en un laboratorio, se añade los reactivos: El Agua regia HCl: HNO<sub>3</sub> reactivo capas de disolver metales Ácido nítrico HNO<sub>3</sub> líquido viscoso y corrosivo que puede ocasionar graves quemaduras en seres vivos utilizado comúnmente en metalurgia y en refinado ya que reacciona con la mayoría de los metales, Agua

desionizada es agua que ha sido hervida luego recondensada en una unidad enfriadora, y la muestra disuelta se ejecuta la lectura utilizando la espectrometría plasma o absorción atómica donde SEL- FT50 and SEL – FR12 puede utilizar para analizar la concentraciones de más de 62 metales diferentes en una solución, se hará la cuantificación de los metales pesados.



**Figura 1.** Materiales y equipos utilizados en el muestreo en el río Chacapalca región puno, 2017.

### **3.3. METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTO**

#### **3.3.1 TIPO DE INVESTIGACION**

Se realizó mediante un muestreo probabilístico aleatorio, se han tomado muestras de sedimentos superficiales del río Chacapalca correspondiente a tres puntos de muestreo. Se utilizó para la extracción de los sedimentos una draga manual con capacidad de 5Kg. que posteriormente fueron analizados por el laboratorio Envirotest acreditado por INACAL. Los límites máximo permisibles comparadas con las con la norma ambiental internacional: Interim Sediment Quality Guideline, Canadá (ISQG), debido a la inexistencia sobre una norma nacional referida a los límites máximos permisibles de metales en sedimentos.

### 3.4. POBLACION Y MUESTRA

La población está constituida por las muestras obtenidas en el río Chacapalca donde se recolectó tres muestras ubicadas en tres comunidades rivereñas del distrito de Ocuvi. Para la selección de la muestra se utilizó la técnica de muestreo probabilístico aleatorio conformado por tres comunidades (tabla 1).

**Tabla 2.** Puntos de muestreo en el río Chacapalca región puno, 2017.

PUNTO DE MUESTREO	DESCRIPCION	COORDENADAS UTM WGS-84. ZONA 19		
		ESTE	NORTE	ALTURA
A	Río Chacapalca, después de la unión de los ríos Azufrini y el vertimiento de aguas residuales industriales y domesticas asociados a la actividad minara Arasi SAC.	8311669	300473	4450
B	Río Chacapalca, aguas debajo de la confluencia con el río antaymarca.	8326827	298414	4187
C	Río Chacapalca, aguas debajo de la confluencia del río Ocuvi.	8333050	299027	4117

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.5. Método de análisis

#### a. Criterios de selección

- Comunidades cercanas a las riveras de río Chacapalca.
- Comunidades en donde la única fuente de agua utiliza en bebida en ganado es del río Chacapalca.

#### a.1. Toma de muestra

Las muestras fueron tomadas en bolsas herméticas directamente de cuerpo de sedimento con la draga manual tendiendo la precaución de no alterar la interfase agua-sedimento a unos 5,0 cm de la capa de espesor superficial (Krueger, 1991), posteriormente se tomó 1,0 Kg se codifico y se tomó sus puntos de georreferencia (Tabla 1), se preservó en el cooler a 4°C aproximadamente, posteriormente fueron trasladados al laboratorio de calidad ambiental envirotest Lima-Perú, la muestra, tiene una duración de 72 horas (Gómez *et al.*, 2000).

Procedimiento para el tratamiento de muestras, se pesó 2,0 g del sedimento que fueron colocados en vaso de precipitado (100 ml) y se añadieron 40,0 ml de agua regia HCl: HNO<sub>3</sub>, calentando a temperatura de 180°C hasta obtener sales húmedas. Posteriormente, se añadieron 5,0 ml de HNO<sub>3</sub> para disolver las sales húmedas y se enrasó con agua desionizada hasta un volumen 100ml como lo señala (Quevauvill 1993).

### 3.6. Método de laboratorio

#### Espectrofotometría de absorción atómica

Para la cuantificación de metales pesados total se realizó por Espectrometría de Plasma o absorción atómica, los electrones de los átomos en el atomizador son promovidos a orbitales más altos por un instante mediante la absorción de una cantidad de energía (es decir, luz de una determinada longitud de onda). Esta cantidad de energía (o longitud de onda) se refiere específicamente a una transición de electrones en un elemento particular, y en general, cada longitud de onda corresponde a un solo elemento. la cantidad de energía que se pone en la llama es conocida y la cantidad restante en el otro lado (el detector) se puede medir, es posible, y así obtener una señal que es proporcional a la concentración del elemento que se mide. Acoplado en el Laboratorio tipo Ambiental Acreditado ante la Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL-DA), además, del International Accreditation Service (IAS) bajo la Norma NTP ISO/IEC 17025 de Tipo Ambiental "Environmental Testing Laboratory S.A.C.

#### Método formula RESGO

$$\text{RESCO} = \frac{\sum_i^n \text{COA}}{\sum_i^n \text{CONP}}$$

*Donde*

- Costo ambiental sostenible relativo = RESCO
- Costo de evaluación (medición de cumplimiento sobre parámetros = COA
- Costo de prevención normativo (número de parámetros medidos = CONP
- Observación inicial (*i*)
- Observación final (*n*)

Mediante la fórmula indicada, puede conocerse la sostenibilidad del recurso de acuerdo al cumplimiento de parámetros (COA), obteniéndose luego, un cociente según tipo de categorías que se muestran en las (tablas 3 y 4).

**Tabla 3.** Criterio de puntuación.

<b>Criterio</b>	<b>Puntuación</b>
cumple el valor establecido por la norma regulatoria utilizada	1
no cumple el valor establecido por la norma regulatoria utilizada	0

**Fuente:** Argota *et al.*, 2016

**Tabla 4.** Categorías del costo ambiental.

<b>Categoría de sostenibilidad relativa</b>	<b>Intervalo</b>
recurso sostenible relativo	1,0
recurso moderadamente sostenible relativo	0,85 – 0,99
recurso ligeramente sostenible relativo	0,6 – 0,84
recurso poco sostenible relativo	0,41 – 0,59
recurso no sostenible relativo	0,0 – 0,40

**Fuente:** Argota *et al.*, 2016.

los metales que sobrepasan los límites máximos permisibles se introducen en la siguiente fórmula:

COA = cantidad de metales que sobrepasan los LMP

CONP = cantidad de metales encontrados en el río Chacapalca

Luego se categoriza en el cuadro de costo ambiental

### 3.7. VARIABLES

- **Variables independientes**

Agua del río Chacapalca

- **Variables dependientes**

Metales pesados

- **Variables intervinientes**

Costo ambiental

### 3.8. Estadística aplicación de datos.

Para el tratamiento de los datos se utilizó software Statgraphics Centurion XVI versión III. La prueba de normalidad se realizó mediante el Test de Shapiro-Wilk quien se basó en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos. La comparación de los promedios sobre las concentraciones de los sedimentos por punto de muestreo se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA) Se consideró significativos los resultados cuando  $p < 0,05$ , y la desviación estándar.

### 3.9. Análisis por objetivos específicos

- **Determinación de las concentraciones de metales pesados en los sedimentos en el río Chacapalca de la región Puno, 2017.**

Método de laboratorio: El método utilizado para el análisis de las muestras de sedimentos se utilizó método de espectrometría plasma de absorción atómica.

#### **Procedimiento y análisis de datos**

Los resultados de las concentraciones de los sedimentos se compararon con los valores de la Guía de Calidad Ambiental Canadiense (por sus siglas en inglés, Canadian Environmental Quality Guidelines) para sedimentos de cuerpos de agua continental (CEQG). El ISQG (por sus siglas en inglés, interim sediment quality guideline).

**Tabla 5.** Límites permisibles para metales reportados en sedimentos por CEQG.

		As	Al	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Norma								
		<i>(mg/kg)</i>						
CEQG	ISQG	5.9	0.6	37.3	35.7	0.17	35	123
	PEL	17	3.5	90	197	0.49	91.3	315

Fuente; ISQG.

**Leyenda:**

- ISQG: Guía Provisional de Calidad del Sedimento (por sus siglas en inglés, Interim Sediment Quality Guideline).

- PEL: Nivel de Efecto Probable (por sus siglas en inglés, Probable Effect Level).

