

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**AGRÍCOLA**



**TESIS**

**CONCENTRACIÓN DE LOS METALES PESADOS Y PROPUESTAS DE  
RECUPERACIÓN EN LA SUB-CUENCA DEL RIO CRUCERO**

**PRESENTADA POR:**

**ISAAC HUMPIRI RAMOS**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA DE RECURSOS DE AGUA Y  
SUELO**

**PUNO, PERÚ**

**2017**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

CONCENTRACIÓN DE LOS METALES PESADOS Y PROPUESTAS DE  
RECUPERACIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RIO CRUCERO

PRESENTADA POR:

ISAAC HUMPIRI RAMOS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERIA DE RECURSOS DE AGUA Y SUELO

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

  
.....  
Dr. EDUARDO FLORES CONDORI

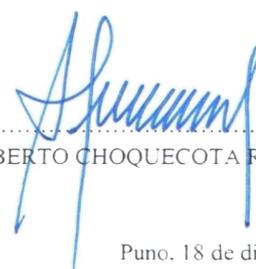
PRIMER MIEMBRO

  
.....  
Dr. LUIS ALFREDO PALAO TURREGUI

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
M.Sc. AUBERTO MILONES CHAFLOQUE

ASESOR DE TESIS

  
.....  
M.Sc. ALBERTO CHOQUECOTA RIVA

Puno, 18 de diciembre de 2017

**ÁREA:** Manejo y conservación de suelo.

**TEMA:** Concentración de metales pesados y propuesta de recuperación.

**LÍNEA:** Evaluación del impacto ambiental.

## DEDICATORIA

*A mi querida esposa Eulalia Zoraida e hijas Liliana, Miluzka y Leidy Katherine, fuente inagotable de motivación, cariño constante y apoyo incondicional, en cada etapa de mi formación académica para la cristalización de mi ansiado anhelo.*

*A la memoria de mi madre Alejandra, que desde el cielo vigila cada paso que avanzo en la vida; a mi adorado Padre Ruperto y hermanos, fuente de Inspiración para concretizar mi objetivo académico.*

*A Silvia Nohemí, Wilfredo, Gino Mauricio, por su apoyo moral e incondicional que en los momentos oportunos motivaron al logro de mi realización profesional.*

## AGRADECIMIENTOS

- Reconocimiento especial a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- A la Autoridad Nacional del Agua del Ministerio de Agricultura y Riego, por haberme brindado la información técnica necesaria para la formulación del presente trabajo de investigación.
- A los docentes de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano, por sus conocimientos, enseñanzas y aporte significativo en mi formación profesional.
- Al M.Sc Alberto Choquecota Riva, por las facilidades, recomendaciones y aporte académico para la culminación del presente trabajo de tesis.
- Al M.Sc Richard Wilberth Apaza Arpasi y al Lic. Miguel Augusto López Ruelas, por sus valiosas orientaciones y asesoramiento en la realización del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

|                         | <b>Pág.</b> |
|-------------------------|-------------|
| DEDICATORIA .....       | ii          |
| AGRADECIMIENTOS .....   | iii         |
| ÍNDICE GENERAL .....    | iv          |
| ÍNDICE DE CUADROS ..... | vi          |
| ÍNDICE DE FIGURAS ..... | viii        |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....  | ix          |
| RESUMEN .....           | x           |
| ABSTRACT.....           | xi          |
| INTRODUCCIÓN.....       | 1           |

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

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1.1. Marco teórico ..... | 3  |
| 1.2. Antecedentes .....  | 18 |

**CAPITULO II****PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 2.1. Definición del problema.....  | 22 |
| 2.2. Enunciado del problema.....   | 23 |
| 2.3. Justificación.....            | 24 |
| 2.4. Objetivos .....               | 24 |
| 2.4.1. Objetivo general.....       | 24 |
| 2.4.2. Objetivos específicos ..... | 25 |
| 2.5. Hipótesis.....                | 25 |
| 2.5.1. Hipótesis general.....      | 25 |
| 2.5.2. Hipótesis específicas.....  | 25 |

**CAPÍTULO III****MATERIALES Y MÉTODOS**

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 3.1. Lugar de estudio..... | 26 |
| 3.2. Población.....        | 26 |



3.3. Muestra..... 27

3.4. Método de investigación ..... 30

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos ..... 30

**CAPÍTULO IV**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

CONCLUSIONES ..... 82

RECOMENDACIONES ..... 84

BIBLIOGRAFÍA ..... 85

ANEXOS ..... 90

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| 1. Estándares de calidad ambiental y límites permisibles en agua superficial .....  | 12          |
| 2. Puntos de Monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua en la Unidad Hidrográfica Azángaro.....  | 27          |
| 3. Red o Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua superficial para contraste en la Subcuenca Crucero (Unidad Hidrográfica Azángaro) .....   | 28          |
| 4. Actividades de Monitoreo realizados por la Autoridad Nacional del Agua (2011-2015). .....  | 31          |
| 5. Actividades de monitoreo realizados para datos de contraste sobre metales pesados en la cabecera de la Subcuenca Crucero (2013).....   | 31          |
| 6. Registro de parámetros de campo para calidad de agua superficial. ....   | 32          |
| 7. Laboratorios acreditados para análisis de calidad de agua superficial. ....  | 32          |
| 8. Metodología de ensayo para análisis de calidad de agua superficial – metales pesados. ....   | 33          |
| 9. Resultados de monitoreo de la calidad de agua superficial, para datos de contraste - metales pesados en la cabecera de Subcuenca Crucero (2013).....                                       | 38          |
| 10. Resultados de monitoreo de la calidad de agua superficial – metales pesados en la cabecera de Subcuenca Crucero (ANA 2011-2015).....  | 39          |
| 11. Comparación de valores promedio de metales pesados (ANA) y contraste en agua superficial (mg/L), en la Sub cuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....             | 40          |
| 12. Estadística descriptiva del Oxígeno Disuelto (mg/L), según años, época y zona, en la Sub cuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2014. ....                               | 40          |
| 13. Estadística descriptiva de Conductividad Eléctrica (CE) en agua superficial (uS/cm), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2014. .... | 42          |
| 14. Estadística descriptiva de pH en agua superficial, según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2014 .....                                   | 44          |
| 15. Estadística descriptiva de la Temperatura del agua (T°) en agua superficial (°C), según años, época y zona en la en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2014.   | 46          |
| 16. Estadística descriptiva del Arsénico (As) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la en la Sub cuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.....          | 49          |
| 17. Estadística descriptiva del Cadmio (Cd) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....                  | 50          |

|  |    |
|--|----|
| 18. Estadística descriptiva del Cobre (Cu) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la SubSubcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.....  | 53 |
| 19. Estadística descriptiva del Cromo (Cr) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la sub Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....  | 55 |
| 20. Estadística descriptiva del Mercurio (Hg) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....   | 57 |
| 21. Estadística descriptiva del Plomo (Pb) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.....   | 59 |
| 22. Estadística descriptiva de los Niveles de Zinc (Zn) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....                               | 62 |
| 23. Correlación de variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.....   | 66 |
| 24. Valores propios del Análisis de Componentes Principales ACP para variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Subcuenca Crucero - Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.....             | 70 |
| 25. Contribuciones porcentuales del Análisis de Componentes Principales ACP para variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Subcuenca Crucero - Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015..... | 70 |
| 26. Análisis de varianza (cuadrados medios) para metales pesados en agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....   | 72 |
| 27. Modelos lineales de estimación para metales pesados en agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.....   | 73 |
| 28. Agentes de precipitación de posible uso para depuración de metales pesados en agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro. ....  | 75 |
| 29. Características de las técnicas de tratamiento de metales de posible uso en la Unidad Hidrográfica Azángaro.....   | 80 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| 1. Puntos de Monitoreo en la Subcuenca Crucero (Unidad Hidrográfica Azángaro).....   | 29          |
| 2. Concentraciones de Arsénico (As) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la<br>Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....  | 48          |
| 3. Concentraciones de Cadmio (Cd) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la<br>Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....  | 50          |
| 4. Concentraciones de Cobre (Cu) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la<br>Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....   | 52          |
| 5. Concentraciones de Cromo (Cr) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la<br>Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....   | 55          |
| 6. Concentraciones de Mercurio (Hg) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la<br>Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....  | 57          |
| 7. Concentraciones de Plomo total (Pb) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de<br>la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....   | 59          |
| 8. Concentraciones de Zinc (Zn) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la<br>Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....  | 61          |
| 9. Correlación de variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la<br>Subcuenca Crucero - Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. ....  | 68          |
| 10. Biplot de las variables en estudio respecto a los Análisis de Componentes Principales ACP<br>para variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Subcuenca Crucero-<br>Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015. .... | 71          |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| 1. Análisis estadístico de resultados de parámetros físicos y metales pesados ..... | 91  |
| 2. Resultados de monitoreos de la Autoridad Nacional del Agua.....                  | 101 |
| 3. Resultados de monitoreos del Autor de la Investigación .....                     | 106 |

## RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo de determinar la concentración de metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) en el agua superficial de la Subcuenca Crucero (Unidad Hidrográfica Azángaro), mediante una evaluación comparativa del comportamiento multiestacional (estiaje y avenida), multianual (2011-2015) y espacial (cabecera y receptor), con información oficial de la Autoridad Nacional del Agua (2011-2015) e información de contraste (monitoreo propio). Los resultados se evaluaron estadísticamente con análisis de varianza, prueba de rango múltiple de Duncan, análisis de correlación y de componentes principales (PCA), además se evaluó diferentes propuestas de restauración a la problemática generada por los metales pesados. Se obtuvo que, los metales pesados As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn, superaron al menos una vez el ECA3 entre 2011 a 2015; su concentración no mostró variaciones anuales (2011 a 2015) ni estacionales (estiaje y avenida) ( $p>0,05$ ). Los metales pesados Cd, Hg y Zn, presentaron una mayor concentración en la zona de cabecera de cuenca a la probabilidad ( $p<0,05$ ), los demás elementos As, Cu, Cr y Pb mostraron concentraciones similares en cabecera y receptor ( $p>0,05$ ). Existe correlación lineal entre CE, respecto de As, Cd, Cu, Pb y Zn, excepto Hg; al aumentar concentraciones de As, Cd, Cu y Zn, disminuye el OD en el agua. Al incrementarse As, se incrementan Cd, Cu, Cr, Pb y Zn; así como el Cobre con Cr, Pb y Zn; el Cromo con Hg, Pb y Zn. Del mismo modo, el Mercurio con Pb y Zn; el Plomo con Zn. El OD y pH disminuyen con la presencia de metales pesados, y en estiaje muestran valores más bajos. La CE es un buen indicador de la concentración de Cu, Cd, As, Zn y Pb. La concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn depende de la zona, y no de la época. El Cr y Hg son indiferentes a la zona y época. Se evaluó diferentes alternativas de recuperación de aguas superficiales con contaminación por metales pesados, recomendándose para la zona de estudio en cabecera de cuenca, el tratamiento por precipitación química y en la zona baja procesos combinados con bioadsorción.

**Palabras clave:** Agua superficial, cabecera de cuenca, concentración, metales pesados y recuperación.

## ABSTRACT

The study was conducted with the objective of determining the concentration of heavy metals (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb and Zn) in the surface water of the Crucero Subbasin (Azángaro Hydrographic Unit), through a comparative evaluation of multistational behavior (estuary and avenue), multi-year (2011-2015) and space (header and receiver), with official information from the National Water Authority (2011-2015) and contrast information (own monitoring). The results were evaluated statistically with analysis of variance, Duncan's multiple range test, correlation and principal component analysis (PCA), and different restoration proposals were evaluated for the problem generated by heavy metals. It was obtained that the heavy metals As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb and Zn exceeded the ECA3 at least once between 2011 and 2015; its concentration showed no annual (2011 to 2015) or seasonal (low and high water) variations ( $p > 0.05$ ). The heavy metals Cd, Hg and Zn, showed a higher concentration in the basin area at the probability ( $p < 0.05$ ), the other elements As, Cu, Cr and Pb showed similar concentrations at the head and receiver ( $p > 0.05$ ). There is linear correlation between CE, with respect to As, Cd, Cu, Pb and Zn, except Hg; by increasing concentrations of As, Cd, Cu and Zn, the OD in the water decreases. As As increases, Cd, Cu, Cr, Pb and Zn are increased; as well as Copper with Cr, Pb and Zn; Chromium with Hg, Pb and Zn. Similarly, Mercury with Pb and Zn; the Lead with Zn. The OD and pH decrease with the presence of heavy metals, and in low water they show lower values. The EC is a good indicator of the concentration of Cu, Cd, As, Zn and Pb. The concentration of As, Cd, Cu, Pb and Zn depends on the area, and not on the time. The Cr and Hg are indifferent to the area and time. Different alternatives for recovering surface water with heavy metal contamination were evaluated, the treatment by chemical precipitation was recommended for the study zone in the basin, and in the lower area combined processes with bioadsorption.

**Key words:** Surface water, basin header, concentration, heavy metals and recovery.

## INTRODUCCIÓN

El agua por su importancia para la vida, es considerada en muchos países de América Latina y Centro (ALC), como un bien económico y más aún después de la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente realizada en Dublín (Redlach, 2009). En su principio cuarto, se asegura que el “agua tiene un valor económico en todos los diversos usos a los que se la destina y debería reconocérsela como un bien económico” (Solanes y González, 2001). Por lo tanto, la gestión integrada del agua, así como las leyes de aguas que se apliquen deben ser orientadas con este fin para garantizar el desarrollo social, económico y cultural de las comunidades humanas (Redlach, 2009).

La cuenca del río Ramis es la más grande de las cuencas aportantes al Lago Titicaca, la cual viene siendo afectada desde mucho antes del 2006, principalmente, por la actividad minera aurífera artesanal e informal que se desarrolla en la cabecera de cuenca, sectores de Chaquiminas y Pampa Blanca del distrito de Ananea, provincia San Antonio de Putina del departamento de Puno, donde los relaves, producto del lavado del material aurífero, conteniendo sólidos en suspensión, son vertidos en la naciente de los ríos de la cuenca del río Ramis, ocasionando la turbidez de las aguas, lo que viene perjudicando el desarrollo del agro, la ganadería y la piscicultura; por consiguiente, mediante la Resolución Ministerial N° 374-2006-PCM (21/10/2006), se constituyó la Comisión Multisectorial encargada de proponer un Plan de Acción dirigido a lograr la recuperación de la cuenca del río Ramis, adscrita al Ministerio de Energía y Minas e integrada por representantes del Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Interior, Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), Superintendencia Nacional de Administración Tributaria (SUNAT) y Gobierno Regional del departamento de Puno.

Los monitoreos participativos (08 actividades) de la calidad de agua superficial realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del 2011 a 2015 a cargo de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, de acuerdo a la categoría de cada cuerpo natural de agua clasificado para los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua, considera varios parámetros de calidad, entre ellos, los metales pesados y se refiere de modo específico a cada periodo de muestreo.

En este contexto, resulta necesario realizar un análisis multitemporal de los resultados obtenidos por la Autoridad Nacional del Agua y de contraste (elaboración propia), en relación de la presencia (concentración) y comportamiento (fluctuación anual e interanual, capacidad de resiliencia de los cuerpos de agua, y otros) de la carga contaminante de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo, Zinc) en el agua superficial de la cabecera de Subcuenca Crucero, por sus implicancias ambientales en el ecosistema fluvial y su entorno, y en función de ello plantear acciones para la protección de la calidad de los recursos hídricos.

Otro aspecto importante es la peligrosidad de los metales pesados para el ser humano, puesto que éstos se acumulan en nuestro organismo y no son eliminados de forma natural. Estos compuestos son muy peligrosos para la salud y afectan a negativamente a diferentes órganos, en este caso concentraciones que superan ciertos límites en el agua pueden ser potencialmente peligroso para los pobladores. Los principales órganos que se ven dañados ante la acumulación de metales pesados en el organismo son los riñones, hígado, pulmones y también el sistema nervioso (central y periférico).

Así mismo, se requiere realizar propuestas de remediación del problema ambiental de contaminación por metales pesados, las mismas que deben orientarse a tratar desde su origen en la cabecera de cuenca y en las zonas bajas se debe proponer medidas acordes a su situación actual.

El presente informe inicia con una introducción del tema de los metales pesados en aguas superficiales y sus implicancias en la salud humana, en el Capítulo I realizamos una revisión de la literatura relevante al tema de estudio, en el Capítulo II se muestra el planteamiento del problema, en el Capítulo III los materiales y métodos utilizados en el desarrollo del estudio, especificando el lugar de estudio, población, muestra, métodos y su descripción para cada objetivo de la investigación, en el Capítulo IV exponemos los resultados y discusión, presentándolos en tablas y figuras, realizando una descripción de los mismos y su respectivo análisis estadístico, posteriormente se realiza la discusión de los mismos con la literatura relacionada. Finalmente se presenta las conclusiones derivadas de los resultados, las recomendaciones pertinentes y la bibliografía utilizada, así como los anexos.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1. Calidad Ambiental

El Ministerio del Ambiente (2010), señala que “calidad ambiental” es el conjunto de características del ambiente, en función a la disponibilidad y facilidad de acceso a los recursos naturales y a la ausencia o presencia de agentes nocivos; todo esto necesario para el mantenimiento y crecimiento de la calidad de vida de los seres humanos. Asociados a este concepto, se encuentran los términos “estándar de calidad ambiental” y “límite máximo permisible”, instrumentos de gestión ambiental que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental, permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control, seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas.

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Un ECA es de observancia obligatoria para el diseño de normas legales, políticas públicas; y para el diseño y aplicación de instrumentos de gestión ambiental, así como para el otorgamiento de la certificación ambiental. El numeral 31.4 de la Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) establece que ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los ECA, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas naturales o jurídicas, debiendo sustentarse las sanciones en el

incumplimiento de obligaciones a cargo de las personas naturales o jurídicas, incluyendo aquellas contenidas en los instrumentos de gestión ambiental.

De otro lado, los Límites Máximos Permisibles (LMP) son definidos por la legislación ambiental peruana como “la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente”. La característica más importante de los LMP es que su cumplimiento es exigible legalmente; es decir, el titular de la actividad productiva que no cumpla con los mismos puede ser pasible de sanción.

Es responsabilidad del Ministerio del Ambiente dirigir el proceso de elaboración y revisión de los ECA y LMP y, en coordinación con los sectores correspondientes, elaborar o encargar las propuestas de ECA y LMP para su aprobación, mediante Decreto Supremo. En otros, el MINAM deberá tomar en cuenta, para la elaboración de los ECA y LMP, las normas establecidas en la materia por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o de las entidades de nivel internacional especializada en temas ambientales. Asimismo, junto a estas herramientas, se encuentra también un elemento muy importante en la gestión de la calidad ambiental en el Perú, que es la Evaluación de Impacto Ambiental. La Evaluación de Impacto Ambiental es un proceso de análisis sistemático, reproducible e interdisciplinario de los impactos potenciales, tanto de una acción propuesta como de sus alternativas, en los atributos, físicos, biológicos, culturales y socioeconómicos de un área geográfica en particular (Ministerio del Ambiente, 2010).

### **1.1.2. Contaminación ambiental**

El medio ambiente es definido como la totalidad de circunstancias que rodean a un organismo o grupo de organismos, especialmente, la combinación de condiciones físicas externas que afectan y tienen influencia en el crecimiento y desarrollo, y supervivencia de los organismos (Farlex, 2005). Está compuesto por la flora, fauna y los organismos vivos, e incluye a los habitantes acuáticos, terrestres y atmosféricos. El medio ambiente es considerado en términos de sus aspectos más tangibles como, aire, agua, y alimentos y los menos tangibles, pero no menos importantes como la comunidad en la que vivimos (Gore, 1997). Un contaminante

es cualquier sustancia en el medio ambiente que cause efectos cuestionables, perjudicando el bienestar del entorno, reduciendo la calidad de vida y eventualmente causando la muerte. Tal sustancia tiene que estar presente en el medio ambiente dentro de un límite de tolerancia fijado, que puede ser tanto un límite deseable o aceptable. Por lo tanto, la contaminación ambiental es la presencia de un contaminante en el aire, agua y/o suelo que puede ser venenoso o tóxico y puede causar daño a los seres en el ambiente contaminado (Duruibe, *et al.*, 2007).

La contaminación ambiental con metales pesados es muy notable en las áreas cercanas a los emprendimientos mineros y a viejas minas abandonadas y esta se reduce en la medida que se incrementa la distancia al alejarse de las mismas. (Peplow, 1999). Estos metales son lixiviados y arrastrados por desbordes de los diques de cola, como agua ácida hacia los desagües naturales, que finalmente terminarán en el mar. A través de las actividades mineras los depósitos de agua son los más enfáticamente contaminados (Garbarino *et al.*, 1995). A través de ríos y arroyos, los metales son transportados tanto disueltos en el agua como parte de sedimentos en suspensión (las disoluciones en el agua tienen el mayor potencial para producir los efectos dañinos más grandes). Estas soluciones se depositan finalmente como sedimentos en los lechos de los ríos o se filtran hasta las aguas subterráneas contaminando. Se ha informado que las perforaciones cercanas a las minas contienen niveles de metales pesados que exceden los criterios aceptados para el agua potable (Garbarino *et al.*, 1995; Peplow, 1999).

### **1.1.3. Factores que influyen en la calidad de los recursos hídricos**

La Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos Autoridad Nacional del Agua (2016), señala que la calidad de los recursos hídricos se ve afectada por dos factores principales: Antropogénicos. Comprende actividades poblacionales y productivas que usan el recurso hídrico desde su fuente natural, las cuales generan vertido de aguas residuales no tratadas; asimismo, una deficiente cobertura del sistema de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, manejo inadecuado de agroquímicos y residuos sólidos domésticos, pasivos ambientales mineros e hidrocarburíferos, minería informal e ilegal y deforestación. Y, factores naturales, relativo a la naturaleza o producido por ella sin la intervención del hombre, como las características geológicas,

hidrológicas, edafológicas, condiciones climatológicas, cambio climático, naturaleza volcánica y fenómenos naturales, entre otras.

#### **1.1.4. Efluentes procedentes de la minería**

El Perú alberga una enorme riqueza minera, que se expresa por la ingente producción de cobre, oro, plata, Plomo Zinc y estaño de sus minas; y complementada por la explotación de otros metales como: Molibdeno, hierro, camino, mercurio selenio e indio. Esta diversificación de la oferta es reconocida por inversionistas mineros y constituye la principal ventaja competitiva frente a los demás países de la región (PWC, 2013)

El potencial crecimiento de la actividad minera es alto, ya que solo 1,09% del territorio nacional ha sido autorizado para el ejercicio de esta actividad y 13% del área solicitada en concesión falta explorar y poner en operación, de acuerdo con los resultados de los estudios de viabilidad (MINEM, 2011).

Los últimos dos años venimos siendo testigos de la disminución en los precios internacionales de los metales, los cuales impactan directamente en el comportamiento del sector minero en el Perú, donde observamos que la producción minera del año 2014 reflejó altas y bajas en ciertos metales en comparación con el 2013 (Mejía, 2015).

Los vertimientos de aguas residuales mineros contienen trazas de metales según el tipo de minerales que se exploten y residuos de insumos químicos empleados en el proceso productivo, que con el tratamiento fisicoquímico llegan a remover y disminuir las concentraciones de dichos componentes, logrando el cumplimiento de los límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas establecidas en el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. A diciembre del 2015, la ANA autorizó al sector minero el vertimiento de 325.88 Hm<sup>3</sup> y el reúso de 7,2 Hm<sup>3</sup> del volumen total de aguas residuales tratadas.

#### **1.1.5. Efluentes procedentes de la minería informal**

Estimaciones de la cantidad de mineros informales indican que podrían ser cientos de miles de personas dispersas en actividades de la minería informal en todo el territorio nacional (según el MINEM son 55 181 declarantes mineros con

compromiso de formalización) que contribuyen con el deterioro de la calidad del agua debido a que utilizan, en sus procesos artesanales para la obtención de oro, elementos sumamente contaminantes como el mercurio y el cianuro vertidos directamente a los cuerpos de agua a través de relaves y drenajes ácidos de mina.

La minería informal se practica actualmente en 21 de las 25 regiones del país, la que se lleva a cabo en la región de Madre de Dios que destaca de manera particular, no solo por concentrar la mayor parte de esta actividad productiva, sino también por sus efectos nefastos en el ecosistema: 50 mil hectáreas de bosques arrasados en dicho territorio, las cuales equivalen a la quinta parte de Lima Metropolitana afectando a gran parte de los ríos de la región (Torres, 2015).

#### **1.1.6. Metales pesados**

Se denominan 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  $4 \text{ g/cm}^3$  (Rivera, 2001). Todos los metales pesados se encuentran presentes en los medios acuáticos, aunque sus concentraciones son muy bajas. Los compuestos orgánicos pueden constituir fases con gran capacidad de captura de cationes metálicos, que en ocasiones dan lugar a fases extremadamente tóxicas (ejemplo el metil mercurio). Dentro de los metales pesados importantes tenemos: Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, TI, Pb, U y Hg (Castro y Monroy, 2002).

#### **1.1.7. Metales pesados en la materia en suspensión.**

Los metales pesados en la materia en suspensión, generalmente, presentan mayores concentraciones que en los sedimentos, posiblemente debido en gran parte, a que los procesos de precipitación produzcan coloides enriquecidos en metales pesados (Dekov *et al.*, 1997).

Los metales pesados generalmente se hallan unidos a óxidos e hidróxidos de manganeso y hierro y a sustancias orgánicas, que de forma muy acusada afectan a los procesos de interacción entre los sólidos y los metales disueltos (Seoáñez, 2000).

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) los metales pesados son introducidos como resultado de la acción de procesos naturales y antropogénicos. Por ello, vamos a distinguir entre un origen natural de metales pesados y otro antropogénico; si bien en la práctica la distinción entre una contaminación de origen industrial, doméstico o natural y la producida por actividades mineras resulta difícil de discernir

- a. **Origen natural:** El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer grado de las acciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (Forstner, 1981).
- b. **Origen antropogénico:** Se entiende por contaminación de origen antropogénico, la procedente de la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. El uso de los metales pesados ha ido aumentando paralelamente al desarrollo industrial y tecnológico. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado. Si bien, la tendencia aunque lenta, es sustituir progresivamente en la industria, algunos metales pesados potencialmente tóxicos por otros materiales más inocuos (Forstner y Wittmann, 1981).
- c. **Origen minero.-** En nuestra zona de estudio la minería es de tipo metálico, existen explotaciones mineras de oro nativo, que se sitúan en la Cordillera Oriental de mineralización primaria, lugar donde nace la cuenca del río Ramis. Los desechos líquidos de estas actividades, salmueras, tienen importantes concentraciones de metales pesados (MEM, 1998).

### 1.1.8. Metales pesados y metaloides

La importancia que tiene el estudio de metales pesados y metaloides (plomo, cadmio, mercurio, arsénico, antimonio, boro, silicio) en los cuerpos de agua (ríos o lagos) se debe a su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación en los organismos acuáticos. Los efectos tóxicos de los metales pesados o metaloides no se detectan fácilmente en el corto plazo. La toxicidad de estos elementos es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los organismos acuáticos.

Las altas concentraciones de metales pesados o metaloides en los cuerpos de agua generalmente están asociados a las actividades humanas que generan descargas

industriales, minero metalúrgico, o también a la naturaleza geoquímica de la cuenca. Existen casos en que las altas concentraciones de metales pesados en los cuerpos de agua asociados a sulfuros tales como As, Cd, Cu, Pb y Zn puede atribuirse a la minería y son causa de fuerte impacto en el medio ambiente (Solomons, 1999).

Los metales pesados tienen tres vías de entrada a un cuerpo de agua, estas son:

- a. La vía atmosférica**, que se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antrópicos, principalmente por combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales.
- b. La vía terrestre**, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de suelos contaminados (pasivos ambientales, lixiviación de botaderos de residuos sólidos, precipitaciones atmosféricas, etc.), o debido a la naturaleza geoquímica de los suelos de la cuenca.
- c. La vía directa** de entrada de metales pesados, es a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales, mineros metalúrgicos y urbanos.

#### **1.1.9. Metales pesados objeto de estudio.**

En el presente trabajo se estudian los metales: Arsénico, cadmio, cobre, Cromo, plomo, zinc y mercurio. Estos elementos son los de mayor interés debido a su alta toxicidad.

El Arsénico (As) es un metal integrante de minerales metálicos y sulfuros de otros metales, como el Cu, Co, Pb y Zn, entre otros. Numerosos compuestos de Arsénico son solubles en agua, especialmente en forma de  $As^{5+}$  y  $As^{3+}$  y complejos orgánicos.

Efectos a la salud humana, perturba los procesos de óxido, reducción celular, acción cancerígena, gastrointestinales, cardiovasculares, disfunciones en el sistema nervioso (Adriano, 1986).

El Cadmio (Cd), es uno de los principales contaminantes de suelos agrícolas de todo el mundo debido a su alta movilidad. El Cadmio no es un elemento esencial para los animales y el hombre, pero para ambos puede tener efectos tóxicos agudos de corto plazo y crónicas de mediano y largo plazo. Los efectos agudos pueden

producir daño severo en varios órganos, entre ellos edema pulmonar, problemas respiratorios, bronconeumonía. Casi todos los depósitos de zinc contienen cadmio, a pesar de que la concentración de éste último no sobrepasa el 1.0%. Está asociado al zinc en forma de sulfuro, la solubilidad de sus compuestos en el agua depende fundamentalmente de la acidez de ésta, siendo sus complejos húmicos poco solubles. La forma más común del Cadmio es el sulfuro (CdS). El pH y el potencial redox son los principales factores que controlan su movilidad. Efectos a la salud humana, efectos agudos y crónicos, cáncer, riñones, osteoporosis (Ramírez, 2002).

El Cobre (Cu), Se presenta principalmente en forma de sulfatos, carbonatos, de sulfuros de Fe y Cu calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), cuprita (óxido de cobre), malaquita y azurita (carbonatos de cobre). Las concentraciones de Cobre en distintos materiales del medio ambiente. La solubilidad, movilidad y biodisponibilidad del Cu en los sedimentos dependen fundamentalmente del valor de pH. La biodisponibilidad del Cu se reduce drásticamente en los sedimentos a pH por encima de 7 y es fácilmente disponible por debajo de pH 6. Por otro lado, la materia orgánica también tiene incidencia por la alta capacidad de adsorción de Cu. Efectos a la salud humana, destruye el carbono, inhibe el desarrollo bacteriano, trastornos en la digestión o el metabolismo (Adriano, 1986).

El Cromo (Cr). En condiciones naturales el Cromo se presenta casi siempre en forma de trivalente y prácticamente todo el hexavalente que existe es generado por las actividades humanas. De las dos que se encuentran en la naturaleza, la trivalente es relativamente benigna, mientras que la hexavalente es tóxica (Adriano, 1986). El Cr (VI) es de naturaleza aniónica y no es fuertemente adsorbido por el sedimento o la materia particulada, por ello es más móvil que el Cr(III) y no es propenso a sedimentar. Si el agua contiene poco material orgánico, el Cr (VI) puede permanecer disuelto en ella durante largos periodos de tiempo. En aguas aeróbicas el Cr (VI) es estable, pero en condiciones anaeróbicas se reduce a Cr (III). El Cromo puede presentar estados de oxidación desde II hasta VI. Desde el punto de vista industrial y ambiental, sólo tienen importancia el Cr (0)-metal, el Cr (III)- crómico y el Cr (VI)-cromato y dicromato, siendo el Cr (III) el más estable.

Efectos a la salud humana, daño permanente a los ojos, irritación a las fosas nasales, dermatitis, ulcera gástrica, daño a los riñones, lesiones al pulmón (Doménech, 1995).

Mercurio (Hg), El Mercurio es un elemento tóxico y no esencial para humanos, animales y plantas. El Mercurio metilado es la forma más tóxica. El metil mercurio (MeHgOH), es neurotóxico. Los peces y semillas contaminadas han producido serios envenenamientos en humanos (WHO, 1999).

El riñón es el principal órgano que concentra Mercurio inorgánico en los mamíferos y en los peces. En el caso de los mamíferos, el riñón concentra por lo general entre 50 y 80 % de todo el Mercurio presente en el organismo (OMS, 1991).

