



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

“EVALUACIÓN DEL RIESGO DE  
EXPOSICIÓN DE METALES PESADOS  
EN EL AGUA SOBRE LAS  
POBLACIONES ADYACENTES DE LAS  
QUEBRADAS PACCHAC Y PUCAURÁN  
HUARAZ-ANCASH, ENTRE LOS AÑOS  
1996 AL 2014”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
CON MENCIÓN EN SALUD AMBIENTAL

ALEGRE BUSTAMANTE, Laura Melissa

LIMA - PERÚ

2022



**Asesora**

Dra. Jasmin Elena Hurtado Custodio

**JURADO DE TESIS**

DR. JOSE LUIS BAUER CUYA

PRESIDENTE

DRA. LUZ AURORA CARBAJAL ARROYO

VOCAL

MG. DIEGO ALEJANDRO FANO SIZGORICH

SECRETARIO

## **DEDICATORIA**

A Gary, Joaquín y Micaela por apoyarme, comprender y  
concientizarme de lo importante en la vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi asesora Dra. Jasmin Hurtado, por la paciencia y apoyo  
durante estos años.

## **FUENTES DE FINANCIAMIENTO**

Tesis Autofinanciada

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Antecedentes. ....	1
1.2.	Marco teórico. ....	4
1.3.	Área de estudio. ....	24
1.4.	Planteamiento del problema. ....	35
1.5.	Justificación del estudio. ....	36
1.6.	Pregunta de investigación.....	38
II.	OBJETIVOS.....	39
2.1.	Objetivo general. ....	39
2.2.	Objetivos específicos.....	39
III.	METODOLOGÍA.....	41
3.1.	Diseño del estudio. ....	41
3.2.	Población y Muestra. ....	41
3.3.	Operacionalización de variables.....	45
3.4.	Instrumentos. ....	46
3.5.	Procedimiento.....	49
IV.	RESULTADOS.....	56
4.1.	Rutas de exposición.....	56
4.2.	Cálculo del EMEG (Guía de Evaluación para Medios Ambientales para un medio específico).....	56
4.3.	Cálculo de la estimación de riesgo de exposición.....	82
V.	DISCUSIÓN.....	98
VI.	CONCLUSIONES.....	107
VII.	RECOMENDACIONES.....	114
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
IX.	ANEXOS	



## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Comparación de los niveles promedio de cadmio en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014 .....	58
<b>Gráfico 2.</b> Comparación de los niveles promedio de Cobre en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014 .....	59
<b>Gráfico 3.</b> Comparación de los niveles promedio de Plomo en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014 .....	60
<b>Gráfico 4.</b> Comparación de los niveles promedio de Zinc en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014 .....	61
<b>Gráfico 5.</b> Comparación de los niveles promedio de arsénico no carcinogénico en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014.....	62
<b>Gráfico 6.</b> Comparación de los niveles promedio de arsénico carcinogénico en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014.....	63
<b>Gráfico 7.</b> Comparación de los niveles promedio de cadmio en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014 .....	64
<b>Gráfico 8.</b> Comparación de los niveles promedio de cobre en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014 .....	65
<b>Gráfico 9.</b> Comparación de los niveles promedio de plomo en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014 .....	66
<b>Gráfico 10.</b> Comparación de los niveles promedio de Zinc en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014 .....	67
<b>Gráfico 11.</b> Comparación de los niveles promedio arsénico no carcinogénico en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014.....	68
<b>Gráfico 12.</b> Comparación de los niveles promedio de arsénico carcinogénico en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 2009 al 2014.....	69
<b>Gráfico 13.</b> Comparación de los niveles promedio de cadmio en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014.....	70
<b>Gráfico 14.</b> Comparación de los niveles promedio de cobre en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014.....	71
<b>Gráfico 15.</b> Comparación de los niveles promedio de plomo en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014.....	72

<b>Gráfico 16.</b> Comparación de los niveles promedio de Zinc en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014.....	73
<b>Gráfico 17.</b> Comparación de los niveles promedio de arsénico no carcinogénico en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014 .....	74
<b>Gráfico 18.</b> Comparación de los niveles promedio de arsénico carcinogénico en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014.....	75
<b>Gráfico 19.</b> Comparación de los niveles promedio de cadmio en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014.....	76
<b>Gráfico 20.</b> Comparación de los niveles promedio de cobre en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014.....	77
<b>Gráfico 21.</b> Comparación de los niveles promedio de plomo en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014.....	78
<b>Gráfico 22.</b> Comparación de los niveles promedio de zinc en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014.....	79
<b>Gráfico 23.</b> Comparación de los niveles promedio de arsénico no carcinogénico en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014 .....	80
<b>Gráfico 24.</b> Comparación de los niveles promedio de arsénico carcinogénico en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014....	81

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ley General de Aguas (Ley N° 17752) .....	21
<b>Tabla 2.</b> Estándares de Calidad de Agua (D.S. N° 015-2015-MINAM) – Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.....	23
<b>Tabla 3.</b> Caudales medios mensuales de la quebrada Pacchac (L/s) entre los años 1997 a 2011 .....	29
<b>Tabla 4.</b> Caudales medios mensuales de la quebrada Pucauran (L/s) entre los años 1997 a 2011 .....	32
<b>Tabla 5.</b> Reporte de indicadores según Censo 2007 para las poblaciones dispersas y centro poblados aledañas a las quebradas Pacchac y Pucaurán .....	41
<b>Tabla 6.</b> Reporte de indicadores según Censo 2017 para las poblaciones dispersas y centro poblados aledañas a las quebradas Pacchac y Pucaurán .....	42
<b>Tabla 7.</b> Población y número de viviendas incluidos en el EIA 1996, basados en el Censo de Población y Vivienda de 1993 y 2017.....	44
<b>Tabla 8.</b> Frecuencia de muestreo.....	49
<b>Tabla 9.</b> Puntos de control en la quebrada Pacchac .....	51
<b>Tabla 10.</b> Puntos de control en la quebrada Pucauran.....	51
<b>Tabla 11.</b> Rutas de exposición relacionadas a las quebradas Pacchac y Pucauran .....	56
<b>Tabla 12.</b> Dosis de Referencia (RfD) para metales pesados .....	56
<b>Tabla 13.</b> Valores EMEG obtenidos para diferentes categorías de población evaluadas, vía oral.....	57
<b>Tabla 14.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cadmio en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac.....	84
<b>Tabla 15.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cobre en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac .....	85
<b>Tabla 16.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para plomo en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac .....	85
<b>Tabla 17.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para zinc en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac.....	86