**- Evaluación el costo ambiental de las concentraciones de metales pesados**

Datos recolectados mediante el análisis de laboratorio, la metodología que se aplico fue la fórmula de RESCO propuesto por Argota (Argota & Iannacone, 2016).

$$RESCO = \frac{\sum_i^n COA}{\sum_i^n CONP}$$

Donde

- Costo ambiental sostenible relativo = RESCO
- Costo de evaluación (medición de cumplimiento sobre parámetros = COA)
- Costo de prevención normativo (número de parámetros medidos = CONP)
- Observación inicial (i)
- Observación final (n)

**Procedimiento y análisis de datos**

Mediante la fórmula indicada, puede conocerse la sostenibilidad del recurso de acuerdo al cumplimiento de parámetros (COA), obteniéndose luego, un cociente según tipo de categorías que se muestran en las (tablas 3 y 4).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS EN EL RIO CHACAPALCA DE LA REGIÓN PUNO, 2017

**Tabla 6.** Concentraciones de metales pesados en los sedimentos del río Chacapalca - región Puno, 2017.

ITEM	Metales	Unidad	VALORES DE LOS PUNTOS DE MUESTREO		
			A	B	C
1	Plata	mg/kg	0.16	0.16	0.16
2	Aluminio	mg/kg	9988	9011	9067
3	Arsénico	mg/kg	8.39	9.41	6.33
4	Boro	mg/kg	1.99	1.99	1.99
5	Bario	mg/kg	185.9	294.9	302.1
6	Berilio	mg/kg	0.03	0.03	0.03
7	Calcio	mg/kg	1671	4525	4738
8	Cadmio	mg/kg	0.04	0.04	0.34
9	Cesio	mg/kg	0.25	0.25	0.25
10	Cobalto	mg/kg	0.1	0.1	0.1
11	Cromo	mg/kg	13.29	22.55	20.34
12	Cobre	mg/kg	91.19	114.2	44.3
13	Hierro	mg/kg	1000	1000	1000
14	Potasio	mg/kg	1477	1392	1386
15	Litio	mg/kg	1.21	1.21	1.21
16	Magnesio	mg/kg	2064	2246	2457
17	Manganeso	mg/kg	333.1	2408	1530
18	Molibdeno	mg/kg	0.06	0.06	0.06
19	Sodio	mg/kg	237.4	544.5	783.1
20	Níquel	mg/kg	5.55	20.13	15.17
21	Fosforo	mg/kg	1389	132.8	1144
22	Plomo	mg/kg	24.83	59.62	69.14



23	Antimonio	mg/kg	0.54	0.54	0.54
24	Selenio	mg/kg	0.82	0.82	0.82
25	Silicio	mg/kg	79.61	80.7	90.14
26	Estaño	mg/kg	0.73	0.73	0.73
27	Estroncio	mg/kg	49.53	100	75
28	Titanio	mg/kg	277.8	1025	594.5
29	Talio	mg/kg	0.74	0.74	0.74
30	Vanadio	mg/kg	40.07	136	80.31
31	Zinc	mg/kg	54.03	185.3	84.51

Fuente: Laboratorio envirotest.

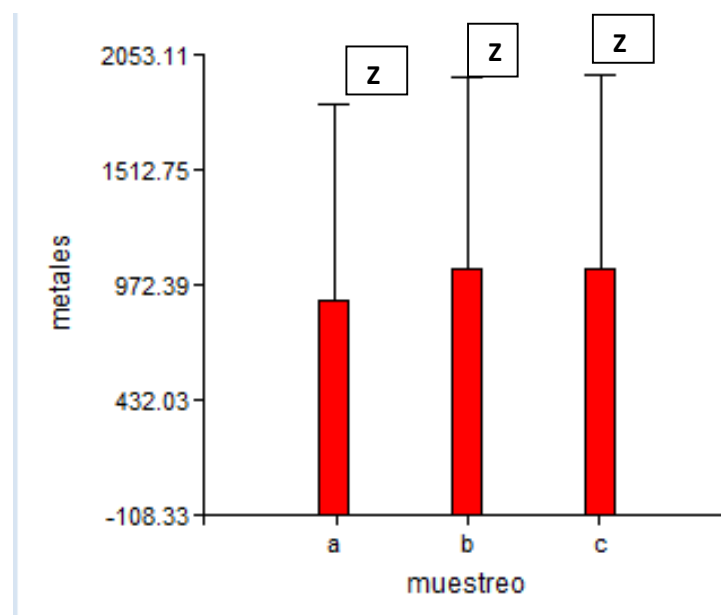
Se muestra los resultados de laboratorio para metales pesados en sedimentos obtenidos en los puntos de muestro encontrados treinta uno (31) elementos se observa que veinticuatro (24) elementos químicos cumplen los estándares establecidos para: plata, boro, bario, berilio, calcio, cadmio, cesio, cobalto, hierro, potasio, litio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, fosforo, antimonio, selenio, silicio, estaño, estroncio, titanio, talio, vanadio, dichos parámetros sustentados en las norma canadienses (Tabla 5)..

Por otro lado, siete (07) elementos indican que las concentraciones de arsénico, aluminio, cromo, cobre, plomo, zinc y níquel supera el valor ISQG de la guía de referencia en los tres (03) puntos de muestreo.

**Tabla 7.** análisis de varianza de metales pesados en los sedimentos (mg/KG) del rio Chacapalca - región Puno, 2017.

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	418254.97	2	209127.48	0.03	0.9665
muestreo	418254.97	2	209127.48	0.03	0.9665
Error	551551119.43	90	6128345.77		
<u>Total</u>	<u>551969374.39</u>	<u>92</u>			

En el analisis de varianza, no se encontro diferencia significativa en los tres puntos de muestreo en los sedimentos para la prueba estadística (GL= 90. F=0.03. P= 0.9665) a un nivel de significancia del 0,05. (tabla 6).



**Figura 2.** Valores (media $\pm$ 1EE) de metales. bajo diferentes puntos de muestreo. N por cada barra = Letras iguales significan que no hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

En el análisis de varianza, no se encontró diferencia significativa en los tres puntos de muestreo en los sedimentos para la prueba estadística N por cada barra = Letras iguales a un nivel de significancia del 0,05. (Figura 2).

En el Perú no existe Estándares Nacionales calidad para evaluar los sedimentos. En ese contexto y con fines de comparación para la evaluación de los sedimentos muestreados se ha tomado en cuenta los valores de la guía de la norma canadiense (CEQG, 2011). las guías son derivados de la información toxicológica disponible de acuerdo al protocolo formal establecido por el concejo canadiense de ministros del ambiente (Moreno *et al.*, 2018).

En este estudio fueron similares sus concentraciones en sedimentos. Sobre una evaluación que se realizó en los sedimentos del Lago Taihu en china ante la presencia de Pb, Cd, Cu, Zn y Ni para la toxicidad y su riesgo se encontró que, a pesar de existir umbrales no permisibles, aun las concentraciones se encontraban bajas o medias para generar un determinado riesgo según el valor límite de efecto como el nivel de efecto probables, las concentraciones determinadas fueron., Pb: 33,8., Cu: 41,9., Cd: 0.51., Zn:109 y Ni: 45,5 (Zhang *et al.*, 2017).

Al igual que en este estudio realizado en el río San Pedro en México, se encontró que más del 50% de los sedimentos muestreados presentaron concentraciones de metales por

encima a lo permisible, oscilando sus valores entre 56,803 mg. Kg<sup>-1</sup> (periodo de seca) y 86,808 mg. Kg<sup>-1</sup> (periodo de lluvia). En este estudio, los resultados estuvieron por debajo comparativamente, aunque puede considerarse en ambos estudios como exposición contaminante (Guzmán et al., 2011).

En un reciente estudio en la cuenca hidrográfica del Lago Titicaca de tipo endorreico y donde convergen diversos afluentes con procedencia de la actividad minera se realizó la cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior se concluyó que, los sedimentos superficiales de la bahía interior de Puno, no representan riesgo por exposición a metales totales, ya que sus concentraciones se encontraron en el rango de los valores permisibles. En el caso particular del As, las concentraciones en todas las estaciones fueron similares (0,0001 mg. L<sup>-1</sup>) según lo reportado (Moreno et al., 2018). Sin embargo, En la Bahía interior del Lago Titicaca determinaron que los siguientes elementos superan los valores permisibles (Cu, Zn, Pb y Cd) en la matriz del agua y solo As y Hg estuvieron en lo recomendado (moreno et al., 2017).

Otro estudio sobre variabilidad y distribución estacional de los metales pesados en el Lago Qaroun, El-Fayoum, Egipto los metales analizados fueron el Fe, Mn, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn y V donde las concentraciones según las medias determinadas siguieron el siguiente orden: Fe > Mn > V > Zn > Cr > Ni > Cu > Co > Pb, respectivamente. Todas las concentraciones halladas para el verano como invierno del mismo modo, superaron lo encontrado en este estudio y donde se señaló como conclusiones la necesidad de introducir monitoreo ambiental para las descargas de contaminantes cuya necesidad estaría en estrategias de remediación y manejo (Mostafa & Elhaddad, 2017). A pesar que las concentraciones de los metales estuvieron en lo permisible, pudiera realizarse otros estudios de caracterización toxicológica ambiental, pues no se suprime que, los sedimentos presenten propiedades físico-químicas incompatibles con la biota acuática.

En el propio Egipto se evaluó cartografía de la distribución espacial sobre la contaminación por Fe, Cu, Zn, Cr, Co, Cd y Pb de sedimentos de fondo en el influenciados por variaciones hidrogeológicas estacionales por cuanto, es de esperar que, el aumento demográfico en la ciudad Puno y donde sus aguas residuales no son tratadas de forma eficiente, afecten el ecosistema de la bahía interior (Wang *et al.*, 2013).

**4.2. EVALUACION DEL COSTO AMBIENTAL DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS**

**Tabla 8.** Concentraciones de metales pesados que supera el LMP en los sedimentos comparados con el ISQG en el rio Chacapalca, región Puno, 2017.

Elemento	Punto de muestreo		
	A	B	C
As	8,39±0,01	9,41±0,01	6,33±0,01
ISQG	5,9		
Al	9988±0,01	9011±0,01	9067±0,01
ISQG	0,10		
Cr	13,29±0,01	22,55±0,01	20,34±0,01
ISQG	7,3		
Cu	91,19±0,01	114,2±0,01	44,30±0,01
ISQG	35,7		
Pb	24,83±0,01	59,62±0,01	69,14±0,01
ISQG	5,9		
Zn	54,03±0,01	185,3±0,01	84,51±0,01
ISQG	12,3		
Ni	5,55±0,01	20,13±0,01	15,17±0,01
ISQG	0,17		

**Fuente:** laboratorio envirotest.

Siete (7) elementos como son: arsénico, aluminio, cromo, cobre, plomo, zinc, níquel superan los límites máximos permisibles, se compararon con valores de la Guía de Calidad Ambiental Canadiense (por sus siglas en inglés, Canadian Environmental Quality Guidelines) para sedimentos de cuerpos de agua continental CEQG-ISQS (tabla 8).