González *et al.* (1990) señalan que el Mercurio se halla en todo tipo de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas). El contenido de Mercurio en muchas rocas ígneas generalmente es  $<200 \mu\text{g/g}$ , con una concentración media inferior a  $100 \mu\text{g/g}$ . El Mercurio habitualmente no se encuentra en el medio natural y su presencia significa una contaminación de carácter antropogénico (Faust y Aly, 1981); Malm *et al.*, 1990). Este metal es considerado como el más tóxico de todos los metales pesados que aquí se tratan. El origen principal del Mercurio es el uso de pesticidas mercuriales, la amalgamación del oro, las industrias químicas, la minería e industrias en general. El Mercurio, dada su volatilidad puede encontrarse en las tres fases: atmósfera, medio acuoso y sedimentos.

Efectos a la salud humana, efectos teratogénos, mal formaciones en los fetos, abortos, bebés de bajo peso, trastornos mentales, complicaciones en el parto, alteraciones al oído. El Mercurio se acumula en el riñón, cerebro y cabello.

Plomo (Pb), El Plomo es un metal muy poco móvil y que tiende a adsorberse en la zona no saturada de los ríos, por el material arcilloso y la materia orgánica, y con el aumento del pH puede precipitar como  $\text{Pb}(\text{OH})_2$ . En el medio acuático a un pH comprendido entre 7 y 9, el Plomo se encuentra como ion libre divalente,  $\text{Pb}^{2+}$ , así como también como carbonato disuelto  $\text{PbCO}_3$ . El Plomo puede presentarse bajo diferentes formas químicas: Pb (0) metal, Pb (I), Pb(II) y Pb (IV) todas ellas, con la probable excepción del Pb (I), tienen importancia en el medio ambiente. (Adriano, 1986).

Efectos a la salud humana, tejido óseo (saturismo), tracto gastrointestinal, riñones, neurológico, sistema reproductor.

Zinc (Zn), Este elemento puede presentar niveles significativos en el medio acuático debido a las deyecciones de animales y personas (Al-Saleh y Al-Doush, 1998; Facetti *et al.*, 1998). Según estudios realizados, una persona adulta excreta entre 7 y 20 mg/l de Zinc al día.

Es importante resaltar que el Zinc es un elemento esencial para el hombre, sin ser tóxico a dosis altas y dado que se suele dar asociado al Cd (elemento muy tóxico) su incremento en una corriente fluvial puede informar sobre una potencial presencia indeseable de este último metal en el agua. Efectos a la salud humana, metabolismo de Fe, actúa en la síntesis de la hemoglobina.

**1.1.10. Estándares de calidad ambiental y Límites máximos permisibles para metales pesados en la normatividad peruana.**

Tabla 1. Estándares de calidad ambiental y límites permisibles en agua superficial

| PARÁMETROS             | Unidad                                     | Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua      |  |                     |       | Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos |        |
|------------------------|--|--|--|---------------------|-------|---|--------|
|                        |  | D.S. 02-2008-MINAM                                   |  | D.S. 015-2015-MINAM |       | D.S. N° 010-2010-MINAM*   |        |
|                        |  | Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales |  |                     |       |   |        |
| D1: Bebida de animales | D2: Riego de cultivos de tallo alto y bajo | D1: Bebida de animales                               | D2: Riego de cultivos de tallo alto y bajo |                     |       |   |        |
| Arsénico total         | mg/L                                       | 0.1  | 0.05                                       | 0.2                 | 0.1   | 0.1   | 0.08   |
| Cadmio total           | mg/L                                       | 0.01   | 0.005                                      | 0.05                | 0.01  | 0,05  | 0,04   |
| Cobre total            | mg/L                                       | 0.5  | 0.2  | 0.5                 | 0.2   | 0,5   | 0,4    |
| Cromo total            | mg/L                                       |  |  | 1                   | 0.1   |   |        |
| Mercurio total         | mg/L                                       | 0.001  | 0.001                                      | 0.01                | 0.001 | 0,002   | 0,0016 |
| Plomo total            | mg/L                                       | 0.05   | 0.05                                       | 0.05                | 0.05  | 0,2   | 0,16   |
| Zinc total             | mg/L                                       | 24   | 2  | 24                  | 2     | 1,5   | 1,2    |

Fuente: Ministerio del Ambiente, según marco legal establecido.

**1.1.11. Riesgos de los metales pesados en la salud humana.**

El aumento intenso y constante de las actividades antropogénicas e industriales han favorecido la emisión de sustancias contaminantes hacia los ecosistemas, que están íntimamente relacionados con las especies animales, en particular, las domésticas

incluyendo al hombre, lo que facilita la entrada de dichas sustancias tóxicas en la cadena trófica. El contenido residual de algunos elementos de la leche y carne es un importante indicador directo del grado de contaminación (González, 2009). Es un indicador indirecto de las condiciones ambientales locales o periféricas, principalmente del suelo, agua, aire y vegetación de la zona donde se localiza ganado. La aplicación de sustancias biosólidas, fertilizantes, estiércol de ganado, agroquímicos y la irrigación con aguas contaminadas son algunas de las actividades que contaminan el ambiente y específicamente los suelos agrícolas y de pastoreo. Así se producen alteraciones en la vegetación por la presencia de elementos con la consecuente transferencia de estos elementos tóxicos a la dieta del hombre por el consumo de los propios cultivos y/o por la ingestión de alimentos de origen animal de ganado alimentado con pastos y forrajes provenientes de dichos suelos contaminados (González, 2009).

En general, la exposición a metales pesados a lo largo del tiempo está relacionada con varios tipos de cáncer, problemas en el desarrollo de fetos y niños, artritis, enfermedades cardiovasculares, dolencias renales, etc. Entre los principales efectos por los metales pesados se tienen a los siguientes:

- Plomo: afecta al sistema nervioso, está asociado a anemia, esclerosis, fatiga y a cáncer de riñón.
- Mercurio: asociado a alteraciones neurológicas, autismo, depresión, problemas del aparato respiratorio.
- Arsénico: está asociado a enfermedades vasculares, bronquitis, cáncer de esófago, de pulmón, laringe y vejiga, produce hepatotoxicidad. No es exactamente un metal, pero es un contaminante muy peligroso.
- Berilio: asociado a cáncer de pulmón y a la irritación de las mucosas y la piel.
- Cromo: este metal pesado está asociado a cáncer de pulmón, hepatotoxicidad y nefrotoxicidad.
- Cadmio: está asociado a enfisema, cáncer de próstata, bronquitis, infertilidad, enfermedades vasculares, alteraciones neurológicas y toxicidad en riñones.

- Níquel: la exposición a largo plazo puede producir dolencias cardíacas, irritación de la piel y daños en el hígado.
- Cobre: causa daño en el hígado, en los riñones, está asociado a anemia y a irritaciones del intestino delgado e intestino grueso.
- Manganeso: daña el páncreas, el hígado, el aparato respiratorio, los riñones, el sistema nervioso central y está asociado al Parkinson.
- Estaño: asociado a dolor de cabeza, irritación de mucosas y piel, daños en el sistema inmunológico, depresión, trastorno del sueño y daños hepáticos.
- Zinc: dolor de estómago e infección de las mucosas.

#### **1.1.12. Marco legal**

##### **a. Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente” del 15.10.2005.**

Esta norma sistematiza adecuadamente las normativas y establece deberes, derechos y principios fundamentales de protección al medio ambiente, tales como: 1) Que toda persona tiene derecho a vivir en un ambiente saludable, 3) A la participación en la gestión ambiental, 4) Acceso a la justicia ambiental, 5) Principio de sostenibilidad, 6) De prevención, 7) Principio precautorio, 9) De responsabilidad ambiental, 10) Principio de equidad y 11) de gobernanza ambiental. Asimismo, enumera y conceptualiza todos los instrumentos de gestión ambiental existentes en el país.

**Artículo 32°, numeral 32.1.** El Límite Máximo Permisible (LMP), es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede ocasionar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos y mínimos o rangos.

##### **b. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM del 31.07.2008.**

Mediante el cual se aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, estableciendo el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o

parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

**c. Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM del 19.12.2009.**

Establecen disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que en su artículo 8°, inciso 8.1, establece que a partir del 1 de abril del 2010, los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, son referente obligatorio para el otorgamiento de las autorizaciones de vertimiento, y en su artículo 3°, inciso 3.1, indica que la Autoridad Nacional del Agua, a efectos de asignar la categoría a los cuerpos de agua respecto a su calidad, deberá utilizar las categorías establecidas en los ECA para agua vigentes.

**d. Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” del 30.03.2009**

En su Artículo 75° referido a la Protección del agua, señala que, la Autoridad Nacional, con opinión del Consejo de Cuenca, debe velar por la protección del agua, que incluye la conservación y protección de sus fuentes, de los ecosistemas y de los bienes naturales asociados a ésta en el marco de la Ley y demás normas aplicables. Para dicho fin, puede coordinar con las instituciones públicas competentes y los diferentes usuarios. La ANA, a través del Consejo de Cuenca, ejerce funciones de vigilancia y fiscalización con el fin de prevenir y combatir los efectos de la contaminación del mar, ríos y lagos en lo que corresponda. El Estado reconoce como zonas ambientalmente vulnerables las cabeceras de cuenca donde se originan las aguas.

**e. Decreto Supremo N° 001-2010-AG “Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos”**

En su Artículo 103° referido a la Protección del agua, en el inciso 103.1, menciona, que la protección del agua tiene por finalidad prevenir el deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de sus fuentes naturales y los ecosistemas acuáticos; establecer

medidas específicas para eliminar o reducir progresivamente los factores que generan su contaminación y degradación; y el inciso 103.2, contempla, que la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, Ministerio de salud y demás sectores cuando corresponda, emite disposiciones, directivas y normas complementarias al reglamento, para la conservación y protección de la calidad de las aguas.

**f. Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA de fecha 22.03.2010**

Por el cual se aprueba la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino – costeros, conforme a la relación que se adjunta en el Anexo N° 1; y de acuerdo al presente dispositivo legal, los ríos de la Cuenca del Río Ramis, se encuentra clasificada en la Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.

**g. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM del 21.08.2010**

Mediante el cual se aprueba los Límites Máximos Permisibles – LMP, para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas, de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 1.

**h. Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA de fecha 06.04.2011**

A través del presente dispositivo legal, se aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial.

**1.1.13. Desempeño ambiental del Perú en la minería**

Según CEPAL - OCDE (2016), el Perú es el productor más grande de oro en América Latina y el sexto a nivel mundial. Es el tercer productor mundial de cobre, detrás de China y Chile, al igual que de plata, estaño y Zinc, y sobresale también en la producción de Plomo y molibdeno. El Cobre y el oro son los productos más importantes dentro de la economía. La minería, un sector intensivo en capital, representó en 2012 el 12,2% del PIB y, aproximadamente, el 60% de las exportaciones. La inversión en el sector pasó de 1.086 millones de dólares en 2005 a 9.724 millones de dólares en 2013, lo que reafirma la importancia del sector. Para 2015, existen en torno a 50 proyectos mineros en distintas etapas de concreción, que representan alrededor de 63.000 millones de dólares en inversión, en su gran mayoría destinados a la minería de cobre. El sector minero es un importante contribuyente en

el país; en 2013 representó el 9,4% de los ingresos totales del Estado por concepto de impuestos.

En la minería artesanal, la aurífera es la más importante. El 85% de los mineros artesanales están dedicados a la extracción de oro, que generó en 2006 una producción estimada en 24 toneladas, lo que representa aproximadamente el 10% de la producción nacional con un valor también estimado de 390 millones de dólares. Uno de los principales problemas de la pequeña minería y la minería artesanal es el incremento de actividades informales e ilegales con importantes consecuencias ambientales (destrucción de vegetación y suelos y liberación irresponsable de Mercurio a las aguas y al medio ambiente) y sociales, potenciadas por los altos precios de los minerales en los últimos años. Lo anterior ha hecho que el Estado impulse activamente un programa de formalización de la pequeña minería y de la minería artesanal, y de erradicación de la minería ilegal (D.S. N° 045-2010-PCM). En virtud de la Ley N° 30011 se otorga autoridad al OEFA para que desarrolle las acciones de fiscalización ambiental frente a ese tipo de minería, que opera sin los permisos de explotación y ambientales. Mediante el D.S. N° 004-2012- MINAM se crea el Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC), que se aplica a las actividades en curso de la pequeña minería y la minería artesanal en procesos de formalización para adecuarlas a las obligaciones legales ambientales vigentes.

En términos generales, la preservación de la calidad del aire y el agua está determinada por los ECA respectivos (D.S. N° 002-2008-MINAM y D.S. N° 006-2013-MINAM), mientras que las emisiones al aire y los efluentes mineros se someten a LMP específicos. En 2013 se establecieron estándares de calidad ambiental de los suelos (D.S. N° 002-2013-MINAM). Con el fin de reducir las descargas de las operaciones minerometalúrgicas al agua, se estableció que las empresas mineras debían presentar un Plan Integral para la Adecuación (PIA) e implementación de los LMP y ECA (R.M. N° 154-2012-MEM/DM). Se han extendido en varias oportunidades los plazos entre 2012 y 2015 para la presentación de los PIA y el cumplimiento de los respectivos LMP y ECA.

## 1.2. Antecedentes

- El Proyecto Especial Lago Titicaca – PELT (1999), realizó investigaciones referidas a la contaminación del Lago Titicaca y sus afluentes, encontrando como resultado para la Sub cuenca del río Ramis (puente Samán), en muestras de aguas para los elementos pesados, con las siguientes concentraciones: As=12.54 mg/l; Cd=0.24 mg/l; Cr=5.41 mg/l; Ni=2.61 mg/l; Pb=0.99 mg/l, Hg=0.51 mg/l; los cuáles superan los límites máximos permisibles (OMS 1995).
- La Universidad Nacional Agraria La Molina (1999), determinaron en muestras de agua para el Lago Titicaca – desembocadura del río Ramis, que el Pb (0.014 mg/l), se encuentra por encima del límite permisible según los valores guía de USEPA (0.0058 mg/l referida para metales pesados, mientras los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, Cd, Hg, y As, se encuentran por debajo de los límites permisibles. En sedimentos se tuvo para el As=17.2 – 16.3 mg/kg; Cd=2.1 – 2 mg/kg; los cuáles se encuentran dentro de los niveles más bajos de toxicidad considerados por la OMEE (6-33 mg/kg para As y 0.6 – 10 mg/kg para Cd).
- Salas (2010) en el Estudio de los Niveles de Contaminación por Metales Pesados en la Zona de Ananea de la Cuenca del Río Ramis, concluye, que los metales analizados (Cd y Hg), se encuentran en todos los puntos de muestreo por debajo de los Límites Máximos Permisibles estipulados en la Legislación vigente para aguas superficiales; mientras que los metales pesados de (As, Cu, Cr, Zn y Pb), se encuentran en todos los puntos de muestreo y en los meses de estiaje, por encima de los Límites Máximos Permisibles del Decreto Supremo N° 010-2010-MINEM; y conforme a las muestras enviados a los dos laboratorios de Bolivia y del Perú, existe concentración de metales pesados en los meses de estiaje, puesto que no hay presencia de lluvias y carecen de mayor dilución en estos meses. Además, señalar, que la contaminación por metales pesados como (As, Cu, Cr, Zn y Pb), en los meses de estiaje, no solo contamina el agua, sino también el suelo y las aguas subterráneas cercanas al río en estudio.
- La ANA (2015), en el marco de sus competencias estipulados en la Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” y en el desarrollo de actividades de monitoreo de la

calidad del agua superficial en la subcuenca Ananea, Crucero – Azángaro (río Lunar de ro, laguna Lunar de Oro y laguna Sillacunca, hasta el río Crucero), en cuyo diagnóstico de 2011 a 2014, se advierte que:

- Los cuerpos de agua ubicados en la subcuenca Ananea, Crucero – Azángaro (río Lunar de ro, laguna Lunar de Oro y laguna Sillacunca, hasta el río Crucero), se encuentran afectados por presencia de metales pesados (Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, As, Fe y Mn) materia orgánica (DBO5), nitrógeno amoniacal (N-NH3), Coliformes termotolerantes; así mismo se ha observado que las aguas son de naturaleza básica.
- El agua del río Ramis (RRami2) es de buena calidad ya que no se ha encontrado parámetros que excedan los valores de la categoría 3; a excepción del pH, lo que indica que la contaminación del agua es localizada.
- A pesar de que las municipalidades vierten sus aguas residuales domésticas sin tratamiento al río Ramis, los resultados de análisis microbiológicos en especial los Coliformes termotolerantes solo se observaron después del vertimiento del distrito de Azángaro. Esto indica que el río Ramis tiene buena capacidad de dilución y autodepuración.
- Los monitoreos de calidad de agua realizados por la Autoridad Nacional del Agua en el río Ramis desde el año 2011 indican que en el mes de marzo del 2013 se observó que las concentraciones de metales pesados aumentaron en casi todo el tramo del río.
- El agua de los cuerpos naturales que se ubican en la naciente de la subcuenca Ananea-Crucero-Azángaro, todos son de carácter ácido, a excepción de la laguna Casa Blanca. La mayoría de estos cuerpos de agua, contienen metales pesados como Arsénico, Cadmio y Cobre (río Lunar de Oro y Laguna Sillacunca), así como también níquel, Plomo y Zinc (Nevado Riticucho, río Lunar de Oro, lagunas Rinconada y Sillacunca) que superan los valores de los ECA-agua de la categoría 4 "Conservación del ambiente acuático" con que se evalúa. Esto debido a la disposición de los efluentes sin tratar generados por la actividad minería informal instalada en la zona.
- En la naciente, la calidad del agua del río Grande se encuentra afectado por aluminio, hierro y manganeso. El río continúa su curso y al pasar por la ciudad

de Crucero, toma el nombre de la ciudad, el cual en el punto RCruc1 (aguas arriba del puente Crucero) el agua alterado hierro y manganeso; pero aguas abajo en los puntos RCruc2 y RCruc4 solamente el hierro es el que supera ligeramente el valor del ECA-agua de la Categoría 3.

- El río continúa su curso y confluye con el río Grande (zona media de la cuenca) formando el río Azángaro, aguas abajo este río se une con el río Pucará para formar el río Ramis. La calidad del agua de los ríos Azángaro y Ramis muestran que ningún parámetro analizado se encuentra por encima del valor de los ECA-agua de la categoría evaluada.
- El agua de la quebrada Chogñacota afluente del río Antauta se encuentra afectado con sulfatos y nitritos; en el caso del río Antauta, está afectado solo por nitritos. Los ríos Jorahuiña y Nuñoa, que forman el río Grande; el agua de los dos primeros son de buena calidad ya que todos los parámetros analizados (físicos y químicos) se encuentran dentro de los valores de los ECA-agua de la categoría 3; mientras que en el río Grande supera ligeramente el Hierro.
- En la trayectoria del río principal de la subcuenca Ananea-Crucero-Azángaro se realizaron seis (06) muestreos de sedimentos para evaluar su calidad. La evaluación se realizó de manera referencial utilizando los valores guía de la norma canadiense; los resultados indican que en RCruc1 del río Crucero y (P-4) de la quebrada Chogñacota contienen concentraciones de As, Cd, Cu (a excepción del punto RCruc1), Pb y Zn que superan los valores PEL. En los otros puntos restantes (RGran2, RAZan1, RRami1 y RRami2, se observó que los sedimentos de estos puntos contienen concentraciones de As y Cd que superaron los valores de la norma referencial.
- El agua de los cuerpos naturales que se ubican en la naciente de la cuenca Crucero, todos son de carácter ácido. El agua de deshielo del Nevado Riticucho, laguna Sillacunca y río Lunar de Oro, contienen concentraciones de metales pesados como Arsénico, cadmio, cobre, níquel, Plomo y Zinc que superan los valores de los ECA-agua de la categoría 4 "Conservación del ambiente acuático" con que se evalúa. En la laguna Casablanca solo superaron los coliformes termotolerantes, mientras que en la laguna Rinconada el nitrógeno amoniacal, níquel, Plomo y Zinc exceden los valores de los ECA-agua de la categoría 4. Esto debido a la disposición de las aguas residuales sin

tratar a los cuerpos de agua generados por la actividad minera informal instalada en la zona de la Rinconada.

- En la naciente, la calidad del agua del río Grande se encuentra afectada por Aluminio, Arsénico, cobalto, Cadmio hierro, manganeso, plomo, coliformes termotolerantes. El río continúa su curso y al pasar por la ciudad de Crucero, toma el nombre de la ciudad, el cual en el punto RCruc2 (aguas arriba del puente colgante Crucero) el agua contiene Coliformes termotolerantes que supera ligeramente el valor del ECA-agua de la Categoría 3.
- El río continúa su curso, y aguas abajo confluye con el río Grande (zona media de la cuenca) formando el río Azángaro. El agua de este río presenta concentraciones de carbonatos que superan el ECA-agua de la categoría 3. El río Azángaro aguas abajo se une con el río Pucará para formar el río Ramis, donde los carbonatos (punto RRami2) se encuentra por encima del valor de los ECA-agua de la categoría evaluada.
- El agua de la quebrada Chogñacota afluente del río Antauta no presenta parámetros que exceden los ECA-agua de la categoría 3. Los ríos Jorahuiña y Nuñoa, forman el río Grande; solo el agua del río Nuñoa, contiene concentraciones hierro, manganeso y Coliformes termotolerantes que superan la norma.
- En toda la trayectoria del río principal de la cuenca Crucero se realizaron seis (06) muestreos de sedimentos para evaluar su calidad. Debe indicarse que en el Perú no existe normativa para evaluar este componente, por lo que la evaluación se realizó de manera referencial utilizando los valores guía de la norma canadiense CSQG. Los resultados indican que los sedimentos de los ríos Grande (RGran2), Crucero (RCruc1) quebrada Chogñacota (P-4), río Azángaro (Azan1) y Río Ramis (RRami1 y RRami2) contienen concentraciones de Arsénico y Cadmio que superan los valores CSQG. Sin embargo, el Cobre se encuentra por encima del valor PEL en los puntos P-4 y Azan1. Asimismo, las concentraciones de Plomo y Zinc se encontraron por encima de la norma referencial PEL en los puntos RCruc1 y P-4.

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Definición del problema

La región de Puno, por sus características y potencialidades, presenta una serie de recursos naturales, en particular de minerales como el oro, estaño, entre otros, donde intervienen numerosos grupos de extractores, formales e informales, que sin aplicar tecnologías apropiadas para la extracción, vienen desarrollando la actividad de la explotación de minerales, provocando la contaminación de los recursos hídricos, afectando principalmente el río Ramis y su cuenca; desde la década de los 80 del siglo pasado y en particular hace tres años atrás, la actividad minera en esta región ha sido una de las principales generadoras de problemas o conflictos sociales y ambientales (Flores, 2008).

Desde hace varios años atrás, la explotación minera formal e informal localizado en la cabecera de la cuenca Ramis y originado por los pobladores del Centro Poblado de Rinconada, Lunar de Oro y sectores de Pampa blanca, Vizcachani, Ananea, Chaquiminas, Ancocala y otros, de los distritos de Ananea, Cuyo Cuyo y Crucero, provincias de San Antonio de Putina, Sandia y Carabaya, los mismos que vienen produciendo un grave daño ambiental a nivel de la Cuenca, siendo los más afectados los pobladores que viven en la parte baja de la cuenca del río Ramis. En todo este tiempo, han sido muchas las movilizaciones, reuniones, comisiones y decretos emitidos alrededor de este tema, sin que se haya logrado obtener ningún resultado concreto (Asociación SER, 2007).

El 04/07/2007 mediante Decreto Supremo N° 034-2007-EM se aprueba el “Plan de Acción dirigido a lograr la recuperación de la Cuenca Río Ramis”, propuesto por la Comisión Multisectorial constituida por Resolución Ministerial N° 374-2006-PCM

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), realiza el monitoreo de la calidad de agua superficial en el marco del cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos (artículo 76°), cuya finalidad entre otras, es generar información útil para evaluar el comportamiento de la calidad del agua a través del tiempo, detectar zonas contaminadas y en proceso de contaminación, así como los cuerpos de agua de buena calidad; de la misma forma permite levantar información oficial para realizar el correspondiente diagnóstico de la calidad del agua del ámbito de la cuenca del lago Titicaca, como base para promover acciones orientadas a la protección o recuperación de la calidad del agua. Se han realizado actividades de monitoreo participativo del 2010 a 2015, a cargo de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, y se refiere de modo exclusivo a cada periodo de muestreo, considerando varios parámetros de calidad, entre ellos, los metales pesados.

## **2.2. Enunciado del problema**

### **Problema general:**

¿Cuál es la concentración de los metales pesados en el agua superficial de la Subcuenca Crucero 2011 – 2015?

### **Problemas específicos:**

- ¿Cuál es la diferencia en la concentración de los metales pesados en el agua superficial de la Subcuenca Crucero durante las estaciones de estiaje y avenida, y entre los años 2011 al 2015?
- ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en el agua superficial de la Subcuenca Crucero y su relación con los cuerpos receptores y/o ríos principales (parte baja) en la UH Azángaro?
- ¿Qué opciones tecnológicas existen con fines de recuperación de la cuenca afectada por la presencia de metales pesados?

### **2.3. Justificación**

La contaminación en los ríos se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Uno de los componentes químicos potencialmente más tóxicos son los metales pesados, y entre ellos Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogénico o geoquímico a partir de los minerales que por causas de erosión, lluvias, etc. son arrastradas al agua. No obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antropogénico o a la actividad humana. La minería, los procesos industriales, los residuos domésticos son fuente importante de contaminación, que aportan metales al aire, al agua y al suelo especialmente.

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

### **2.4. Objetivos**

#### **2.4.1. Objetivo general**

Determinar la concentración de los metales pesados en el agua superficial de la Subcuenca Crucero durante 2011 a 2015, con información oficial de resultados de la Autoridad Nacional del Agua y mediante contraste con ensayos propios.

#### **2.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la concentración multiestacional (estiaje y avenida) y multianual (2011-2015) de los metales pesados en el agua superficial de la Subcuenca Crucero y su relación con los cuerpos receptores y ríos principales (parte baja) en la UH Azángaro.
- Evaluar la correlación entre parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales pesados de la Subcuenca Crucero y ríos principales (parte baja) en la UH Azángaro.
- Evaluar las opciones tecnológicas existentes para la propuesta de remediación de la cuenca afectada por la presencia de metales pesados en el agua superficial.

#### **2.5. Hipótesis**

##### **2.5.1. Hipótesis general**

Los efluentes de la actividad minera tienen relación con la concentración de metales pesados en el agua superficial de los cuerpos de agua de la Subcuenca Crucero del distrito de Ananea, provincia de Putina, región Puno.

##### **2.5.2. Hipótesis específicas**

- La concentración de los metales pesados en el agua superficial de la Subcuenca Crucero, muestra diferencias durante las estaciones de estiaje y avenida, y entre los años 2011 al 2015.
- La concentración de los metales pesados en el agua superficial de la Subcuenca Crucero, ejerce influencia directa en los cuerpos receptores y ríos principales (parte baja) en la UH Azángaro.
- Existen más de una opción tecnológica para la propuesta de remediación de la cuenca afectada por la presencia de metales pesados en el agua superficial y sedimentos.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio.

El río Ramis, es el más extenso de la cuenca del Titicaca, con aproximadamente 299 km, desde la naciente en las cercanías del Nevado Ananea, en las lagunas La Rinconada y Casa Blanca y su desembocadura en el Lago Titicaca. Durante su recorrido toma diferentes denominaciones según el lugar por donde discurre (Ananea, Crucero, San Antón, Progreso y Azángaro); asimismo, va recibiendo el aporte de numerosos afluentes, entre los más importantes, se tiene a los ríos Antauta, Luzuni, Quilcamayu y Grande.

El ámbito donde se realizó el estudio se ubica en la parte alta de la cuenca del río Ramis, en los distritos de Ananea, Cuyo Cuyo y Crucero de las provincias de San Antonio de Putina y Sandia, de la Sub cuenca Crucero – Azángaro (Unidad Hidrográfica Azángaro), localizada al norte del Lago Titicaca, la cual nace en el nevado Ananea Chico, que tiene una altitud cota máxima de 5 750 m.s.n.m. (Autoridad Nacional del Agua, 2012). La Subcuenca Crucero tiene un área de 4,400.45 Km<sup>2</sup>, su parte más elevada está a 5,749.00 msnm y la más baja a 3,866.00 msnm, resultando una pendiente media de la cuenca de 0.22% (Autoridad Nacional del Agua, 2015).

#### 3.2. Población

Se considera como población la totalidad de ríos de la subcuenca Crucero.

### 3.3. Muestra

Para la evaluación oficial de la calidad del agua superficial, la Dirección de Gestión de Calidad de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, desde 2011 ha establecido la red de monitoreo de calidad del agua, el mismo conformada por 23 puntos para la Unidad Hidrográfica Azángaro y para la Sub cuenca Crucero en 10 puntos (Autoridad Nacional del Agua, 2012).

Tabla 2.  
Puntos de Monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua en la Unidad Hidrográfica Azángaro.

| N° Punto  | Coordenadas UTM (WGS 84) |         | Descripción   |
|---|--------------------------|---------|---|
|   | Este                     | Este    |   |
| <b>Lagunas nacientes del Río Ananea - Crucero – Ramis</b> |                          |         |   |
| 1 NRiti   | 452584                   | 8383617 | Nevado Riticucho                                      |
| 2 LSilla  | 446629                   | 8376404 | Salida de la Laguna Sillancunca                       |
| 3 LCabl   | 448967                   | 8382921 | Salida de la Laguna Casa Blanca                       |
| 4 LRinc   | 445052                   | 8378612 | Salida de la Laguna Rinconada                         |
| 5 RLuo1   | 449711                   | 8382573 | Río Lunar de Oro                                      |
| <b>Sub Cuenca Río Ananea – Crucero</b>                    |                          |         |   |
| 6 RAnan1  | 442965                   | 8377345 | Riachuelo Ananea                                      |
| 7 RGran1  | 437828                   | 8377370 | Río Grande, sector Chaquiminas – Sandía               |
| 8 RGran2  | 432023                   | 8382014 | Río Grande, desvío a Chuquine                         |
| 9 RCruc1  | 391712                   | 8411095 | Río Crucero, aguas arriba del puente Crucero          |
| 10 RCruc2   | 388910                   | 8411341 | Río Crucero, aguas arriba del puente colgante Crucero |

Fuente: Elaboración propia con datos de la Autoridad Nacional del Agua.

Para el presente estudio se han considerado siete (07) puntos de monitoreo, siendo éstos los más representativos y distribuidos en la forma siguiente: 01 punto en la salida de la laguna Casa Blanca, 01 en el río Lunar de Oro, 01 punto en la salida de la Laguna Rinconada, 01 en el riachuelo Ananea, 01 punto en el río Grande y 02 en el río Crucero (Ver Tabla 3).

Tabla 3.

Red o Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua superficial para contraste en la Subcuenca Crucero (Unidad Hidrográfica Azángaro)

| N°  | Código  | UTM (WGS 84) |         | Descripción   |
|---|---------|--------------|---------|---|
|   |         | Este         | Norte   |   |
| <b>Lagunas Nacientes del Río Ananea - Crucero – Ramis</b> |         |              |         |   |
| 1   | LCabl1  | 448982       | 8382937 | Salida de Laguna Casa Blanca                                |
| 2   | RLuna1  | 449730       | 8382587 | Rio Lunar de Oro  |
| 3   | LRinc1  | 445058       | 8378616 | Salida de Laguna Rinconada                                  |
| <b>Sub Cuenca Río Ananea – Crucero</b>                    |         |              |         |   |
| 1   | RAnan1  | 449711       | 8382573 | Riachuelo Ananea  |
| 2   | RGrand1 | 431977       | 8382128 | Rio Grande- Chuquine  |
| 3   | RCruc1  | 416487       | 8402339 | Río Crucero<br>Río Crucero, aguas arriba de Puente colgante |
| 4   | RCruc2  | 388892       | 8411383 | Crucero   |

Fuente: Elaboración propia, con referencia a la red de monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua.