<b>Tabla 18.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para arsénico no carcinogénico en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac.....	87
<b>Tabla 19.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cadmio en el punto de monitoreo LPCS-1. Quebrada Pacchac.....	88
<b>Tabla 20.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cobre en el punto de monitoreo LPCS-1. Quebrada Pacchac .....	88
<b>Tabla 21.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para arsénico no carcinogénico en el punto de monitoreo LPCS-1. Quebrada Pacchac.....	88
<b>Tabla 22.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cadmio en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran.....	91
<b>Tabla 23.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cobre en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran.....	92
<b>Tabla 24.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para plomo en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran .....	93
<b>Tabla 25.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para zinc en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran.....	94
<b>Tabla 26.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para arsénico no carcinogénico en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran.....	95
<b>Tabla 27.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cadmio en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran.....	96
<b>Tabla 28.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cobre en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran.....	96
<b>Tabla 29.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para plomo en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran .....	97
<b>Tabla 30.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para zinc en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran.....	97
<b>Tabla 31.</b> Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para arsénico no carcinogénico en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran.....	97

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación busca determinar el riesgo de la exposición a metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc) en las poblaciones de niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina y luego descargada a las quebradas mencionadas, durante una serie de tiempo determinada: 1996 al 2014, antes y después de la instalación de las operaciones mineras.

El tipo de estudio realizado es descriptivo constituidos por las comunidades mencionadas aledañas a las quebradas, que en su momento utilizaron el agua de éstas como agua de bebida.

Para la determinación del riesgo a la exposición, se utilizó la Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados, propuesto por Díaz-Barriga (CEPIS) y complementado por lo propuesto por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2008). Se tomaron datos de los monitoreos de la calidad de agua reportados a la autoridad (MINEM).

Los resultados mostraron que, las poblaciones de niños y adultos ya se encontraban expuestos a alta carga metálica antes del inicio (probablemente por los pasivos ambientales existentes aguas arriba de la unidad minera) y durante las actividades de la unidad minera Pierina, con un alto riesgo de exposición por utilizar como agua de bebida las que discurren por las quebradas, especialmente por la presencia de arsénico y plomo.

**Palabras clave:** riesgo, salud ambiental, minería

## **ABSTRACT.**

The present research work seeks to determine the risk of exposure to heavy metals (arsenic, cadmium, copper, lead and zinc) in the populations of children and adults from the localities around the Pacchac and Pucauran streams after the water has been treated or collected within the Pierina mining operation and then discharged into the mentioned streams, during a determined time series: 1996 to 2014, before and after the construction of the mine.

The type of study carried out is descriptive, consisting of the communities mentioned around the streams, which used the water from these streams as drinking water.

To determine the risk of exposure used the Methodology for the Identification and Evaluation of Health Risks in Contaminated Sites, proposed by Díaz-Barriga (CEPIS) and complemented by that proposed by the Agency for Toxic Substances and the Registry of Diseases (2008). Data were taken from the monitoring of water quality reported to the authority (MINEM).

The results showed that the populations of children and adults were already exposed to a high metal load before the start (probably due to the existing environmental liabilities upstream of the mining unit) and during the activities of the Pierina mine, with a high exposure risk from using the water that flows through the streams as drinking water, especially due to the presence of arsenic and lead.

Keywords: risk, environmental health, mining

## **I. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1. Antecedentes.**

En un informe del Instituto Peruano de Economía (IPE, 2018), se menciona que la minería es considerada uno de los sectores más importantes en la economía del país. De hecho, entre los años 2007 al 2017, la minería aportó 7.3 puntos porcentuales al crecimiento del PBI nacional. Dentro de esta actividad, se sabe que la región de Ancash supera largamente el promedio nacional representando el 49.8% de su economía.

En el reporte “Principales Unidades Mineras de Producción” actualizado al 2019 (MINEM, 2019), el Ministerio de Energía y Minas menciona que en Ancash existen 53 unidades de producción y 41 unidades de exploración, siendo los principales productos mineros metálicos: cobre, molibdeno, plomo, zinc, oro, plata, arsénico, bismuto, manganeso y tungsteno.

Dentro de las unidades de producción en la región Ancash, la mina Pierina es una de las más importantes. Esta mina es de tajo abierto con instalaciones de procesamiento metalúrgico para extraer y recuperar oro y es explotada desde 1998 por Minera Barrick Misquichilca S.A, subsidiaria de propiedad de la empresa Barrick Gold Corporation, cuya sede se encuentra en Toronto, Canadá.

Antonio Raimondi, en su libro “Oro del Perú” (1936, reeditado por UNSMM, 2004), ya daba cuenta de la presencia de oro metálico en las vetas de cuarzo, en estado nativo (pirita o sulfuro de fierro) o acompañado de otros sulfuros metálicos; asimismo, el oro aparecía en escamas o en granos sueltos, en minas y lavaderos de oro ubicadas en el departamento de Ancash, identificando la

concentración del metal en varias de ellas. La mayoría de las minas halladas en tal época, correspondieron a socavones o bocaminas.

Además de los socavones o bocaminas, en la actualidad también se utiliza la explotación del mineral a tajo abierto. La elección de uno u otro tipo de extracción dependerá del tipo de roca a la que estará asociado el mineral.

La mina Pierina se encuentra localizada al lado oriental de la Cordillera Negra en el Distrito de Jangas, Provincia de Huaraz, Región de Ancash a una altura aproximada de 4100 msnm (8 948 700 a 8 956 500 N; 211 300 a 218 000 E). Está ubicada en la cuenca del Río Santa a 10 Km aproximadamente de la ciudad de Huaraz, capital del departamento de Ancash (EIA Mina Pierina, 2003). La ubicación de la unidad minera se puede apreciar en el Anexo 1.