Dentro de las posibles fuentes de contaminación de los recursos hídricos por metales pesados, en la minería y el procesamiento de minerales, se incluyen. el drenaje ácido de

la mina, la lixiviación en pilas, la lixiviación in situ, fallas en las presas de relave, el incremento de las concentraciones de sólidos suspendidos debido a la erosión, y la inadecuada disposición del agua en procesos de la minería (Jain et al., 2016).

La migración de los metales pesados a partir de estas fuentes hacia los cuerpos de agua cercanos produce efectos nocivos en los organismos acuáticos, que tienden a acumular estos metales. El cadmio, cobre, plomo y zinc son metales de particular interés debido a la severa toxicidad que tienen para la vida acuática., la exposición a estos metales puede matar directamente a los organismos, así como provocar retraso en el crecimiento y lesiones no letales (Simate et al., 2014). Actualmente, las fuentes antrópicas de metales pesados en el ambiente consideran a las actividades mineras como la principal fuente de contaminación (Lara et al., 2015).

En otro estudio realizado en una bahía se encontró que, la máxima concentración total de As ( $17,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) superó dos veces la concentración del "intervalo de efectos bajo" (ERL = Effects Range-Low =  $8,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Fue indicado que la acumulación se debió a, vertimientos y manejos irregulares de productos identificados en fuentes antropogénicas cercanas (Quevedo et al., 2014). En cambio, durante un estudio realizado en el río Haina, Santo Domingo (República Dominicana) se indicó que, de ocho estaciones de muestreo, solo en una las concentraciones de metales estuvieron por encima. En todos esos casos los niveles registrados estaban por debajo del límite de detección del equipo de Absorción Atómica. Las concentraciones oscilaron entre 1,7 y 9,517 4 ppm (Contreras, Pérez, Mendoza. & Gómez, 2004).

#### - COSTO AMBIENTAL

Mediante la fórmula indicada, puede conocerse la sostenibilidad del recurso de acuerdo al cumplimiento de parámetros (COA), obteniéndose luego, un cociente según tipo de categorías que se muestran en las tablas (3 y 4).

$$\text{RESCO} = \frac{\sum_i^n \text{COA}}{\sum_i^n \text{CONP}}$$

- RESCO = 7/ 31

- RESCO = 0.23

Dado el valor 0,23 calculado del costo ambiental sostenible para el ecosistema Chacapalca, la categoría asignada fue como recurso no sostenible (intervalo 0,0 – 0,40).

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos de calidad del agua continúa siendo lo realizado y quizás, rutinariamente, aunque siempre habrá que reconocer, el carácter temporal de sus interpretaciones durante un momento y espacio específico donde la limitación principal radica, en carecer de información referida con posibles efectos e impactos negativos sobre algunas poblaciones por exposición a contaminantes de interés (Argota, 2017).

La comparación de valores contra una referencia determinada, representa una de las variantes por regulación ambiental ante posibles daños y en este sentido, al determinarse que las concentraciones de metales estuvieron por encima de lo permisible y ser el único elemento determinado por interés, entonces se dictaminó que como recurso no deseado. Sin embargo, uno de los actuales problemas sociales y que sigue siendo contradictorio, es que los parámetros físico-químicos y microbiológicos, no dimensiona las respuestas eco toxicológicas y, por tanto, no arrojan total seguridad ambiental de modo tal que, otras herramientas requerían ser incorporadas. En tal sentido, el uso de índices (López, Figueroa & Corrales, 2016), creación de modelos computacionales (Chapman & Riddle, 2003; Patlewicz & Fitzpatrick, 2016) y análisis por bioensayos (Fahd *et al.*, 2014; Sadeghi & Hedayati, 2014) se han incorporado pero dichas herramientas de forma independiente, limitan las interpretaciones sobre la calidad ambiental y económica sostenible de los recursos acuáticos. En este estudio existió la limitación de analizar el comportamiento o respuesta sobre algún biomarcador con lo cual, quizás, podría precisarse o al menos correlacionar el costo estimado con la señal del biomarcador (Hamza, 2014; Çiftçi *et al.*, 2015; AbdAllah, 2017).

Dentro de las consecuencias sobre los protocolos de monitoreo ambiental es precisamente sus consideraciones por datos indicativos de parámetros, pero debe reconocerse que el ecosistema funciona como un todo entre factores abióticos y bióticos influenciados por el flujo de entrada y salida de elementos y donde solo uno de ellos, puede decidir la condición dinámica del recurso (Lock & Bonventre, 2008; Argota & Iannacone, 2017). En este sentido, la estimación del costo ambiental sostenible tiene su expresión en la relatividad debido a la disponibilidad de realizar un número determinado de mediciones que, en cualquier otro caso o momento, puede variar y aunque sea así, siempre podrá valorarse el recurso de la misma forma, pues la expresión matemática será la misma.

Unido a lo anterior, en términos de predicción de riesgo ambiental, las decisiones deben ser preocupante aun cuando el contenido determinado sea como fracción total, pues al estar superando lo recomendable, entonces una parte podría presentar biodisponibilidad y ser finalmente dañino con lo que el recurso donde se encuentra el elemento no deseado, como se muestra los siguientes elementos:

### **Arsénico**



**Figura 3.** Mortandad de alpacas al consumir agua contaminada de río Chacapalca- Puno 2017.

A continuación, se presentan los resultados de arsénico, A=8.39, B=9.41, C=6.33 registrados en los sedimentos de los puntos de muestreo, que excedieron los niveles recomendados en los valores quia de calidad ambiental para sedimentos en cuerpos de agua dulce de Canadá 5.9 kg/mg la adsorción de arsénico en el lecho de los cuerpos de agua del río Chacapalca (Figura 3).

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, principalmente en los minerales sulfurosos. En aguas naturales, el As se encuentra, en general, como especie disuelta formado oxianiones, por lo cual, su estado de oxidación (y por tanto su



movilidad), está controlada de fundamentalmente por las condiciones redox y el Ph. además, el As son móviles en el medio, aunque este último, se presenta como más móvil y de mayor toxicidad (Litter, 2008).

En este contexto, metaloides como el arsénico (As), poseen gran significación ecológica debido a causa de sus posibles efectos carcinogénicos para los seres humanos. Si bien la determinación de su concentración total en los sedimentos es importante, el conocimiento de la fracción biodisponible y de las especies químicas presentes permiten predecir con mayor eficacia su potencial de removilización a los medios hídricos en contacto con el sedimento, en función de las condiciones ambientales, su toxicidad y bioacumulación.

Sin embargo, no se conocen hasta el momento estudios que evalúen el As, cuya presencia puede estar relacionada directamente con el desarrollo industrial característico de esta zona. Teniendo en cuenta la gran toxicidad del As y de algunas de sus especies químicas en particular; así como la falta de información sobre su concentración total y biodisponibilidad en los sedimentos de la bahía de Matanzas, el objetivo de este trabajo fue evaluar la contaminación por As en sedimentos superficiales de esta bahía mediante la cuantificación de su contenido total y biodisponible, así como a través de la identificación de sus especies químicas presentes en las fracciones biodisponibles.

### Plomo



**Figura 4.** Morbilidad de ganado ovino al consumir agua contaminada de río Chacapalca-Puno 2017.



A continuación, se presentan los resultados de plomo,  $A=24.83$ ,  $B=59.62$ ,  $C=69.14$  registrados en los sedimentos de los puntos de muestreo, que excedieron los niveles recomendados en los valores guía de calidad ambiental para sedimentos en cuerpos de agua dulce de Canadá  $5.9 \text{ kg/mg}$  la adsorción de metales en el lecho de los cuerpos de agua (Figura 4).

Estudios realizados en el río Pirro, encontraron concentraciones de plomo obtenidas en un rango de  $19\pm 1$ - $44\pm 1 \text{ mg/kg}$ , valores considerablemente mayores que los reportados por (Wilcke et al. 2000) en sedimentos provenientes de suelos volcánicos (andisoles) de Costa Rica, los cuales no superan los  $7,3 \text{ mg/kg}$ . La presencia de tales cantidades de plomo en los sedimentos pudo deberse al uso de fertilizantes y plaguicidas en áreas de cultivo próximas a la ribera del río, que ingresan al cauce por escorrentía superficial; a la acumulación de residuos de combustibles fósiles que contienen plomo y a la descarga de aguas de escorrentía de centros urbanos provenientes del lavado de calles y aceras impregnadas con aceites, pinturas y combustible. De hecho, los niveles de plomo más altos en aguas o sedimentos se presentan en las áreas más cercanas a carreteras (Navarro & Sabater, 2004).

### Aluminio



**Figura 5.** Ingreso de metales pesados a la cadena alimenticia a través del ganado ovino al consumir agua contaminada de río Chacapalca- Puno 2017.