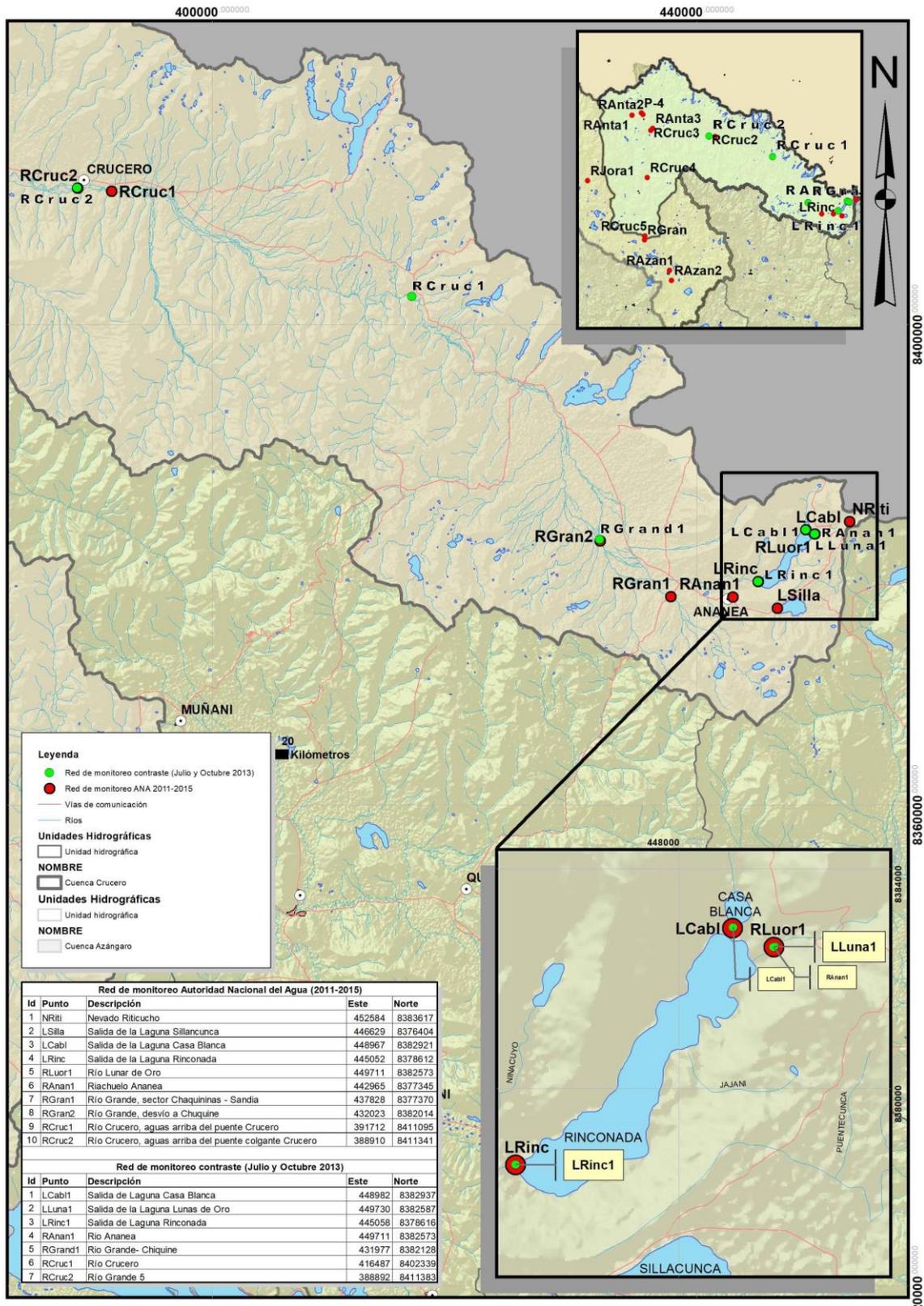


Figura 1. Puntos de Monitoreo en la Subcuenca Crucero (Unidad Hidrográfica Azángaro)

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (2014) y datos propios

### **3.4. Método de investigación**

Se utilizó el método de investigación científica, con el enfoque cuantitativo de la misma, partiendo de la identificación de una situación problemática, como es la contaminación por metales pesados de la subcuenca Crucero, postulando las hipótesis y objetivos, identificando las variables del estudio y llevando a cabo un estudio descriptivo, que incluye resultados inéditos y otros de antecedentes, analizándolos y llegando a conclusiones.

### **3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos**

#### **3.5.1. Evaluación de concentración multiestacional (estiaje y avenida) y multianual (2011-2015) de los metales pesados en el agua superficial de la cabecera de cuenca - río Crucero y su relación con los cuerpos receptores y/o ríos principales (parte baja) en la UH Azángaro.**

Para la evaluación de la concentración de metales pesados en el agua superficial de la cabecera de cuenca - río Crucero, se realizó el procesamiento de los datos obtenidos por la Autoridad Nacional del Agua durante el periodo comprendido entre 2011 hasta 2015, y contrastados con datos de monitoreo realizado para la presente investigación en dos periodos de muestreo, julio y octubre de 2013, de acuerdo a la siguiente data:

Tabla 4.  
Actividades de Monitoreo realizados por la Autoridad Nacional del Agua (2011-2015).

| Acción  | Inicio     | Fin        | Reporte                                       |
|---|------------|------------|---|
| Monitoreo de la calidad del agua del río Ramis.                                     | 05/12/2011 | 10/12/2011 | Informe Técnico N° 002-2012-ANA-DGCRH/JOS     |
| Monitoreo de la calidad del agua de la subcuenca Crucero – Azángaro.                | 13/08/2012 | 17/08/2012 | Informe Técnico N° 27-2012-ANA-DGCRH/RGC      |
| Monitoreo de la calidad de la sub cuenca Ananea Crucero Azángaro marzo 2013         | 21/03/2013 | 24/03/2013 | Informe Técnico N° 004-2013-ANA-DGCRH-RGC     |
| Monitoreo de la calidad de la cuenca del Río Ramis                                  | 14/08/2013 | 18/08/2013 | Informe Técnico N° 013-2013-ANA-DGCRH-RGC     |
| Monitoreo de la calidad de agua de la Sub Cuenca Ananea-Crucero-Azángaro Marzo-2014 | 14/03/2014 | 17/03/2014 | Informe Técnico N° 012-2014-ANA-DGCRH-VIG     |
| Monitoreo de la calidad de la sub cuenca Ananea Crucero Azángaro octubre 2014       | 24/10/2014 | 27/10/2014 | Informe Técnico N° 051-2014-ANA-DGCRH-VIG     |
| Monitoreo de la calidad del agua de la subcuenca Crucero – Azángaro.                | 24/09/2015 | 27/09/2015 | Informe Técnico N° 03-2016-ANA-AAA.SDGCRH.TIT |

Fuente: Elaboración propia con datos de la Autoridad Nacional del Agua.

Tabla 5. Actividades de monitoreo realizados para datos de contraste sobre metales pesados en la cabecera de la Subcuenca Crucero (2013).

| Acción   | Inicio     | Fin        | Reporte de Ensayo |
|--|------------|------------|-------------------|
| Monitoreo de la calidad del agua de la cabecera del río Crucero, julio 2013.   | 12/07/2013 | 12/07/2013 | LAS-13-03508*     |
| Monitoreo de la calidad del agua de la cabecera del río Crucero, octubre 2013. | 9/10/2013  | 9/10/2013  | LAS-13-05467      |

Fuente: Elaboración propia.

### Laboratorio de Ensayo y métodos de ensayo para análisis de agua.

En los puntos de monitoreo donde se toman las muestras para análisis se registran los parámetros de campo (pH, Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica y Temperatura), con un equipo multiparámetro, de acuerdo a las siguientes especificaciones:

Tabla 6.  
Registro de parámetros de campo para calidad de agua superficial.

| Parámetro               | Ensayo             | Método                          | Rango                  | Principio   |
|-------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------|---|
| pH                      | Sensor pH/ ORP /T° | Combinado referencia / medición | 0,00-14,00 pH          | Medida de la concentración del ion hidrogeno en una solución.   |
| Oxígeno disuelto        | Sensor OPTOD/T     | Oxígeno medición óptica         | 0,00-20,00 mg/L        | El oxígeno disuelto (OD) es realmente una distribución física de moléculas de oxígeno en el agua.                   |
| Conductividad eléctrica | Sensor C4E/T       | Con 4 electrodos                | 0,0-200,0/0-2000 µs/cm | La disociación de las sales genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía o carga eléctrica. |

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2015.

Para los análisis de las muestras de agua superficial recolectadas, la Autoridad Nacional del Agua, recurre a los servicios de Laboratorios acreditados por el Organismo Peruano de Acreditación a cargo de Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y la Propiedad Intelectual INDECOPI hasta febrero de 2015 y, posteriormente a cargo del Instituto Nacional de Calidad INACAL, previa evaluación del cumplimiento de los criterios establecidos en el Reglamento General de Acreditación y en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración, acreditados mediante Cédula de Notificación, facultados para emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial. Del mismo modo, para los datos de contraste, los análisis se realizaron en Laboratorio acreditado, para los siguientes ensayos.

Tabla 7.  
Laboratorios acreditados para análisis de calidad de agua superficial.

| Responsable | Reporte                          | Laboratorio acreditado                | Acreditación |
|-------------|----------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| ANA         | IT N° 002-2012-ANA-DGCRH/JOS     | SGS del Perú S.A.C.                   | LE-002       |
| ANA         | IT N° 27-2012-ANA-DGCRH/RGC      | SGS del Perú S.A.C.                   | LE-002       |
| ANA         | IT N° 004-2013-ANA-DGCRH-RGC     | SGS del Perú S.A.C.                   | LE-002       |
| ANA         | IT N° 013-2013-ANA-DGCRH-RGC     | Servicios Analíticos Generales S.A.C. | LE-047       |
| ANA         | IT N° 012-2014-ANA-DGCRH-VIG     | Servicios Analíticos Generales S.A.C. | LE-047       |
| ANA         | IT N° 051-2014-ANA-DGCRH-VIG     | Servicios Analíticos Generales S.A.C. | LE-047       |
| ANA         | IT N° 03-2016-ANA-AAA.SDGCRH.TTT | NSF ENVIROLAB S.A.C.                  | LE-011       |
| Contraste   | LAS-13-03508*                    | Laboratorios Analíticos del Sur       | LE-050       |
| Contraste   | LAS-13-05467                     | Laboratorios Analíticos del Sur       | LE-050       |

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, y datos propios.

Tabla 8.  
Metodología de ensayo para análisis de calidad de agua superficial – metales pesados.

| Parámetro                | Referencia técnica de método de ensayo para análisis |
|--------------------------|--|
| Cianuro WAD en Agua.     | 821 SMEWW Part 4500-CN-1. 22nd Ed 2012               |
| Mercurio Total en Agua.  | 800 EPA Method 245.7 (Val). Febrero 2005             |
| Metales Totales en Agua. | 802 EPA Method 200.7, Revisad 4.4 May 1994           |
| Arsénico                 | 796 EPA 200.7 Revisión 4.4                           |
| Cadmio Total en Agua.    | EPA Method 200.8, Revisad 5.4. May 1994              |
| Selenio Total en Agua.   | EPA Method 200.8, Revisad 5.4. May 1994              |
| Talio Total en Agua.     | EPA Method 200.8, Revisad 5.4. May 1994              |
| *Nitrógeno Total.        | SM 4500-Norg-B EPA Method 352.1 EPA Method 354.1     |

Fuente: NFS ENVIROLAB S.A.C. y Laboratorios Analíticos del Sur

### Frecuencia temporal de registro de datos.

Los datos oficiales de la Autoridad Nacional del Agua corresponden a los años 2011 a 2015, mientras que los datos de contraste fueron obtenidos durante muestreo en los meses de julio y octubre de 2013.

### VARIABLES A SER ANALIZADAS.

**Parámetros físicos** (medidos en campo): pH, Oxígeno Disuelto (O<sub>2</sub>), temperatura (T) y Conductividad Eléctrica (CE).

**Parámetros químicos (medidos en laboratorio):** Concentración de: Arsénico total (As), Cadmio total (Cd), Cobre total (Cu), Cromo total (Cr), Mercurio (Hg), Plomo total (Pb), Aluminio (Al) y Zinc (Zn).

Se debe precisar que el recojo de muestras de agua superficial, se elabora de acuerdo con el “**Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial**”, aprobado mediante la Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA, que consiste en:

- **Planificación.** se inicia con la Identificación de fuentes contaminantes en el ámbito y Establecimiento de la red de puntos de monitoreo (georreferenciado).
- **Codificación punto de muestreo.** Cada punto de monitoreo tiene una sigla como código compuesto. La primera letra corresponde al tipo del cuerpo de agua, como R (Río), Q (Quebrada), L (Laguna, Lago o Laguna artificial); seguido de las iniciales del nombre del cuerpo de agua (primera letra en mayúscula), el número, en orden ascendente desde la cabecera o parte más alta hacia abajo. Ejemplo LRinc1 es el código para la Laguna Rinconada (1).
- **Frecuencia de Monitoreo** (2 veces al año: Avenida (periodo de lluvias) y estiaje (periodo sin lluvias). Selección de Parámetros a evaluar en el monitoreo de la

calidad del agua de acuerdo a categoría ECA-agua. Preparación de materiales, Equipos de Protección Personal (EPP), protección y seguridad y Calibración de equipos

- **Ejecución:** Reconocimiento del entorno, georreferenciación del punto de monitoreo y medición de las condiciones hidrográficas. Rotulado y Etiquetado de envases inocuos. Medición de los parámetros de campo (pH, Oxígeno disuelto, Temperatura y Conductividad eléctrica), toma de muestras en envases inocuos y preservación con reactivos por cada parámetro. Llenado de la cadena de custodia y transporte de muestras al Laboratorio acreditado (<24 horas).

- **Análisis de muestras:** Los análisis de las muestras de agua superficial se realizan en laboratorios acreditados por INACAL (Instituto Nacional de Calidad), de acuerdo a la Ley N° 30224 (Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de Calidad) y el D.S. N° 004-2015-PRODUCE, Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

- **Evaluación de resultados.** Los resultados obtenidos en campo y en laboratorio acreditado, son comparados con los valores establecidos en los ECA Agua vigentes al momento del muestreo (D.S. 002-2008-MINAM) en la categoría correspondiente (Clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino costero: R.J. N° 202-2010-ANA). Se determina si los valores cumplen o no con los valores establecidos en la categoría correspondiente del ECA, interpretando las causas (naturales o antropogénicas) de las afectaciones que hubiere. Elaboración del Informe técnico del monitoreo.

- **Difusión de resultados.** Los Informes técnicos de monitoreo se hacen de conocimiento público convocando a los actores sociales involucrados en la gestión integrada de los recursos hídricos. Los resultados son de acceso público y pueden ser solicitados en las Oficinas de la ANA. También se da a conocer a las autoridades sectoriales (Minería, Producción, Agricultura, otros), Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA, Fiscalía Especializada en Materia Ambiental y otros, a fin de que tomen acciones en el marco de sus competencias.

#### **Pruebas estadísticas que se utilizaron para probar las hipótesis.**

**Diseño experimental:** Los datos obtenidos para el presente estudio (contraste) y los provenientes de la Autoridad Nacional del Agua, fueron procesados mediante

Análisis de Varianza ANVA con un diseño de dos factores con una sola muestra, repetido en dos años:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Es la variable de respuesta (As, Cd, Cu, etc).

$\mu$  = Concentración media del elemento

$\tau_i$  = Es el efecto de la i-ésima zona

$\beta_j$  = Es el efecto del j-ésima época

$e_{ij}$  = Es el error experimental.

**Identificación de las fuentes de emisión:** Para identificar las fuentes de emisión, se utilizó el Análisis de Componentes Principales (PCA), siguiendo el siguiente procedimiento:

- Análisis de la matriz de correlaciones
- Selección de los factores
- Análisis de la matriz factorial
- Interpretación de los factores
- Cálculo de las puntuaciones factoriales
- Rotación de factores Kaiser 1958 y 1959; Johnson, 2000).

En este ítem se evaluaron de manera comparativa los resultados obtenidos por periodo de muestreo, es decir, durante la avenida y estiaje, así como la comparación multianual en todo el horizonte evaluado correspondiente al periodo entre 2011 a 2015. Ello complementado con la evaluación de la concentración de los metales pesados en el agua superficial de la cabecera de la Subcuenca Crucero y su relación con los cuerpos receptores y/o ríos principales (parte baja) en la UH Azángaro.

### **3.5.2. Análisis de la correlación entre parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales pesados en la cabecera de la Subcuenca - río Crucero y los ríos principales (parte baja) en la UH Azángaro.**

Mediante el uso de una matriz reducida de la data original, se realizó el análisis de Correlación de las variables fisicoquímicas (Oxígeno disuelto, Ph, Conductividad

eléctrica y Temperatura del agua) respecto de la concentración de los metales pesados en agua superficial en la cabecera de la Subcuenca - río Crucero y los ríos principales (parte baja) en la UH Azángaro.

Asimismo, se realizó el Análisis de los componentes principales (ACP), como complemento al análisis de correlación, mediante una prueba de reducción de variables, para tener una visión multivariada del estudio de calidad de agua superficial en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro. Para este tipo de análisis se requiere verificar la correlación entre variables, aspecto que fue ya demostrado en el ítem respectivo, posteriormente se realizó la prueba de KMO y Bartlett, por lo que se considera pertinente la aplicación del ACP a los datos disponibles.

Finalmente se plantearon Modelos lineales generales para explicar la variación de metales pesados en agua superficial en la Subcuenca Crucero - Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

### **3.5.3. Evaluación de opciones tecnológicas existentes para la propuesta de recuperación de la cuenca afectada por la presencia de metales pesados en el agua superficial.**

La recuperación de la calidad ambiental de los sedimentos y consecuentemente del medio acuático y sus servicios ambientales en la cabecera de la cuenca y desembocadura del Rio Ramis, mediante técnicas de Biorremediación (Atenuación, Bioaumentación, y/o Bioestimulación) permitirá recuperar la capacidad de resiliencia, por tanto, la oferta de los servicios ecosistémicos de los cuerpos de agua se verá beneficiada directamente al recuperar los procesos ecológicos que deben producirse de manera natural; los mismos que redundan en la reducción de riesgos de salud (bioacumulación y biomagnificación) para la biota (flora y fauna) y la salud humana.

Se desarrolló un ensayo de tratamiento de efluentes de actividad minera y los impactos generados, mediante pruebas de sedimentación, que incluye la determinación de la velocidad de sedimentación, en sistemas a escala (Sánchez y

Rodríguez, 2003). Mediante análisis físico químico de los sedimentos y el agua, se evaluará índices de remoción de metales pesados de los efluentes mineros en la cabecera de cuenca.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Concentración multiestacional (estiaje y avenida) y multianual (2011-2015) de metales pesados en el agua superficial en la Subcuenca Crucero.

En función de los resultados de análisis de laboratorio en relación a la concentración de metales pesados (mg/L) para el ámbito de estudio, tenemos los siguientes cuadros:

Tabla 9.

Resultados de monitoreo de la calidad de agua superficial, para datos de contraste - metales pesados en la cabecera de Subcuenca Crucero (2013).

| Parámetro             | Fecha        | Punto de monitoreo |             |          |            |          |          |          |
|-----------------------|--------------|--------------------|-------------|----------|------------|----------|----------|----------|
|                       |              | LCabl1             | RLuna1      | LRinc1   | RAnan1     | RGrand1  | RCruc1   | RCruc2   |
| Arsénico<br><b>As</b> | Julio 2013   | 0,008900           | 0,536000    | 0,002000 | 0,148400   | 0,010900 | 0,001300 | <0,0012  |
|                       | Octubre 2013 | 0,012000           | 0,076700    | 0,005600 | 0,072000   | 0,011400 | 0,017600 | 0,008800 |
| Cadmio<br><b>Cd</b>   | Julio 2013   | 0,000210           | 0,016620    | 0,003370 | 0,002810   | 0,000940 | <0,00011 | 0,000390 |
|                       | Octubre 2013 | <0,00011           | 0,010770    | 0,002070 | 0,004750   | 0,000170 | <0,00011 | 0,000760 |
| Cobre<br><b>Cu</b>    | Julio 2013   | <0,002             | 0,054600    | 0,004200 | 0,042500   | <0,002   | <0,002   | <0,002   |
|                       | Octubre 2013 | <0,002             | 0,052100    | <0,002   | 0,382400   | <0,002   | <0,002   | <0,002   |
| Cromo<br><b>Cr</b>    | Julio 2013   | <0,00039           | 0,008850    | <0,00039 | 0,016920   | 0,000940 | <0,00039 | <0,00039 |
|                       | Octubre 2013 | <0,00039           | <0,00039    | <0,00039 | 0,061780   | <0,00039 | 0,001980 | <0,00039 |
| Mercurio <b>Hg</b>    | Julio 2013   | <0,00041           | 0,036300    | <0,00041 | 0,001500   | 0,018900 | <0,00041 | <0,00041 |
|                       | Octubre 2013 | <0,00041           | 0,000500    | <0,00041 | <0,00041   | 0,000480 | <0,00041 | <0,00041 |
| Plomo<br><b>Pb</b>    | Julio 2013   | <0,0026            | 0,109700    | 0,004900 | 0,037900   | 0,003000 | 0,002600 | <0,0026  |
|                       | Octubre 2013 | <0,0026            | 0,027600    | <0,0026  | 0,132400   | <0,0026  | <0,0026  | <0,0026  |
| Plata<br><b>Ag</b>    | Julio 2013   | <0,0024            | <0,0024     | <0,0024  | <0,0024    | 0,010800 | <0,0024  | <0,0024  |
|                       | Octubre 2013 | 0,002600           | <0,0024     | <0,0024  | <0,0024    | <0,0024  | <0,0024  | <0,0024  |
| Aluminio<br><b>Al</b> | Julio 2013   | 0,051000           | 20,000000   | 3,660000 | 20,300000  | 1,610000 | 0,954000 | 0,752000 |
|                       | Octubre 2013 | 0,196000           | 20,700000   | 3,340000 | 113,000000 | 0,856000 | 2,960000 | 0,282000 |
| Zinc<br><b>Zn</b>     | Julio 2013   | <0,0031            | 3156,000000 | 0,783500 | 0,171600   | 0,007500 | <0,0031  | 0,062600 |
|                       | Octubre 2013 | <0,0031            | 2,839000    | 0,565300 | 0,537500   | <0,0031  | 0,008700 | 0,021800 |

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur, Laboratorio de ensayo acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INDECOPI-SNA con Registro N° LE – 050.

Tabla 10.  
Resultados de monitoreo de la calidad de agua superficial – metales pesados en la cabecera de  
Subcuenca Crucero (ANA 2011-2015).

| Parámetro                    | Fecha          | Punto de monitoreo |         |         |         |         |         |         |         |
|------------------------------|----------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                              |                | RLuor              | LCabl   | LRinc   | RAnan   | RGran1  | RGran2  | RCruc1  | RCruc2  |
| <b>Arsénico</b><br><b>As</b> | Diciembre 2011 | 0,474              | 0,005   | 0,006   | 1,076   | 0,003   | 0,016   | 0,004   | 0,004   |
|                              | Agosto 2012    | 0,175              | 0,006   | 0,003   | 0,027   | 0,003   | 0,003   | 0,003   | 0,003   |
|                              | Marzo 2013     | 0,801              | 0,013   | 0,003   | 6,207   | 1,582   | 0,962   | 0,401   | 0,367   |
|                              | Octubre 2013   | 14,793             | 0,00561 | 0,001   |         | 0,136   |         | 0,032   | 0,023   |
|                              | Marzo 2014     | 1,161              | 0,003   | 0,001   | 0,13    | 0,07872 | 0,02396 | 0,001   | 0,001   |
|                              | Octubre 2015   |                    |         | 0,022   |         |         | 1,741   |         | 0,024   |
| <b>Cadmio</b><br><b>Cd</b>   | Diciembre 2011 | 0,00910            | 0,00060 | 0,00500 | 0,00070 | 0,00060 | 0,00060 | 0,00100 | 0,00090 |
|                              | Agosto 2012    | 0,00950            | 0,00060 | 0,00210 | 0,00060 | 0,00060 | 0,00060 | 0,00060 | 0,00060 |
|                              | Marzo 2013     | 0,02040            | 0,00060 | 0,00190 | 0,00300 |         | 0,00060 | 0,00070 | 0,00060 |
|                              | Octubre 2013   | 0,03711            | 0,00040 | 0,00193 |         | 0,03411 |         | 0,00906 | 0,00728 |
|                              | Marzo 2014     | 0,01930            | 0,00040 | 0,00160 | 0,00340 | 0,00287 | 0,00146 | 0,00087 | 0,00084 |
|                              | Octubre 2015   |                    |         | 0,0009  |         |         | 0,053   |         | 0,0009  |
| <b>Cobre</b><br><b>Cu</b>    | Diciembre 2011 | 0,085              | 0,007   | 0,014   | 0,15    | 0,008   | 0,008   | 0,003   | 0,003   |
|                              | Agosto 2012    | 0,063              | 0,003   | 0,014   | 0,003   | 0,003   | 0,003   | 0,003   | 0,003   |
|                              | Marzo 2013     | 0,214              | 0,003   | 0,017   | 0,989   | 0,352   | 0,292   | 0,097   | 0,082   |
|                              | Octubre 2013   | 0,26003            | 0,0004  | 0,01381 |         | 280,704 |         | 0,01859 | 0,015   |
|                              | Marzo 2014     | 0,2128             | 0,0004  | 0,0164  | 0,0981  | 0,0887  | 0,07112 | 0,0004  | 0,0004  |
|                              | Octubre 2015   |                    |         | 0,0019  |         |         | 0,702   |         | 0,015   |
| <b>Cromo</b><br><b>Cr</b>    | Diciembre 2011 | 0,038              | 0,007   | 0,009   | 0,117   | 0,009   | 0,008   | 0,006   | 0,006   |
|                              | Agosto 2012    | 0,006              | 0,013   | 0,006   | 0,006   | 0,006   | 0,006   | 0,006   | 0,006   |
|                              | Marzo 2013     | 0,024              | 0,006   | 0,006   | 0,773   | 0,264   | 0,209   | 0,062   |         |
|                              | Octubre 2013   | 0,03973            | 0,0004  | 0,0004  |         | 0,13978 |         | 0,01435 | 0,01129 |
|                              | Marzo 2014     | 0,0187             | 0,0004  | 0,0004  | 0,0186  | 0,00844 | 0,00436 | 0,0004  | 0,0004  |
|                              | Octubre 2015   |                    |         | 0,0009  |         |         | 0,437   |         | 0,03    |
| <b>Mercurio</b><br><b>Hg</b> | Diciembre 2011 | 0,0542             | 0,0003  | 0,0003  | 0,0003  | 0,0003  | 0,0003  | 0,0003  | 0,0003  |
|                              | Agosto 2012    | 0,01228            | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  |
|                              | Marzo 2013     | 0,03616            | 0,00021 | 0,0001  | 0,00172 | 0,00053 | 0,00043 | 0,00026 | 0,0001  |
|                              | Octubre 2013   | 0,0001             | 0,0001  | 0,0001  |         | 0,0001  |         | 0,0001  | 0,0001  |
|                              | Marzo 2014     | 0,0001             | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001  |
|                              | Octubre 2015   |                    |         | 0,00009 |         |         | 0,00009 |         | 0,0002  |
| <b>Plomo</b><br><b>Pb</b>    | Diciembre 2011 | 0,13               | 0,006   | 0,007   | 0,125   | 0,008   | 0,006   | 0,003   | 0,003   |
|                              | Agosto 2012    | 0,0482             | 0,001   | 0,0078  | 0,0028  | 0,001   | 0,001   | 0,001   | 0,001   |
|                              | Marzo 2013     | 0,1158             | 0,0053  | 0,0021  | 0,8301  | 0,2832  | 0,1935  | 0,0758  | 0,0643  |
|                              | Octubre 2013   | 0,24935            | 0,0004  | 0,00296 |         | 0,26678 |         | 0,09672 | 0,07649 |
|                              | Marzo 2014     | 0,1243             | 0,0004  | 0,0029  | 0,0489  | 0,02304 | 0,01057 | 0,0007  | 0,00058 |
|                              | Octubre 2015   |                    |         | 0,0009  |         |         | 0,444   |         | 0,0953  |
| <b>Zinc</b><br><b>Zn</b>     | Diciembre 2011 | 1,912              | 0,034   | 0,36    | 0,685   | 0,05    | 0,06    | 0,278   | 0,266   |
|                              | Agosto 2012    | 2,568              | 0,003   | 0,573   | 0,008   | 0,003   | 0,003   | 0,031   | 0,039   |
|                              | Marzo 2013     | 4,378              | 0,02    | 0,491   | 2,497   | 1,089   | 0,685   | 0,543   | 0,542   |
|                              | Octubre 2013   | 34,674             | 0,003   | 0,66495 |         | 26,469  |         | 25,177  | 19,854  |
|                              | Marzo 2014     | 3,163              | 0,003   | 0,818   | 0,163   | 0,58261 | 0,31576 | 0,535   | 0,50844 |
|                              | Octubre 2015   |                    |         | 0,004   |         |         | 2,318   |         | 0,13    |

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, laboratorios acreditados SGS del Perú S.A.C. (2011 y 2012), Servicios Analíticos Generales S.A.C. (2013 y 2014) y NSF ENVIROLAB S.A.C. (2015)

Tabla 11.

Comparación de valores promedio de metales pesados (ANA) y contraste en agua superficial (mg/L), en la Sub cuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Metal    | Muestreo ANA | Muestreo Contraste | T Student | Significancia (p) |
|----------|--------------|--------------------|-----------|-------------------|
| Arsénico | 0.497±2.095  | 0.065              | 0.767     | 0.446             |
| Cadmio   | 0.003±0.004  | 0.003              | -0.374    | 0.710             |
| Cobre    | 4.897±36.851 | 0.040              | 0.491     | 0.625             |
| Cromo    | 0.036±0.115  | 0.007              | 0.947     | 0.347             |
| Mercurio | 0.002±0.009  | 0.004              | -0.915    | 0.363             |
| Plomo    | 0.050±0.125  | 0.024              | 1.994     | 0.448             |

$P > 0.05$  no son estadísticamente diferentes

Los resultados comparativos con el estadístico de T de Student, indica que ninguno de los metales pesados presentó diferencia con el contraste, de lo cual se interpreta que los valores de contraste no son diferentes a los valores promedios reportados por la ANA ( $p > 0.05$ ).

#### a. Parámetros fisicoquímicos.

##### Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto presente en el agua se registró con un Sensor OPTOD/T por medición óptica en un rango de 0,00-20,00 mg/L, considerando que el oxígeno disuelto (OD) es realmente una distribución física de moléculas de oxígeno en el agua.

Tabla 12.

Estadística descriptiva del Oxígeno Disuelto (mg/L), según años, época y zona, en la Sub cuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2014.

| Factores                  | Años |      |      |      | Época   |         | Zona     |          |
|---------------------------|------|------|------|------|---------|---------|----------|----------|
|                           | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Estadísticos              |      |      |      |      |         |         |          |          |
| Mínimo                    | 4,00 | 4,52 | 2,97 | 3,11 | 3,11    | 2,97    | 3,46     | 2,97     |
| Media                     | 6,31 | 6,55 | 3,59 | 3,39 | 5,68    | 5,21    | 5,86     | 4,46     |
| Máximo                    | 7,80 | 8,86 | 4,22 | 3,60 | 7,80    | 8,86    | 8,86     | 6,11     |
| Desviación                | 1,09 | 1,28 | 0,40 | 0,25 | 1,57    | 1,79    | 1,72     | 1,27     |
| Coefficiente de variación | 16   | 19   | 11   | 6    | 27      | 34      | 29       | 27       |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

En la tabla 12, se muestra los resultados consolidados para el Oxígeno Disuelto en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 6,31, en el 2012 de 6,55 mg/L, mientras que para el año 2013 fue de 3,59 y en el 2014 el mismo fue de 3,39 mg/L; mientras que, el valor mínimo de este parámetro se presentó en el 2013 con 2,97 y el máximo en el 2012 con 8,86 mg/L. La menor desviación fue observada en el año 2014 con 0,25 mg/L de desviación y 6% de coeficiente de variación, mientras que la mayor variación fue en el 2012 con desviación de 1,28 mg/L y 19% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (Anexo 1) mediante el ANOVA encontró diferencia estadística significativa ( $p < 0,0001$ ), la prueba de rango múltiple de Duncan señala que los años 2011 y 2012 presentan un significativo mayor contenido de Oxígeno Disuelto ( $p < 0,05$ ), mientras que los años 2013 y 2014 presentaron un menor contenido de este parámetro, asimismo, estos dos últimos años presentaron valores promedio por debajo del ECA-3, la explicación de esta variación se debe básicamente a la ausencia de información para los años 2013 y 2014 de datos de Oxígeno Disuelto en la época de avenida.

Según la tabla 12, para el factor época del año se observa que, para la época de avenida el contenido de oxígeno promedio es de 5,68 mg/L, mientras que para la época de estiaje el mismo es de 5,21 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en la época de estiaje con 2,97 mg/L y el máximo en la época de avenida con 8,86 mg/L. La menor desviación se obtuvo en época de avenida con 1,57 mg/L y coeficiente de variación de 27%, la mayor desviación y variación se observó en la época de estiaje.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA encontró diferencia estadística significativa ( $p = 0,0103$ ), la prueba de rango múltiple de Duncan señala que la época de avenida presenta un significativo mayor contenido de Oxígeno Disuelto ( $p < 0,05$ ), mientras que la época de estiaje con menor contenido de Oxígeno Disuelto, para ambas épocas el promedio estuvo por encima del ECA3, con algunos puntos de muestreo por debajo del mismo.