El valle del río Santa tiene aproximadamente 165 km de longitud, desde la naciente del río en el sur hasta el Cañón del Pato en el norte. El valle separa la cordillera Blanca hacia el este y la cordillera Negra hacia el oeste. El río Santa se origina en la laguna Conococha a una altura de 4,100 msnm, corre al noroeste a través del Cañón del Pato, gira hacia el oeste y eventualmente desemboca en el Océano Pacífico aproximadamente a 270 km de su naciente.

El río Santa recibe a la cuenca de Pucauran por tres quebradas importantes: quebrada Atupa al norte, quebrada Antahurán al sur y quebrada Pucauran en la zona central. Además, recibe a las quebradas Cuncashca/Río Llancash al norte y Pacchac al sur. De estas quebradas, Pucauran y Pacchac presenta un mayor gradiente (pendiente) promedio (24% y 17.5%, respectivamente).

Durante los años considerados para este estudio, la unidad minera Pierina, utiliza la extracción a tajo abierto, el cual se desarrolla utilizando operaciones

convencionales de voladura, carguío y acarreo mediante camiones y cargadores, para la extracción del mineral. El material de desmonte es transportado por camiones de acarreo de hasta 280 TM a un área de almacenamiento (depósito de desmonte). El oro se recupera mediante el proceso de lixiviación en pilas con cianuro de sodio.

Con respecto a las instalaciones auxiliares requeridas para la operación minera, estas incluyen oficinas, edificios de administración, laboratorios, almacenes, talleres de mantenimiento, instalaciones médicas, distribución de fuerza eléctrica, suministro de agua, caminos, tanques de almacenamiento de combustible, tanque de almacenamiento de reactivos, instalaciones de tratamiento de aguas, estructuras de drenaje y áreas de almacenamiento de explosivos. Según lo declarado en su Estudio de Impacto Ambiental, una vez que se haya concluido con la vida útil de la operación minera, todas las instalaciones de la mina Pierina, a excepción del tajo abierto y de aquellas instalaciones necesarias para la protección ambiental, serán cerrados y rehabilitados. La distribución de las tres (03) zonas o componentes mayores de la unidad minera se muestran en el Anexo 2.

## **1.2. Marco teórico.**

### **1.2.1. Riesgo a la salud**

La visión de la Organización Mundial de la Salud (2002), señala que se deben centrar los esfuerzos como resultados de la investigación y de los recursos sanitarios, hacia un camino de prevención, para evitar los riesgos a la salud. Estos riesgos, señala, no se presentan de manera aislada, razón por la cual hay que tener en cuenta las causas tanto inmediatas como distantes de los resultados sanitarios adversos. Es así que, para la OMS (2002), el riesgo se define como: *“la probabilidad de que se produzca un resultado adverso, o como factor que aumenta esa probabilidad”* (OMS, 2002).

La evaluación de la exposición une los datos de distribución y concentración de la contaminación en el ambiente con información fisiológica y sobre el comportamiento para estimar la cantidad de contaminantes a los que están expuestos los seres humanos.

### **1.2.2. Evaluación de riesgo.**

De acuerdo con la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS, 1983), el concepto de la evaluación de riesgos: *“Es el uso de los datos y observaciones científicas para definir los efectos para la salud o los ecosistemas causados por la exposición a materiales o situaciones peligrosas”*.

La evaluación de riesgo, además, recoge información multidisciplinaria como, por ejemplo: la toxicología, epidemiología, ecología, química, física, matemáticas, entre otros (INS, 2003).

Dentro de las metodologías para realizar un correcto estudio de análisis de riesgo, se cuentan con las propuestas por las Agencia de Protección Ambiental

(EPA, por sus siglas en inglés) y la propuesta por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades del Departamento de Salud Pública (ATSDR, por sus siglas en inglés). Estas metodologías fueron realizadas en Estados Unidos de Norteamérica y adaptadas a su realidad; para el caso de América Latina se trabajó una propuesta realizada por Díaz Barriga (1999) y ATSDR (2008), y avalada por la Organización Mundial de la Salud, cuya alternativa adapta los puntos más resaltantes de la metodología estadounidense a la condición y necesidad de los países de América Latina.

La metodología propuesta por la OPS/OMS para América Latina permite una inspección rápida, económica pero confiable; ésta comprende el estudio de las rutas más importantes y solo se analizan los contaminantes críticos. Así tenemos que luego de la fase de inspección, se priorizan los sitios contaminados, con el propósito de darle a cada sitio un valor específico. El valor de esta calificación permite ubicar a los sitios inspeccionados en tres niveles de riesgo iniciales: bajo, alto y muy alto. Así se proponen tres acciones diferentes:

- Vigilancia ambiental para los sitios de bajo riesgo,
- Evaluación de exposición para los sitios de alto riesgo, y
- Evaluación de exposición y restauración inmediata para los sitios de muy alto riesgo.

Una de las siete categorías dentro de la metodología de la OPS/OMS para determinar un sitio como “peligroso” comprende la actividad minero metalúrgica; donde se señala que las “minas, fundiciones, o electrolíticas metalúrgicas, se deben considerar como sitios peligrosos hasta que se demuestre lo contrario. La minería genera residuos metálicos que pueden contaminar especialmente el suelo y las

fuentes de agua. Las fundiciones y las electrolíticas pueden contaminar los sitios vecinos a ellas, por la generación de polvos metálicos y en algunos casos por la emisión de gases tóxicos como el bióxido de azufre” (Díaz-Barriga, 1999)

Los metales se obtienen como un producto de la explotación de los minerales, cuyos procesos pueden ser pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos. Posterior a ello, se procede a una etapa de fundición y refinación; sin embargo, desde la etapa de construcción del proyecto se evidencia impactos sobre el ambiente, siendo los principales impactos sobre el agua, suelo y aire. Estos impactos se mantienen a lo largo de la vida de la operación minera, muchos de los cuales, sin las medidas de mitigación adecuadas, originan un daño ambiental. Ghersi (2004) define el daño ambiental como la pérdida, disminución o degradación significativa de uno o más de los componentes o compartimientos ambientales.