A continuación, se presentan los resultados de aluminio, A=9988, B=9011, C=9067 registrados en los sedimentos de los puntos de muestreo, que excedieron los niveles recomendados en los valores quia de calidad ambiental para sedimentos en cuerpos de agua dulce de Canadá 0.10 kg/mg la adsorción de arsénico en el lecho de los cuerpos de agua (Figura 5).

La evaluación de riesgos en salud busca definir las probabilidades de que ocurra alguna alteración en los seres vivos como producto de la exposición a contaminantes. En este escenario, se requiere reconocer las rutas mediante las cuales los tóxicos se ponen en contacto con la población humana. Según la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, perteneciente al Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos (ATSDR 2007) las rutas de exposición se componen de cinco elementos: fuente de contaminación, medios contaminados (transportes), puntos y vías de exposición, y población receptora (valle et al.,2014)

Las mujeres en edad reproductiva (por el riesgo de una exposición durante el embarazo) y los niños son los sectores de la población en mayor riesgo. No obstante, todos los individuos pueden sufrir daño por la exposición a tóxicos. Para que los contaminantes generen efectos en la salud es necesaria la exposición a concentraciones tóxicas del aluminio por un tiempo determinado. Tiempo y cantidad son los factores que más influyen en la dosis y por ende en el efecto. Entonces, éste puede hacerse evidente en cualquiera de los siguientes dos escenarios: una exposición corta o aguda a concentraciones altas de contaminante; o una exposición prolongada o crónica a menores concentraciones. Por lo tanto, al estudiar un sitio contaminado se requiere establecer los niveles y el tiempo durante el cual la población está expuesta. La estimación del riesgo en salud por exposición a metales pesados en sedimentos y suelos de comunidades rurales ribereñas del río Grijalva en los estados de Tabasco y Chiapas, dentro del proyecto de “Gestión y estrategias de manejo sustentable para el desarrollo (Incoronata, 2013).

## Cobre



**Figura 6.** Ingreso de metales pesados a la cadena alimenticia a través del ganado vacuno al consumir agua contaminada de río Chacapalca- Puno 2017.

A continuación, se presentan los resultados de cobre,  $A=91.19$ ,  $B=114.2$ ,  $C=44.30$  registrados en los sedimentos de los puntos de muestreo, que excedieron los niveles recomendados en los valores quía de calidad ambiental para sedimentos en cuerpos de agua dulce de Canadá  $35.7 \text{ kg/mg}$  la adsorción de cobre en el lecho de los cuerpos de agua (Figura 6).

El cobre está distribuido en la naturaleza, se presenta principalmente como sulfatos, carbonos, sulfuros de Fe y Cu (calcopirita) cuprita (óxido de cobre). El cobre puede adsorberse fácilmente sobre las partículas sólidas en suspensión e incorporarse rápidamente al arsénico (marcano, 2012). La solubilidad, movilidad y biodisponibilidad del cual Cu en sedimentos depende fundamentalmente del valor de pH, además, su biodisponibilidad se reduce drásticamente en los sedimentos a pH superiores a 7 y es fácilmente disponible por debajo de pH 6 (norma, 2016).

Vías de entrada al organismo: Ingestión de bebidas y alimentos contaminados e inhalación (Shah, 2016) la absorción del cobre es necesaria porque este es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos, pero mucho cobre también hace daño. La exposición profesional al cobre también suele ocurrir. En el ambiente de trabajo el contacto con cobre puede provocar la gripe conocida como la fiebre del metal. una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. No ha sido determinado aún si el cobre es cancerígeno (Pal *et al.*, 2014).

### Cromo



**Figura 7.** vertimiento de lixiviación sin tratamiento de la ptar de la minera Arasi al rio Chacapalca- Puno 2017.

A continuación, se presentan los resultados de cromo, A=13.29, B=22.55, C=20.34 registrados en los sedimentos de los puntos de muestreo, que excedieron los niveles recomendados en los valores quia de calidad ambiental para sedimentos en cuerpos de agua dulce de Canadá 37.3 kg/mg la adsorción de cromo en el lecho de los cuerpos de agua (Figura 7).

En cuanto a la concentración de cromo, Santiago fue el punto que mayor concentración registró ( $44\pm 1$  mg/kg), seguido de La Puebla ( $37\pm 1$  mg/kg) y Uriche ( $34\pm 1$  mg/kg). La entrada del cromo al agua puede deberse a procesos naturales y actividades antropogénicas. La precipitación por lluvias de compuestos de cromo que se encuentran en el aire formando parte de pequeñas partículas de polvo producto de la quema de carbón



y derivados del petróleo, contribuye al aumento de la concentración de cromo en las aguas superficiales. Igualmente, el curtido de cueros y la industria textil, como también la manufactura de colorantes y pigmentos, pueden descargar cromo (III) y cromo (VI) a los cuerpos de agua. Sin embargo, como la actividad industrial de este tipo no se desarrolla en la parte superior y media de la microcuenca del río Pirro, se podría pensar que la presencia de cromo en los sedimentos se debe principalmente a procesos naturales como precipitación, evaporación, escurrimiento y vulcanismo (Elgallal *et al.*, 2016).

Vías de ingreso al organismo: Vía respiratoria, ingestión, piel, por contacto de esta con cromo o sus compuestos. La inhalación es la principal trayectoria de exposición al cromo. El Cr total es la principal corriente del humo del cigarro y varía entre 0,0002-0,5  $\mu\text{g}$ /cigarro (Gorny *et al.*, 2015) puede afectar el corazón y ocasionar trastornos metabólicos y diabetes, reacciones alérgicas y las erupciones cutáneas, además de irritación en la nariz y sangrado después de ser respirado. También ocasiona debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, problemas respiratorios, alteración del material genético, malestar de estómago y úlceras, cáncer de pulmón y muerte (Elgallal, Fletcher & Evans, 2016).

## Zinc



**Figura 8.** Vertimiento de lixiviación sin tratamiento de la ptar de la minera Arasi al río Chacapalca- Puno 2017.

A continuación, se presentan los resultados de zinc, A=54.03, B=185.3, C=84.51 registrados en los sedimentos de los puntos de muestreo, que excedieron los niveles

recomendados en los valores quí de calidad ambiental para sedimentos en cuerpos de agua dulce de Canadá 12.3 kg/mg la adsorción de metales en el lecho de los cuerpos de agua (Figura 8).

Estudios realizados en los sedimentos del Fiordo Aysén (Ahumada 1998, Ahumada et al. 2004), informaron áreas de mayor concentración de Zn total en la cabeza del fiordo en que se ubica Puerto Chacabuco, con un gradiente negativo en la concentración de Zn total hacia la boca, i.e., cabeza del fiordo con  $181 \pm 29 \mu\text{g g}^{-1}$  (Ahumada 1998) y  $168 \pm 15 \mu\text{g g}^{-1}$ , y boca con  $85,8 \pm 4 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $83,6 \pm 6 \mu\text{g g}^{-1}$ . El enriquecimiento observado en la cabeza del fiordo se asocia a la faena minera de embarque de concentrado de Zn, que se realiza en Puerto Chacabuco. En los sedimentos del fiordo se estableció un intervalo como línea base de Zn total entre 84 y 86  $\mu\text{g g}^{-1}$  de sedimento seco, a través de las técnicas de análisis fraccionado de testigos y de especiación de Zn en los sedimentos (Ahumada et al. 2004).

Vías de entrada al organismo: Ingestión e inhalación de los llamados «humos de zinc», además de la vía dérmica por contacto con el óxido de zinc (Elgallal, Fletcher & Evans, 2016) la ingestión en exceso afecta negativamente la supervivencia de todos los mamíferos, incluyendo a los seres humanos, y produce variados trastornos de tipo neurológico, hematológico, inmunológico, renal, hepático, cardiovascular, de desarrollo y efectos genotóxicos (Gorny et al., 2015) La enfermedad llamada "fiebre de los humos metálicos", se encuentra comúnmente en los trabajadores industriales expuestos al humo de Zn y se caracteriza por irritación pulmonar, fiebre, escalofríos y gastroenteritis. Los ataques comienzan 4-8 horas después de la exposición y la recuperación en 24 a 48 horas. La patogénesis de la enfermedad es desconocida, pero se cree que es una respuesta inmune a la inhalación de óxido de Zn (Evans, 2016). Como en los ejemplos anteriores, la relación entre las fuentes de emisión de los metales pesados, sus aplicaciones, sus vías de ingreso al organismo y el riesgo a intoxicarse los trabajadores expuestos, es muy estrecha (Rodríguez *et al.*, 2017).

## Níquel



**Figura 9.** Vertimiento de lixiviación sin tratamiento de la ptar de la minera Arasi al rio Chacapalca- Puno 2017.

A continuación, se presentan los resultados de níquel,  $A=5.55$ ,  $B=20.13$ ,  $C=15.17$  registrados en los sedimentos de los puntos de muestreo, que excedieron los niveles recomendados en los valores quia de calidad ambiental para sedlimentos en cuerpos de agua dulce de Canadá  $0.17 \text{ kg/mg}$  la adsorción de metales en el lecho de los cuerpos de agua (Figura 9).

Las concentraciones de níquel encontradas fueron mayores en Santiago ( $37 \pm 1 \text{ mg/kg}$ ), seguido de La Puebla ( $31 \pm 1 \text{ mg/kg}$ ), y presentaron su mínimo en Uriche ( $29 \pm 1 \text{ mg/kg}$ ), aunque no existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores. Dichos resultados concuerdan con los datos de textura reportados, pues el níquel tiende a acumularse en la fracción fina del sedimento, y por tanto los puntos donde el porcentaje de arcilla fue mayor, la concentración de Ni aumentó y viceversa. Asimismo, la presencia de níquel en los sedimentos estudiados puede deberse al ingreso al cauce de desechos no ordinarios, como electrodomésticos que ingresan en forma directa al cauce (Marrugo et al., 2006).