En la tabla 12, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el contenido de oxígeno promedio es de 5,86 mg/L, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 4,46 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en la zona de cabecera con 2,97 mg/L y el máximo en la zona de receptor con 8,86 mg/L. La menor desviación

se obtuvo en zona de cabecera con 1,27 mg/L y coeficiente de variación de 27%, la mayor desviación y variación se observó en la zona de receptor.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA encontró diferencia estadística significativa ( $p=0,001$ ), la prueba de rango múltiple de Duncan, señala que la zona de receptor presenta un significativo mayor contenido de Oxígeno Disuelto ( $p<0,05$ ), mientras que la zona de cabecera con menor contenido de Oxígeno Disuelto, para ambas épocas el promedio estuvo por encima del ECA3, con algunos puntos de muestreo por debajo del mismo sobre todo en la cabecera de la cuenca.

Para el consolidado total, se observa que para la cuenca en estudio, el contenido de Oxígeno Disuelto promedio es de 5,39 mg/L, en total se tiene 25 muestras (69,4%) que presentaron valores por encima del ECA3, mientras que 11 muestras (30,6%) estuvieron por debajo del mismo, de los resultados se desprende que el contenido de Oxígeno Disuelto en la cuenca Crucero presenta un grado de afectación para este parámetro.

### Conductividad Eléctrica (CE)

La disociación de las sales genera iones positivos y negativos capaces de transportar la energía o carga eléctrica, y se conoce como Conductividad eléctrica. Se registró con un Sensor C4E/T con 4 electrodos, en un rango entre 0,0-200,0/0-2000  $\mu\text{S}/\text{Comisión}$  Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del Lago Titicaca.

Tabla 13.

Estadística descriptiva de Conductividad Eléctrica (CE) en agua superficial ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2014.

| Factores<br>Estadísticos    | Años   |         |      |          | Época    |          | Zona     |          |
|-----------------------------|--------|---------|------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                             | 2011   | 2012    | 2013 | 2014     | Avenida  | Estiaje  | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                      | 39,60  | 34,80   | -    | 20,15    | 20,15    | 34,80    | 50,70    | 20,15    |
| Máximo                      | 948,00 | 1131,00 | -    | 2 296,00 | 2 296,00 | 1 131,00 | 923,00   | 2 296,00 |
| Media                       | 385,96 | 375,41  | -    | 418,27   | 402,82   | 375,41   | 321,19   | 602,08   |
| Desviación                  | 300,70 | 290,73  | -    | 603,79   | 472,92   | 290,73   | 182,61   | 749,58   |
| Coeficiente de<br>variación | 73     | 74      | -    | 138      | 115      | 74       | 56       | 117      |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

En la tabla 13, se muestra los resultados consolidados para la Conductividad Eléctrica (CE) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 385,96, en el 2012 de 375,41  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que para el año 2013 no se registran valores y en el 2014 el mismo fue de 418,27  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el valor mínimo de este parámetro se presentó

en el 2014 con 20,15 y el máximo en el 2014 con 22 96,0 uS/cm. La menor desviación fue observada en el año 2012 con 290,73 uS/cm de desviación y 74% de coeficiente de variación, mientras que la mayor variación fue en el 2014 con desviación de 603,79 uS/cm y 138% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,9436$ ), por lo que la CE se puede considerar similar en los tres años, los mismos que fueron en promedio para el 2011 con 385,96, 2012 con 375,41 y 2014 con 418,27 uS/cm, asimismo, se observa que los tres años de análisis presentaron valores promedio por debajo del ECA3 para este parámetro.

En la tabla 13, para el factor época del año se observa que, para la época de avenida el valor promedio de Conductividad Eléctrica es de 402,82 uS/cm, mientras que para la época de estiaje el mismo fue de 375,41 uS/cm, el valor mínimo de este parámetro se observó en la época de avenida con 20,15 uS/cm y el máximo en la época de avenida con 2 296,00 uS/cm, la menor desviación se obtuvo en época de estiaje con 290,73 uS/cm y coeficiente de variación de 74%, la mayor desviación y variación se observó en la época de avenida.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,8798$ ), siendo el valor promedio para la época de avenida 402,82 uS/cm y en la época de estiaje 375,41 uS/cm, para ambas épocas el promedio estuvo por debajo del ECA3, no se observó ningún muestreo que superara dicho valor.

En la tabla 13, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el valor de la Conductividad Eléctrica promedio es de 321,19 uS/cm, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 602,08 uS/cm, el valor mínimo de este parámetro se observó en la zona de cabecera con 20,15 uS/cm y el máximo también en la zona de cabecera con 2 296,0 uS/cm, la menor desviación se obtuvo en zona de receptor con 182,61 uS/cm y coeficiente de variación de 56%, la mayor desviación y variación se observó en la zona de cabecera.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,7902$ ), siendo el valor promedio para la zona de receptor de 321,19 uS/cm y para la zona de cabecera 602,08 uS/cm, para ambas épocas el promedio de Conductividad Eléctrica estuvo por debajo del ECA3.

Para el consolidado se observa que, para la cuenca en estudio el valor de Conductividad Eléctrica promedio es de 393,42 uS/cm, en total se tiene 35 muestras (100%) que presentaron valores por debajo del ECA3, de los resultados se desprende que los valores de Conductividad Eléctrica en la cuenca Crucero no presenta algún grado de afectación para este parámetro.

### Potencial de hidrogeniones (pH)

Tabla 14.

Estadística descriptiva de pH en agua superficial, según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2014

| Factores<br>Estadísticos  | Años |      |      |      | Época   |         | Zona     |          |
|---------------------------|------|------|------|------|---------|---------|----------|----------|
|                           | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                    | 3,55 | 3,97 | 4,20 | 3,47 | 3,47    | 3,97    | 4,66     | 3,47     |
| Máximo                    | 8,85 | 8,28 | 8,53 | 8,40 | 8,85    | 8,53    | 8,85     | 7,42     |
| Media                     | 7,31 | 6,86 | 6,80 | 6,92 | 7,10    | 6,83    | 7,69     | 5,00     |
| Desviación                | 1,87 | 1,47 | 1,67 | 1,66 | 1,74    | 1,52    | 1,02     | 1,32     |
| Coefficiente de variación | 24   | 20   | 23   | 23   | 24      | 22      | 13       | 25       |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

El pH es la medida de la concentración del ion hidrogeno en una solución, se registró mediante un sensor pH/ ORP /T°, la medición se hizo en un rango entre 0,00-14,00 pH.

En la tabla 14, se muestra los resultados consolidados para el Potencial de Hidrogeniones (pH) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 7,31, en el 2012 de 6,86, en el 2013 con 6,80 y para el año 2014 fue de 6,92 unidades, el valor mínimo de este parámetro se presentó en el 2014 con 3,47 y el máximo en el 2011 con 8,85 unidades, la menor desviación fue observada en el año 2012 con 1,47 unidades de pH de desviación y 20% de coeficiente de variación, mientras que la mayor variación fue en el 2011 con desviación de 1,87 unidades y 24% de coeficiente de variación.

No existe diferencia estadística ( $p=0,9295$ ) entre los años, por lo que el pH se puede considerar similar en años evaluados, asimismo, se observa que los promedios estuvieron dentro de los valores para ECA 3 para este parámetro, observando algunos muestreos tanto con valores elevados como por debajo del mismo. En el cuadro 12 y figura 4(b) para el factor época del año se observa que, para la época de avenida el promedio de pH es de 7,10, en estiaje fue de 6,83, el valor mínimo se observó avenida con 3,47 y el máximo,

de 8,85, la menor desviación se obtuvo en estiaje con 1,52 y coeficiente de variación de 22%, mientras que la mayor desviación y variación se observó en la época de avenida.

Mediante el ANOVA no se encontró diferencia estadística ( $p=0,6474$ ), sin embargo, se observó un mayor promedio en avenida, para ambas épocas el promedio estuvo dentro del rango del ECA3, observándose algunos puntos de muestreo tanto con valores elevados como por debajo de dicho estándar de calidad de agua.

En la tabla 14, para la zona de receptor el pH promedio es de 7,69, mientras que para la cabecera es de 5,0. El valor mínimo se observó en la cabecera con 3,47 y el máximo en la zona de receptor con 8,85; la menor desviación se obtuvo en zona de receptor con 1,02 unidades y coeficiente de variación de 13%, la mayor desviación y variación se observó en la zona de cabecera.

Mediante el ANOVA se encontró diferencia estadística significativa ( $p=0,001$ ), la prueba de Duncan señala que el valor promedio para la zona de receptor es estadísticamente superior, por lo cual la zona de cabecera de cuenca presenta un promedio de pH bajo en promedio de 5 unidades (ácido), estando por debajo del ECA 3 para este parámetro.

Para el consolidado total, se observa que, para el estudio el valor del pH promedio es de 6,97, en total se tiene 7 muestras (15,56%) que presentaron valores por debajo del ECA3, mientras que 14 muestras (31,11%) mostraron valores por debajo de dicho estándar de calidad, mientras que 24 muestras (53,33%) presentaron valores dentro del rango permisible. De los resultados se desprende que los valores de pH en la cuenca Crucero si presenta algún grado de afectación para este parámetro.

## Temperatura del agua

Tabla 15.

Estadística descriptiva de la Temperatura del agua ( $T^{\circ}$ ) en agua superficial ( $^{\circ}\text{C}$ ), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2014.

| Factores<br>Estadísticos | Años  |       |       |       | Época   |         | Zona     |          |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|----------|----------|
|                          | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                   | 6,70  | 1,10  | 6,20  | 8,29  | 6,70    | 1,10    | 1,10     | 6,70     |
| Máximo                   | 25,00 | 14,31 | 19,80 | 15,40 | 25,00   | 19,80   | 25,00    | 25,00    |
| Media                    | 14,77 | 10,46 | 13,90 | 12,39 | 13,53   | 12,02   | 12,75    | 12,92    |
| Desviación               | 7,08  | 4,58  | 3,45  | 2,63  | 5,27    | 4,38    | 4,89     | 4,99     |
| Coeficiente de variación | 46    | 42    | 24    | 20    | 38      | 36      | 37       | 38       |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

En la tabla 15, se muestra los resultados consolidados para la temperatura ( $T^{\circ}$ ) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de  $14,77^{\circ}\text{C}$ , en el 2012 de  $10,46^{\circ}\text{C}$ , para el año 2013 fue  $13,90^{\circ}\text{C}$  y en el 2014 el mismo fue de  $12,39^{\circ}\text{C}$ . El valor mínimo de este parámetro se presentó en el 2012 con  $1,10$  y el máximo en el 2011 con  $25^{\circ}\text{C}$ ; la menor desviación fue observada en el año 2014 con  $2,63^{\circ}\text{C}$  de desviación y 20% de coeficiente de variación, mientras que la mayor variación fue en el 2011 con desviación de  $7,08^{\circ}\text{C}$  y 46% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,1706$ ), por lo que la temperatura se puede considerar similar en los cuatro años de evaluación, asimismo, se observa que los cuatro años de análisis presentaron valores promedio por encima del ECA3 para este parámetro, excepto una muestra con temperatura baja.

En la tabla 15, para el factor época del año se observa que, para la época de avenida el valor promedio de temperatura del agua es de  $13,53^{\circ}\text{C}$ , mientras que para la época de estiaje el mismo fue de  $12,02^{\circ}\text{C}$ , el valor mínimo de este parámetro se observó en la época de estiaje con  $1,10^{\circ}\text{C}$  y el máximo en la época de avenida con  $25,0^{\circ}\text{C}$ , la menor desviación se obtuvo en época de estiaje con  $4,38^{\circ}\text{C}$  y coeficiente de variación de 36%, la mayor desviación y variación se observó en la época de avenida.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,3001$ ), por lo que se puede considerar ambas épocas similares épocas similares

respecto a la temperatura, para ambas épocas el promedio estuvo por encima del ECA3, se observó una muestra que estuvo por debajo de dicho valor.

En la tabla 15, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el valor de la temperatura del agua promedio es de 12,75 °C, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 12,92 °C, el valor mínimo de este parámetro se observó en la zona de receptor con 1,10 °C y el máximo también en la zona de receptor con 25 °C, la menor desviación se obtuvo en zona de receptor con 4,89 °C y coeficiente de variación de 37%, la mayor desviación y variación se observó en la zona de cabecera.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,8228$ ), por lo que se puede considerar las temperaturas promedio similares en ambas zonas, para ambas zonas el promedio de temperatura del agua estuvo por encima del ECA3, excepto una muestra con baja temperatura.

Para el consolidado total, se observa que, para la cuenca en estudio el valor de la temperatura del agua promedio es de 12,79 °C, en total se tiene 1 muestra (2,22%) que presentó valor por debajo del ECA3, mientras que 44 (97,78%) estuvieron dentro de lo normal, de los resultados se desprende que los valores de temperatura del agua en la cuenca Crucero no presenta algún grado de afectación para este parámetro.

En resumen, se tiene que para el Oxígeno Disuelto (OD) 11 muestras (30,6%) presentaron valores por debajo del valor mínimo del ECA-3, mostrando un menor contenido de OD en la zona de cabecera de cuenca ( $p<0,05$ ); la Conductividad Eléctrica presentó registros inferiores al valor máximo del ECA-3, pero con valores altos de conductividad para la zona de cabecera de cuenca; para el pH se tiene 7 muestras (15,56%) con valores elevados y 14 (31,11%) con valores por debajo del valor mínimo; se reportó un pH ácido para la zona de cabecera de cuenca; y la temperatura del agua mostró variaciones atribuibles a la temperatura del ambiente.

**b. Metales pesados.**

**Arsénico total (As)**

En la tabla 16, se muestra los resultados consolidados para el Arsénico (As) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 0,134 mg/L, en el 2012 de 0,02 mg/L, para el año 2013 fue 0,557 mg/L, en el 2014 el mismo fue de 0,117 mg/L y en el año 2015 este fue de 0,065 mg/L.

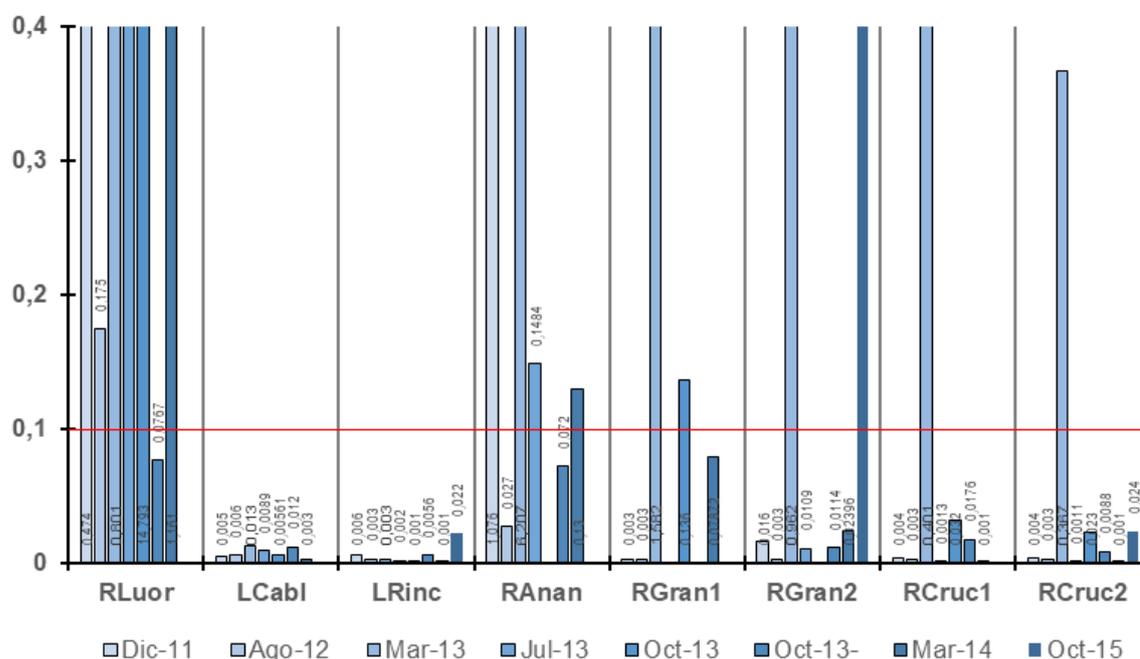


Figura 2. Concentraciones de Arsénico (As) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

El valor mínimo de este parámetro se presentó en los años 2013 a 2015 con 0,001 y el máximo en el 2013 con 6,207 mg/L; la menor desviación fue observada en el año 2012 con 0,049 mg/L de desviación y 237% de coeficiente de variación, mientras que la mayor variación fue en el 2013 con desviación de 1,350 mg/L y 237% de coeficiente de variación. Según (Adriano, 1986), el Arsénico es un metal integrante de minerales metálicos y sulfuros de otros metales, como el Cu, Co, Pb y Zn, entre otros. Sus efectos sobre la salud humana se relacionan a perturbación de los procesos de óxido, reducción celular, acción cancerígena, gastrointestinales, cardiovasculares, disfunciones en el sistema nervioso.

Tabla 16.

Estadística descriptiva del Arsénico (As) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Sub cuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Factores<br>Estadísticos  | Años  |       |       |       |       | Época   |         | Zona     |          |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|----------|----------|
|                           | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                    | 0,003 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001   | 0,001   | 0,001    | 0,001    |
| Máximo                    | 1,076 | 0,175 | 6,207 | 1,161 | 0,536 | 6,207   | 1,479   | 6,207    | 1,479    |
| Media                     | 0,134 | 0,020 | 0,557 | 0,117 | 0,065 | 0,321   | 0,091   | 0,229    | 0,228    |
| Desviación                | 0,326 | 0,049 | 1,350 | 0,331 | 0,142 | 0,991   | 0,287   | 0,904    | 0,427    |
| Coefficiente de variación | 232   | 237   | 237   | 271   | 210   | 306     | 309     | 392      | 183      |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA, no encontró diferencia estadística ( $p=0,2878$ ), por lo que el contenido de Arsénico se puede considerar similar en los cinco años de evaluación; asimismo, se observa que los años 2011, 2013 y 2014 superaron el valor máximo establecido para el ECA3 (0,1 mg/L), mientras que los años 2012 y 2015 estuvieron dentro de lo normal para este parámetro.

En la tabla 16, para el factor época del año se observa que, para la época de avenida el contenido de Arsénico promedio del agua es de 0,321 mg/L, mientras que para la época de estiaje el mismo fue de 0,091 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en la época de estiaje y avenida con 0,001 mg/L y el máximo en la época de avenida con 6,207 mg/L; la menor desviación se obtuvo en época de estiaje con 0,287 mg/L y coeficiente de variación de 309%, la mayor desviación se observó en la época de avenida con 0,991 mg/L.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA, no encontró diferencia estadística ( $p=0,6157$ ), por lo que se puede considerar ambas épocas similares respecto al contenido de Arsénico, para la época de avenida el promedio estuvo por encima del ECA3, mientras que en la época de estiaje este estuvo dentro de lo normal.

En la tabla 16, para el factor zona, se observa que, para la zona de receptor el valor del contenido de Arsénico del agua promedio es de 0,229 mg/L, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 0,228 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en ambas zonas con 0,001 mg/L y el máximo en la zona de receptor con 6,207 mg/L. La menor desviación se obtuvo en zona de cabecera con 0,427 mg/L y coeficiente de variación de 183%, la mayor desviación se obtuvo en la zona de recepción con 0,904 mg/L coeficiente de variación de 392%.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA, no encontró diferencia estadística ( $p=0,2338$ ), por lo que se puede considerar el contenido de Arsénico promedio similar en ambas zonas, para ambas zonas el promedio de contenido de Arsénico en el agua estuvo por encima del ECA3. Para el consolidado total se observa que, el valor de Arsénico promedio es de 0,228 mg/L, por encima del ECA3 (0,1 mg/L). De los resultados se desprende que, los valores de Arsénico en la cuenca Crucero presenta algún grado de afectación para este parámetro.

**Cadmio total (Cd)**

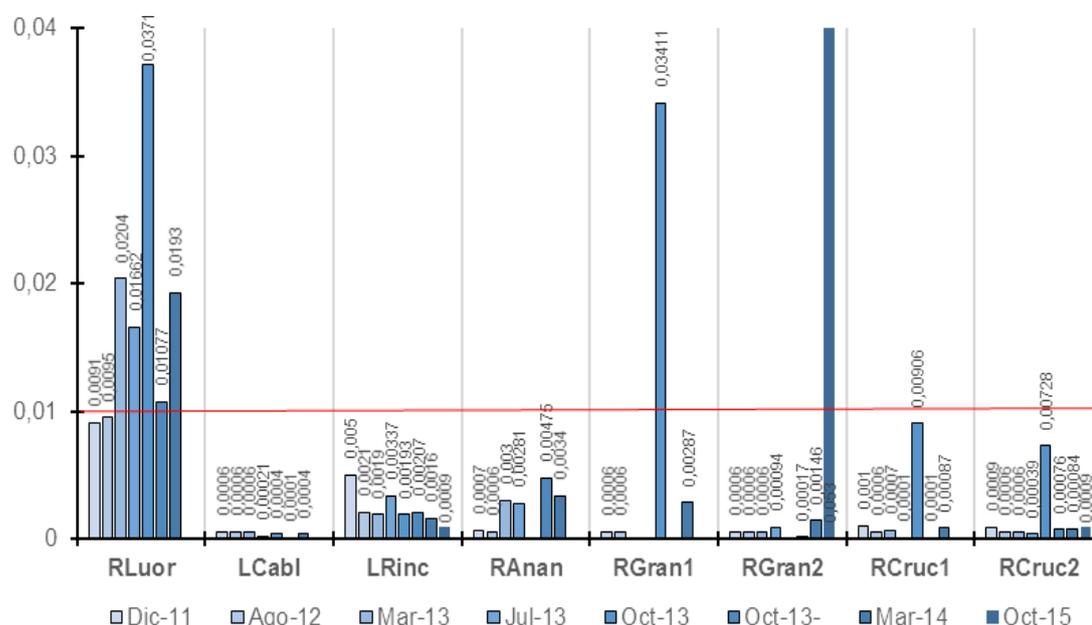


Figura 3. Concentraciones de Cadmio (Cd) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

**Tabla 17.** Estadística descriptiva del Cadmio (Cd) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Factores Estadísticos    | Años  |       |        |        |        | Época   |         |          | Zona     |
|--------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
|                          | 2011  | 2012  | 2013   | 2014   | 2015   | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                   | 0,001 | 0,001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001   | 0,0001   |
| Máximo                   | 0,009 | 0,010 | 0,037  | 0,019  | 0,017  | 0,020   | 0,037   | 0,034    | 0,037    |
| Media                    | 0,002 | 0,001 | 0,007  | 0,003  | 0,003  | 0,003   | 0,005   | 0,002    | 0,007    |
| Desviación               | 0,003 | 0,003 | 0,011  | 0,005  | 0,005  | 0,005   | 0,009   | 0,005    | 0,009    |
| Coeficiente de variación | 144   | 167   | 152    | 189    | 151    | 154     | 200     | 220      | 135      |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

En la tabla 17, se muestra los resultados consolidados para el Cadmio (Cd) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 0,002 mg/L, en el 2012 de 0,001 mg/L, para el año 2013 fue 0,007 mg/L, en el 2014 el mismo fue de 0,003 mg/L y en el año 2015 este fue de 0,003 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se presentó en los años 2013 a 2015 con 0,0001 y el máximo en el 2013 con 0,037 mg/L; la menor desviación fue observada en los años 2011 y 2012 con 0,003 mg/L de desviación y 144 y 167% de coeficiente de variación, mientras que la mayor variación fue en el 2013 con desviación de 0,011 mg/L y 152% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,1828$ ), por lo que el contenido de Cadmio se puede considerar similar en los cinco años de evaluación, asimismo, se observa que el promedio de los cinco años no superó el valor máximo establecido para el ECA3 (0,01 mg/L), sin embargo, algunas muestras dentro de los mismos si superaron dicho valor.

En la tabla 17, para el factor época del año se observa que, para la época de avenida el contenido de Cadmio promedio del agua es de 0,003 mg/L, mientras que para la época de estiaje el mismo fue de 0,005 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en la época de estiaje y avenida con 0,0001 mg/L y el máximo en la época de estiaje con 0,037 mg/L. La menor desviación se obtuvo en época de avenida con 0,005 mg/L y coeficiente de variación de 154%, la mayor desviación se observó en la época de estiaje con 0,009 mg/L y 200% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,3022$ ), por lo que se puede considerar ambas épocas similares respecto al contenido de Cadmio en el agua, para las épocas de avenida y estiaje para las épocas de avenida y estiaje el promedio estuvo por debajo del valor establecido para el ECA3, sin embargo, algunas muestras sí estuvieron por encima de dicho valor.

En la tabla 17, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el valor del contenido de Cadmio del agua promedio es de 0,002 mg/L, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 0,007 mg/L: El valor mínimo de este parámetro se observó en ambas zonas con 0,001 mg/L y el máximo en la zona de cabecera con 0,037 mg/L; la menor desviación se obtuvo en zona de receptor con 0,005 mg/L y coeficiente de

variación de 220%, la mayor desviación se obtuvo en la zona de cabecera 0,009 mg/L y coeficiente de variación de 135%.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA si encontró diferencia estadística significativa ( $p=0,0089$ ), la prueba de rango múltiple de Duncan señala que el contenido de Cadmio promedio es mayor en la zona de cabecera de cuenca, para ambas zonas el promedio de contenido de Cadmio en el agua estuvo por debajo del valor establecido para el ECA3, pero algunas muestras superaron dicho valor de referencia.

Para el consolidado total, se observa que, para la cuenca en estudio el valor del contenido de Cadmio del agua promedio es de 0,004 mg/L, el mismo que se encuentra por debajo del valor establecido para el ECA3 (0,01 mg/L), se tiene 6 muestras (8,45%) que, si superaron dicho valor de referencia, mientras que 65 muestras (91,55%) estuvieron dentro de lo normal para este parámetro de evaluación.

### Cobre total (Cu)

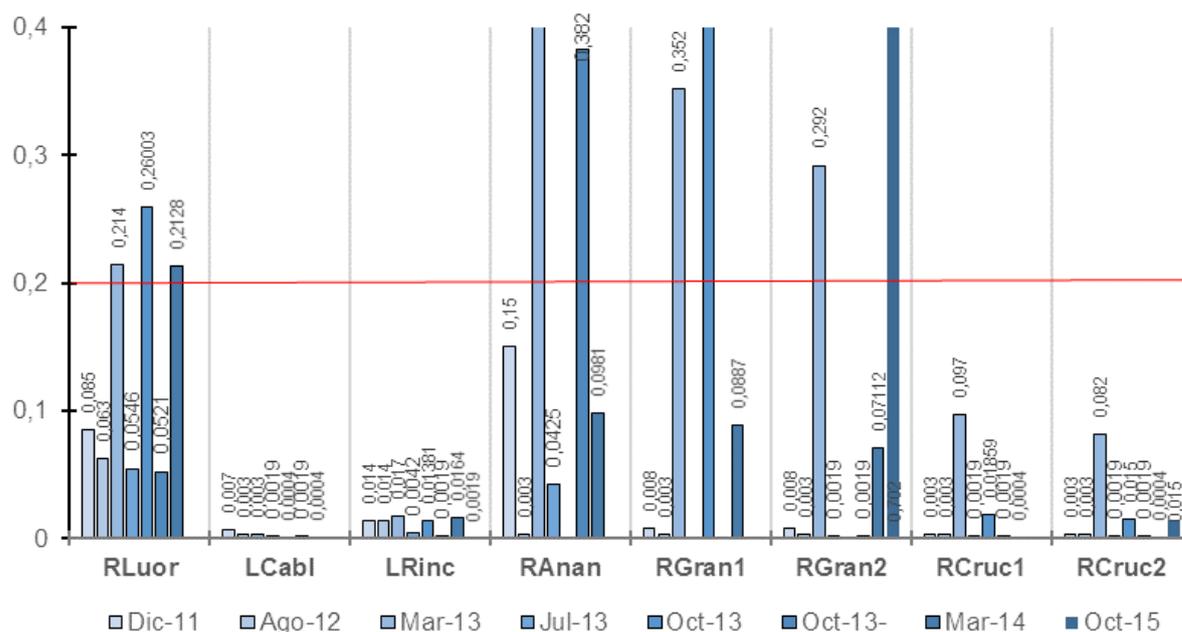


Figura 4. Concentraciones de Cobre (Cu) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

Tabla 18.

Estadística descriptiva del Cobre (Cu) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la SubSubcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Factores<br>Estadísticos  | Años  |       |        |        |       | Época   |         | Zona     |          |
|---------------------------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|---------|----------|----------|
|                           | 2011  | 2012  | 2013   | 2014   | 2015  | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                    | 0,003 | 0,003 | 0,0001 | 0,0001 | 0,002 | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001   | 0,0001   |
| Máximo                    | 0,150 | 0,063 | 2,807  | 0,213  | 0,382 | 0,989   | 2,807   | 2,807    | 0,260    |
| Media                     | 0,024 | 0,009 | 0,238  | 0,042  | 0,040 | 0,078   | 0,115   | 0,111    | 0,050    |
| Desviación                | 0,046 | 0,017 | 0,615  | 0,066  | 0,101 | 0,172   | 0,520   | 0,416    | 0,079    |
| Coefficiente de variación | 181   | 186   | 252    | 150    | 245   | 217     | 444     | 372      | 155      |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

En la tabla 18, se muestra los resultados consolidados para el contenido de Cobre (Cu) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 0,024 mg/L, en el 2012 de 0,009 mg/L, para el año 2013 fue 0,238 mg/L, en el 2014 el mismo fue de 0,042 mg/L y en el año 2015 este fue de 0,0405 mg/L; el valor mínimo de este parámetro se presentó en los años 2013 y 2014 con 0,0001 y el máximo en el 2013 con 2,807 mg/L. La menor desviación fue observada en el año 2012 con 0,017 mg/L de desviación y 186% de coeficiente de variación, mientras que la mayor desviación fue en el 2013 con 0,615 mg/L y 252% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,2020$ ), por lo que el contenido de Cobre se puede considerar similar en los cinco años de evaluación, asimismo, se observa que el promedio de Cobre para el año 2013 superó el valor máximo establecido para el ECA3 (0,2 mg/L), mientras que el resto de años tuvieron promedios por debajo de este valor.

En la tabla 18, para el factor época del año se observa que, para la época de avenida el contenido de Cobre promedio del agua es de 0,078 mg/L, mientras que para la época de estiaje el mismo fue de 0,115 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en la época de estiaje y avenida con 0,0001 mg/L y el máximo en la época de estiaje con 2,807 mg/L. La menor desviación se obtuvo en época de avenida con 0,172 mg/L y coeficiente de variación de 217%, la mayor desviación se observó en la época de estiaje con 0,520 mg/L y 444% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,7739$ ), por lo que se puede considerar ambas épocas similares respecto al contenido de Cobre en el agua, para las épocas de avenida y estiaje para las épocas de avenida y estiaje el promedio estuvo por debajo del valor establecido para ECA3, sin embargo, algunas muestras sí estuvieron por encima de dicho valor.

En la tabla 18, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el valor del contenido de Cobre en el agua promedio es de 0,111 mg/L, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 0,050 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en ambas zonas con 0,0001 mg/L y el máximo en la zona de receptor con 02,807 mg/L. La menor desviación se obtuvo en zona de cabecera con 0,079 mg/L y coeficiente de variación de 155%, la mayor desviación se obtuvo en la zona de receptor con 0,416 mg/L y coeficiente de variación de 372%.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,5215$ ), lo cual señala que se puede considerar los promedios similares en ambas zonas, para ambas zonas el promedio de contenido de Cobre en el agua estuvo por debajo del valor establecido para el ECA3, pero algunas muestras superaron dicho valor.

Para el consolidado total, se observa que, para la cuenca en estudio el valor del contenido de Cobre del agua promedio es de 0,092 mg/L, el mismo que se encuentra por debajo del valor establecido para el ECA3 (0,2 mg/L), se tiene 8 muestras (11,11%) que, si superaron dicho valor de referencia, mientras que 64 muestras (88,89%) estuvieron dentro de lo normal para este parámetro de evaluación.

### **Cromo total (Cr)**

Los resultados se muestran en la siguiente tabla y figura.