Durante la vida de la unidad minera, el impacto sobre la calidad de las aguas puede provenir de la exposición de las paredes del tajo abierto a la oxidación por el aire y originar agua ácida, o quizás, las aguas de lluvia (llamadas aguas de no contacto) podrían entrar en contacto con superficies contaminadas y éstas llevar la carga metálica hacia las quebradas. Asimismo, es importante señalar que, el Perú por su naturaleza mineralógica, mantiene en las aguas de manera natural, metales pesados, producto de procesos geológicos naturales, como por ejemplo, tenemos al arsénico que se mantiene de manera natural en las aguas de diferentes zonas del Perú debido a ascensos de fluidos magmáticos e hidrotermales, emisiones volcánicas a la atmósfera o por la meteorización. (Bernex, 2015). Además de ello, la presencia de los pasivos mineros de la ex mina Santo Toribio, afectarían la calidad de las aguas de las quebradas circundantes a la unidad minera Pierina.

### 1.2.3. Arsénico.

El arsénico (As, número atómico 33, peso atómico 74,922) es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrósfera y en la biósfera (~ 5 x 10<sup>-4</sup> % de la corteza terrestre) (Litter, 2009). La combinación de este elemento con oxígeno, cloro y azufre forma compuestos inorgánicos; mientras que su combinación con carbono o hidrógeno forma compuestos orgánicos. Este elemento se encuentra como impureza de otros metales como cobre, plomo, zinc y oro.

Si bien una gran cantidad de arsénico presente en el ambiente proviene de fuentes naturales (actividad biológica, meteorización, emisiones volcánicas), las actividades humanas también hacen importantes contribuciones que son reflejadas en los procesos industriales (minería, fundición de metales, pesticidas, conservantes de la madera, etc.) (Litter, 2009; OMS, 2012; Bernex, 2015). Fernández-Caliani (2019) indicó que las aguas contaminadas con drenaje ácido de mina, que contiene altas concentraciones de arsénico, impacta sobre éstas y sobre el suelo, aumentando las probabilidades de un impacto a la salud por exposición ambiental y ocupacional; por la biodisponibilidad total del elemento tóxico.

Khan (2019) en su recopilación de estudios respecto al arsénico, indicó que niveles extremadamente altos de este metal fueron detectados en fuentes de agua que es usado como bebida (manantiales, lagos, ríos, entre otros) en muchos países de América Latina, entre ellos, incluido Perú, y además estima que al menos 4,5 millones de personas se encuentran utilizando agua contaminada con arsénico en concentraciones mayores a 50 ug/L.

Si bien hay escasas investigaciones nacionales respecto al impacto global del arsénico a la salud en la población peruana, en una investigación realizada por George (2014), tomó datos puntuales de agua potable de 12 distritos del Perú, evidenció que el 86% de las muestras excedieron la concentración recomendada por la OMS para agua de bebida (10 ug/L); Custodio (2020) realizó un estudio sobre el río Mantaro, las concentraciones de metales pesados y la afectación a la salud de las poblaciones que utilizan el agua del río como agua de bebida y por exposición dermal.

#### **1.2.3.1. Efectos en la salud del arsénico.**

La exposición a la salud por la exposición al arsénico puede causar disnea, taquicardia, náuseas, insuficiencias renales; por una exposición crónica (Castañares, 2001); así como también enfermedades neoplásicas malignas; por lo que fue este uno de los motivos de la decisión de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de reducir cinco veces el límite máximo admisible: de 0,05 a 0,01 ppm (partes por millón) (AJE, 1994).

Además, la clasificación de carcinogenicidad para el arsénico se encuentra dentro del grupo A (carcinógeno humano conocido) para la Agencia para la Conservación del Ambiente (EPA).

En los humanos, la ingesta crónica de arsénico puede provocar cáncer de hígado, piel, pulmón, próstata, riñón y vejiga, siendo el cáncer de pulmón el más conocido asociado con la exposición al arsénico, especialmente la relación entre este cáncer y la exposición a altos niveles. La toxicidad del arsénico depende de su forma y su estado de oxidación, además de otros factores, tales como dosis,

duración y frecuencia de exposición, especie biológica en estudio; edad; sexo; sensibilidad individual; genética; y factores nutricionales (Medina-Pizzali, 2018). Asimismo, la asociación entre el cáncer de vejiga y el cáncer de hígado con el arsénico en agua potable ha sido verificada a altas concentraciones de arsénico (Hong, 2014; Lin, 2013).

Cabe resaltar un estudio realizado por Custodio (2020) en el río Mantaro, afectado por las descargas de diversas unidades mineras, sobre las concentraciones de metales pesados (incluido el arsénico) y el riesgo a la salud, encontrando que la peligrosidad fue mayor en niños que en adultos, un 43% de la población podría tener efectos de riesgo no carcinogénicos, y el riesgo de cáncer por ingestión del agua en niños varía de un riesgo medio a alto y en adultos desde un riesgo bajo a alto, cabe señalar que este estudio incorporó además la exposición por vía dérmica.

#### **1.2.4. Cadmio.**

El cadmio es un elemento no esencial para los sistemas biológicos, y existe como contaminante en los alimentos, agua o aire. Su toxicidad en humanos ha sido objeto de múltiples controversias desde hace unos cincuenta años. Los antecedentes de la toxicidad del cadmio se remontan a 1942, donde se han descrito algunos casos de osteomalacia entre trabajadores de una fábrica productora de baterías en Francia. Años más tarde, Friberg (1950) relacionó la aparición de disfunción renal, daño renal y proteinuria en trabajadores del mismo tipo de fábrica. Por otra parte, el cadmio se reveló como el factor responsable de la enfermedad ósea “itai-itai”, en el año 1955 (Repetto, 1995).

El cadmio presente en el medio ambiente es resultado de la liberación por diferentes industrias a la atmósfera; posteriormente se distribuye a los distintos compartimientos ambientales. El polvo de la atmósfera se deposita sobre la tierra y es transportado por los ríos hacia el mar donde se encuentra la mayor reserva del metal. Durante el transporte a través de los diferentes compartimientos el metal puede permanecer en otros lugares del medio ambiente por largos o cortos periodos de tiempo, aumentando así el riesgo de absorción y aumentando los efectos adversos (Repetto, 1997).