El níquel es liberado al aire por las plantas de energía. Este se depositará en el suelo o caerá después de reaccionar con las gotas de lluvia. Usualmente lleva un largo periodo de tiempo. El níquel puede también terminar en la superficie del agua cuando es parte de las aguas residuales. La mayor parte de todos los compuestos del níquel que son liberados al

ambiente se absorberán por los sedimentos o partículas del suelo y llegará a inmovilizarse. En suelos ácidos, el níquel se une para llegar a ser más móvil y a menudo alcanza el agua subterránea (Silva,2015).



## V. CONCLUSIONES

Se evaluaron tres (3) puntos de muestra para sedimento perteneciente al río Chacapalca se encontraron treinta uno (31) metales pesados y siete (7), superan el límite máximo permisible LMP, comparadas con la norma canadiense ISQG muestras de sedimento la concentración promedio de arsénico fue 8.04mg/kg; en el caso del plomo la concentración promedio fue de 51.20mg/ kg, para el aluminio la concentración promedio fue de 9.36mg/ kg, el cobre tiene una concentración promedio fue de 83.23mg/ kg, en el caso del níquel la concentración promedio fue de 13.62mg/ kg y el zinc la concentración promedio fue de 107.9mg/ kg, el cromo tiene una concentración promedio fue de 18.7mg/l. las muestras analizadas superan los estándares canadiense de calidad ambiental para sedimento.

El costo ambiental sobre la sostenibilidad de los recursos acuáticos, está dado por la utilización

de un indicador que posibilite su valoración permisible y la concentración de la disponibilidad de metales, el resultado de la ecuación es de 0,23 COA, indica que el recurso sedimentos es no sostenible dado la categoría correspondiente entre en 0.0 a 0.40 COA por lo tanto se ve afectado la biodiversidad acuática y la población siendo el río más grande del distrito Ocuvirí el ganado ingresa a beber de esta agua con metales pesados, ingresando de esta manera a la cadena alimenticia, produciendo enfermedades en el ser humano.

## VI. RECOMENDACIONES

Realizar estudios epidemiológicos en los centros poblados donde se consume y abastecen el agua del río Chacapalca con concentración de arsénico, aluminio, plomo, cromo, cobre, zinc, níquel que sobre pasan el límite máximos permisibles canadienses y como también los límites recomendado por la Organización Mundial de la Salud, para establecer posibles riesgos de morbi-mortalidad por los diferentes tipos de cáncer asociado a los metales pesados, ello permitirá adoptar criterios normativos ajustados a realidad local. Con la ayuda de las autoridades dar a conocer a la población los peligros de la toxicidad de los metales pesados en agua de consumo humano proveniente del río Chacapalca, para evitar la intoxicación crónica que pueda producir por no tener el agua ningún tratamiento.

Extender la investigación en pruebas eco toxicológicas, debe considerarse evaluar el costo ambiental en las concentraciones de los metales pesados en cobertura vegetal para indicar su posible riesgo toxicológico debido a, factores de bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica. Realizar este tipo de estudios en otros distritos adyacentes (Ilallí) para poder hacer un seguimiento de la calidad de agua de consumo humano que se abastece a los habitantes en toda la cuenca de Ilallimayo ya que es considerado capital gandra del Perú.

## VII. CITAS BIBLIOGRAFICAS

- AbdAllah, A.T. (2017). Efficiency of invertebrate animals for risk assessment and biomonitoring of hazardous contaminants in aquatic ecosystem, a review and status report. *Environ Risk Assess Remediat*; 1(1), 22–24.
- AEAS. (2002). Drinking Water Supply and Wastewater Sanitation in Spain. VIII Sanitation and Purification National Survey (In Spanish). Asociacion Española y de Abastecimiento de Agua y Saneamiento
- Agudelo, C.R.Ma. (2005). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*; 23: 91-102.
- Ahaneku, I.E. & Adeoye, P.A. (2014). Impact of Pit Latrines on Groundwater Quality of Fokoslum , Ibadan, Southwestern Nigeria, 4(3), 440–449.
- Alonso, D. L., Latorre, S., Castillo, E. & Brandão, P. F. B. (2014). Environmental occurrence of arsenic in Colombia : A review. *Environmental Pollution*, 186, 272–281.
- Aparicio, E.M. (2010). Los riesgos de la contaminación minera y su impacto en los niños. *Rbcst*; 12(27), 1-21.
- Argota, P.G. & Iannacone, J. (2014). Similarity in the prediction of ecological risk between the software gecotox® and biomarkers in *Gambusia punctata* (*Poeciliidae*). *The Biologist* (Lima), 12: 85-98.
- Argota, P.G. & Iannacone, O.J. (2017). Predicción cuantitativa mediante biomarcadores de uso permanente como nuevo criterio para biomonitores en ecotoxicología acuática. *Revista The Biologist*; 17(1), 141-153.
- Argota, P.G. (2017). Monitoreo biológico ambiental en ecotoxicología acuática. Editorial Kopy Graft E.I.R.L., Cusco-Perú, 41, 10, 15, 16, 17. ISBN: 978-612-00-2558-1
- Argota, P.G., Argota, C.H. & Iannacone, O.J. (2016). Costo ambiental sostenible relativo a la variabilidad físico-química de las aguas sobre la disponibilidad de metales en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba-Cuba. *The Biologist* (Lima), 14(2), 219-232.
- Arlos, M.J., Bragg, L.M., Parker, W.J. & Servos, M.R. (2015). Distribution of selected antiandrogens and pharmaceuticals in a highly impacted watershed. *Water Res*; 72, 40-50.

- Belmonte, S.F., Romero, D.A. Moreno, B.J. (2010). Contaminación ambiental por estériles mineros en un espacio turístico en desarrollo de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (Sureste de España). *Cuadernos de Turismo*; 25, 11-24..
- Binelli, A., Magni, S., Soave, C., Marazzi, F., Zuccato, E. & *et al.* (2014). The biofiltration process by the bivalve *D. polymorpha* for the removal of some pharmaceuticals and drugs of abuse from civil wastewaters. *Ecol. Eng*; 71, 710-721.
- Borch, T., Kretzschmar, R., Kappler, A., Cappellen, P.V., Ginder-Vogel, M., Voegelin, A. & *et al.* (2009). Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics. *Environ. Sci. Technol*; 44, 15–23
- Butler, C.D., Corvalan, C.F. & Koren, H.S. (2005). Human health, well-being, and global ecological scenarios. *Ecosystems*; 8(2), 153–162.
- Calderón, J., Ortiz, P.D., Yáñez, L., & Díaz, B.F. (2003). Human exposure to metals. Pathways of exposure, biomarkers of effect, and host factors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56(1), 93–103.
- Carmona, E., Andreu, V. & Pico, Y. (2014). Occurrence of acidic pharmaceuticals and personal care products in Turia River Basin: from waste to drinking water. *Sci. Total Environ*; 484, 5363.
- Chapman, P.M. & Riddle, M.J. (2003). Missing and needed: polar marine ecotoxicology. *Mar Pollut Bull*; 46(8), 927–928.
- Contreras Pérez, J.B., Mendoza, C.L. & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y Sociedad*; 29(1), 38-71. <http://www.redalyc.org/pdf/870/87029103.pdf>
- Cordy, P., Veiga, M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., Garcia, O. & *et al.* (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of the Total Environment*; 410-411:154-160.
- David, J., Múnera, O., Restrepo, F.C., Económica, V., Ambientales, D.E.C. & Conceptual, M. (2004). Costos Ambientales: Marco Conceptual y Métodos. *Semestre Económico*, 7(13), 159–193.

- Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., et al. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability (Switzerland)*, 7(2), 2189–2212.
- Dixit, S. & Hering, J.G. (2003). Comparison of arsenic (V) and arsenic (III) sorption onto iron oxide minerals: implications for arsenic mobility. *Environ. Sci. Technol*; 37, 4182–4189
- Duarte, R.; Sánchez-Chóliz, J. & Bielsa, J. (2002). Water use in the Spanish economy: an input-output approach. *Ecological Economics*; 43: 71-85
- Elgallal, M., Fletcher, L. & Evans, B. (2016). Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review. *Agric Water Manag*; 177, 419–431.
- Fahd, F., Khan, F., Hawboldt, K. & Abbassi, R. (2014). Developing a novel methodology for ecological risk assessment of thiosalts. *Stochastic Environmental Research and Risk Assemente*; 28(2), 383-391. Doi:10.1007/s00477-013-0758-2
- Färe, R., Grosskopf, S. & Pasurka, C.A. (2014). Potential gains from trading bad outputs: The case of us electric power plants. *Resource and Energy Economics*; 36, 99-112.
- Feldmann, J., & Krupp, E.M. (2011). Critical review or scientific opinion paper: Arsenosugars - a class of benign arsenic species or justification for developing partly speciated arsenic fractionation in foodstuffs? *Anal. Bioanal. Chem*; 399, 1735-1741
- Fuentes, R., Torregrosa, T. & Ballenilla, E. (2015). Conditional order-m efficiency of wastewater treatment plants: The role of environmental factors. *Water*; 7, 5503-5524.
- Gall, J.E., Boyd, R.S. & Rajakaruna, N. (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs : a review.
- García, S.S. (2013). Estudios de especiación de arsénico y acumulación de metales en muestras de interés medioambiental. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Obras Públicas. Universidad Politécnica de Madrid.