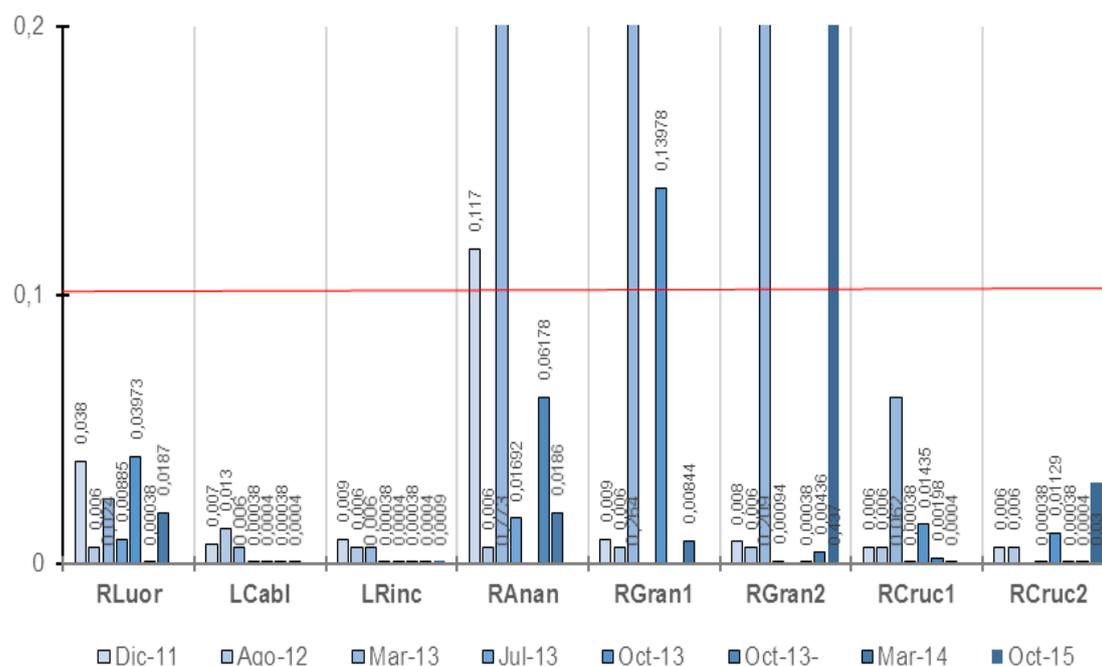


Figura 5. Concentraciones de Cromo (Cr) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

Tabla 19.

Estadística descriptiva del Cromo (Cr) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la sub Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Factores Estadísticos     | Años  |       |        |        |        | Época   |         |          | Zona     |
|---------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
|                           | 2011  | 2012  | 2013   | 2014   | 2015   | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                    | 0,006 | 0,006 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001   | 0,0001   |
| Máximo                    | 0,117 | 0,013 | 0,773  | 0,019  | 0,062  | 0,773   | 0,140   | 0,773    | 0,040    |
| Media                     | 0,019 | 0,007 | 0,091  | 0,004  | 0,007  | 0,044   | 0,011   | 0,039    | 0,009    |
| Desviación                | 0,032 | 0,002 | 0,193  | 0,007  | 0,017  | 0,134   | 0,026   | 0,123    | 0,012    |
| Coefficiente de variación | 165   | 29    | 205    | 152    | 237    | 297     | 235     | 308      | 131      |

Fuente: Informes ANA y resultados propios

En la tabla 19, se muestra los resultados consolidados para el contenido de Cromo (Cr) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 0,019 mg/L, en el 2012 de 0,007 mg/L, para el año 2013 fue 0,091 mg/L, en el 2014 el mismo fue de 0,004 mg/L y en el año 2015 este fue de 0,007 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se presentó en los años 2013 al 2015 con 0,0001 y el máximo en el 2013 con 0,773 mg/L. La menor desviación fue observada en el año 2014 con 0,007 mg/L de desviación y 152% de coeficiente de variación, mientras que la mayor desviación fue en el 2013 con 0,193 mg/L y 205% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,1865$ ), por lo que el contenido de Cromo se puede considerar similar en los cinco años de evaluación, asimismo, se observa que el promedio de Cromo en los cinco años evaluados no superó el valor máximo establecido para el ECA3 (0,1 mg/L), sin embargo, algunas muestras si superaron dicho valor de referencia.

En la tabla 19, se observa que, en avenida el contenido de Cromo promedio del agua es de 0,044 mg/L, mientras en estiaje el mismo fue de 0,011 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en el estiaje y avenida con 0,0001 mg/L y el máximo en la época de avenida con 0,773 mg/L. La menor desviación se obtuvo en estiaje con 0,026 mg/L y coeficiente de variación de 235%, la mayor desviación se observó en avenida con 0,134 mg/L y 297% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,2335$ ), por lo que se puede considerar ambas épocas similares respecto al contenido de Cromo en el agua, para las épocas de avenida y estiaje para las épocas de avenida y estiaje el promedio estuvo por debajo del valor establecido para el ECA3, sin embargo, algunas muestras sí estuvieron por encima de dicho valor.

En la tabla 19, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el valor del contenido de Cromo en el agua promedio es de 0,039 mg/L, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 0,009 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en ambas zonas con 0,0001 mg/L y el máximo en la zona de receptor con 0,773 mg/L. La menor desviación se obtuvo en zona de cabecera con 0,012 mg/L y coeficiente de variación de 131%, la mayor desviación se obtuvo en la zona de receptor con 0,123 mg/L y coeficiente de variación de 308%.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,2970$ ), lo cual señala que se puede considerar los promedios similares en ambas zonas; para ambas zonas el promedio de contenido de Cromo en el agua estuvo por debajo del valor establecido para el ECA3, sin embargo, algunas muestras superaron dicho valor de referencia.

Para el consolidado total, se observa que, para la cuenca en estudio el valor del contenido de Cromo del agua promedio es de 0,03 mg/L, el mismo que se encuentra por debajo del valor establecido para el ECA3 (0,1 mg/L), se tiene 5 muestras (7,46%) que, si superaron

dicho valor de referencia, mientras que 62 muestras (92,54%) estuvieron dentro de lo normal para este parámetro de evaluación.

**Mercurio total (Hg)**

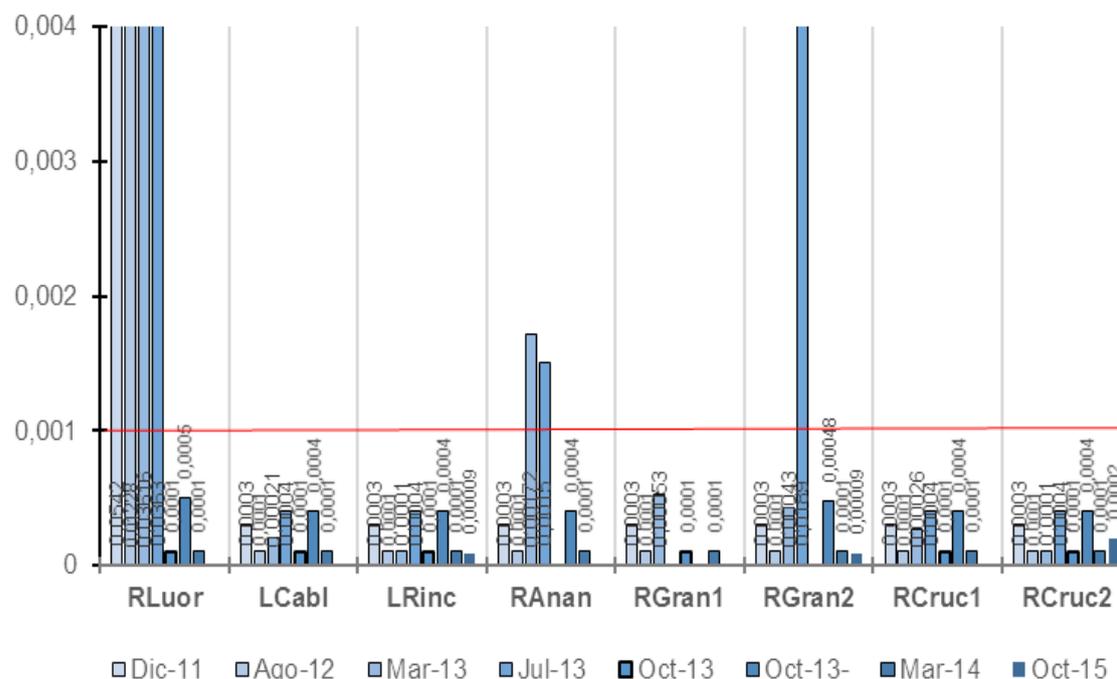


Figura 6. Concentraciones de Mercurio (Hg) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

Tabla 20.

Estadística descriptiva del Mercurio (Hg) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Factores Estadísticos    | Años   |        |        |        |        | Época   |         | Zona     |          |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
|                          | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                   | 0,0003 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0004 | 0,0001  | 0,0001  | 0,0001   | 0,0001   |
| Máximo                   | 0,0542 | 0,0123 | 0,0362 | 0,0001 | 0,0363 | 0,0542  | 0,0363  | 0,0189   | 0,0542   |
| Media                    | 0,0048 | 0,0011 | 0,0019 | 0,0001 | 0,0044 | 0,0024  | 0,0025  | 0,0006   | 0,0068   |
| Desviación               | 0,0156 | 0,0035 | 0,0077 | 0,0000 | 0,0104 | 0,0098  | 0,0077  | 0,0026   | 0,0154   |
| Coeficiente de variación | 311    | 302    | 403    | 0      | 229    | 409     | 300     | 421      | 221      |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

En la tabla 20, se muestra los resultados consolidados para el contenido de Mercurio (Hg) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 0,0048 mg/L, en el 2012 de 0,0011 mg/L, para el año 2013 fue 0,0019 mg/L, en el 2014 el mismo fue de 0,0001 mg/L y en el año 2015 este fue de 0,0044 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se presentó en los años 2012 al 2014 con 0,0001 y el máximo en el 2011 con

0,0542 mg/L. La menor desviación fue observada en el año 2014 con 0,0000 mg/L de desviación y 0% de coeficiente de variación, mientras que la mayor desviación fue en el 2011 con 0,0156 mg/L y 311% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,6243$ ), por lo que el contenido de Mercurio se puede considerar similar en los cinco años de evaluación, asimismo, se observa que el promedio de Mercurio en los cinco años evaluados no superó el valor máximo establecido para el ECA3 (0,001 mg/L), sin embargo, algunas muestras si superaron dicho valor de referencia.

En la tabla 20, para el factor época del año se observa que, para avenida el Mercurio promedio es de 0,0024 mg/L, mientras que para estiaje fue de 0,0025 mg/L. El valor mínimo se observó en estiaje y avenida con 0,0001 mg/L y el máximo en avenida con 0,0542 mg/L. La menor desviación se obtuvo en época de estiaje con 0,0077 mg/L y coeficiente de variación de 300%, la mayor desviación se observó en la época de avenida con 0,0098 mg/L y 409% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,9456$ ), por lo que se puede considerar ambas épocas similares respecto al contenido de Mercurio en el agua, para avenida y el promedio estuvo por debajo del valor establecido para ECA3, sin embargo, algunas muestras sí estuvieron por encima de dicho valor.

En la tabla 20, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el valor del Mercurio es de 0,0006 mg/L, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 0,0068 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en ambas zonas con 0,0001 mg/L y el máximo en la zona de cabecera con 0,0542 mg/L. La menor desviación se obtuvo en zona de receptor con 0,0026 mg/L y coeficiente de variación de 421%, la mayor desviación se obtuvo en la zona de cabecera con 0,0154 mg/L y coeficiente de variación de 221%.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA encontró diferencia estadística significativa ( $p=0,0067$ ), la prueba de rango múltiple de Duncan permite concluir que la zona de cabecera de cuenca muestra un significativo mayor contenido promedio de Mercurio, para ambas zonas el promedio de contenido de Mercurio en el agua estuvo por debajo del valor establecido para el ECA3, sin embargo, algunas muestras superaron dicho valor de referencia.

Para el consolidado total, se observa que, para la cuenca en estudio el valor del contenido de Mercurio en el agua promedio es de 0,0024 mg/L, el mismo que se encuentra por debajo del valor establecido para el ECA3 (0,001 mg/L). Se tiene 7 muestras (9,72%) que, si superaron dicho valor de referencia, mientras que 65 muestras (90,28%) estuvieron dentro de lo normal para este parámetro de evaluación.

**Plomo total (Pb)**

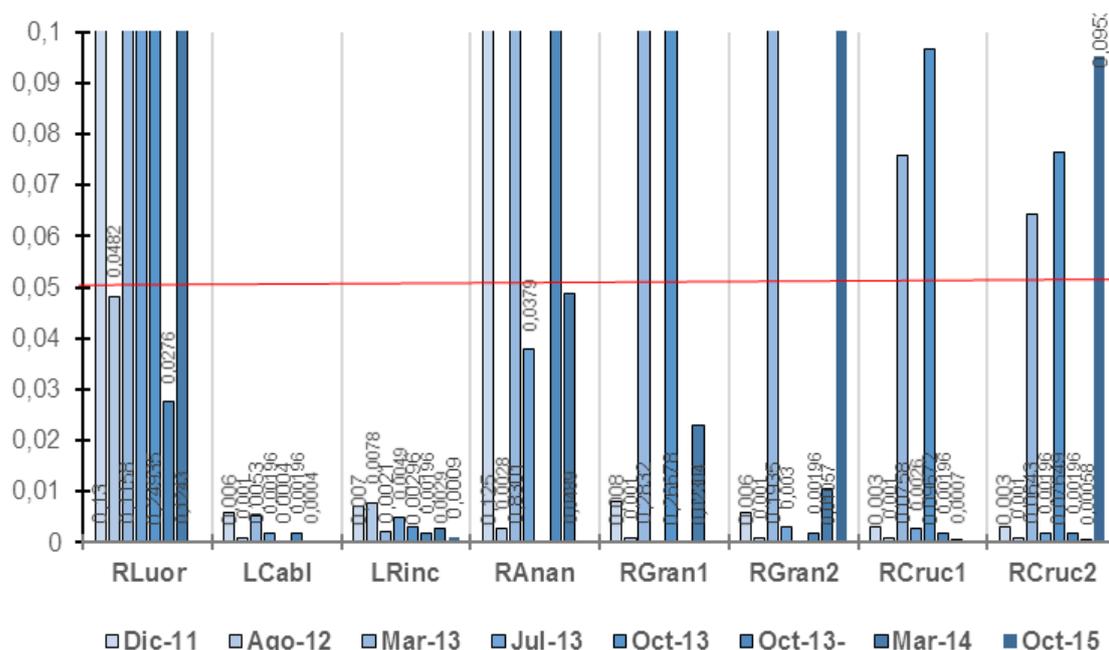


Figura 7. Concentraciones de Plomo total (Pb) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

Tabla 21.

Estadística descriptiva del Plomo (Pb) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Factores Estadísticos    | Años   |        |        |        |        | Época   |         | Zona     |          |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|
|                          | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |
| Mínimo                   | 0,0030 | 0,0010 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0026 | 0,0004  | 0,0004  | 0,0004   | 0,0004   |
| Máximo                   | 0,1300 | 0,0482 | 0,8301 | 0,1243 | 0,1324 | 0,8301  | 0,2668  | 0,8301   | 0,2494   |
| Media                    | 0,0254 | 0,0057 | 0,1048 | 0,0181 | 0,0240 | 0,0536  | 0,0320  | 0,0467   | 0,0406   |
| Desviación               | 0,0477 | 0,0135 | 0,1874 | 0,0364 | 0,0428 | 0,1360  | 0,0694  | 0,1289   | 0,0666   |
| Coeficiente de variación | 180    | 226    | 175    | 193    | 172    | 250     | 213     | 273      | 160      |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

En la tabla 21, para el factor época del año se observa que, para la época de avenida el contenido de Plomo promedio del agua es de 0,0536 mg/L, mientras que para la época de

estiaje el mismo fue de 0,0320 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en la época de estiaje y avenida con 0,0004 mg/L y el máximo en la época de avenida con 0,8301 mg/L. La menor desviación se obtuvo en época de estiaje con 0,0694 mg/L y coeficiente de variación de 213%, la mayor desviación se observó en la época de avenida con 0,1360 mg/L y 250% de coeficiente de variación.

En la tabla 21, se muestra los resultados consolidados para el contenido de Plomo (Pb) en agua superficial según los años de análisis: En el año 2011 el promedio fue de 0,0254 mg/L, en el 2012 de 0,0057 mg/L, para el año 2013 fue 0,1048 mg/L, en el 2014 el mismo fue de 0,0181 mg/L y en el año 2015 este fue de 0,0240 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se presentó en los años 2013 y 2014 con 0,0004 y el máximo en el 2013 con 0,8301 mg/L. La menor desviación fue observada en el año 2014 con 0,0364 mg/L de desviación y 193% de coeficiente de variación, mientras que la mayor desviación fue en el 2013 con 0,1874 mg/L y 175% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,0490$ ), por lo que el contenido de Plomo se puede considerar similar en los cinco años de evaluación, asimismo, se observa que, en el año 2013 el contenido promedio de Plomo supera el valor máximo establecido para el ECA3 (0,05 mg/L), mientras que para el resto de años dicho promedio estuvo por debajo de dicho valor.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,4335$ ), por lo que se puede considerar ambas épocas similares respecto al contenido de Plomo en el agua, para la época de avenida el promedio fue ligeramente superior al valor establecido para ECA3, mientras que en la época de estiaje el promedio de Plomo fue inferior a dicho valor.

En la tabla 21, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el valor del contenido de Plomo en el agua promedio es de 0,0467 mg/L, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 0,0406 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en ambas zonas con 0,0004 mg/L y el máximo en la zona de receptor con 0,8301 mg/L. La menor desviación se obtuvo en zona de cabecera con 0,0666 mg/L y coeficiente de variación de 160%, la mayor desviación se obtuvo en la zona de cabecera con 0,1289 mg/L y coeficiente de variación de 273%.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,8615$ ), por lo que se puede considerar similar el promedio de Plomo en ambas zonas, para ambas zonas el promedio de contenido de Plomo en el agua estuvo por debajo del valor establecido para el ECA3, sin embargo, algunas muestras superaron dicho valor de referencia.

Para el consolidado total se observa que, para la cuenca en estudio el valor del contenido de Plomo en el agua promedio es de 0,045 mg/L, el mismo que se encuentra por debajo del valor máximo establecido para el ECA3 (0,05 mg/L), se tiene 7 muestras (9,72%) que, si superaron dicho valor de referencia, mientras que 65 muestras (90,28%) estuvieron dentro de lo normal para este parámetro de evaluación.

**Zinc total (Zn)**

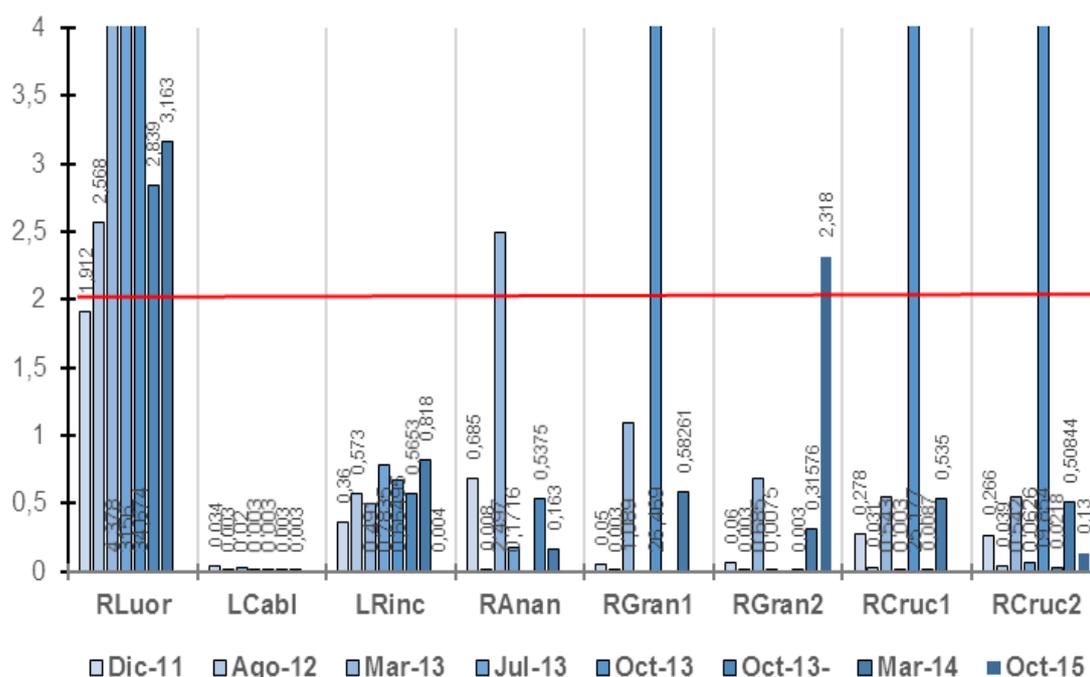


Figura 8. Concentraciones de Zinc (Zn) en agua superficial (mg/L) en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

Tabla 22.

Estadística descriptiva de los Niveles de Zinc (Zn) en agua superficial (mg/L), según años, época y zona en la Subcuenca Crucero de la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Factores   | Años   |        |        |        | Época   |         |          | Zona     |  |
|------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|----------|----------|--|
|            | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | Avenida | Estiaje | Receptor | Cabecera |  |
| Mínimo     | 0,0030 | 0,0030 | 0,0030 | 0,0030 | 0,0030  | 0,0030  | 0,0030   | 0,0030   |  |
| Máximo     | 1,9120 | 2,5680 | 4,3780 | 3,1630 | 4,3780  | 3,4674  | 2,6469   | 4,3780   |  |
| Media      | 0,3061 | 0,2710 | 1,0095 | 0,5220 | 0,5780  | 0,6631  | 0,3939   | 1,2306   |  |
| Desviación | 0,5466 | 0,7413 | 1,2976 | 0,8753 | 0,9577  | 1,1340  | 0,7051   | 1,4770   |  |
| C.V.       | 171    | 262    | 126    | 161    | 163     | 167     | 177      | 116      |  |

Fuente: Informes ANA y resultados propios.

En la tabla 22, se muestra los resultados consolidados para el contenido de Zinc (Zn) según los años de análisis: El valor mínimo de este parámetro se presentó en los años 2011 al 2014 con 0,0030 y el máximo en el 2013 con 4,378 mg/L. La menor desviación fue en 2011 con 0,5466 mg/L de desviación y 171% de coeficiente de variación, mientras que la mayor desviación fue en 2013 con 1,2976 mg/L y 126% de coeficiente de variación. El análisis estadístico (ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,1032$ ), por lo que el contenido de Zinc es similar en los cuatro años, y no superan el valor máximo establecido para el ECA3 (2 mg/L), sin embargo, algunas muestras si superaron dicho valor de referencia.

En la tabla 22, se observa que, para avenida el Zinc promedio es de 0,5780 mg/L, mientras que para estiaje fue de 0,6631 mg/L. El valor mínimo se observó en estiaje y avenida con 0,0030 mg/L y el máximo en avenida con 4,3780 mg/L. La menor desviación se obtuvo en avenida con 0,9577 mg/L y coeficiente de variación de 163%, la mayor desviación se observó en estiaje con 1,1340 mg/L y 167% de coeficiente de variación.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA no encontró diferencia estadística ( $p=0,8176$ ), por lo que se puede considerar ambas épocas similares respecto al contenido de Zinc en el agua, para ambas épocas el valor promedio no superó el valor establecido para el ECA3, sin embargo, algunas muestras si superaron dicho valor de referencia.

En la tabla 22, para el factor zona se observa que, para la zona de receptor el valor del contenido de Zinc en el agua promedio es de 0,3939 mg/L, mientras que para la zona de cabecera el mismo es de 1,2306 mg/L. El valor mínimo de este parámetro se observó en ambas zonas con 0,0030 mg/L y el máximo en la zona de cabecera con 4,3780 mg/L. La menor desviación se obtuvo en zona de receptor con 0,7051mg/L y coeficiente de

variación de 177%, la mayor desviación se obtuvo en la zona de cabecera con 1,4770 mg/L y coeficiente de variación de 116%.

El análisis estadístico (anexo 1) mediante el ANOVA encontró diferencia estadística significativa ( $p=0,0059$ ), la prueba de rango múltiple de Duncan permite señalar que la zona de cabecera de cuenca presenta un promedio estadísticamente mayor, para ambas zonas el promedio de contenido de Zinc en el agua estuvo por debajo del valor establecido para el ECA3, sin embargo, algunas muestras superaron dicho valor de referencia.

Para el consolidado total se observa que, para la cuenca en estudio el valor del contenido de Zinc en el agua promedio es de 0,61 mg/L, el mismo que se encuentra por debajo del límite permisible para el ECA3 (2 mg/L), se tiene 8 muestras (13,79%) que, si superaron dicho valor de referencia, mientras que 50 muestras (86,21%) estuvieron dentro de lo normal para este parámetro de evaluación.

### **Consolidación de análisis**

Respecto a los Metales Pesados se tiene para el Arsénico el promedio de los 5 años de evaluación fue de 0,228 mg/L el mismo que supera el valor establecido para el ECA3, no se encontró diferencia entre años, épocas y zonas de muestreo. Para el Cadmio 6 muestras (8,45%) superaron el límite máximo permisible, siendo su concentración mayor en la zona de cabecera de cuenca ( $p<0,05$ ). Para el Cobre 8 muestras (11,11%) superaron el límite permisible, no existió diferencia entre años, épocas y zonas. Para el Cromo 5 muestras (7,46%) superaron el límite máximo permisible, no existiendo diferencia entre años, zonas y épocas de muestreo. El Mercurio presentó 7 muestras (9,72%) que superaron el límite permisible, su concentración fue mayor en la zona de cabecera de cuenca ( $p<0,05$ ). El Plomo presentó 7 muestras (9,72%) que superaron el valor máximo establecido, no existiendo diferencia entre años, zonas y épocas. Para el Zinc se presentó 8 muestras (13,79%) que superaron el límite máximo permisible, siendo mayor el contenido de Zinc en la zona de cabecera de cuenca ( $p<0,05$ ).

El PELT (1999), para la Sub cuenca del río Ramis (puente Samán), señala que el Arsénico, Cadmio, Cromo, Plomo y Mercurio superaron los límites máximos permisibles (OMS 1995), resultados que concuerdan con los señalados en nuestro estudio, evidenciando la existencia de contaminación por metales pesados en la Unidad Hidrográfica Azángaro. Sin embargo, la Universidad Nacional Agraria La Molina (1999),

determinaron en muestras de agua para el Lago Titicaca (desembocadura del río Ramis), que el Pb (0,014 mg/l), se encuentra por encima del límite permisible según los valores guía de USEPA (0,0058 mg/l referida para metales pesados, mientras los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, Cd, Hg, y As, se encuentran por debajo de los límites permisibles, lo cual indica que a lo largo del recorrido del río Ramis la sedimentación reduce la concentración de los metales pesados, lo cual explica porque en nuestro estudio reportamos un mayor número de elementos que superaron los límites permisibles.

Respecto a la zona de cabecera de cuenca Salas (2010), en la zona de Ananea de la Cuenca del Río Ramis, concluye, que los metales pesados As, Cu, Cr, Zn y Pb, se encuentran en todos los puntos de muestreo y en los meses de estiaje, por encima de los Límites Máximos Permisibles establecidos mediante Decreto Supremo N° 010-2010-MINEM; estos metales también mostraron valores que superaron los límites máximos permisibles, lo cual respalda nuestros resultados que indican la existencia de contaminación de aguas superficiales por metales pesados en la Unidad Hidrográfica Azángaro.

La ANA, (2011), en el agua del río Lunar de Oro (RLUOR), indica que la misma es de mala calidad, cuya concentración de Aluminio (Al) con 39,15 mg/l excede en 5,03 veces; Arsénico (As) con 0,474 mg/l en 8,48 veces; Hierro (Fe) con 61,409 mg/l supera en 60,4 veces; Plomo (Pb) con 0,13 mg/l, excede en 129 veces; y Zinc con 1,012 mg/l en 62,6 veces, sobrepasando el valor de la Categoría 3 de los ECA para agua, resultados que confirman los reportados en nuestro estudio, identificando a la zona de cabecera de cuenca como la más afectada por la contaminación por metales pesados.

Asimismo, la ANA (2011), indica que el agua del riachuelo Ananea, se encuentra contaminada con Al, As, Fe, Pb y Zn, debido a la descarga de aguas procedentes de las operaciones mineras, la calidad del agua aguas abajo de la confluencia del riachuelo Ananea con el río Grande, (tramo de 5 km entre RANAN y RGRAN1), mejoran sustancialmente, lo cual soporta los resultados de nuestro estudio que concluye que la zona de receptor presenta una menor concentración de metales pesados.

La Autoridad Nacional del Agua (2012), señala que el agua de la Laguna Casa Blanca es ácida con un pH de 6,07, confirmando nuestros resultados de un pH ácido de esta zona, al respecto se identifica al pH y la Conductividad Eléctrica como indicadores fisicoquímicos de contaminación por metales pesados.

Los resultados obtenidos tanto de los monitoreos propios como de la revisión de los registros de la ANA, permiten establecer que la contaminación por metales pesados en la subcuenca Crucero, tienen como origen principal la actividad minera, como lo señala Torres (2015), una buena parte del Perú se encuentra afectada de manera directa o indirecta por la actividad minera, la misma es mayormente originada por la extracción de oro nativo, que se sitúan en la Cordillera Oriental de mineralización primaria, lugar donde nace la cuenca del río Ramis, los desechos líquidos de estas actividades, salmueras, tienen importantes concentraciones de metales pesados (MEM, 2005).

El aumento intenso y constante de las actividades antropogénicas (minería), implica la emisión de sustancias contaminantes hacia los ecosistemas, en nuestro caso los ríos, que están íntimamente relacionados con las especies animales, en particular, las domésticas incluyendo al hombre, lo que facilita la entrada de dichas sustancias tóxicas en la cadena trófica. El contenido residual de algunos elementos de la leche y carne es un importante indicador directo del grado de contaminación (González, 2009), considerando que la desembocadura de la cuenca en estudio es el lago Titicaca, se deben considerar estudios específicos de la concentración de metales pesados en diferentes niveles de la cadena trófica, como son fito y zooplancton, peces y aun el ser humano.

El Estado Peruano reconoce como zonas ambientalmente vulnerables las cabeceras de cuenca donde se originan las aguas (Ley N° 29338 “Ley de Recursos Hídricos” del 30.03.2009), por lo que la legislación está relacionada con la protección de estos ámbitos, sin embargo los resultados indican una clara afectación del sistema hídrico en la subcuenca Crucero. El proceso de formalización de la minería en la zona alta de la cordillera de la región Puno tiene entre sus objetivos un proceso de explotación menos contaminante, pero sin embargo hasta el momento de este estudio no se perciben los cambios en la zona de estudio.

#### 4.2. Análisis de correlación entre parámetros fisicoquímicos y metales pesados

Para los cálculos posteriores se utiliza una matriz reducida de la data original, debido a que se requiere una matriz con datos completos para cada columna y fila.

Tabla 23.