El empleo de las baterías y los fertilizantes que contienen cadmio se traduce en un aumento del consumo total del metal. Las fuentes que producen una mayor liberación de cadmio son las combustiones de aceites y carbones y las plantas incineradoras. Otra fuente importante de contribución es el uso de fertilizantes obtenidos a partir de sedimentos o rocas ricos en cadmio. La exposición también se puede dar a través de líquidos, ya sea por las cañerías que contienen cadmio en sus soldaduras o por el agua que ha sido contaminada por las fábricas que tiran sus desechos al río (fábricas de acabado de metales, electrónica, manufactura de pigmentos, entre otros) (Pérez García, 2011).

En el agua, el cadmio puede mostrarse en diversas especies químicas. Así en aguas dulces suele estar como ion libre y si las aguas se encuentran alcalinas la forma normal es el carbonato. En aguas de mar, debido al alto contenido en sal, el cadmio se compleja con el cloro aumentando las formas complejas a medida que aumenta el contenido salino. En ríos, la concentración de cadmio disuelto es relativamente alta (10-500 mg/L) encontrándose generalmente unido a material particulado.

Estudios analíticos sobre niveles de cadmio en sedimentos de aguas demuestra una gran variabilidad de valores; así en el caso de sedimentos de ríos y lagos la concentración es relativamente baja (0.005-0.5 mg/kg) aumentando incluso en algunos casos a 30 veces en los sedimentos en suspensión como resultado de la contaminación. Los sedimentos marinos contienen niveles generalmente del orden de 0.3 mg/kg, aunque se han observado en algunos casos, Concentraciones 60 veces más altas en zonas próximas a desembocaduras de ríos contaminados (Repetto, 1997).

#### **1.2.4.1. Efectos en la salud del cadmio**

El cadmio ocupa el sexto lugar en la lista de la Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades, razón por la cual es considerada como interés toxicológico. De manera natural, la hoja de tabaco acumula altas concentraciones de cadmio, por lo que fumar en espacios cerrados aumenta considerablemente el cadmio en el ambiente. Otro aspecto en resaltar es que, según investigaciones de Pérez García (2011), las personas que tienen bajas reservas de hierro son vulnerables a los efectos adversos del cadmio.

La intoxicación por cadmio se manifiesta en una variedad de patologías que incluyen: insuficiencia y lesión renal, presión arterial alta, lesiones pulmonares, lesiones óseas, disfunción sexual, carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis. Dependiendo de la dosis y de la ruta de entrada resultan diferentes tanto los efectos agudos como de los crónicos (Kjellström, 1986). Por vía inhalatoria, el progresivo aumento en la concentración de cadmio en el aire ambiental origina: ligera irritación pulmonar y leve daño renal, bronquitis crónica, progresivo daño renal, cambios en el metabolismo del calcio y la vitamina D. (Repetto, 1997)

Mager (1998) indicó que la ingestión de aguas contaminadas con cadmio en concentraciones que superan los 15 mg ppm/L tiene síntomas de un envenenamiento por alimentos. Dichos síntomas incluyen náuseas, vómitos, dolores abdominales y en algunos casos, diarrea. Las fuentes de la contaminación por alimentos se pueden relacionar a la cristalización del cadmio contenido en los utensilios de cocina (ollas y sartenes) y las soldaduras usadas en las máquinas expendedoras de bebidas frías y calientes.

Con respecto al cáncer, se ha demostrado relación dosis-respuesta y el incremento de la mortalidad del cáncer en varios estudios epidemiológicos de trabajadores expuesto a cadmio. La interpretación es complicada por la ocurrencia de exposiciones a otros metales donde se sospechan que también podrían ser carcinogénicos. (Mager, 1998; Pérez García, 2011)

La International Agency for Research on Cancer (IARC) en 1993 evaluó el riesgo de cáncer debido a la exposición a cadmio y concluyó que debe considerarse como un carcinogénico humano. Desde la evidencia epidemiológica adicional se tiene resultados contradictorios, y una posible carcinogénesis del cadmio por lo tanto permanecerá incierto. La EPA lo incluye dentro del Grupo B1 (probablemente carcinogénico en seres humanos).

#### **1.2.5. Cobre.**

El cobre es un mineral rojizo que puede encontrarse de manera natural en el suelo, rocas, agua, sedimentos; incluso en el aire a concentraciones muy bajas. Su concentración promedio en la corteza terrestre es de aproximadamente 50 ppm

(partes por millón) en suelo. Puede presentarse en forma de dos isótopos estables  $Cu^{63}$  y  $Cu^{65}$ , los cuales están presentes en la naturaleza en un 69% y 31%, respectivamente, aunque este último se utiliza como trazador del metabolismo del cobre (Bellido, 2006).

La presencia de cobre en aguas de consumo puede ser de origen natural o antropogénico, éste último por efecto de la corrosión/lixiviación a causa de las características fisicoquímicas de la matriz del agua que entra en contacto con las tuberías que contienen cobre. La presencia de cobre en aguas naturales depende de muchos factores y procesos. Los factores importantes incluyen la dureza y alcalinidad del agua, la fuerza iónica, el pH y el potencial oxido-reducción (redox). Los procesos que pueden afectar el destino del cobre en los sistemas acuáticos incluyen: formación de complejos con ligandos orgánicos e inorgánicos; sorción en óxidos metálicos, arcillas y material orgánico particulado; bioacumulación e interacción entre sedimentos y agua (Sancha, 2012).

Además, el cobre en su liberación antropogénica puede ser liberado por la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura. El cobre de origen natural es liberado a través de la actividad volcánica, por acción del viento (polvo), vegetación en descomposición e incendios forestales. Finalmente, es liberado al ambiente tiende a adherirse a partículas de materia orgánica, arcilla, tierra o arena. (ASTDR Cobre, 2014)

En el medio acuático natural, el cobre aparecerá, principalmente, en forma de Cobre (II). Entre las especies divalentes, sólo una pequeña parte se presentará como “libre” ( $Cu^{++}$ ), y la mayoría de ellas se adsorberán en partículas suspendidas o formarán complejos con varios ligandos. Los ligandos más importantes se

consideran a los hidróxidos y carbonatos, así como el amonio, cloruros y sulfatos, que son comunes en aguas naturales. En el caso de orgánicos, los principales ligandos son el ácido húmico y ácido fúlvico que constituyen la materia orgánica natural del agua. Por lo tanto, casi todo el cobre presente en aguas naturales formará complejos que pueden ser adsorbidos por varios óxidos metálicos hidratados (Fe, Al, Mn) (Sancha, 2012).