- Gómez, A.J.L., Giraldez, I., Sánchez, R.D. & Morales, E. (2000). Selectivity assessment of a sequential extraction procedure for metal mobility characterisation using model phases. *Talanta*; 52, 545-554
- Gong, Z., Lu, X., Ma, M., Watt, C. & Le, X.C. (2002). Arsenic speciation analysis. *Talanta*; 58, 77-96
- González, F.B., Rodríguez, V.E., Boente, C. & Menéndez, C.E. (2018). Science of the Total Environment Long-term ongoing impact of arsenic contamination on the environmental compartments of a former mining-metallurgy area. *Science of the Total Environment*, 610–611, 820–830.
- Gorny, J., Billon, G., Lesven, L., Dumoulin, D., Madé, B. & Noiriél, C. (2015b). Arsenic behavior in river sediments under redox gradient: a review. *Sci. Total Environ*; 505, 423–434
- Gorny, J., Dumoulin, D., Lesven, L., Noiriél, C., Madé, B. & Billon, G. (2015a). Development and application of a HPIC-ICP-MS method for the redox arsenic speciation in river sediment pore waters. *J. Anal. At. Spectrom*; 30, 1562–1570
- Guha, D. & Dasgupta, U. B. (2011). Chronic arsenic toxicity : Studies in West Bengal , India. *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 27(9), 360–370.
- Guzmán, C.G., Ramírez, L.E.M., Thalasso, F., Rodríguez, N.S., Guerrero, B.A.L. & Avelar, G.F.J. (2011). Evaluation of pollutants in water and sediments of the San Pedro river in the state of Aguascalientes. *Universidad y Ciencia*; 27(1), 17-32.
- Hamza, C.A. (2014). Usefulness of Bioindicators and Biomarkers in Pollution Biomonitoring. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*; 3, 19–26.
- Han, W., Fu, F., Cheng, Z., Tang, B. & Wu, S. (2016). Studies on the optimum conditions using acidwashed zero-valent iron/aluminum mixtures in permeable reactive barriers for the removal of different heavy metal ions from wastewater. *J Hazard Mater*; 302, 437–446.
- He, J., Zhang, H., Zhang, H., Guo, X., Song, M., Zhang, J. & Li, X. (2014). Ecological risk and economic loss estimation of heavy metals pollution in the Beijiang River. *Ecological Chemistry and Engineering*; 21:189-199

- Held, M. & Soden, J. (2000). Water vapour feedback and global warming. *Annual Review of Energy and the Environment*; 25: 441-475
- Hepp, L.U., Pratas, J.A. M.S. & Graça, M.A.S. (2017). through food webs nor biodispersed to land. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 139(September 2016), 132–138.
- Iannacone, J. & Alvariano, L. (2005). Efecto ecotoxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. *Agricultura técnica*; 65: 198-203
- Jain, C.K. & Ali, I. (2000). Arsenic: occurrence, toxicity and speciation techniques. *Water Res*; 34, 4304–4312
- Jiajun, H., Huimin, Z. Hui, Z., Xuan, G., Mingwei, S., Junhao, Z. & Xiaotao, L. (2014). Ecological risk and economic loss estimation of heavy metals pollution in the Beijiang River. *Ecol Chem Eng S*; 21(2), 189–199.
- Jomova, K.; Jenisova, Z.; Feszterova, M.; Baros, S.; Liska, J. & et al. (2011). Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease. *J. Appl. Toxicol.* 2011, 31, 95-107
- Kogevinas, M. & Janer, G. (2000). Dioxinas y Salud. *Medicina Clínica* (Barcelona); 115: 740-748
- Krueger, R.A. (1991). Focus groups: A practical guide for applied research. Beverly Hills; California: Sage
- La Rotta, L.A.M. & Torres, T.M.H. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *SAÚDE DEBATE*; 41(112) 77-91
- Le, X.C., Lu, X.F. & Li, X.F. (2004). Arsenic speciation. *Anal. Chem*; 76, 26A-33A..
- Leermakers, M., Baeyens, W., De Gieter, M., Smedts, B., Meert, C. & et al. (2006). Toxic arsenic compounds in environmental samples: Speciation and validation. *TrAC, Trends Anal. Chem*; 25, 1-10
- Liu, J. & Wong, M. (2013). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs): a review on environmental contamination in China. *Environ. Int*; 59, 208-224.
- Loaiciga, A.; Valdes, J.; Vogel, R.; Garvey, J. & Schwarz, H. (1996). Global warming and the hydrologic cycle. *Journal of Hydrology*; 174: 83-127
- Lock, E.A. & Bonventre, J.V. (2008). Biomarkers in translation; past, present and future. *Toxicology*; 245(3), 163–166. Doi.10.1016/j.tox.2007.12.004



- Londoño, F.L.F., Londoño, M.P.T. & Muñoz, G.F.G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y Animal. *Biotechnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145.
- Lu, B., Du, X. & Huang, S. (2017). The economic and environmental implications of wastewater management policy in China: From the LCA perspective. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3544-3557.
- Mailler, R., Gasperi, J., Coquet, Y., Bulete, A., Vulliet, E., Deshayes, S. & *et al.* (2016). Removal of a wide range of emerging pollutants fbed as tertiary treatment at large pilot scale. *Sci. Total Environ*; 542, 983-996.
- Molina, C.I., Ibañez, C. & Gibon, F.M. (2012). Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): Posible riesgo en la salud de consumidores Biomagnification process of heavy metals of a hiperhaline lake. *Ecología en Bolivia*; 47(2), 99–118.
- Molinos, S.M., Hernández, S.F., Mocholí, A.M. & Sala, G.R. (2014). Economic and environmental performance of wastewater treatment plants: potential reductions in greenhouse gases emissions. *Resource and Energy Economics*; 38, 125-140.
- Molinos, S.M., Sala, G.R. & Lafuente, M. (2015). The role of environmental variables on the efficiency of water and sewerage companies: a case study of Chile. *Environmental Science and Pollution Research*; 22, 10242-10253.
- Montenegro, C.S.S.; Ambrocio, B.N. & Iannacone, J. (2015). Modelo estadístico para estimar la población que recibe ayuda humanitaria por desastres en el Perú. *The Biologist (Lima)*, 13: 375-390
- Morais, S.A., Delerue, M.C. & Gabarrell, X. (2014). An uncertainty and sensitivity analysis applied to the prioritisation of pharmaceuticals as surface water contaminants from wastewater treatment plant direct emissions. *Sci. Total Environ*; 490, 342-350.
- Moreno, T.E., Argota, P.G., Alfaro, T.R., Aparicio, S.M., Atencio, L.S. Goyzueta, C.G. (2018). Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú. *Journal of High Andean Research*; 20(1), 09–18.



- Norra, S., Chandrasekharam, D. & Stu, D. (2005). Impact of irrigation with As rich groundwater on soil and crops : A geochemical case study in West Bengal Delta Plain , India, *20*, 1890–1906.
- Olea, N., Fernández, F., Araque, P. & Olea, S. (2002). Perspectivas en disrupción endocrina. *Gaceta Sanitaria*; 16: 250-256
- Olivares, C.G.; Naranjo, L.C.; López del Castillo, P. & Morell, B.A. 2012. Valoración de la calidad del agua del río San Juan de Santiago de Cuba asociado a un foco de contaminación Industrial. *Ciencia en su PC*; 4: 99-111
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: FAO. (1992). Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades a fin. Informes sobre temas hídricos. Santiago de Chile, Chile
- Organization for Economic Cooperation and Development: OECD. (2008). OECD Environment Outlook to 2030. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development
- Organization Word Health. (2004). Guidelines for drinking-water quality: recommendations. Volum 1. WHO.
- Pal, A., He, Y., Jekel, M., Reinhard, M. & Gin, K.Y. (2014). Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle. *Environ. Int*; 71, 46-62.
- Pal, A., He, Y., Jekel, M., Reinhard, M. & Gin, K.Y.H. (2014). Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle. *Environ Int*; 71, 46–62.
- Patlewicz, G. & Fitzpatrick, J.M. (2016). Current and future perspectives on the development, evaluation, and application of in silico approaches for predicting toxicity. *Chem Res Toxicol*; 29, 438–451.
- Patlewicz, G. & Fitzpatrick, J.M. (2016). Current and future perspectives on the development, evaluation, and application of in silico approaches for predicting toxicity. *Chem Res Toxicol*; 29, 438–451.
- Pereyra, P.J., Rossini, G.B. & Darrigran, G. (2012). Toxicity of Neem’s oil, a potential biocide against the invasive mussel *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857). *Anais Da*