Correlación de variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Variabes | CE           | OD            | pH            | TE       | As            | Cd            | Cu            | Cr            | Hg            | Pb            | Zn            |
|----------|--------------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| CE       | <b>1</b>     | -0,184        | -0,386        | -0,052   | <b>0,879</b>  | <b>0,883</b>  | <b>0,894</b>  | <b>0,452</b>  | 0,282         | <b>0,794</b>  | <b>0,841</b>  |
| OD       | -0,184       | <b>1</b>      | <b>0,473</b>  | -0,198   | <b>-0,393</b> | <b>-0,408</b> | <b>-0,420</b> | -0,067        | -0,008        | -0,301        | <b>-0,419</b> |
| pH       | -0,386       | <b>0,473</b>  | <b>1</b>      | 0,303    | <b>-0,549</b> | <b>-0,686</b> | <b>-0,616</b> | <b>-0,492</b> | <b>-0,431</b> | <b>-0,630</b> | <b>-0,708</b> |
| TE       | -0,052       | -0,198        | 0,303         | <b>1</b> | -0,152        | -0,091        | -0,144        | -0,187        | -0,213        | -0,199        | -0,150        |
| As       | <b>0,879</b> | <b>-0,393</b> | <b>-0,549</b> | -0,152   | <b>1</b>      | <b>0,938</b>  | <b>0,988</b>  | <b>0,622</b>  | 0,349         | <b>0,898</b>  | <b>0,845</b>  |
| Cd       | <b>0,883</b> | <b>-0,408</b> | <b>-0,686</b> | -0,091   | <b>0,938</b>  | <b>1</b>      | <b>0,974</b>  | <b>0,585</b>  | <b>0,398</b>  | <b>0,896</b>  | <b>0,951</b>  |
| Cu       | <b>0,894</b> | <b>-0,420</b> | <b>-0,616</b> | -0,144   | <b>0,988</b>  | <b>0,974</b>  | <b>1</b>      | <b>0,586</b>  | 0,347         | <b>0,899</b>  | <b>0,909</b>  |
| Cr       | <b>0,452</b> | -0,067        | <b>-0,492</b> | -0,187   | <b>0,622</b>  | <b>0,585</b>  | <b>0,586</b>  | <b>1</b>      | <b>0,851</b>  | <b>0,842</b>  | <b>0,537</b>  |
| Hg       | 0,282        | -0,008        | <b>-0,431</b> | -0,213   | 0,349         | <b>0,398</b>  | 0,347         | <b>0,851</b>  | <b>1</b>      | <b>0,717</b>  | <b>0,480</b>  |
| Pb       | <b>0,794</b> | -0,301        | <b>-0,630</b> | -0,199   | <b>0,898</b>  | <b>0,896</b>  | <b>0,899</b>  | <b>0,842</b>  | <b>0,717</b>  | <b>1</b>      | <b>0,874</b>  |
| Zn       | <b>0,841</b> | <b>-0,419</b> | <b>-0,708</b> | -0,150   | <b>0,845</b>  | <b>0,951</b>  | <b>0,909</b>  | <b>0,537</b>  | <b>0,480</b>  | <b>0,874</b>  | <b>1</b>      |

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación  $\alpha=0,05$

En la tabla 23 y figura 8 se muestra los resultados del análisis de correlación lineal de Pearson, se determinó un total de 35 coeficientes de correlación estadísticamente significativos ( $p<0,05$ ), por lo que se presta atención a aquellos que además de su significancia estadística presenten altos valores del coeficiente, entre ellos destaca la Conductividad Eléctrica (CE) que muestra una fuerte correlación positiva con el contenido de Arsénico (As) con  $r=0,879$ , asimismo, con el Cadmio (Cd) con  $r=0,883$ , también se evidenció correlación fuerte entre CE y el contenido de Cobre (Cu) con  $r=0,894$ , también con el Plomo (Pb) con  $r=0,794$  y finalmente con el contenido de Zinc (Zn) con  $r=0,841$ , de los resultados se evidencia que una mayor concentración de estos metales se relaciona con el incremento de la Conductividad Eléctrica del agua, excepto para el contenido de Mercurio (Hg) cuyo coeficiente de correlación no alcanzó significancia estadística.

Otras correlaciones importantes se presentaron con el pH del agua y el contenido de Cadmio (Cd) que presentó una correlación negativa  $r=-0,686$  y también entre el pH y Zinc (Zn) con  $r=-0,708$ , asimismo, se observa que el pH presentó una correlación

negativa con los metales, lo cual permite señalar que al incrementarse la concentración de metales pesados el pH del agua tiende a disminuir.

Respecto al Oxígeno Disuelto (OD) se observó que los coeficientes de correlación con los metales pesados fueron negativos con el Arsénico, Cadmio, Cobre y Zinc, con coeficientes de  $r = -0,393$ ;  $-0,408$ ;  $-0,420$  y  $-0,419$  respectivamente, todos ellos estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ), de lo cual se interpreta que al aumentar la concentración de metales pesados el Oxígeno Disuelto del agua tiende a disminuir.

Otras correlaciones importantes se presentaron entre el Arsénico y Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc, con coeficientes de correlación  $r = 0,938$ ;  $0,988$ ;  $0,622$ ,  $0,898$  y  $0,845$  respectivamente, todos ellos estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ), como se observa la correlación es positiva, es decir al incrementarse el Arsénico los metales señalados tienden a incrementarse también.

Así mismo el Cadmio presentó correlación con el Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo y Zinc, con coeficientes de correlación  $r = 0,974$ ;  $0,585$ ;  $0,398$ ;  $0,896$  y  $0,951$  respectivamente, todos ellos mostraron significancia estadística ( $p < 0,05$ ) y fueron positivos, lo cual indica que los incrementos de concentración de Cadmio se relacionan con incrementos de los otros metales pesados señalados.

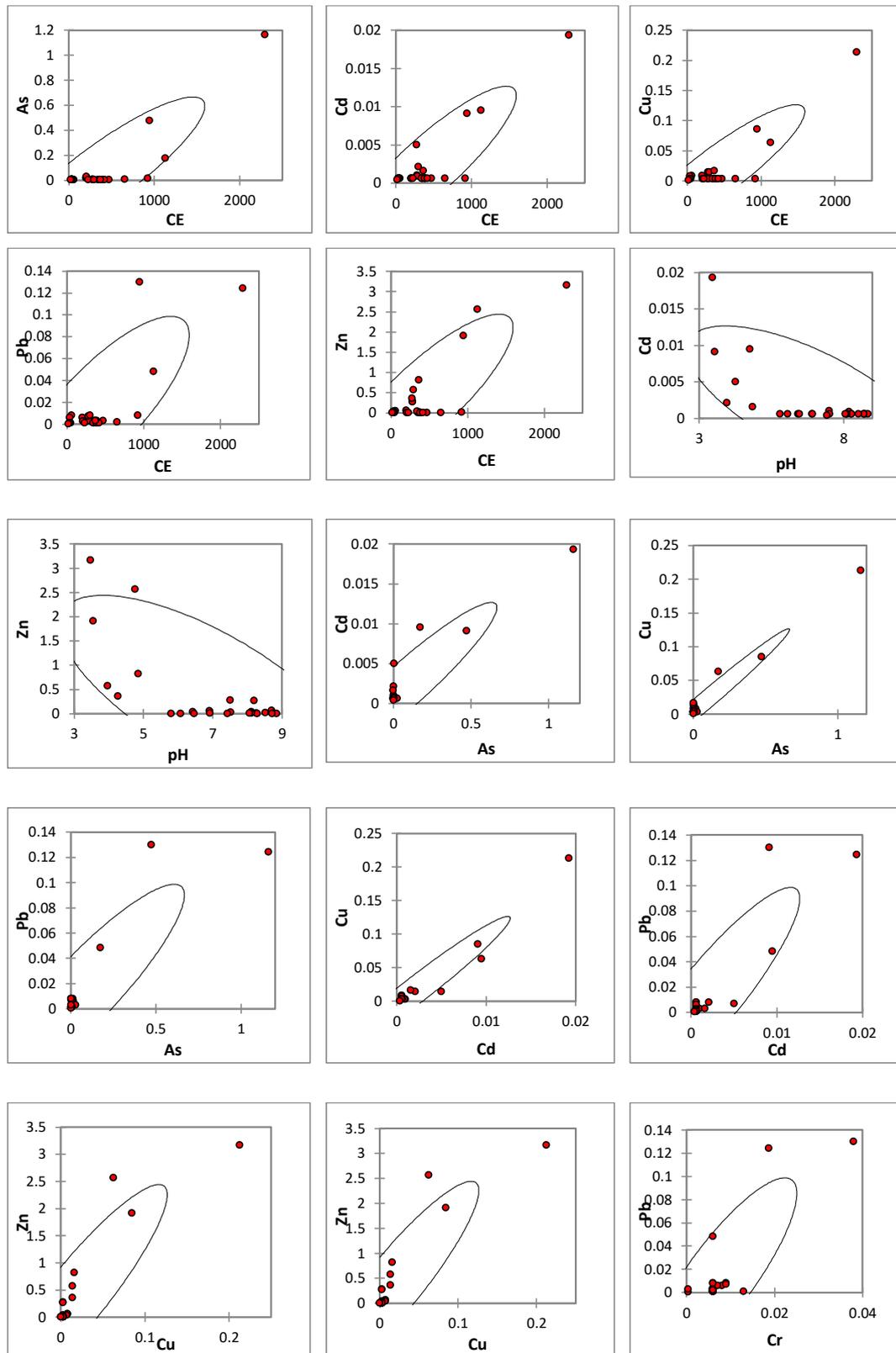


Figura 9. Correlación de variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Subcuenca Crucero - Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

Respecto al Cobre se observa que este se relaciona con el Cromo, Plomo y Zinc con coeficientes de correlación  $r=0,586$ ;  $0,899$  y  $0,909$  respectivamente, todos estos coeficientes fueron estadísticamente significativos ( $p<0,05$ ), además de señalar un signo positivo indicando que al incrementarse el contenido de Cobre se espera también incrementos de los metales pesados señalados.

Para el Cromo se presentó correlación con Mercurio, Plomo y Zinc con coeficientes de correlación de  $r=0,851$ ;  $0,842$  y  $0,537$  respectivamente, los mismos que fueron estadísticamente significativos ( $p<0,05$ ), presentando signos positivos, lo cual indica que al observarse incrementos de Cromo en el agua se espera también incrementos de los metales pesados señalados.

El Mercurio (Hg) presentó correlación con el Plomo y Zinc con coeficientes de  $r=0,717$  y  $0,480$  respectivamente, ambos resultaron estadísticamente significativos ( $p<0,05$ ) y mostraron signo positivo, señalando que incrementos de Mercurio en el agua se relacionan con incrementos de los dos metales pesados señalados.

Para el Plomo (Pb) se determinó correlación con el Zinc con  $r=0,874$ , el mismo que es estadísticamente significativo ( $p<0,05$ ), consignando signo positivo, lo cual indica que se espera incrementos de ambas variables (Gráfico 8).

### **Análisis de los componentes principales (ACP)**

Como complemento al análisis de correlación, se realizó una prueba de reducción de variables, para tener una visión multivariada del estudio de calidad de aguas superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro. Para este tipo de análisis se requiere verificar la correlación entre variables, aspecto que fue ya demostrado en el ítem respectivo, posteriormente se realizó la prueba de KMO y Bartlett, la misma que resultó estadísticamente significativa ( $p<0,05$ ), por lo se considera pertinente la aplicación del ACP a los datos disponibles, los resultados de dicho análisis fueron:

Tabla 24.

Valores propios del Análisis de Componentes Principales ACP para variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Subcuenca Crucero - Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Valor/Comp.      | CP1    | CP2    | CP3    | CP4    |
|------------------|--------|--------|--------|--------|
| Valor propio     | 6,872  | 1,550  | 0,975  | 0,952  |
| Variabilidad (%) | 62,476 | 14,090 | 8,862  | 8,656  |
| % acumulado      | 62,476 | 76,566 | 85,428 | 94,085 |

En la tabla 24, se muestra los resultados del análisis de componentes principales (CP) referido a los valores propios de cada uno de ellos, el objetivo de este análisis es elegir el número de CP a utilizar para explicar el fenómeno en estudio, para lo cual se considera aquellos que presenten un valor propio mayor a uno, así tenemos que los dos primeros componentes (CP1 y CP2) cumplen esta condición, por lo que pueden ser utilizados para la continuación del análisis. Así mismo observamos que la varianza explicada por estos componentes es de 76,57%, que se considera suficiente para los fines del estudio.

Tabla 25.

Contribuciones porcentuales del Análisis de Componentes Principales ACP para variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Subcuenca Crucero - Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| Elementos | CP1           | CP2           |
|-----------|---------------|---------------|
| CE        | <b>10,366</b> | 2,790         |
| OD        | 2,357         | <b>22,051</b> |
| pH        | <b>7,561</b>  | 0,079         |
| TE        | 0,556         | <b>18,888</b> |
| As        | <b>12,797</b> | 1,792         |
| Cd        | <b>13,539</b> | 2,341         |
| Cu        | <b>13,353</b> | 2,657         |
| Cr        | 7,905         | <b>17,811</b> |
| Hg        | 4,917         | <b>28,678</b> |
| Pb        | <b>13,771</b> | 1,806         |
| Zn        | <b>12,877</b> | 1,108         |

En negrita los elementos representativos de cada CP.

En la tabla 25 se observa las contribuciones de cada parámetro del agua superficial al componente respectivo, así tenemos que para el CP1 la mayor contribución la tienen la Conductividad Eléctrica, el pH, el Arsénico, el cadmio, cobre, Plomo y Zinc, mientras

que para el segundo componente CP2 están mejor representados el Oxígeno Disuelto, la temperatura del agua, el Cromo y el Mercurio.

A continuación, se presenta la representación de los CP y las variables analizadas, en donde se introdujo como variables adicionales a las zonas y épocas del año para evaluar la relación de las mismas respecto a los nuevos componentes.

Se observa que las variables Oxígeno Disuelto (OD), pH y temperatura del agua (TE) se ubican en el eje izquierdo, de lo cual se interpreta que estas variables presentan una relación negativa con los metales pesados ubicados en el eje derecho, lo que permite señalar que el OD y pH tienden a disminuir sus valores cuando los metales pesados incrementan su concentración en el agua, asimismo, se observa que estos parámetros se encuentran cercanos a la época de estiaje donde se mostraría sus valores más bajos, en el caso de la temperatura del agua este se ubica en el eje izquierdo concordando con las bajas temperaturas ambientales de la época de estiaje.

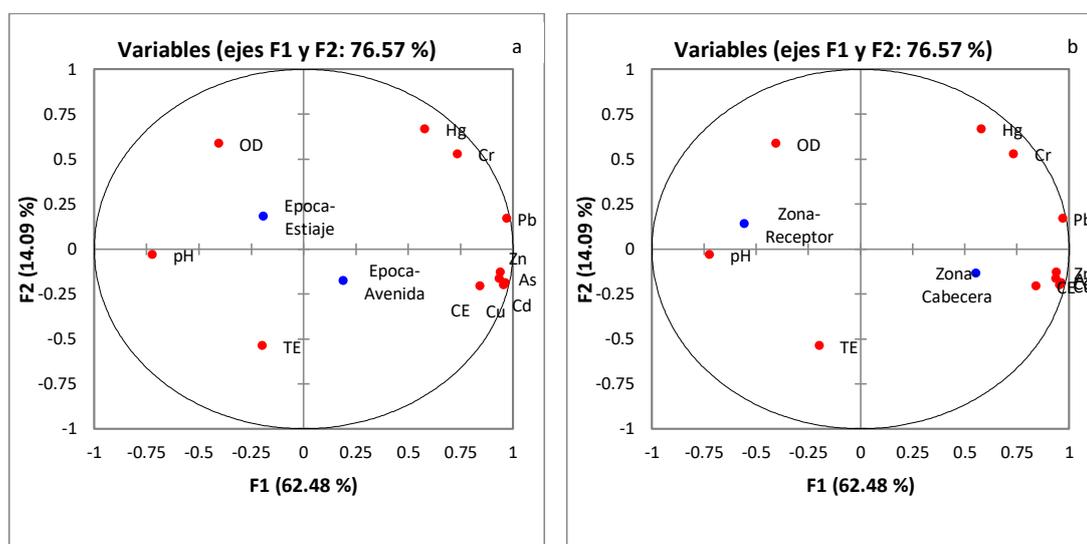


Figura 10. Biplot de las variables en estudio respecto a los Análisis de Componentes Principales ACP para variables fisicoquímicas y metales pesados en agua superficial en la Subcuenca Crucero- Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

Por otro lado, se observa que los metales pesados se ubican en el eje derecho y cercanos entre sí, lo cual confirma la correlación positiva entre los mismos, del mismo modo se observa que la Conductividad Eléctrica se encuentra cercano a estos elementos, lo cual permite señalar que la medición de la CE es un buen indicador de la concentración de metales pesados, sobre todo del cobre, cadmio, Arsénico, Zinc y plomo. Además, se

identifica que los metales pesados se encuentran más cercanos a la época de avenida, lo que se interpreta que sus mayores concentraciones coinciden con dicha época por la mayor actividad minera en esa época del año.

Se presenta los mismos resultados, pero con la aparición de la variable adicional zona de muestreo, se evidencia que los metales pesados se asocian con la zona de cabecera de cuenca (eje derecho), mientras que en la zona receptor se asocia más al Oxígeno Disuelto y pH.

### Modelo lineal general para explicar la variación de metales pesados

Tabla 26.

Análisis de varianza (cuadrados medios) para metales pesados en agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| F.V   | G.L | As          | Cd           | Cu          | Cr         | Hg         | Pb          | Zn           |
|-------|-----|-------------|--------------|-------------|------------|------------|-------------|--------------|
| Zona  | 1   | 0,22963554* | 0,00013079** | 0,01067392* | 0,00012726 | 0,00031486 | 0,00661793* | 5,90524882** |
| Época | 1   | 0,02944051  | 0,00000288   | 0,00065337  | 0,00001762 | 0,00001903 | 0,00070459  | 0,01550208   |
| Error | 23  | 0,05221035  | 0,00001381   | 0,00162592  | 0,00004700 | 0,00011141 | 0,00096904  | 0,50431538   |

\*Significativo ( $p < 0,05$ )

\*\*Altamente significativo ( $p < 0,01$ )

En la tabla 26, se muestra los resultados del análisis de varianza, para el mismo se consideró como fuentes de variación a la zona y la época del año, los resultados señalan que los metales As, Cd, Cu, Pb y Zn resultaron estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ) para la zona de muestreo, de lo cual se desprende que la concentración de estos metales depende sobre todo de la zona donde se tomó la muestra de agua superficial. Para el factor época del año no se determinó diferencia para ninguno de los metales pesados ( $p > 0,05$ ), de lo cual se puede señalar que la concentración de estos metales no es determinante la época del año.

Para los metales Cr y Hg se observa una distribución diferente, al parecer ambos no se ven afectados tanto por la zona como época de toma de muestra.

Para los cinco metales se obtiene para la zona de cabecera siempre promedios más elevados que los que se obtuvo en la zona de receptor, lo cual se atribuye a una mayor concentración de los mismos en dicha zona, donde se concentra la actividad minera de la cuenca, posteriormente siguiendo el curso de los afluentes las concentraciones de estos

metales sedimentan y diluyen con la contribución de otros tributarios de los ríos principales.

En base a la matriz reducida de datos se prosiguió el análisis considerando únicamente la zona como variable explicatoria de la concentración de los metales pesados, debido a que fue la variable significativa en los análisis previos.

Tabla 27.

Modelos lineales de estimación para metales pesados en agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro, 2011-2015.

| <b>Metal</b>  | <b>Ecuación de estimación</b>                         |
|---------------|---|
| Arsénico (As) | $As = 6,23529411764706E-03+0,197542483660131*Zona$    |
| Cadmio (Cd)   | $Cd = 6,41176470588235E-04+4,71437908496732E-03*Zona$ |
| Cobre (Cu)    | $Cu = 3,58823529411765E-03+4,25895424836601E-02*Zona$ |
| Plomo (Pb)    | $Pb = 2,86470588235294E-03+3,35352941176471E-02*Zona$ |
| Zinc (Zn)     | $Zn = 4,64705882352941E-02+1,00175163398693*Zona$     |

Para el cálculo se multiplica por 1 de encontrarse en cabecera de cuenca y 0 en zona de receptor.

En la tabla 27, se tiene las cinco ecuaciones lineales que podrían utilizarse para realizar estimaciones de las concentraciones de los metales pesados en la Unidad Hidrográfica Azángaro, en todos los casos dichos modelos fueron estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ), sin embargo, su uso debe restringirse al ámbito de estudio y estarán sujetas a ajustes con nuevos muestreos.

La valoración para las zonas fue de cero (0) para receptor y una unidad (1) para la zona de cabecera de cuenca, por lo que al reemplazar en el modelo se obtiene un valor de la concentración de cada metal pesado según sea el lugar donde se toma la muestra.

#### **4.3. Opciones tecnológicas existentes para la recuperación de la cuenca afectada por la presencia de metales pesados en el agua superficial.**

La remediación de las aguas relacionadas con la minería pasa por su depuración, en algunos casos esta remediación es relativamente sencilla y este proceso debe realizarse antes de ser vertidas a cauces que deriven a cuerpos de agua que podrían ser destinadas a consumo humano. En el caso particular de la zona de estudio se debe considerar la

evidencia de contaminación por metales pesados, por lo que su depuración debe ser prioritaria debido a los múltiples conflictos sociales que se vienen dando por la contaminación.

La eliminación de metales pesados (MP) constituye casi siempre un problema de importancia mayor ya que por lo general se suelen encontrar formando sales solubles (o en la fracción particulada), se pueden eliminar por métodos químicos y fisicoquímicos.

Las principales técnicas de eliminación de iones metálicos de las aguas residuales son la precipitación química, la oxidación-reducción, el intercambio iónico, los tratamientos electroquímicos, los procesos de membrana, la extracción con disolventes, la adsorción sobre carbón activado y la bioadsorción.

#### **a. Precipitación química**

La precipitación química consiste en la separación de los iones metálicos de una disolución como consecuencia de la disminución de la solubilidad de los metales con el incremento del pH. La precipitación química consiste en la formación del hidróxido metálico correspondiente mediante el ajuste del pH a través de la adición de compuestos básicos como hidróxido sódico (NaOH), hidróxido cálcico ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) o cal ( $\text{CaO}$ ), y es el método más ampliamente utilizado para la eliminación de metales disueltos en el agua residual. En la mayoría de casos, el hidróxido cálcico es el reactivo más eficaz porque da lugar a la formación de precipitados muy estables y posee capacidad para desestabilizar coloides. A su vez, juega un papel importante como adsorbente, ya que incluso a valores de pH elevados están presentes partículas sólidas de hidróxido cálcico con capacidad para retener iones adsorbidos.

Los métodos químicos corresponden fundamentalmente a precipitación, con algún reactivo adecuado. Por ejemplo, el Mercurio se hace reaccionar con  $\text{Na}_2\text{S}$  (soluble), dando origen al  $\text{HgS}$  insoluble. Muchos otros metales formadores de sulfuros (p.ej., Pb, Zn) pueden precipitarse de la misma manera, entre los principales agentes de precipitación tenemos:

Tabla 28.

Agentes de precipitación de posible uso para depuración de metales pesados en agua superficial en la Unidad Hidrográfica Azángaro.

| Agente de precipitación | Ventajas                   | Inconvenientes                            |
|-------------------------|----------------------------|---|
| Hidróxido cálcico       | Bajo coste                 | Impurezas. Proceso lento                  |
| Carbonato sódico        | Soluble. Rápido            | Coste superior                            |
| Hidróxido sódico        | Limpio. Rápido             | Coste relat. alto                         |
| Amoníaco                | Soluble. Rápido            | Form. complejos, Nitrato amónico residual |
| Sulfuro sódico          | Productos muy insolubles   | Desprend. H <sub>2</sub> S                |
| Ácido sulfúrico         | Rápido. Bajo coste         | Precip. CaSO <sub>4</sub>                 |
| Ácido clorhídrico       | Rápido. Limpio             | Coste relat. alto                         |
| Dióxido de carbono      | Disponibles gases combust. | -   |

Fuente: Elaboración propia

Para una correcta precipitación de los metales se recomienda la aplicación de una mezcla rápida al inicio de la operación, seguida de una disminución de la velocidad de agitación que favorezca la floculación. Como consecuencia de la precipitación, se forma un fango con elevadas concentraciones de metal que debe retirarse y gestionarse adecuadamente como residuo peligroso.

La relación entre la solubilidad del metal y el pH de la disolución depende del tipo de metal que se considere. Existe un pH de mínima solubilidad que es diferente para cada metal, y que no se encuentra necesariamente en el intervalo 6,5–9,5, especificado como estándar para las corrientes residuales descargadas, lo que implica que el ajuste de pH a un valor alrededor de 8,5 puede no producir resultados satisfactorios en la depuración. Por ejemplo, el Ni requiere al menos un pH de 10 para su precipitación, mientras que el valor de solubilidad mínima para el Zn se da a valores de pH no superiores a 10 (Eilbeck y Mattochk, 1987).

La precipitación química es un método de relativa facilidad de aplicación, ya que no requiere un equipo sofisticado ni personal calificado, pero las interferencias anteriormente mencionadas, junto con las dificultades para controlar el proceso, ocasionan con frecuencia la aparición de concentraciones residuales de metales tras el tratamiento por encima de los valores requeridos para el vertido. Además, tiene

la problemática añadida de la necesidad de gestión del fango con elevadas concentraciones de metales que se genera tras el tratamiento.

#### **b. Procesos de oxidación-reducción**

Los procesos de oxidación-reducción consisten en la adición de un compuesto que actúa como agente oxidante o reductor, produciéndose una transformación como consecuencia de la transferencia electrónica entre el compuesto añadido y los compuestos presentes en el agua residual. Se utilizan para eliminar un compuesto contaminante del agua residual por cambio de fase, como en la transformación de nitrato a nitrógeno, o para transformar un compuesto que se encuentra en una forma de elevada toxicidad a una forma menos peligrosa o que puede eliminarse más fácilmente.

Uno de los procesos que más se emplean en el tratamiento de efluentes con metales pesados es la reducción del Cromo hexavalente, Cr(VI), a Cromo trivalente, Cr(III), como paso previo a su precipitación. Esta reacción se lleva a cabo mediante la adición de agentes reductores como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y sus sales, el bisulfito sódico (NaHSO<sub>3</sub>) o el ion ferroso (Fe(II)). Son reacciones fuertemente dependientes del pH, de manera que el intervalo de trabajo depende del reactivo utilizado. Por ejemplo, la reducción de Cr(VI) a Cr(III) utilizando SO<sub>2</sub> o algunas de sus sales se lleva a cabo en el intervalo de pH 2– 3, mientras que si se utiliza NaHSO<sub>3</sub> el pH de trabajo debe ser básico (pH>7).

#### **c. Intercambio iónico**

El intercambio iónico es un proceso por el cual los iones presentes en un material de intercambio son reemplazados por iones de una especie diferente que se encuentran en la disolución. El material de intercambio se conoce con el nombre de resina de intercambio iónico y la forma más habitual de operación es con la resina en forma de columna empaquetada. Cuando la resina se agota tras cierto tiempo de funcionamiento, se hace necesaria su regeneración. Los costes de operación mayoritarios provienen precisamente de la regeneración, siendo imprescindible su optimización tanto desde el punto de vista económico como medioambiental.

Las resinas de intercambio iónico pueden estar compuestas por una gran variedad de materiales en función de los iones que se desee eliminar de la disolución. En el caso concreto de los metales pesados, suelen usarse resinas catiónicas con una matriz de poliestireno cargada con grupos funcionales complejantes. Su regeneración suele llevarse a cabo utilizando ácidos minerales.

Esta tecnología presenta como principal ventaja que puede ser muy específica si se selecciona adecuadamente la resina. No obstante, a efectos prácticos es difícil aprovechar esta ventaja por la elevada variabilidad en la composición de los efluentes industriales, como suele ocurrir en las industrias del sector de tratamiento de superficies metálicas. Además, es una tecnología que presenta un coste elevado tanto por el coste de adquisición de las resinas como por el de su regeneración. Por otro lado, tras la regeneración de las resinas se genera un efluente con concentraciones elevadas de metales, que debe gestionarse adecuadamente como residuo peligroso de no ser posible la recuperación de metales.

#### **d. Tratamientos electroquímicos**

Los tratamientos electroquímicos son reacciones de oxidación-reducción inducidas por la aplicación de energía eléctrica externa entre dos electrodos que se encuentran inmersos en una disolución conductora. La aplicación más conocida de esta tecnología es la reducción catódica de los iones metálicos de una disolución para la deposición del metal. Frente a la precipitación química, presenta la ventaja de la obtención del metal con unas mejores características para su reutilización. Sin embargo, si existen varios metales en la disolución, situación bastante frecuente, aparecen muchas dificultades para la obtención de un producto metálico aprovechable. Tampoco resulta una técnica adecuada cuando la concentración de metal es reducida, normalmente inferior a  $10 \text{ mg.dm}^{-3}$ , debido a la disminución de la eficacia de la operación (Eilbeck y Mattochk, 1987).

#### **e. Procesos de membrana**

Los procesos de depuración por membranas consisten en una separación física de los solutos presentes en el agua residual al pasar a través de una membrana selectiva a cierto tipo de iones. Los procesos de membrana se dividen en microfiltración, ultrafiltración, nano filtración, ósmosis inversa, diálisis y electrodiálisis. Se

diferencian entre sí por el material constituyente de la membrana, la naturaleza de la fuerza impulsora, el mecanismo de separación y el tamaño de poro de la membrana. Las aplicaciones de este tipo de tecnología son muy diversas y evolucionan en la medida en que mejora el diseño de las membranas y los materiales utilizados en su fabricación. Concretamente, para la eliminación de metales pesados se emplean la ultrafiltración, la nano filtración y la ósmosis inversa

Las membranas de ultrafiltración son permeables al solvente, generalmente agua, y a los compuestos de bajo peso molecular, mientras que las moléculas de tamaño superior al tamaño de poro de la membrana quedan retenidas en ésta. Las membranas de ultrafiltración retienen partículas con un tamaño comprendido entre 0,005 y 0,2  $\mu\text{m}$  (Tchobanoglous y col., 2003). Retienen solutos con peso molecular comprendido en el rango 300–500,000. Los materiales de las membranas más habituales son el acetato de celulosa, las poliamidas y las polisulfonas. Las presiones suelen estar comprendidas en el rango 10 –100 psi (Seader y Henley, 2006).

#### **f. Extracción con disolventes**

El tratamiento con disolventes para la eliminación de metales pesados consiste en la extracción del metal por contacto del efluente contaminado con un disolvente orgánico, seguido de una separación de la fase orgánica del efluente descontaminado. Una vez alcanzada la separación de fases, el disolvente orgánico cargado de metal pesado se pone en contacto con una corriente acuosa para recuperar el metal y permitir la reutilización del disolvente. Esta técnica es utilizada para la recuperación del metal cuando su concentración en la corriente residual es elevada.

La extracción de cationes se lleva a cabo generalmente por formación de complejos con agentes complejantes ácidos presentes en el disolvente orgánico, mientras que la extracción de aniones se realiza mediante la formación de enlaces iónicos con compuestos alquilamínicos de cadena larga o compuestos de amonio cuaternario presentes en el disolvente orgánico. Silva y col. (2005) utilizaron esta técnica para recuperar parte de los metales pesados presentes en un fango industrial. Para ello, separaron los metales del fango utilizando una disolución ácida que posteriormente

fue sometida al procedimiento de extracción con disolventes, en el que se utilizó ácido fosfórico disuelto en keroseno como disolución de extracción.

Los mayores inconvenientes de esta tecnología son el elevado coste por el gran consumo de disolvente y la contaminación cruzada de la corriente acuosa con el disolvente orgánico.

#### **g. Adsorción sobre carbón activado**

La adsorción es un proceso en el que átomos, iones o moléculas son retenidas en la superficie de un material. Consiste en un proceso de separación de un soluto presente en una fase líquida o gas que se concentra sobre la superficie de otra fase generalmente sólida. Se considera un fenómeno superficial. Se denomina adsorbato al soluto y adsorbente a la fase sobre la cual se acumula.

Si bien el carbón activado presenta un elevado potencial para la adsorción de compuestos orgánicos y algunos inorgánicos, su aplicación al tratamiento de aguas residuales no está muy extendida, y sus usos en este campo suelen ser como tratamiento de afino de una corriente que ha sido previamente tratada en otro proceso, para eliminar parte de la materia orgánica disuelta que permanece tras el tratamiento.

#### **h. Bioadsorción**

La bioadsorción es un proceso por el cual ciertos tipos de materiales de origen natural retienen y concentran en su superficie sustancias y compuestos de diversa naturaleza química presentes en disoluciones acuosas. La aplicación de esta tecnología se ha estudiado ampliamente para la contaminación por metales pesados. En los últimos años se ha producido un incremento importante en el número de publicaciones que estudian la bioadsorción de tintes que forman parte de la carga contaminante de los efluentes de la industria textil (Ncibi y col., 2008; Chen y Chen, 2009; Wu y col., 2009).

El término bioadsorción hace referencia a un tipo específico de adsorción. En el proceso participan una fase sólida, el bioadsorbente, y una fase líquida, el solvente, que contiene las especies disueltas que conviene separar de la disolución (adsorbatos). Como consecuencia de la elevada afinidad entre el bioadsorbente y el

adsorbato, éste es atraído y retenido sobre el bioadsorbente por una serie de procesos complejos que incluyen la quimisorción, la complejación, la adsorción en superficie y en los poros, el intercambio iónico, la quelación y la adsorción de naturaleza física.

**i. Comparación de las técnicas de eliminación de metales pesados para el ámbito de estudio.**

La selección del tratamiento de aguas contaminadas en general, y con metales en particular, debe realizarse teniendo en cuenta la composición de la corriente a tratar, el rendimiento global de la operación, los límites de vertido, la flexibilidad y fiabilidad del tratamiento y su impacto ambiental. Asimismo, deben contemplarse los parámetros económicos como la inversión inicial y los costes de operación. A continuación, se muestra un cuadro comparativo de las alternativas para el tratamiento de las aguas contaminadas por metales pesados en la Unidad Hidrográfica Azángaro.