El cobre no representa un problema a la salud en el agua si se tiene las Concentraciones establecidas, pero le imparte un sabor desagradable y la colorea a partir de 1 a 5 mg/L. De hecho, es esencial para el organismo, el cual requiere aproximadamente 2 mg por día (Jiménez, 2001). La US Environmental Protection Agency (EPA) requiere que el agua potable no contenga más de 1.3 mg/L de agua (ASTDR Cobre, 2014).

#### **1.2.5.1. Efectos en la salud del cobre.**

El consumo de cobre es esencial para el organismo humano, pero los niveles altos de cobre pueden ser dañinos. La ingestión de niveles altos puede producir náusea, vómitos y diarrea. Cantidades muy altas de cobre pueden dañar el hígado y los riñones y pueden aun causar la muerte. (ASTDR Cobre, 2014)

La absorción de cobre por el organismo humano, vía oral, cuenta con promedio entre 2.5 – 5 mg de cobre al día, obtenido de fuentes dietéticas, lo cual depende mucho de la geografía, clima, química del suelo, dieta, agua, dureza del agua y pH (EPA, 1984).

En exposiciones crónicas, los síntomas incluyen temblores, babeos, descoordinación, convulsiones, anormalidades conductuales, anemia, ictericia y eventualmente la muerte.

No existen reportes de teratogenicidad en humanos o en animales asociados con la exposición oral en la bibliografía consultada.

#### **1.2.6. Plomo.**

El plomo es un metal tóxico presente de origen natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha provocado una grave contaminación ambiental en muchas partes del mundo. Las principales fuentes de contaminación ambiental incluyen la minería, la metalurgia, la industria de fabricación y reciclaje y, el uso continuo de pinturas y combustible con plomo en algunos países (OMS Nota descriptiva, 2015).

En los últimos tres siglos, debido a las actividades humanas, los niveles ambientales de este metal se han multiplicado por más de 1000 veces. El mayor incremento se produjo entre los años 1950 al 2000, reflejando el mayor uso de gasolina con plomo en todo el mundo. El plomo también puede ingresar al ambiente a través de las minas y fábricas que producen o usan plomo, aleaciones o compuestos del mismo. Durante la combustión de carbón, petróleo o desechos, se libera plomo a la atmósfera. Antes de que se prohibiera el uso de gasolina con plomo, la mayor parte del plomo liberado al ambiente provenía de la combustión vehicular (ATSDR Lead, 2007).

Según el Departamento de Salud de E.E.U.U (Agencia para Sustancias Tóxicas – ATSDR), en 1979 los automóviles liberaron 94.6 millones de kilogramos de plomo al aire en los Estados Unidos. En 1989, cuando el uso de plomo era

limitado (pero no prohibitivo), los automóviles liberaron solamente 2,2 millones de kg al aire. Dado que la EPA prohibió el uso de gasolina con plomo para el transporte por carretera en 1996, la cantidad de plomo liberado en el aire ha disminuido aún más.

Baird (2001) indica que antes de la década de 1950, el plomo también fue usado en plaguicidas. Una vez que el plomo entra en la atmósfera (y si esta es pequeña), puede viajar largas distancia y puede ser removido del aire por la lluvia y por partículas que caen a la tierra o al agua superficial. Una vez que el metal pesado cae al suelo, se adhiere fuertemente a las partículas del mismo y permanece en la capa superior. Cuando las partículas del suelo son removidas por la lluvia, una pequeña concentración de plomo ingresa a los ríos, lagos y arroyos. Esto significa tener casos como lo acontecido en México, según lo señalado por Baird (2001), donde el plomo atmosférico emitido por los vehículos es la causa (en su mayor parte) de la contaminación por plomo en sangre en los niños; parte del compuesto químico también ingresa indirectamente a través de los alimentos en la que se ha incorporado plomo; el óxido de plomo en la atmósfera se deposita en el suelo, agua, las frutas o en los vegetales frondosos, con lo que puede entrar en la cadena alimentaria.

La Organización Mundial de la Salud, en su Nota Informativa, del año 2015, describió que los infantes son particularmente vulnerables a los efectos tóxicos del plomo, y que pueden tener consecuencias graves y permanentes en su salud, afectando especialmente el desarrollo del cerebro y del sistema nervioso. El plomo también puede causar daños a largo plazo en adultos, por ejemplo, aumentando el riesgo de hipertensión arterial y daño renal. En las embarazadas, la exposición a

altos niveles de plomo puede provocar aborto natural, muerte fetal, parto prematuro y bajo peso al nacer, y provocar malformaciones fetales leves.

Aunque el uso de plomo en la industria ha aumentado significativamente, las muestras de cabello y la evidencia de otras fuentes indican que el nivel de este metal tóxico en el cuerpo humano ha disminuido en las últimas décadas. Esto se debe al uso de menos plomo en las tuberías y en otros productos que entran en contacto con alimentos o bebidas, además de la prohibición de la gasolina con plomo (Manahan, 2007).

#### **1.2.6.1. Efecto en la salud del plomo.**

La intoxicación aguda por plomo puede causar una disfunción grave de los riñones, el sistema reproductivo, el hígado, el cerebro y el sistema nervioso central, e incluso provocar enfermedades e incluso la muerte. Se cree que el envenenamiento por plomo causado por la exposición ambiental ha causado que muchos niños tengan retraso mental. El envenenamiento leve por plomo puede causar anemia. Los pacientes pueden experimentar dolores de cabeza y dolores musculares y, a menudo, pueden sentirse cansados e irritables (Manahan, 2007).

Los efectos de toxicidad del plomo pueden darse en concentraciones menores a 10ug/dL en neonatos y niños, y que incluyen una disminución en la función cognitiva (retraso mental, baja estatura, disminución de la audición, problemas neuropsicológicos, descenso en el coeficiente intelectual, entre otros). Asimismo, se evidencia que poblaciones aledañas a relaves mineros presentan altos niveles de contaminación por plomo, que fueron asociados a problemas de retraso mental en niños menores de 10 años (Astete, 2009).