- Academia Brasileira de Ciencias*; 84(4), 1065–1071.
- Pérez, M.A., Peña, M.R. & Alvarez, P. (2011). Agro Industria Cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente & Sociedade*; XIV(2), 153–178.
- Picazo, T.A.J., Sáez, F.F.J. & González, G.F. (2008). Does service quality matter in measuring the performance of water utilities? *Utilities Policy*; 16, 30-38.
- Plan Estratégico de Desarrollo Económico y Social de la Provincia de Lampa: PEDESL. (2009-2020). Disponible en:
- Qadir, A. & Malik, R. N. (2011). Heavy metals in eight edible fish species from two polluted tributaries (Aik and Palkhu) of the river Chenab, Pakistan. *Biological Trace Element Research*, 143(3), 1524–1540.
- Quevauvill, P.H., Raurent, G. & Griepink, B. (1993). *Intern. J. Anal. Chem.* 1993; 51, pp 231 – 235
- Quevedo, A.O., Villanueva, T.M., Barciela, A.Ma.C., Bermejo, B.P., Gómez, P.J. & et al. (2014). Primer estudio de la contaminación por Arsénico en sedimentos de la bahía de Matanzas, Cuba. *Revista Cenic Ciencias Químicas*; 45(1).
- Raval, N.P., Shah, P.U. & Shah, N.K. (2016). Adsorptive removal of nickel (II) ions from aqueous environment: A review. *J Environ Manage*; 179, 1–20
- Reimann, C., Matschullat, J., Birke, M. & Salminen, R. (2009). Arsenic distribution in the environment: The effects of scale. *Appl. Geochem*; 24, 1147-1167
- Rieuwerts, J.S., Mighanetara, K., Braungardt, C.B., Rollinson, G.K., Pirrie, D. & Azizi, F., (2014). Geochemistry and mineralogy of arsenic in mine wastes and stream sediments in a historic metal mining area in the UK. *Sci. Tot. Environ*; 472, 226–234.
- Rodríguez, O., Peralta, H.J.M., Goonetilleke, A. & Bandala, R.E. (2017). Treatment Technologies for Emerging Contaminants in water: A review. *Chemical Engineering Journal*; 1-92.
- Sadeghi, A. & Hedayati, A. (2014). Investigation of LC50, NOEC and LOEC of Glyphosate, Deltamethrin and Pretilachlor in Guppies (*Poecilia reticulata*). *Iranian*

- Journal of Toxicology*; 8(26), 1124-1129. Sadeghi, A. & Hedayati, A. (2014). Investigation of LC50, NOEC and LOEC of Glyphosate, Deltamethrin and Pretilachlor in Guppies (*Poecilia reticulata*). *Iranian Journal of Toxicology*; 8(26), 1124-1129.
- Saldarriaga, A., Villegas, C. & Arango, S. (2013). The public good dilemma of a non-renewable common resource: A look at the facts of artisanal gold mining. *Resources Policy*; 38(2):224-232
- Salgado, B.M., Ortiz, P.M.D., Calderón, A.E., Estrada, C.L., Niño, M.P., et al. (2010). Science of the Total Environment Pattern of expression of apoptosis and in flammatory genes in humans exposed to arsenic and / or fl uoride. *Science of the Total Environment, The*, 408(4), 760–767.
- Santos, L., Gros, M., Rodríguez, M.S., Delerue, M.C., Pena, A., Barcelo, D. & Montenegro, M.C.B.S.M. (2013). Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: identification of ecologically relevant pharmaceuticals. *Sci. Total Environ*; 302-316, 461-462.
- Shriver, D.F. & Atkins, P.W. (2008). *Química Inorgánica*, 1ª edición, McGraw-Hill/Interamericana, Mexico
- Silva, J.P. M. C. S. De. (2015). *Environmental Toxicology and Pharmacology*.
- Smedley, P.L., Zhang, M., Zhang, G. & Luo, Z. (2003). Mobilisation of arsenic and other trace elements in fluviolacustrine aquifers of the Huhhot Basin , Inner Mongolia, 18, 1453–1477.
- Tang, J.Y.M., Buseti, F., Charrois, J.W.A. & Escher, B.I. (2014). Which chemicals drive biological effects in wastewater and recycled water? *Water Res.* 60, 289-299.
- Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K. & Sutton, D.J. (2014). Heavy Metals Toxicity and the Environment, 1–30. Telmer, K.V.M. (2008). World emissions of mercury from small scale artisanal gold mining and the knowledge gaps about them. In Pirrone N MR. Mercury fate and transport in the global atmosphere. *UNEP*; 96-129

- ubhani, M., Mustafa, I., Alamdar, A., Katsoyiannis, I. A., Ali, N., et al. (2015). Ecotoxicology and Environmental Safety Arsenic levels from different land-use settings in Pakistan : Bio-accumulation and estimation of potential human health risk via dust exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 115, 187–194.
- UNESCO. (2015). Water Supply, Sanitation and Health.
- Volk, M., Hirschfeld, J., Dehnhardt, A., Schmidt, G., Bohn, C. et al. (2008). Integrated ecological-economic modelling of water pollution abatement management options in the Upper Ems river Basin. *Ecological Economics*; 66: 66-76
- Volk, M., Hirschfeld, J., Schmidt, G., Bohn, C., Dehnhardt, A. & et al. (2007). A SDSS-based ecological-economic modelling approach for integrated river basin management on different scale levels - The project FLUMAGIS. *Water Resources Management*; 21(12), 2049–2061.
- Wang, C., Hu, X., Gao, Y. & Ji, Y. (2015). ZnO Nanoparticles Treatment Induces Apoptosis by Increasing Intracellular ROS Levels in LTP-a-2 Cells. *BioMed Research International*, 2015, 1–9.
- Wang, X. & Zang, S. (2014). Distribution characteristics and ecological risk assessment of toxic heavy metals and metalloid in surface water of lakes in Daqing Heilongjiang Province, China. *Ecotoxicology*; 23: 609-617
- Winship, K.A. (1984). Toxicity of inorganic arsenic salts. *Adverse Drug React. Toxicol. Rev*; 3, 129-160
- Yuan, S., Jiang, X., Xia, X., Zhang, H. & Zheng, S. (2013). Detection, occurrence and fate of 22 psychiatric pharmaceuticals in psychiatric hospital and municipal wastewater treatment plants in Beijing, China. *Chemosphere*; 90, 2520-2525.
- Zenobio, J.E., Sanchez, B.C., Leet, J.K., Archuleta, L.C. & Sepúlveda, M.S. (2015). Presence and effects of pharmaceutical and personal care products on the Baca National Wildlife Refuge, Colorado. *Chemosphere*; 120, 750-755.
- Zhang, L., Yang, H., Tang, J., Qin, X., & Yu, A. Y. (2014). ScienceDirect Attenuation of arsenic in a karst subterranean stream and correlation with geochemical factors : A case study at Lihu, South China. *JES*, 26(11), 2222–2230.



VIII. ANEXOS

ANEXO A.

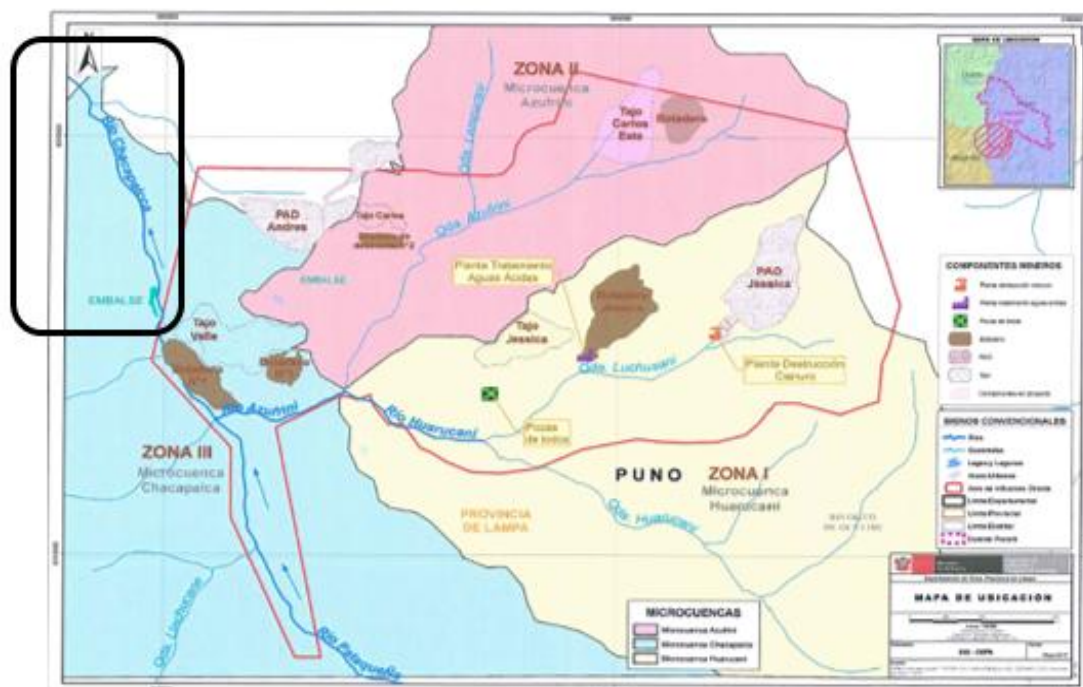


Figura 10. Mapa cartográfico del río Chacapalca (rectángulo).