Cuadro 29.  
Características de las técnicas de tratamiento de metales de posible uso en la Unidad Hidrográfica Azángaro.

| Técnica                              | Cambio de pH                    | Selectividad | Influencia de sólidos suspendidos | Tolerancia a moléculas orgánicas | Concentración de metal de trabajo, mgdm <sup>-3</sup> |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| Precipitación química como hidróxido | Tolerante                       | No selectiva | Escasa                            | Moderada                         | >10   |
| Oxidación-reducción                  | Tolerancia limitada             | Moderada     | Escasa                            | Moderada                         | -   |
| Intercambio iónico                   | Tolerancia limitada             | Selectiva    | Importante                        | Moderada                         | <100  |
| Tratamientos electroquímicos         | Tolerante                       | Moderada     | Según el diseño                   | Puede adaptarse                  | >10   |
| Procesos de membrana                 | Tolerancia limitada             | Moderada     | Importante                        | Escasa                           | >10   |
| Extracción con disolventes           | Algunos sistemas son tolerantes | Selectiva    | Importante                        | Escasa                           | >100  |
| Adsorción con carbón activado        | Tolerancia limitada             | Moderada     | Importante                        | Moderada                         | <10   |
| Bioadsorción                         | Tolerancia limitada             | Moderada     | Importante                        | Moderada                         | -   |

Del análisis de las alternativas de tratamiento de contaminación por metales pesados, se identificó que la misma debe realizarse en la fuente de origen de los mismos, aspecto que presenta ventajas debido a la disponibilidad manifiesta de las empresas mineras de la zona de la Rinconada de realizar una inversión para dicho

tratamiento. Bajo estas condiciones sociales y económicas se propone la alternativa tecnológica de precipitación química, por requerir una mínima adecuación y bajos costos. Además, se desprende que posterior a esta implementación de tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados, se debe iniciar un proceso de remediación en toda la cuenca del río Ramis, la que podría utilizar además alternativas de procesos de bioadsorción.

## CONCLUSIONES

- La evaluación de la concentración de metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) en la Subcuenca Crucero – Unidad Hidrográfica Azángaro, durante el periodo del 2011 al 2015, en el que los valores de contraste no son diferentes a los valores reportados por la ANA ( $p > 0.05$ ); evidenciándose que, dichos metales superaron en su totalidad por lo menos una vez el valor máximo establecido para los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental ECA para agua, en la Categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales). La concentración de metales pesados evaluados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) en el agua superficial de la Subcuenca Crucero no mostraron variaciones anuales (2011 a 2015) ni estacionales (estiaje y avenida) en el periodo 2011 al 2015 ( $p > 0,05$ ). La concentración de los metales pesados en el agua superficial Cadmio, Mercurio y Zinc presentaron una mayor concentración en la zona de cabecera de cuenca ( $p < 0,05$ ), el resto de metales pesados (As, Cu, Cr y Pb) mostraron similares concentraciones en ambas zonas (cabecera y receptor).
- El análisis de correlación lineal determinó que, a mayor Conductividad eléctrica, mayor concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn, excepto Hg; al aumentar concentraciones de As, Cd, Cu y Zn, el Oxígeno Disuelto disminuye. Al incrementarse As, se incrementan Cd, Cu, Cr, Pb y Zn; así como el Cobre con Cr, Pb y Zn; el Cromo con Hg, Pb y Zn. Del mismo modo, el Mercurio con Pb y Zn; el Plomo con Zn. El Análisis de los Componentes Principales (ACP) con la prueba de KMO y Bartlett, evidencia que, los Componentes Principales de Primer Orden (CP1) son CE, pH, As, Cd, Cu, Pb y Zn mientras que, los Componentes

Principales de Segundo Orden (CP2) son OD, Temperatura, Cr y Hg. Y, respecto a las zonas y épocas del año, se observa que OD, pH disminuyen con los metales pesados, y en estiaje muestran valores más bajos. La CE es un buen indicador de la concentración de Cu, Cd, As, Zn y Pb. Además, mayores concentraciones coinciden con la época de avenida por la mayor actividad minera en dicho periodo del año; asimismo, se asocian con la zona de cabecera de cuenca, mientras que en la zona receptor se asocia más al Oxígeno Disuelto y pH. Considerando la zona y la época del año, la concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn depende de la zona, y no de la época. El Cr y Hg son indiferentes a la zona y época de muestreo.

- Se evaluó diferentes alternativas de recuperación de aguas superficiales con contaminación por metales pesados, recomendándose para la zona de cabecera de cuenca el tratamiento por precipitación química y en la zona baja a través de procesos combinados con bioadsorción.

## RECOMENDACIONES

- Realizar estudios específicos respecto al efecto tóxico de los metales pesados en la biota de los cuerpos de agua principales evaluados en la Unidad Hidrográfica Azángaro.
- Realizar estudios para evaluar la contaminación por metales pesados sobre la flora nativa y cultivada próxima a los cuerpos de agua principales evaluados en la Unidad Hidrográfica Azángaro.
- Evaluar e identificar el posible uso de plantas nativas de la zona de la Unidad Hidrográfica Azángaro en el proceso de remediación por bioadsorción.
- Efectuar estudios respecto a la presencia de metales pesados en los sedimentos de los cuerpos de agua evaluados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asociación SER. (2007). *Actividad minera informal en Ananea y contaminación de la cuenca del río Ramis*. Producido por la Oficina Regional Puno Documento informativo, Conflicto en el altiplano: 12 p.
- Adriano, D.C. (1986). *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer Verlag. New York, pp 533.
- Autoridad Nacional del Agua. (2008). *Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento*. Autoridad Nacional del Agua. Lima Perú. 166 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2011). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima Perú. 57 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2012). *Informe sobre Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos de la Cuenca Ramis (Informe N° 02-2012-ANA-DGCRH/JOS)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Lima. 57 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2012). *Resultado del monitoreo de la calidad del agua de la Subcuenca Crucero - Azángaro (Informe N° 027-2012-ANA-DGCRH/RGC)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Lima. 117 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Resultado del monitoreo de la calidad del agua de la subcuenca Crucero Azángaro, marzo 2013 (Informe Técnico N° 004-2013-ANA-DGCRH/RGC)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Lima. 99 p.

- Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Resultado del monitoreo de la calidad del agua de la subcuenca Crucero Azángaro, octubre 2013 (Informe Técnico N° 013-2013-ANA-DGCRH-RGC)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Lima. 77 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2014). *Resultado del monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la subcuenca Ananea-crucero-Azángaro, marzo-2014 (Informe Técnico N° 012-2014-ANA-DGCRH-VIG)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Lima. 67 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2014). *Resultados del monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la subcuenca Ananea-crucero-Azángaro, octubre-2014 (Informe Técnico N° 051-2014-ANA-DGCRH-VIG)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Lima. 58 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *Estimación de oferta hídrica mediante sensoramiento remoto cuenca del Río Ramis*. Dirección de Conservación y Planeamiento de los Recursos Hídricos. Lima. 129 p.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos (Resolución Jefatural N° 042-2016-ANA)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos - Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos. Lima. 31 p.
- Castro J. y Monroy M. (2002). *Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente*. San Luís de Potosí, México. UNESCO - INGEMMET - Perú.
- CEPAL – OCDE. (2016). *Evaluaciones del desempeño ambiental - Perú 2016, Aspectos destacados y recomendaciones*. Naciones Unidas/OCDE. Naciones Unidas, Santiago. 73 p.
- Dekov, V.M.; Araujo, F. y Van Grieken, R. y Subramanian, V. (1997) *Chemical composition of sediments and suspended matter from the Cauvery and Brahmaputra rivers (India)*, The Science of the total Environment, 212 pp.
- Duruibe, J. O., et al. (2007). *Contaminación de Metales Pesados y efectos biotóxicos humanos*. Departamento de Química y Bioquímica, Escuela de Ciencias Industriales y Aplicadas, Politécnico Federal Nekede, P. M. B. 1036, Owerri,

- estado de Imo, Nigeria.
- Flores, V. H. (2008). *Informe de la inspección del Río Ramis*. Núcleo de afirmación del Saber Andino. 120 pp.
- Flórez, R. y Ocola, J. (2008). *Contaminación y Gestión Ambiental de la Bahía interior de Puno - Lago Titicaca: Realidad, Crítica y Aportes*. Oficina Universitaria de Investigación. UNA Puno. 300 pp.
- Forstner, U. (1981). *Metal Pollution Assessment From Sediment Analysis*. Springer-Verlag, Berlin, 486 pp.
- Forstner, U. y Wittmann, W. (1981). *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Berlín. 486 pp.
- Garbarino, JR., et al. (1995). *Contaminants in the Mississippi River, U. S. geological*.
- Geesey, G.G. et al (1994). *Influence of flow-related events on concentration and phase distribution of metals in the lower Fraser River and a small tributary stream in British Columbia, Canada*. Water Resuors 18(2).
- Gore, A. (1997). *Respect the land, Our Precious Plant*, Time Magazine, 150 (17A).
- Hermógenes R. (2001) - *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*, Tesis Universidad Nacional de Cataluña.
- INGEMMET (2008), *Implicancias Ambientales por la Actividad Minera de la Zona de Ananea en la Cuenca del Río Ramis*. Boletín N° 5 Serie E Minería. Lima-Perú. 67 p.
- Jara, M.A. (2003) - *Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del río Santa*, Tesis de Maestría. 171 p.
- METCALF & EDDY. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ra. Ed. España. Volumen I. Editorial McGraw – Hill. España. 504 p.
- Ministerio de Energía y Minas. (1998). *Evaluación Ambiental Territorial de las zonas auríferas de Puno*. Dirección General de Asuntos Ambientales, 38 pág.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Compendio de la legislación ambiental peruana, Volumen V calidad ambiental*, Viceministerio de Gestión Ambiental

- Dirección General de Políticas, Normas E Instrumentos de Gestión Ambiental. 349 pp.
- Palao, L. (2010). *Descontaminación de la Bahía Interior de Puno con biotecnología de Microorganismos Eficaces (EM) responsabilidad social y acción comunitaria*. Oficina universitaria de investigación. UNA Puno.
- PELT. (1999) – “Investigación y monitoreo de los ríos Carabaya – Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca”. Puno – Perú. 62 p.
- Peplow, D. (1999). *Environmental Impacts of mining in Eastern Washington*, Center for Water and Watershed Studies Fact Sheet, University of Washington, Seattle. 2 p.
- Ramírez, A. (2002). *Toxicología del Cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Anales de la Facultad de Medicina - Vol. 63, Nº 1 – 2002 Págs. 51 – 64. 14 p.
- REDLACH. 2009. Gestión Integrada de las Cuencas Hidrográficas como aporte a la Mitigación de los Cambios Climáticos. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas (REDLACH):18 p.
- Rodríguez, F. H., et al, (2003). *Metales pesados en leche cruda de bovino*. Revista Salud Pública y Nutrición. Octubre-Diciembre Vol. 6 No. 4 2005. 6 pág.
- Salas F, (2010). *Estudio de los niveles de contaminación por metales pesados en la zona de Ananea de la Cuenca del Río Ramis*. Puno Perú. Tesis Maestría en Ingeniería Agrícola – EPG – UNA Puno. 93 p.
- Sánchez M., J. y Rodríguez G., J.L. (2003). *Biorremediación. Fundamentos y aspectos microbiológicos*. ISBN 11378042. Artículo publicado en la Revista Industria y Minería. 5 p.
- Seoánez, M. (2000). *Residuos Problemática, Descripción, Manejo, Aprovechamiento y Destrucción*. Editorial Aedos, S.A. Madrid, España.
- SER Puno (2007). *Conflictos en el Altiplano-Actividad Minera Informal en Ananea y Contaminación de la Cuenca del Río Ramis*. Oficina Regional Puno

Asociación SER. 13 p.

Solanes, M; González, F. (2001). *Los principios de Dublín reflejados en una evaluación comparativa de ordenamientos institucionales y legales para una gestión integrada del agua*. Asociación Mundial del Agua (GWP) Trabajos de investigación N° 3:44 p.

SUNASS - Cooperación Alemana GIZ - PROAGUA II, 2015. *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*, 1ª Edición Setiembre 2015, Lima.145 p.

UNALM. (1999). *Investigación y monitoreo de los ríos Carabaya – Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca*. Facultad de Ciencias Forestales - Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 62 p.

WHO, (1999), *Environmental health criteria 101; Methylmercury*, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Wenger, R; Rogger, C; Wymann, S. (2003). *Manejo Integrado de los Recursos Hídricos (IWRM): Un camino hacia la sostenibilidad*. Infosources Focus N° 1/03:16 p.



**ANEXOS**

**Anexo 1.** Análisis estadístico de resultados de parámetros físicos y metales pesados

**Oxígeno Disuelto (OD)**

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 3  | 0,71796057        | 0,23932019           | 60,88   | <,0001 |
| <b>Error</b>           | 41 | 0,16118331        | 0,00393130           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 44 | 0,87914388        |                      |         |        |

| <b>Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.</b> |         |    |      |
|--|---------|----|------|
| Duncan Agrupamiento  | Media   | N  | Anio |
| A  | 1,06031 | 12 | 2012 |
| A  | 1,05158 | 11 | 2011 |
| B  | 0,93367 | 10 | 2013 |

**Conductividad Eléctrica (CE)**

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 2  | 0,02164708        | 0,01082354           | 0,06    | 0,9436 |
| <b>Error</b>           | 32 | 5,95409559        | 0,18606549           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 34 | 5,97574266        |                      |         |        |

**Potencial de Hidrogeniones (pH)**

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 3  | 0,00189962        | 0,00063321           | 0,15    | 0,9295 |
| <b>Error</b>           | 41 | 0,17375666        | 0,00423797           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 44 | 0,17565628        |                      |         |        |

Temperatura (TE)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 4  | 3,12696790        | 0,78174197           | 61,96   | <,0001 |
| <b>Error</b>           | 54 | 0,68128402        | 0,01261637           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 58 | 3,80825192        |                      |         |        |

| Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. |       |         |      |      |
|---|-------|---------|------|------|
| Duncan Agrupamiento   | Media | N       | Anio |      |
|   | A     | 1,27160 | 11   | 2011 |
|   | A     | 1,26898 | 10   | 2013 |
| B   | A     | 1,23534 | 12   | 2014 |
| B   |       | 1,16338 | 12   | 2012 |
|   | C     | 0,69897 | 14   | 2015 |

Arsénico (As)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 4  | 0,04336150        | 0,01084038           | 1,63    | 0,1763 |
| <b>Error</b>           | 67 | 0,44487575        | 0,00663994           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,48823725        |                      |         |        |

Cadmio (Cd)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 4  | 0,00000222        | 0,00000056           | 1,61    | 0,1828 |
| <b>Error</b>           | 67 | 0,00002317        | 0,00000035           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,00002539        |                      |         |        |

Cobre (Cu)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 4  | 0,00370573        | 0,00092643           | 1,54    | 0,2020 |
| <b>Error</b>           | 67 | 0,04042696        | 0,00060339           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,04413269        |                      |         |        |

Cromo (Cr)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 4  | 0,00040542        | 0,00010135           | 1,59    | 0,1865 |
| <b>Error</b>           | 67 | 0,00426485        | 0,00006365           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,00467027        |                      |         |        |

Mercurio (Hg)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 4  | 0,00000160        | 0,00000040           | 0,66    | 0,6243 |
| <b>Error</b>           | 67 | 0,00004072        | 0,00000061           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,00004231        |                      |         |        |

Plomo (Pb)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 4  | 0,00080370        | 0,00020092           | 2,52    | 0,0490 |
| <b>Error</b>           | 67 | 0,00533756        | 0,00007967           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,00614126        |                      |         |        |

Zinc (Zn)

| Fuente          | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo          | 3  | 0,02866323        | 0,00955441           | 2,16    | 0,1032 |
| Error           | 54 | 0,23871490        | 0,00442065           |         |        |
| Total corregido | 57 | 0,26737813        |                      |         |        |

Análisis estadístico para el factor Época

Oxígeno Disuelto (OD)

| Fuente          | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo          | 1  | 0,12599810        | 0,12599810           | 7,19    | 0,0103 |
| Error           | 43 | 0,75314577        | 0,01751502           |         |        |
| Total corregido | 44 | 0,87914388        |                      |         |        |

| Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. |         |    |         |
|---|---------|----|---------|
| Duncan Agrupamiento   | Media   | N  | Época   |
| A   | 1,00274 | 22 | Avenida |
| B   | 0,89689 | 14 | Estiaje |

Conductividad Eléctrica (CE)

| Fuente          | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo          | 1  | 0,00420614        | 0,00420614           | 0,02    | 0,8798 |
| Error           | 33 | 5,97153652        | 0,18095565           |         |        |
| Total corregido | 34 | 5,97574266        |                      |         |        |

Potencial de Hidrogeniones (pH)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 1  | 0,00086233        | 0,00086233           | 0,21    | 0,6474 |
| <b>Error</b>           | 43 | 0,17479394        | 0,00406498           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 44 | 0,17565628        |                      |         |        |

Temperatura (TE)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 1  | 0,01888374        | 0,01888374           | 0,28    | 0,5961 |
| <b>Error</b>           | 57 | 3,78936818        | 0,06648014           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 58 | 3,80825192        |                      |         |        |

Arsénico (As)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 1  | 0,00005565        | 0,00005565           | 0,01    | 0,9291 |
| <b>Error</b>           | 70 | 0,48818161        | 0,00697402           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,48823725        |                      |         |        |

Cadmio (Cd)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 1  | 0,00000039        | 0,00000039           | 1,08    | 0,3022 |
| <b>Error</b>           | 70 | 0,00002500        | 0,00000036           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,00002539        |                      |         |        |

(Cu)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 1  | 0,00005239        | 0,00005239           | 0,08    | 0,7739 |
| <b>Error</b>           | 70 | 0,04408030        | 0,00062972           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,04413269        |                      |         |        |

Cromo (Cr)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 1  | 0,00009441        | 0,00009441           | 1,44    | 0,2335 |
| <b>Error</b>           | 70 | 0,00457587        | 0,00006537           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,00467027        |                      |         |        |

Mercurio (Hg)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 1  | 0,00000000        | 0,00000000           | 0,00    | 0,9456 |
| <b>Error</b>           | 70 | 0,00004231        | 0,00000060           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,00004231        |                      |         |        |

Plomo (Pb)

| Fuente                 | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|------------------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| <b>Modelo</b>          | 1  | 0,00005397        | 0,00005397           | 0,62    | 0,4335 |
| <b>Error</b>           | 70 | 0,00608729        | 0,00008696           |         |        |
| <b>Total corregido</b> | 71 | 0,00614126        |                      |         |        |

## Zinc (Zn)

| Fuente          | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo          | 1  | 0,00025609        | 0,00025609           | 0,05    | 0,8176 |
| Error           | 56 | 0,26712204        | 0,00477004           |         |        |
| Total corregido | 57 | 0,26737813        |                      |         |        |

## Análisis estadístico para el factor Tipo

## Oxígeno Disuelto (OD)

| Fuente          | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo          | 1  | 0,00905504        | 0,00905504           | 0,45    | 0,5071 |
| Error           | 43 | 0,87008884        | 0,02023462           |         |        |
| Total corregido | 44 | 0,87914388        |                      |         |        |

## Conductividad Eléctrica (CE)

| Fuente          | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo          | 1  | 0,01299539        | 0,01299539           | 0,07    | 0,7902 |
| Error           | 33 | 5,96274727        | 0,18068931           |         |        |
| Total corregido | 34 | 5,97574266        |                      |         |        |

## Potencial de Hidrogeniones (pH)

| Fuente          | DF | Suma de cuadrados | Cuadrado de la media | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo          | 1  | 0,09736043        | 0,09736043           | 53,47   | <,0001 |
| Error           | 43 | 0,07829585        | 0,00182083           |         |        |
| Total corregido | 44 | 0,17565628        |                      |         |        |

| <b>Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.</b> |              |          |             |
|--|--------------|----------|-------------|
| <b>Duncan Agrupamiento</b>   | <b>Media</b> | <b>N</b> | <b>Tipo</b> |
| A  | 1,10188      | 33       | Receptor    |
| B  | 0,99670      | 12       | Cabecera    |

Temperatura (TE)

| <b>Fuente</b>          | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 1         | 0,05547733               | 0,05547733                  | 0,84           | 0,3625           |
| <b>Error</b>           | 57        | 3,75277459               | 0,06583815                  |                |                  |
| <b>Total corregido</b> | 58        | 3,80825192               |                             |                |                  |

Arsénico (As)

| <b>Fuente</b>          | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 1         | 0,00985575               | 0,00985575                  | 1,44           | 0,2338           |
| <b>Error</b>           | 70        | 0,47838151               | 0,00683402                  |                |                  |
| <b>Total corregido</b> | 71        | 0,48823725               |                             |                |                  |

Cadmio (Cd)

| <b>Fuente</b>          | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 1         | 0,00000238               | 0,00000238                  | 7,24           | 0,0089           |
| <b>Error</b>           | 70        | 0,00002301               | 0,00000033                  |                |                  |
| <b>Total corregido</b> | 71        | 0,00002539               |                             |                |                  |

| <b>Medias con la misma letra no son significativamente diferentes,</b> |              |          |             |
|--|--------------|----------|-------------|
| <b>Duncan Agrupamiento</b>   | <b>Media</b> | <b>N</b> | <b>Tipo</b> |
| A  | 0,6995632    | 21       | Cabecera    |
| B  | 0,6991633    | 51       | Receptor    |

Cobre (Cu)

| <b>Fuente</b>          | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 1         | 0,00026019               | 0,00026019                  | 0,42           | 0,5215           |
| <b>Error</b>           | 70        | 0,04387250               | 0,00062675                  |                |                  |
| <b>Total corregido</b> | 71        | 0,04413269               |                             |                |                  |

Cromo (Cr)

| <b>Fuente</b>          | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 1         | 0,00007251               | 0,00007251                  | 1,10           | 0,2970           |
| <b>Error</b>           | 70        | 0,00459776               | 0,00006568                  |                |                  |
| <b>Total corregido</b> | 71        | 0,00467027               |                             |                |                  |

Mercurio (Hg)

| <b>Fuente</b>          | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 1         | 0,00000425               | 0,00000425                  | 7,82           | 0,0067           |
| <b>Error</b>           | 70        | 0,00003806               | 0,00000054                  |                |                  |
| <b>Total corregido</b> | 71        | 0,00004231               |                             |                |                  |

| <b>Medias con la misma letra no son significativamente diferentes,</b> |              |          |             |
|--|--------------|----------|-------------|
| <b>Duncan Agrupamiento</b>   | <b>Media</b> | <b>N</b> | <b>Tipo</b> |
| A  | 0,6995583    | 21       | Cabecera    |
| B  | 0,6990237    | 51       | Receptor    |

Plomo (Pb)

|                        | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 1         | 0,00000269               | 0,00000269                  | 0,03           | 0,8615           |
| <b>Error</b>           | 70        | 0,00613856               | 0,00008769                  |                |                  |
| <b>Total corregido</b> | 71        | 0,00614126               |                             |                |                  |

Zinc (Zn)

| <b>Fuente</b>          | <b>DF</b> | <b>Suma de cuadrados</b> | <b>Cuadrado de la media</b> | <b>F-Valor</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| <b>Modelo</b>          | 1         | 0,03413037               | 0,03413037                  | 8,19           | 0,0059           |
| <b>Error</b>           | 56        | 0,23324776               | 0,00416514                  |                |                  |
| <b>Total corregido</b> | 57        | 0,26737813               |                             |                |                  |

| <b>Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.</b> |              |          |             |
|--|--------------|----------|-------------|
| <b>Duncan Agrupamiento</b>   | <b>Media</b> | <b>N</b> | <b>Tipo</b> |
| A  | 0,78423      | 15       | Cabecera    |
| B  | 0,72883      | 43       | Receptor    |

**Nota:** Los datos originales fueron transformados (log(y)) para lograr homogeneidad de varianzas.

Anexo 2. Resultados de monitoreos de la Autoridad Nacional del Agua



"Decenio de las personas con discapacidad en el Perú"  
"Año de la Integración Nacional y el Reconocimiento de Nuestra Diversidad"

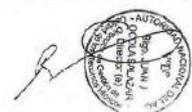
CUADRO N° 9: METALES PESADOS EN LAS AGUAS DEL RIO ANANEA- CRUCERO- AZÁNGARO – RAMIS. Muestreo: del 5 al 10 de diciembre de 2011

| Parámetro | Unid. | RIO AZANGARO |          |          |          |          |          |          |          |           |            | ECA AGUA Cat. 3 |            |
|-----------|-------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------|-----------------|------------|
|           |       | 1 RAnan      | 2 RCruc1 | 3 RCruc2 | 4 RCruc1 | 5 RCruc2 | 6 RCruc3 | 7 RCruc4 | 8 RCruc5 | 9 RAzan 1 | 10 RRami 1 |                 | 11 RRami 2 |
| Boro      | mg/L  | <0.03        | 0.17     | 0.08     | 0.12     | 0.12     | 0.12     | 0.13     | 0.29     | 0.76      | 1.05       | 1.10            | 0.5-6      |
| Plata     | mg/L  | 0.0031       | <0.0006  | <0.0006  | <0.0006  | 0.0007   | <0.0006  | <0.0006  | <0.0006  | <0.0006   | <0.0006    | <0.0006         | <0.0006    |
| Aluminio  | mg/L  | 186.28       | 1.11     | 2.39     | 1.04     | 1.66     | 0.34     | 0.19     | 0.25     | 0.12      | 0.15       | 0.06            | 5          |
| Arsenico  | mg/L  | 0.078        | 0.003    | 0.016    | 0.004    | 0.004    | 0.004    | 0.004    | 0.004    | 0.009     | 0.029      | 0.012           | 0.05       |
| Bario     | mg/L  | 0.607        | 0.02     | 0.031    | 0.059    | 0.067    | 0.076    | 0.077    | 0.067    | 0.059     | 0.067      | 0.06            | 0.7        |
| Berilio   | mg/L  | 0.0046       | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003   | <0.0003    | <0.0003         | -          |
| Bismuto   | mg/L  | 0.0025       | <0.0016  | <0.0016  | <0.0016  | <0.0016  | <0.0016  | <0.0016  | <0.0016  | <0.0016   | <0.0016    | <0.0016         | -          |
| Calcio    | mg/L  | 14.223       | 5.432    | 17.963   | 43.884   | 47.167   | 61.019   | 59.817   | 61.857   | 111.635   | 67.276     | 82.038          | 200        |
| Cadmio    | mg/L  | 0.0007       | <0.0006  | <0.0006  | 0.001    | 0.0009   | <0.0006  | <0.0006  | <0.0006  | <0.0006   | <0.0006    | <0.0006         | 0.005      |
| Cobalto   | mg/L  | 0.06761      | 0.00132  | 0.00203  | 0.00086  | 0.00086  | 0.00031  | 0.00029  | 0.00029  | 0.00029   | <0.00022   | <0.00022        | 0.05       |
| Cromo     | mg/L  | 0.117        | 0.009    | 0.008    | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006    | <0.006     | <0.006          | <0.006     |
| Cobre     | mg/L  | 0.15         | 0.008    | 0.008    | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003    | <0.003     | <0.003          | 0.7        |
| Hierro    | mg/L  | 0.231392     | 2.26     | 3.963    | 1.244    | 1.847    | 0.266    | 0.259    | 0.236    | 0.233     | 0.236      | 0.153           | 5          |
| Mercurio  | mg/L  | <0.0003      | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003  | <0.0003   | <0.0003    | <0.0003         | 0.001      |
| Potasio   | mg/L  | 14.8         | 1.4      | 2.2      | 1.5      | 1.6      | 1.8      | 2        | 2.3      | 4.2       | 4.5        | 4.8             | 5          |
| Litio     | mg/L  | 0.3313       | 0.0044   | 0.0078   | 0.0479   | 0.0466   | 0.0373   | 0.0469   | 0.1353   | 0.2107    | 0.275      | 0.255           | 2.5        |
| Magnesio  | mg/L  | 41.336       | 4.403    | 9.017    | 7.959    | 8.203    | 14.652   | 16.287   | 14.667   | 15.479    | 17.872     | 20.644          | 200        |
| Manganeso | mg/L  | 2.2876       | 0.0537   | 0.0896   | 0.0632   | 0.0674   | 0.0251   | 0.02     | 0.0294   | 0.0296    | 0.1307     | 0.0205          | 5          |
| Molibdeno | mg/L  | 0.69122      | <0.00044 | <0.00044 | <0.00044 | <0.00044 | <0.00044 | <0.00044 | 0.00044  | 0.00044   | <0.00044   | <0.00044        | <0.00044   |
| Sodio     | mg/L  | 9.24         | 1.47     | 6.23     | 6.11     | 6.65     | 8.25     | 6.04     | 14.51    | 69.27     | 87.82      | 83.69           | 200        |
| Niquel    | mg/L  | 0.154        | 0.005    | 0.006    | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003    | <0.003     | <0.003          | <0.003     |
| Fosforo   | mg/L  | 3.1          | <0.6     | <0.6     | <0.6     | <0.6     | <0.6     | <0.6     | <0.6     | <0.6      | <0.6       | <0.6            | <0.6       |
| Plomo     | mg/L  | 0.125        | 0.008    | 0.006    | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003   | <0.003    | <0.003     | <0.003          | 0.05       |
| Antimonio | mg/L  | 0.0433       | <0.0025  | <0.0025  | <0.0025  | <0.0025  | <0.0025  | <0.0025  | <0.0025  | <0.0025   | <0.0025    | <0.0025         | <0.0025    |
| Selenio   | mg/L  | <0.006       | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006    | <0.006     | <0.006          | <0.006     |
| Estroncio | mg/L  | 0.2155       | 0.0205   | 0.0894   | 0.2302   | 0.2339   | 0.475    | 0.46     | 0.4611   | 0.6403    | 0.9359     | 0.971           | 5          |
| Titanio   | mg/L  | 1.21         | <0.03    | <0.03    | <0.03    | <0.03    | <0.03    | <0.03    | <0.03    | <0.03     | <0.03      | <0.03           | <0.03      |
| Litio     | mg/L  | 0.006        | <0.00012 | 0.00019  | 0.00017  | 0.00016  | 0.00016  | 0.00016  | 0.00016  | 0.00016   | 0.00016    | 0.00016         | <0.00016   |
| Vanadio   | mg/L  | 0.155        | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006   | <0.006    | <0.006     | <0.006          | <0.006     |
| Zinc      | mg/L  | 0.685        | 0.06     | 0.06     | 0.278    | 0.265    | 0.064    | <0.003   | 0.003    | <0.003    | <0.003     | <0.003          | 2          |

Fuente: Informe de Ensayo emitidos por el Laboratorio SGS del Perú S.A.C  
Excede el valor del ECA Cat. 3