En el país se cuenta con estudios epidemiológicos muy importantes realizados a la calidad del aire y la toxicidad de plomo, especialmente en los puntos de Puerto Nuevo (Callao) y La Oroya, realizados por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

#### **1.2.7. Zinc.**

Es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. Se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y en todos los alimentos. Este elemento ha sido usado en China e India desde tiempos medievales. Desde el siglo XIII hasta finales del siglo XVI, el zinc metálico y el óxido de zinc fue producido en la ciudad de Zawar, India. La forma metálica fue utilizada para hacer latón y el óxido de zinc fue usado en la medicina (Lew, 2008).

Este metal es encontrado en la corteza terrestre en una concentración aproximada de 40 mg/Kg. Las principales fuentes antropogénicas son la minería y refinería, principalmente de la voladura, chancado del mineral y flotación húmeda (Burke & Krieger, 2001).

En el aire, el zinc se encuentra presente como partículas de polvo muy finas que eventualmente precipitan sobre tierra o agua. La lluvia o la nieve ayudan a remover este metal del aire. En el agua, el nivel del zinc disuelto puede incrementarse si la acidez del agua aumenta (Singh, 2005).

##### **1.2.7.1. Efecto en la salud del zinc.**

Según la recopilación de Burke & Krieger (2001), concentraciones significativas de zinc se encuentran en el páncreas, próstata, riñón, hígado, músculos y retina.

La US EPA recomienda no más de 5 ppm de zinc en aguas que han de ser utilizadas como agua de bebida.

Los síntomas agudos por envenenamiento por zinc son inicialmente gastrointestinales (Burke & Krieger, 2001). Los síntomas incluyen náusea, vómitos, dolor abdominal, diarrea y hematemesis.

La exposición crónica a zinc puede producir desórdenes de las sales del organismo y anemia. No existen muchos estudios relacionados a una exposición crónica por zinc.

El zinc además es considerado un elemento no teratogénico y no carcinógeno. (Singh, 2005; Burke & Krieger, 2001, ATSDR Zinc, 2005)

#### **1.2.8. Ley General de Aguas.**

La Ley General de Aguas (Ley 17752) fue aprobada en el año 1969, con un enfoque básicamente agrario, por haber sido decretado luego de la Ley de Reforma Agraria (Guevara, 2015). En su artículo 27, esta Ley señala que existe un orden según el tipo de necesidad: (Clase I) Para las necesidades primarias y abastecimiento de poblaciones, (Clase II) Para cría y explotación de animales, (Clase III) Para agricultura, (Clase IV) Para usos energéticos, industriales y mineros; y (Clase V) Para otros usos. Su posterior modificación aprobada mediante Decreto Supremo N° 007-83-SA (1983), reclasifica la calidad de los cuerpos de agua en seis clases: Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección (Clase I), Aguas de abastecimientos domésticos con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración (Clase II), Aguas para

riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales (Clase III), Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares) (Clase IV), Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos (Clase V) y Aguas de zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial (Clase VI).

El agua que discurre por las quebradas fue clasificada como Clase III (Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales). Las quebradas fueron descritas como cursos de agua o tramos de ellos que, por las características físicas, químicas y bacteriológicas, podrán ser utilizados para fines de agua potable, previo tratamiento y para fines agrícolas. Esta clase de cursos de agua o tramos de ellos, solo podrán recibir descargas con o sin tratamiento, que no alteren en la zona de vertimiento, sus características naturales, con excepción de la temperatura (Ley N° 17752).

La Ley N° 17752 fue derogada en el año 2008, y reemplazada por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, siendo la Categoría 3 la que corresponde a la Clase III de la Ley antes mencionada.

**Tabla 1.** Ley General de Aguas (Ley N° 17752)

Parámetro	Unidad	Uso de recurso de agua					
		I	II	III	IV	V	VI
<b>Límites bacteriológicos</b>							
Coliformes totales	NMP/100 ml	8.8	20,000	5,000	5,000	1,000	20,000
Coliformes fecales	NMP/100 ml	0	4,000	1,000	1,000	200	4,000
<b>Límites de demanda bioquímica de oxígeno y de oxígeno disuelto</b>							
Oxígeno disuelto	mg/L	3	3	3	3	5	4
DBO	mg/L	5	5	15	10	10	10
<b>Límite de sustancias potencialmente peligrosas</b>							
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.05	----	0.005	0.01
Mercurio	mg/L	0.002	0.002	0.01	----	0.0001	0.0002
PCB	mg/L	0.001	0.001	-	----	0.002	0.002
Esteres Estalatos	mg/L	0.0003	0.0003	0.0003	----	0.0003	0.0003
Cadmio	mg/L	0.01	0.01	0.05	----	0.0002	0.004
Cromo	mg/L	0.05	0.05	1.00	----	0.05	0.05
Níquel	mg/L	0.002	0.002	---	----	0.002	---
Cobre	mg/L	1.0	1.0	0.50	----	0.01	----
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.1	----	0.01	0.03
Zinc	mg/L	5.0	5.0	25.0	----	0.02	---
Cianuro (CN)	mg/L	0.2	0.2	---	----	0.005	0.005
Fenoles	mg/L	0.0005	0.001	---	----	0.001	0.1
Sulfuros	mg/L	0.001	0.002	---	----	0.002	0.002
Arsénico	mg/L	0.1	0.1	0.2	----	0.01	0.05
Nitratos (N)	mg/L	0.01	0.01	0.1	----	N.A.	N.A.

### 1.2.9. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Estos estándares fueron aprobados mediante el D.S. N° 002-2008-MINAM y su posterior modificatoria mediante D.S. N° 015-2015-MINAM, cuyo objetivo, indicado textualmente es el siguiente: “...establecer 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 representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente...”