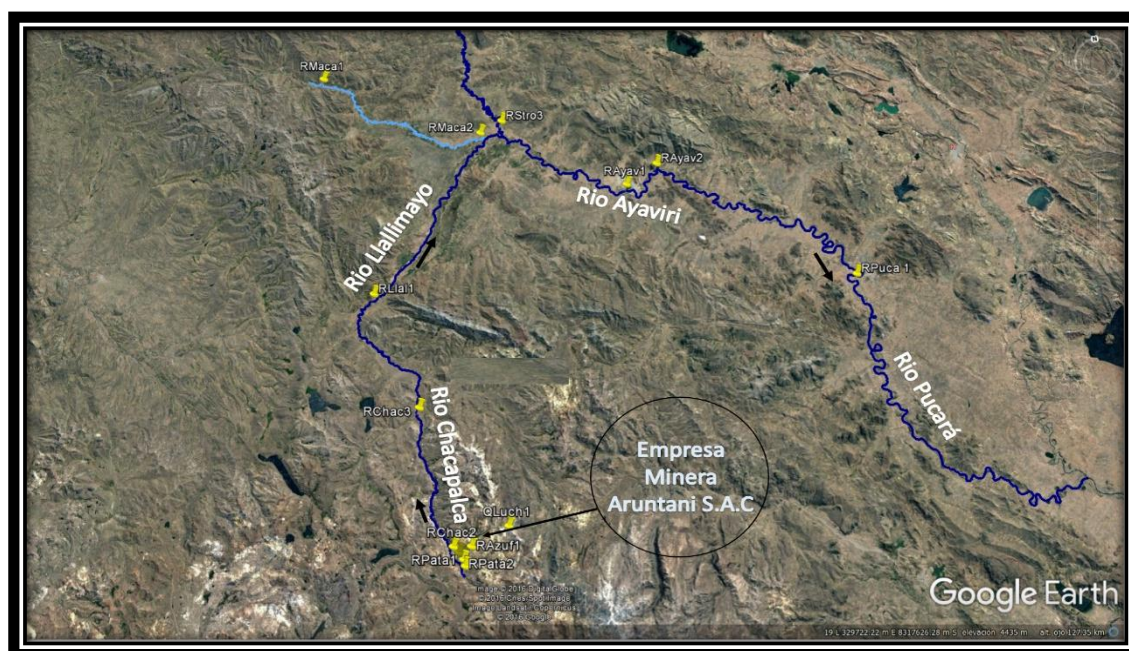


Figura 11. Zona de investigación en los tres puntos de muestreo.

## ANEXO B.



**Figura 12.** Procedimiento de muestreo del análisis de metales pesado en el río Chacapalca de la región Puno 2017.



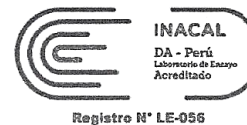
**Figura 13.** Extracción de muestra en las bolsas herméticas pesado en el río Chacapalca de la región puno 2017.



ANEXO C.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-056



INFORME DE ENSAYO N° 172653  
CON VALOR OFICIAL

Nombre del Cliente : CENTRO DE INVESTIGACIONES AMTAWI  
 Dirección : Jr. Revolución 405 - Puno  
 Solicitado Por : CENTRO DE INVESTIGACIONES AMTAWI  
 Referencia : Cotización N° 04124-17  
 Proyecto : Reservado por el cliente  
 Procedencia : Reservado por el cliente  
 Muestreo Realizado Por : CENTRO DE INVESTIGACIONES AMTAWI  
 Cantidad de Muestra : 3  
 Producto : Sedimento  
 Fecha de Recepción : 2017/08/16  
 Fecha de Ensayo : 2017/08/16 al 2017/08/28  
 Fecha de Emisión : 2017/08/29

La muestra fue recepcionada en buenas condiciones

I. Resultados

Código de Laboratorio			172653-01	172653-02	172653-03
Código de Cliente			No Indica	No Indica	No Indica
Fecha de Muestreo			08/08/2017	08/08/2017	08/08/2017
Hora de Muestreo (h)			08:00 - 06:15	06:30 - 08:45	07:00 - 07:15
Tipo de Producto			Sedimento	Sedimento	Sedimento
Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados		
<b>Metales (ICP-AES) (Peso Seco)</b>					
Ag	Plata	mg/Kg PS	0,16	<0,16	<0,16
Al	Aluminio	mg/Kg PS	0,10	9988	9011
As	Arsénico	mg/Kg PS	2,21	8,39	9,41
B	Boro	mg/Kg PS	1,99	<1,99	<1,99
Ba	Bario	mg/Kg PS	0,34	185,9	294,9
Be	Berilio	mg/Kg PS	0,03	<0,03	<0,03
Ca	Calcio	mg/Kg PS	1,49	1671	4525
Cd	Cadmio	mg/Kg PS	0,04	<0,04	<0,04
Ce	Cerio	mg/Kg PS	0,25	<0,25	<0,25
Co	Cobalto	mg/Kg PS	0,10	<0,10	<0,10
Cr	Cromo	mg/Kg PS	0,03	13,29	22,55
Cu	Cobre	mg/Kg PS	0,04	91,19	114,2
Fe	Hierro	mg/Kg PS	0,05	>10000	>10000
K	Potasio	mg/Kg PS	0,31	1477	1392
Li	Litio	mg/Kg PS	1,21	<1,21	<1,21
Mg	Magnesio	mg/Kg PS	0,32	2084	2246
Mn	Manganeso	mg/Kg PS	0,04	333,1	2408
Mo	Molibdeno	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06
Na	Sodio	mg/Kg PS	0,94	237,4	544,5
Ni	Níquel	mg/Kg PS	0,05	5,55	20,13
P	Fósforo	mg/Kg PS	0,69	1389	1328
Pb	Plomo	mg/Kg PS	0,87	24,83	59,62
Sb	Antimonio	mg/Kg PS	0,54	<0,54	<0,54
Se	Selenio	mg/Kg PS	0,82	<0,82	<0,82
Si	Silicio	mg/Kg PS	0,62	79,61	80,70
Sn	Estaño	mg/Kg PS	0,73	<0,73	<0,73
Sr	Estroncio	mg/Kg PS	0,12	49,53	>100
Ti	Titanio	mg/Kg PS	0,08	277,8	1025
Tl	Talio	mg/Kg PS	0,74	<0,74	<0,74
V	Vanadio	mg/Kg PS	0,03	40,07	136,0
Zn	Zinc	mg/Kg PS	0,19	54,03	185,3

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método. L.D.M. = Límite de detección del método. "<" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, ">" = Mayor al rango lineal permitido por la técnica analítica. "—" = No Analizado.

Código de Laboratorio		172653-01	172653-02	172653-03		
Código de Cliente		No Indica	No Indica	No Indica		
Fecha de Muestreo		08/08/2017	08/08/2017	08/08/2017		
Hora de Muestreo (h)		06:00 - 06:15	06:30 - 06:45	07:00 - 07:15		
Tipo de Producto		Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos		
Tipo Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultados			
<b>Metales (ICP-AES) (Peso Seco)</b>						
Ag	Plata	mg/Kg PS	0,16	<0,16	<0,16	<0,16
Al	Aluminio	mg/Kg PS	0,10	9988	9011	9067
As	Arsénico	mg/Kg PS	2,21	8,39	9,41	6,33
B	Boro	mg/Kg PS	1,99	<1,99	<1,99	<1,99
Ba	Bario	mg/Kg PS	0,34	185,9	294,9	302,1
Be	Berilio	mg/Kg PS	0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Ca	Calcio	mg/Kg PS	1,49	1671	4525	4738
Cd	Cadmio	mg/Kg PS	0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Ce	Cerio	mg/Kg PS	0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Co	Cobalto	mg/Kg PS	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cr	Cromo	mg/Kg PS	0,03	13,29	22,55	20,34
Cu	Cobre	mg/Kg PS	0,04	91,19	114,2	44,30
Fe	Hierro	mg/Kg PS	0,05	>10000	>10000	>10000
K	Potasio	mg/Kg PS	0,31	1477	1392	1386
Li	Litio	mg/Kg PS	1,21	<1,21	<1,21	<1,21
Mg	Magnesio	mg/Kg PS	0,32	2064	2246	2457
Mn	Manganeso	mg/Kg PS	0,04	333,1	2408	1530
Mo	Molibdeno	mg/Kg PS	0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Na	Sodio	mg/Kg PS	0,94	237,4	544,5	783,1
Ni	Niquel	mg/Kg PS	0,05	5,55	20,13	15,17
P	Fósforo	mg/Kg PS	0,69	1389	1328	1144
Pb	Plomo	mg/Kg PS	0,87	24,83	59,62	69,14
Sb	Antimonio	mg/Kg PS	0,54	<0,54	<0,54	<0,54
Se	Selenio	mg/Kg PS	0,82	<0,82	<0,82	<0,82
Si	Silicio	mg/Kg PS	0,62	79,61	80,70	90,14
Sn	Estaño	mg/Kg PS	0,73	<0,73	<0,73	<0,73
Sr	Estroncio	mg/Kg PS	0,12	49,53	>100	75,00
Ti	Titanio	mg/Kg PS	0,08	277,8	1025	594,5
Tl	Talio	mg/Kg PS	0,74	<0,74	<0,74	<0,74
V	Vanadio	mg/Kg PS	0,03	40,07	136,0	80,31
Zn	Zinc	mg/Kg PS	0,19	54,03	185,3	84,51



## INFORME DE ENSAYO N° 172653 CON VALOR OFICIAL

### II - Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Metales (ICP-AES)		
Metales (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V and Zn)	EPA Method 3050-B; Rev. 02., 1996 EPA Method 200.7; Rev. 4.4., 1994	Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry ICP-AES.

SIGLAS: "EPA": U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemical Analysis.

**Alfonso Vilca M.**  
GCSSA  
C.Q.P. N° 587

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente.  
Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto.  
El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio.  
El tiempo de perecibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra.  
Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C.

\*\* FIN DEL INFORME \*\*

ANEXO D.