CUADRO N°04  
RESULTADOS DE PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO CRUCERO-AZANGARO-RAMIS (CUERPO DE AGUA PRINCIPAL)

| FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO:            | RÍO AZANGARO        |           |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|--|---------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|  | Unidad              | ECA-cat.3 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 | 19/12/2011 |
| pH                                       | -                   | 8.5-8.4   | 6.90       | 5.8        | 4.47       | 7.22       | 8.11       | 8.26       | 6.28       | 8.11       | 8.17       | 8.40       | 8.48       | 8.44       |
| Temperatura (T)                          | °C                  | 14        | 1.1        | 1.8        | 10.7       | 12.4       | 14         | 14.1       | 14.31      | 14         | 14.31      | 14.1       | 11.1       | 11.8       |
| Oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> )       | mg/L                | >=4       | 4.62       | 6.71       | 7.71       | 6.32       | 7.19       | 6.4        | 6.09       | 6.3        | 6          | 6.31       | 6.84       | 6.31       |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST)        | mg/L                | —         | 85         | 3          | 7          | 7          | 9          | 4          | 3          | 3          | 3          | 3          | 3          | 3          |
| Conductividad (Cond.)                    | µS/cm               | 2000      | 205.7      | 59.7       | 223.3      | 357        | 344        | 393        | 385        | 419        | 334        | 661        | 712        | 759        |
| Coliformes termotolerantes               | NMP/100mL           | 1000      | 2          | 7.8        | <1.8       | <1.8       | 2          | 6.8        | <1.8       | <1.8       | <1.8       | 22         | 2          | 1.5        |
| Coliformes totales                       | NMF/100mL           | 6000      | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno            | mg/L O <sub>2</sub> | 15        | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         |
| Demanda Química de Oxígeno               | mg/L O <sub>2</sub> | 40        | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         | <6         |
| Acidez y grasas                          | mg/L                | 1         | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       | <1.7       |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)  | mg/L                | —         | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
| Fosforos                                 | mg/L                | 0.001     | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
| Deleterios (SAAM)                        | mg/L                | 1         | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
| Nitrogeno amoniacal (NH <sub>4</sub> -N) | mg/L                | —         | 0.017      | <0.01      | <0.01      | <0.01      | 0.017      | <0.01      | 0.016      | <0.01      | <0.01      | 0.038      | 0.05       | <0.01      |
| Nitrogeno (N-NO <sub>3</sub> )           | mg/L                | 10        | 1.766      | 3.753      | 1.46       | 6.75       | 0.697      | 1.248      | 0.616      | 3.314      | 6.103      | <0.062     | <0.062     | <0.052     |
| Nitrogeno total (N-NO <sub>2</sub> )     | mg/L                | —         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         | <1         |
| Fosforos (PO <sub>4</sub> -P)            | mg/L                | 1         | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     | <0.036     |
| Fosforo total (P-PO <sub>4</sub> )       | mg/L                | —         | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       | <0.6       |
| Cloruro WAD                              | mg/L                | 0.1       | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     |
| Cloruro libre                            | mg/L                | —         | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
| Sulfuro (S <sup>2-</sup> )               | mg/L                | 0.06      | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     |
| Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S)  | mg/L                | —         | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
| Sulfuro (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) | mg/L                | 300       | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          | —          |
| Calcio total (Ca tot)                    | mg/L                | 200       | 17.702     | 4.352      | 22.927     | 50.269     | 51.659     | 93.06      | 56.145     | 49.046     | 76.182     | 64.677     | 67.139     | 68.756     |
| Magnesio total (Mg tot)                  | mg/L                | 130       | 13.583     | 4.065      | 12.432     | 12.629     | 11.892     | 16.223     | 15.26      | 12.914     | 15.08      | 16.279     | 15.162     | 16.506     |
| Potasio total (K tot)                    | mg/L                | —         | 4.5        | 1.1        | 2.9        | 2.4        | 3.3        | 2.3        | 2.9        | 2.4        | 4.2        | 4.4        | 4.4        | 4.1        |
| Sodio total (Na tot)                     | mg/L                | 200       | 5.69       | 0.79       | 9.33       | 9.3        | 1.66       | 7.49       | 6.46       | 10.62      | 49.67      | 50.89      | 61.65      | 59.91      |





CUADRO N° 03  
RESULTADOS DE PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EN EL RIO CRUCERO-AZANGARO-RAMIS (CUERPO DE AGUA PRINCIPAL)

| FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO:          | 19/01/2018    |               | 21/01/2018    |               | 22/01/2018    |               | 23/01/2018    |               | 24/01/2018    |               | 25/01/2018    |               | 26/01/2018    |               | 27/01/2018    |               | 28/01/2018    |               |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|  | 07:21:29 p.m. | 10:20:29 a.m. | 09:42:54 a.m. | 10:26:54 a.m. | 12:26:53 p.m. | 12:44:33 p.m. | 11:02:08 a.m. | 12:26:59 p.m. | 12:26:59 p.m. | 07:20:57 a.m. |
| Condición total (P tot)                | mg/L          | 14            | 4.1           | 3             | 1.1           | 1             | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          | <0.6          |
| Carbono VMD                            | mg/L          | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        | <0.002        |
| Calcio total (Ca tot)                  | mg/L          | 20            | 25.75         | 26.50         | 27.25         | 26.50         | 26.75         | 26.50         | 26.50         | 26.50         | 26.50         | 26.50         | 26.50         | 26.50         | 26.50         | 26.50         | 26.50         | 26.50         |
| Magnésio total (Mg tot)                | mg/L          | 80            | 232.433       | 91.617        | 171.68        | 26.863        | 29.4          | 6.378         | 2.32          | 2.32          | 2.32          | 2.32          | 2.32          | 2.32          | 2.32          | 2.32          | 2.32          | 2.32          |
| Potasio total (K tot)                  | mg/L          | —             | 48.7          | 222           | 9.7           | 6.8           | 6.7           | 16            | 2.2           | 2.2           | 2.2           | 2.2           | 2.2           | 2.2           | 2.2           | 2.2           | 2.2           | 2.2           |
| Sodio total (Na tot)                   | mg/L          | 200           | 7.55          | 13            | 8.79          | 8.4           | 6.36          | 5.08          | 5.0           | 5.0           | 5.0           | 5.0           | 5.0           | 5.0           | 5.0           | 5.0           | 5.0           | 5.0           |
| Aluminio total (Al tot)                | mg/L          | 5             | 177.2         | 297.38        | 234.28        | 21.85         | 88.48         | 14.2          | 8.84          | 8.84          | 8.84          | 8.84          | 8.84          | 8.84          | 8.84          | 8.84          | 8.84          | 8.84          |
| Antimonio total (Sb tot)               | mg/L          | —             | 0.54          | 2.86          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          | 0.54          |
| Arsénico total (As tot)                | mg/L          | 0.05          | 0.207         | 1.522         | 0.342         | 0.491         | 0.417         | 0.306         | 0.078         | 0.044         | 0.044         | 0.044         | 0.044         | 0.044         | 0.044         | 0.044         | 0.044         | 0.044         |
| Bario total (Ba tot)                   | mg/L          | 0.1           | 2.375         | 0.84          | 0.551         | 0.225         | 0.23          | 0.102         | 0.1           | 0.094         | 0.094         | 0.094         | 0.094         | 0.094         | 0.094         | 0.094         | 0.094         | 0.094         |
| Bromo total (Br tot)                   | mg/L          | 0.1           | 0.992         | 0.877         | 0.868         | 0.808         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         | 0.803         |
| Cromo total (Cr tot)                   | mg/L          | 0.1           | 0.69          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          | 0.66          |
| Cadmio total (Cd tot)                  | mg/L          | 0.005         | 0.003         | 0.003         | <0.006        | 0.007         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         | 0.008         |
| Cobalto total (Co tot)                 | mg/L          | 0.05          | 0.42182       | 0.21408       | 0.10764       | 0.04608       | 0.04572       | 0.05262       | 0.00984       | 0.00984       | 0.00984       | 0.00984       | 0.00984       | 0.00984       | 0.00984       | 0.00984       | 0.00984       | 0.00984       |
| Cobre total (Cu tot)                   | mg/L          | 0.2           | 0.893         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         | 0.212         |
| Cromo hexavalente (Cr <sup>6+</sup> )  | mg/L          | 0.1           | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             | —             |
| Cromo total (Cr tot)                   | mg/L          | —             | 0.773         | 0.294         | 0.259         | 0.262         | 0.269         | 0.27          | 0.26          | 0.26          | 0.26          | 0.26          | 0.26          | 0.26          | 0.26          | 0.26          | 0.26          | 0.26          |
| Estroncio (Sr tot)                     | mg/L          | —             | 0.959         | 0.364         | 0.249         | 0.308         | 0.292         | 0.298         | 0.295         | 0.295         | 0.295         | 0.295         | 0.295         | 0.295         | 0.295         | 0.295         | 0.295         | 0.295         |
| Hierro total (Fe tot)                  | mg/L          | 1             | 171.555       | 162.578       | 424.339       | 129.224       | 125.643       | 27.418        | 22.364        | 22.417        | 22.417        | 22.417        | 22.417        | 22.417        | 22.417        | 22.417        | 22.417        | 22.417        |
| Níquel total (Ni tot)                  | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Níquel hexavalente (Ni <sup>6+</sup> ) | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Níquel total (Ni tot)                  | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         | 0.005         |
| Plata total (Ag tot)                   | mg/L          | 0.05          | 0.005         |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |

Cuadro N° 2.1: Resultados de los análisis de agua en la naciente de la subcuenca Ananea-Crucero-Azingaro

| Código del punto de muestreo           |                      | EQA Categoría I "Calidad de agua del Ambiente Acuático" | NR11                 | RL1011               | LC1011               | LR1011               | LR1011               |
|--|----------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Fecha de muestreo: 03/05/2014          |                      |   | superficie: 30.00km. | superficie: 1.000km. | superficie: 15.00km. | superficie: 11.00km. | superficie: 08.00km. |
| Parametros                             | Unidad               |   |                      |                      |                      |                      |                      |
| <b>PARAMETROS FISICOS</b>              |                      |   |                      |                      |                      |                      |                      |
| Oxígeno Disuelto                       | mg O <sub>2</sub> /l | > 5   | 3.95                 | 3.11                 | 3.8                  | 3.48                 | 3.71                 |
| pH                                     | Unidad de pH         | 6.5-8.5   | 4.21                 | 5.47                 | 7.42                 | 4.81                 | 6.32                 |
| Temperatura                            | °Celsius             |   | 9.39                 | 10.3                 | 13.26                | 12                   | 7.22                 |
| Conductividad Eléctrica                | µs/cm                |   | 158.8                | 2296                 | 26.15                | 394.0                | 165.2                |
| Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días | mg O <sub>2</sub> /l | <5  | 2                    | 7.98                 | 2                    | 2                    | 2                    |
| Demanda Química de Oxígeno             | mg O <sub>2</sub> /l |   |                      |                      |                      |                      |                      |
| Sólidos Suspendidos Totales            | mg/l                 | <25   | <3.00                | 4317                 | <3.00                | <3.00                | 162.2                |
| <b>PARAMETROS INORGANICOS</b>          |                      |   |                      |                      |                      |                      |                      |
| Boro                                   | mg/l                 | 0.7   | 0.003                | 0.04                 | <0.001               | 0.015                | 0.25                 |
| Bromo                                  | mg/l                 | -   | 0.0008               | 0.0161               | <0.0002              | 0.0035               | 0.0028               |
| Calcio                                 | mg/l                 | -   | 7.26                 | 84.09                | 2.5                  | 24.47                | 9.4                  |
| Cloruro libre                          | mg/l                 | 0.022   | <0.004               | 9.052                | <0.004               | <0.004               | <0.004               |
| Litio                                  | mg/l                 | -   | 0.003                | 0.166                | <0.003               | 0.004                | 0.087                |
| Magnesio                               | mg/l                 | -   | 2.25                 | 44.56                | 1.25                 | 0.57                 | 12.79                |
| Selenio                                | mg/l                 | -   | <0.003               | <0.003               | <0.003               | <0.003               | <0.003               |
| Sodio                                  | mg/l                 | -   | 1.27                 | 19.6                 | 1.60                 | 0.08                 | 3.97                 |
| Sulfuro                                | mg/l                 | -   | <0.002               | <0.002               | <0.002               | <0.002               | <0.002               |
| <b>Nitrógenos</b>                      |                      |   |                      |                      |                      |                      |                      |
| Fosforo                                | mg PL                | 0.4   | <0.030               | 0.108                | <0.030               | <0.030               | 1.368                |
| Fosforo total                          | mg PL                | -   | <0.002               | 1.074                | 0.009                | <0.002               | 0.051                |
| Nitrógeno amoniacal                    | mg NH <sub>3</sub>   | <0.02   | 4.094                | 7.208                | 0.001                | 1.189                | 0.000                |
| Nitrato                                | mg NH <sub>3</sub>   | 5   | 4.5                  | 0.004                | <0.000               | 0.003                | <0.000               |
| <b>Metas y metaloides</b>              |                      |   |                      |                      |                      |                      |                      |
| Aluminio total                         | mg/l                 | -   | 1.8                  | 33.42                | 33.42                | 0.01                 | 42.75                |
| Antimonio total                        | mg/l                 | -   | <0.002               | <0.002               | <0.002               | <0.002               | <0.002               |
| Arsenico total                         | mg/l                 | 0.01  | 0.003                | 1.161                | 0.003                | <0.001               | 0.1                  |
| Bario total                            | mg/l                 | -   | 3.0                  | <0.003               | <0.003               | 0.005                | <0.003               |
| Cadmio total                           | mg/l                 | 0.004   | <0.0004              | 0.0193               | <0.0004              | 0.0016               | 0.0065               |
| Cobalto total                          | mg/l                 | -   | 0.042                | 0.4251               | <0.0003              | 0.1097               | 0.0194               |
| Cobre total                            | mg/l                 | 0.02  | 0.0004               | 0.3129               | <0.0004              | 0.0194               | 0.1002               |
| Cromo Hexavalente                      | mg/l                 | 0.05  | <0.001               | <0.001               | <0.001               | <0.001               | <0.001               |
| Cromo total                            | mg/l                 | 0.02  | <0.0004              | 0.0187               | <0.0004              | <0.0004              | 0.002                |
| Hierro total                           | mg/l                 | -   | 0.491                | 76.783               | 1.202                | 0.470                | 52.11                |
| Manganeso total                        | mg/l                 | -   | 0.2205               | 4.3811               | 0.0009               | 2.2811               | 0.4430               |
| Mercurio total                         | mg/l                 | 0.0001  | <0.0001              | <0.0001              | <0.0001              | <0.0001              | <0.0001              |
| Níquel total                           | mg/l                 | 0.025   | 0.0041               | 1.0178               | <0.0004              | 0.258                | 0.0359               |
| Plata total                            | mg/l                 | -   | <0.0005              | <0.0005              | <0.0005              | <0.0005              | <0.0005              |
| Potasio total                          | mg/l                 | 0.001   | 0.0042               | 0.1243               | <0.0004              | 0.0019               | 0.079                |
| Talio total                            | mg/l                 | -   | <0.0003              | <0.0003              | <0.0003              | <0.0003              | <0.0003              |
| Vanadio total                          | mg/l                 | -   | <0.0003              | 0.0190               | <0.0002              | <0.0002              | 0.0083               |
| Zinc total                             | mg/l                 | 0.03  | 0.189                | 3.953                | 0.003                | 0.018                | 0.279                |
| <b>PARAMETROS ORGANICOS</b>            |                      |   |                      |                      |                      |                      |                      |
| Aceites y grasas (MNH)                 | mg/l                 | trazas de petróleo visible                              | <1.00                | <1.00                | <1.00                | <1.00                | <1.00                |
| Fenoles                                | mg/l                 | 0.001   | <1.00                | <1.00                | <1.00                | <1.00                | <1.00                |
| <b>MICROBIOLÓGICOS</b>                 |                      |   |                      |                      |                      |                      |                      |



Cuadro N° 04: Resultados de los análisis de agua en la naciente de la cuenca Crucero

| FECHA(S) Y HORA DE MONITOREO:    |                      | ECA Agua:<br>Categoría 4<br>"Lagos y Lagunas" | 26/10/2014 | 26/10/2014 | 26/10/2014 | 26/10/2014 | 26/10/2014 |
|----------------------------------|----------------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| Código de punto de monitoreo     | Unidad               |   | 06:30      | 11:35      | 12:00      | 13:10      | 19:10      |
|                                  |                      |   | NR101      | RLuer1     | LCabH      | LRin1      | LSilla1    |
| Parámetro                        |                      |   |            |            |            |            |            |
| <b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>        |                      |   |            |            |            |            |            |
| Oxígeno Disuelto                 | mg O <sub>2</sub> /L | >=5   | 5.1        | 4.0        | 4.8        | 4.4        | 4.7        |
| pH                               | Unidad de pH         | 6.5-8.5                                       | 4.03       | 3.55       | 5.48       | 3.68       | 5.8        |
| Temperatura                      | °Celsius             | --  | 2.00       | 11.5       | 9.1        | 8.9        | 9.8        |
| Conductividad                    | µS/cm                | --  | 467.3      | 1474.0     | 25.6       | 418.3      | 36.5       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno    | mg O <sub>2</sub> /L | <4  | <2.00      | 19.06      | <2.00      | <2.00      | <2.00      |
| Demanda Química de Oxígeno       | mg O <sub>2</sub> /L | --  | <10.0      | 32.5       |            |            |            |
| Sólidos suspendidos totales      | mg/L                 | <=25  |            |            | 3.39       | <3.00      | 179.9      |
| <b>PARÁMETROS INORGÁNICOS</b>    |                      |   |            |            |            |            |            |
| Bario                            | mg/L                 | 0.7   | 0.004      | 0.043      | <0.001     | 0.015      | 0.265      |
| Berilio                          | mg/L                 | --  | 0.0001     | 0.0117     | <0.0002    | 0.0001     | 0.0010     |
| Bicarbonatos                     | mg/L                 | --  | <1.00      | <1.00      |            |            |            |
| Calcio                           | mg/L                 | --  | 21.66      | 111.28     | 2.56       | 25.87      | 6.79       |
| Carbonatos                       | mg/L                 | --  | <1.00      | <1.00      |            |            |            |
| Carbono Libre                    | mg/L                 | 0.022   |            |            | <0.004     | <0.004     | <0.004     |
| Cianuro NAD                      | mg/L                 | --  | <0.008     | <0.036     |            |            |            |
| Litio                            | mg/L                 | --  | 0.042      | 0.221      | <0.003     | 0.044      | 0.063      |
| Magnesio                         | mg/L                 | --  | 7.70       | 35.53      | 1.10       | 8.15       | 6.90       |
| Selenio                          | mg/L                 | --  | <0.003     | <0.003     | <0.003     | <0.003     | <0.003     |
| Silicatos                        | mg/L                 | --  | 5.00       | 95.59      | 12.49      | 14.72      | 208.10     |
| Sodio                            | mg/L                 | --  | 6.45       | 43.02      | 7.34       | 14.03      | 6.34       |
| <b>Nutrientes</b>                |                      |   |            |            |            |            |            |
| Nitrógeno amoniacal              | mg NL                | <0.02   |            |            | <0.020     | 1.144      | <0.020     |
| Nitratos                         | mg NL                | 5   | 14.354     | 5.738      | <0.030     | 0.973      | 0.218      |
| Nitritos                         | mg NL                | --  |            |            |            |            |            |
| Nitrógeno Kjeldahl total         | mg NL                | --  |            |            | <1.00      | 2.04       | <1.00      |
| <b>Metales y metales pesados</b> |                      |   |            |            |            |            |            |
| Aluminio total                   | mg/L                 | --  | 8.01       | 29.91      | 0.11       | 4.96       | 30.67      |
| Antimonio total                  | mg/L                 | --  | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     | <0.002     |
| Arsénico total                   | mg/L                 | 0.01  | 0.027      | 1.274      | 0.039      | <0.001     | 0.124      |
| Boro total                       | mg/L                 | --  | <0.003     | 0.008      | <0.003     | 0.001      | 0.015      |
| Cadmio total                     | mg/L                 | 0.004   | 0.0052     | 0.0363     | <0.0004    | 0.0019     | 0.0071     |
| Cobalto total                    | mg/L                 | --  | 0.2374     | 0.4131     | <0.0003    | 0.1278     | 0.0171     |
| Cobre total                      | mg/L                 | 0.02  | 0.0226     | 0.134      | <0.0004    | 0.0165     | 0.0266     |
| Cromo total                      | mg/L                 | --  | <0.0004    | 0.0217     | <0.0004    | 0.0015     | 0.0269     |
| Hierro total                     | mg/L                 | --  | 14.798     | 112.896    | 1.195      | 0.391      | 44.058     |
| Manganeso total                  | mg/L                 | --  | 1.0713     | 3.9820     | 0.0720     | 2.4802     | 0.5550     |
| Mercurio total                   | mg/L                 | 0.0001  | <0.0001    | <0.0001    | <0.0001    | <0.0001    | <0.0001    |
| Níquel total                     | mg/L                 | 0.025   | 0.5367     | 1.1378     | 0.0010     | 0.3000     | 0.0252     |
| Plata total                      | mg/L                 | --  | <0.0005    | <0.0005    | <0.0005    | <0.0005    | <0.0005    |
| Plomo total                      | mg/L                 | 0.001   | 0.0085     | 0.1841     | <0.0004    | 0.0038     | 0.0563     |
| Teluro total                     | mg/L                 | --  | <0.003     | 0.003      | <0.003     | <0.003     | <0.003     |
| Vanadio total                    | mg/L                 | --  | <0.0002    | 0.0087     | <0.0002    | <0.0002    | 0.0342     |



*[Handwritten signature]*  
 Director (R-1)  
 Oficina General de Asesoría Jurídica

Cuadro N° 16  
Esquema de la Red de Estaciones de Monitoreo de Calidad del Agua en la Unidad Hidrográfica Azángaro

| CUADRO DE RESULTADOS DE PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA AZÁNGARO AÑO 2018 |  | ESTACION 01  | ESTACION 02 | ESTACION 03 | ESTACION 04 | ESTACION 05 | ESTACION 06 | ESTACION 07 | ESTACION 08 | ESTACION 09 | ESTACION 10 | ESTACION 11 | ESTACION 12 |        |
|--|--|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| DETALLE  | FECHAS DE MONITOREO                            | 01/08/2018   | 08/08/2018  | 15/08/2018  | 22/08/2018  | 29/08/2018  | 05/09/2018  | 12/09/2018  | 19/09/2018  | 26/09/2018  | 03/10/2018  | 10/10/2018  | 17/10/2018  |        |
|  | HORA DE MUESTREO                               | 09:00  | 11:00       | 11:40       | 13:00       | 06:30       | 06:45       | 10:30       | 11:00       | 12:45       | 05:40       | 14:30       | 14:30       |        |
|  | Coordenada UTM (Zona 18Q, UTM, AZANGARO)       | 5414336  | 5405526     | 5397056     | 5378712     | 5362214     | 5341541     | 5311252     | 5284954     | 5248188     | 5214762     | 5175262     | 5132262     |        |
|  | Coordenada Este (UTM) (WGS84-S-10G)            | 564924   | 561824      | 559224      | 556224      | 552824      | 549024      | 544924      | 540524      | 535824      | 530824      | 525524      | 520024      |        |
| COORDENADA DE PUNTO DE CONTROL   | 01   | 02   | 03          | 04          | 05          | 06          | 07          | 08          | 09          | 10          | 11          | 12          |             |        |
| DIRECCION HIDROGRAFICA   | RIO PRINCIPAL Y/O TRIBUTARIO LAGO/LAGUNA OMBAY | RIO PRINCIPAL DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA AZANGARO ESTACION 01 |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |        |
| INDICADORES AMBIENTALES  | pH   | Medida de pH   | 6.5-8.4     | 7.11        | 8.31        | 7.41        | 8.41        | 8.2         | 7.2         | 8.37        | 8.00        | 8.00        | 8.25        | 7.70   |
|  | Temperatura (T)                                | Temperatura  | 7           | 16.51       | 1           | 5           | 7           | 5           | 8           | 8           | 17.5        | 17.84       | 18.00       | 7      |
|  | Conductividad Eléctrica                        | µm/cm  | 5400        | 484.9       | 793.2       | 33.4        | 494.3       | 142         | 325.4       | 825.2       | 395         | 487         | 151.6       | 768.7  |
|  | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)            | mg O <sub>2</sub> /l   | 13          | 43          | 43          | 8           | 8           | 12          | 12          | 12          | 12          | 18          | 18          | 15     |
|  | Demanda Química de Oxígeno (DQO)               | mg O <sub>2</sub> /l   | 40          | 48          | 12          | 12          | 12          | 12          | 12          | 12          | 12          | 12          | 12          | 12     |
|  | Sólidos Totales Suspensivos (STO)              | mg/L   | 27          | 41          | 23          | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5      |
|  | Sólidos (S)                                    | mg/L   | 4           | 4.13        | 11.206      | 0.126       | 0.126       | 0.126       | 0.126       | 0.126       | 0.126       | 0.126       | 0.126       | 0.126  |
|  | Boro (B)                                       | mg/L   | 0.3         | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005      | 0.0005 |
|  | Cloruro (Cl)                                   | mg/L   | 58.76       | 71.2        | 1.431       | 88.86       | 35.38       | 22.35       | 30.29       | 30.29       | 35.77       | 37.35       | 35.83       | 35.83  |
|  | Cloruro (Cl- Wd)                               | mg/L   | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034      | 0.0034 |
|  | Fluoruro (F)                                   | mg/L   | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008       | 0.008  |
|  | PARAMETROS QUIMICOS                            | Nitrato (NO <sub>3</sub> )                                   | mg/L        | 7.94        | 57.52       | 2.27        | 94.51       | 0.79        | 3.28        | 8.63        | 8.21        | 39.92       | 63.64       | 64.51  |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> ) total   |  | mg/L   | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.03        |        |
| INDICADORES FISICO-QUIMICOS  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.2         | 0.014       | 0.071       | 0.019       | 0.025       | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      | 0.0001      |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.2         | 0.014       | 0.071       | 0.019       | 0.025       | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        | 0.02        |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
|  | Manganoso (Mn) total                           | mg/L   | 0.05        | 0.050       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       | 0.033       |        |
| INDICADORES MICROBIOLÓGICOS  | Coliformos Totales (CT)                        | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos Termotolerantes (CTTC)              | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |
|  | Coliformos (CT)                                | UFC/100ml  | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |        |

Fuente: Informe de ensayo de Laboratorio NSF ENVIROLAB, sede Lima. Acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL-DA (\*) ECA Agua-Categoría 3: Riesgo de vegetales y bebida de animales. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM (Estánderes Nacionales de v Calidad Ambiental para Agua) y Resol ANA (Clasificación de los cuerpos de agua superficiales, ríos, lagos y lagunas)  
 < : Indica menor al límite de detección del método empleado en laboratorio.  
 : Excede el valor del ECA Cat.

Anexo 3. Resultados de monitoreos del Autor de la Investigación



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INDECOPI-SNA CON REGISTRO N° LE – 050



Registro N° LE-050

Laboratorios Analíticos del Sur

INFORME DE ENSAYO LAS-13- 03508

Pág: 1/4

Hoja de datos

Señores: Isaac Humpiri Ramos  
 Dirección: Urb. Villa Mercedes d-18 Juliaca  
 Atención: Isaac Humpiri Ramos  
 Proyecto: Investigación de Tesis  
 Nro de muestras: 7  
 Muestreo a cargo de(l): Isaac Humpiri Ramos  
 Registro de muestreo: 136/13  
 Fecha de recepción: 12/07/2013  
 Fecha de ensayo: 12/07/2013  
 Fecha de emisión: 22/07/2013  
 Condiciones de recepción de la muestra: Transportado en cooler con Hielo  
 Observaciones:

Metodo de ensayo aplicado

- 802 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -AES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 796 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -AES, Revisión 4.4. Arsenico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 800 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -AES, Revisión 4.4. Mercurio (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- \*821 Cianuro WAD en agua: SMEWW. 22 nd Ed. Item 4500-CN. Part. E. Colorimetric Method and Part. 4500-CN I. Weak Acid Dissociable Cyanide

| Cod Int. # | Nombre de muestra                           | Matriz de la muestra                        | Lugar de muestreo   | Punto de muestreo y/o coordenadas<br>Coordenadas UTM<br>Este / Norte | Fecha de muestreo | Hora de muestreo |
|------------|---|---|---|--|-------------------|------------------|
| AG13000422 | PM-1 Asf. Salida Casa Blanca                | Agua Natural - Superficial - Agua de Laguna | Laguna Casa Blanca /Rinconada /Ananea/San Antonio de Putina /Puno | 446982(E),8382937(N)<br>ALT:4652m                                    | 10/07/13          | 11:30am          |
| AG13000423 | PM-2 Asf. Rio Lunar De Oro                  | Agua Natural - Superficial - Agua de Rio    | Qda Lunar de Oro/Rinconada /Ananea San Antonio de Putina /Puno    | 449730(E),8382587(N)ALT:4672m  | 10/07/13          | 12:00m           |
| AG13000424 | PM-3 Asf. Salida Laguna Rinconada           | Agua Natural - Superficial - Agua de Laguna | Laguna /Rinconada /Ananea/San Antonio de Putina /Puno             | 445058(E),8378616(N)ALT:4672m  | 10/07/13          | 12:40pm          |
| AG13000425 | PM-4 Asf. Rio Ananea                        | Agua Natural - Superficial - Agua de Rio    | Ananea/San Antonio de Putina /Puno                                | 443123(E),8376813(N)ALT:4710m  | 10/07/13          | 01:45pm          |
| AG13000427 | PM-5 Asf. Rio Grande                        | Agua de Rio                                 | Choquine / Cuyo Cuyo/Sandia /Puno                                 | 431977(E),8382128(N)ALT:4486m  | 10/07/13          | 01:40pm          |
| AG13000428 | PM-6 Asf. Rio Grande (aguas Abajo Huachani) | Agua de Rio                                 | Huajchani /Patambuco/Sandia /Puno                                 | 416487(E),8402339(N)ALT:4332m  | 10/07/13          | 03:55pm          |
| AG13000429 | PM-7 Asf. Rio Crucero                       | Agua de Rio                                 | Crucero / Carabaya / Puno   | 388892(E),8411383(N)ALT:4138m  | 10/07/13          | 05:05pm          |

*Sixto Vicente Juárez Neira*  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Sixto Vicente Juárez Neira  
 Gerente General  
 Ing. Químico CIP 19474

(\* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Rio Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INDECOPI-SNA CON REGISTRO N° LE – 050**



Registro N° LE-050

**INFORME DE ENSAYO LAS-13-05467**

Pág: 1/4

**Hoja de datos**

Señores: Isaac Humpiri Ramos  
 Dirección: Urb. Villa Mercedes D-18 Juliaca  
 Atención: Isaac Humpiri Ramos  
 Proyecto: Investigación de Tesis  
 Nro de muestras: 7  
 Muestreo a cargo de(l): Isaac Humpiri Ramos  
 Registro de muestreo: N° 193-13  
 Fecha de recepción: 09/10/2013  
 Fecha de ensayo: 09/10/2013  
 Fecha de emisión: 18/10/2013  
 Condiciones de recepción de la muestra: Transportado en cooler isotermico  
 Observaciones : -----

**Metodo de ensayo aplicado**

- 802 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -AES. Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 796 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -AES. Revisión 4.4. Arsenico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- 800 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -AES. Revisión 4.4. Mercurio (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)
- \*821 Cianuro WAD en agua: SMEWW. 22 nd Ed. Item 4500-CN. Part. E. Colorimetric Method and Part. 4500-CN I. Weak Acid Dissociable Cyanide (Metodo de Ensayo Acreditado)

| Cod Int. # | Nombre de muestra             | Matriz de la muestra                               | Lugar de muestreo  | Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte | Fecha de muestreo | Hora de muestreo |
|------------|-------------------------------|--|--|--|-------------------|------------------|
| AG13000601 | AS. Salida Laguna Casa Blanca | Agua Natural - Superficial - Agua de Laguna / lago | Laguna Casa Blanca /Rinconada /Ananea/San Antonio de Putina /Puno    | 448976(E) - 8382935(N) ALT: 4643 msnm              | 07/10/13          | 10:15 a.m.       |
| AG13000602 | AS Riachuelo de Oro           | Agua Natural - Superficial - Agua de Río           | Oda Lunar de Oro/Rinconada /Ananea /San Antonio de Putina /Puno      | 449738(E) 8382589(N) ALT: 4666 msnm                | 07/10/13          | 10:45 a.m.       |
| AG13000603 | AS Salida laguna Rinconada    | Agua Natural - Superficial - Agua de Laguna / lago | Laguna Rinconada/ Ananea/San Antonio de Putina /Puno                 | 445054(E) 8378614(N) ALT: 4640 msnm                | 07/10/13          | 11:30 a.m.       |
| AG13000604 | AS Río Ananea                 | Agua Natural - Superficial - Agua de Río           | Río Ananea/Ananea/San Antonio de Putina /Puno (frente a PNP Ananea ) | 443130(E) 8376807(N) ALT: 4700 msnm                | 07/10/13          | 12:05 pm         |
| AG13000605 | AS Río Grande I               | Agua Natural - Superficial - Agua de Río           | Chuquine / Cuyo Cuyo /Sandia /Puno                                   | 432009(E) 8382102(N) ALT: 4482 msnm                | 07/10/13          | 13:35 pm         |
| AG13000607 | AS Río Grande II              | Agua Natural - Superficial - Agua de Río           | Huajchani / Cuyo Cuyo / Sandia /Puno (aguas abajo CP Huajchani)      | 416489(E) 8402340(N) ALT: 4318 msnm                | 07/10/13          | 14:45 pm         |
| AG13000608 | AS Río Crucero                | Agua Natural - Superficial - Agua de Río           | Crucero / Carabaya / Puno (Costado Puente colgante de Crucero)       | 388894(E) 8411386(N) ALT: 4136 msnm                | 07/10/13          | 15:50 pm         |

*Isaac Humpiri Ramos*  
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
 Sixto Vicente Juárez Weira  
 Gerente General  
 P.O. Box 10074

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INDECOPI-SNA.

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

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú  
 Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com