Cabe resaltar que, mediante el principio de gradualidad, y aprobado mediante el D.S. N° 015-2015-MINAM (Modifican los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Nacionales para Agua y establecen disposiciones

complementarias para su aplicación) se establece que hasta que no se haya aprobado el Plan Integral para la Adecuación (PIA) a los ECA para agua, las actividades seguirán vigentes según lo establecido en la Ley de General de Aguas (Ley N° 17752 y sus modificaciones).

Los ECA aprobados en el D.S. N° 002-2008-MINAM y su posterior modificatoria mediante D.S. N° 015-2015-MINAM serán utilizados en el presente estudio, los que corresponden a la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, cuyos parámetros son comparados con los correspondientes para el riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, según consta en los compromisos asumidos por la empresa minera y cuyos valores son los siguientes:

**Tabla 2.** Estándares de Calidad de Agua (D.S. N° 015-2015-MINAM) – Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales

<b>Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	uS/cm	<2000
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	15
Demanda química de oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.06
Oxígeno disuelto	mg/L	>=4
pH	Unidad de pH	6.5 - 8.5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0.05
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0.05
Bario total	mg/L	0.7
Boro	mg/L	0.5 – 6
Cadmio	mg/L	0.005
Cianuro wad	mg/L	0.1
Cobalto	mg/L	0.05
Cobre	mg/L	0.2
Cromo (6+)	mg/L	0.1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2.5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0.2
Mercurio	mg/L	0.001
Níquel	mg/L	0.2
Plata	mg/L	0.05
Plomo	mg/L	0.05
Selenio	mg/L	0.05
Zinc	mg/L	2
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0.001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrín	ug/L	0.004
Clordano	ug/L	0.3

Fuente: D.S. N° 005-2015-MINAM

### **1.3. Área de estudio.**

Mediante el análisis documental se obtuvo la siguiente información que describe las condiciones del lugar donde se realizó el estudio.

El área de estudio para este proyecto está definida por los puntos de monitoreo ubicados en las quebradas Pacchac y Pucauran, cuyas aguas desembocan en el río Santa, y que se encuentran ubicadas en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz, departamento de Ancash.

Estos puntos de monitoreo fueron establecidos en sus Estudios de Impacto Ambiental y las mediciones son presentadas a la Autoridad competente. Los monitoreos de agua son realizados por personal de la empresa, gobierno local y representantes de las comunidades que son influenciadas por estos caudales (monitoreo participativo). Los análisis realizados son entregados a las partes interesadas para su conocimiento, así mismo son entregados al Ministerio de Energía y Minas para su seguimiento programado.

La unidad minera Mina Pierina se ubica aguas arriba de las quebradas Pacchac y Pucaurán, cuyas descargas de agua se vierten en las quebradas mencionadas; además de ello, alrededor de la Mina Pierina, se aprecia la presencia de componentes mineros de minería antigua; ubicados aguas arriba de la mina referida. Estos componentes fueron identificados como pasivos ambientales mineros identificadas e incluidas en la Resolución Ministerial N° 290-2006-MEM/DM (Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros) y su posterior actualización mediante Resolución Ministerial N° 010-2019-EM/DM (Actualizan el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros) incluidas en el Anexo 4 del presente estudio. Estos componentes mineros son conocidos como la “ex unidad

minera Santo Toribio 2”, los cuales abarcan desde relaves mineros abandonados, tajos, socavones, desmonte de mina, entre otros; que no se encuentran cerrados, provocando efluentes de drenajes ácidos que desembocan en la quebrada Pacchac. La existencia de esta mina data del siglo XIX, según lo cita Antonio Raimondi (Raimondi, 1936) y la contaminación que ha generado a través de los años fueron registrados en otros estudios. (Valdivia, 2018; Paredes, 2004; Villanueva, 2003).

### **1.3.1. Clima y meteorología**

La mina Pierina se ubica en la cuenca del río Santa. El caudal promedio mensual más bajo previsto en el río Santa, para un año seco en 20 años es de 11 m<sup>3</sup>/s. El aporte de flujo de las cuencas que drenan desde el área de la mina, Pacchac, Pucaurán y Llancash, es muy bajo. Las diluciones estimadas en el río Santa varían de 95:1 a 1,587:1. Estos altos niveles de dilución volumétrica son un reflejo de la pequeña extensión de las cuencas en relación con la cuenca total del río Santa (EIA Mina Pierina, 2003).

Según la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental realizado en el año 2003 (Optimización de la producción), se describen dos principales regiones climáticas en el área: la región de Clima Frío, a una altura de entre 3200 y 3800 msnm., y la región de Clima de Tundra Seco de la Alta Montaña, entre 3,800 y 4,800 msnm. La temperatura oscila entre -7 y 21 °C. Las precipitaciones se inician en el mes de octubre y culminan en abril, en tanto que durante los meses de estiaje (mayo a septiembre) disminuyen considerablemente.

Desde 1997 hasta la actualidad, la precipitación pluvial mensual ha variado desde escasos milímetros hasta 375 mm.; mientras que, las precipitaciones anuales han variado entre 805 y 1512 mm.

### **1.3.2. Descargas de agua al medio ambiente**

- a. Al río Santa: El agua que eventualmente se descarga al río Santa es agua tratada proveniente de la poza de limpieza y se origina por un desbalance en la capacidad de los embalses y un exceso de precipitaciones que debería ser descargada hacia el río Santa. La mina ha implementado un programa de cobertores en la plataforma de lixiviación, lo que le permite mantener un control del volumen de agua de lluvia y de proceso con el objetivo de no descargar y mantener una situación de descarga cero. Cabe señalar que la descarga se realiza mediante una autorización emitida por DIGESA y además este trabajo se realiza por una tubería de descarga que desemboca directamente al río.
- b. A la quebrada Pacchac: Las aguas de escorrentía de origen pluvial son derivadas por un sistema de canales alrededor de las pilas de desmonte y de las plataformas de lixiviación, con la finalidad de prevenir su posible degradación.
- c. A la quebrada Pucauran: Las aguas de precipitación pluvial son captadas en el tajo principal mediante canales de coronación, así mismo, se detalla en su EIA Mina Pierina (1997) que esta descarga contendrá agua de bombeo del agua subterránea del tajo y luego será descargada en la zona superior de la quebrada Pucaurán.

El programa de muestreo de calidad de agua de la línea base ambiental realizada en el mes de octubre de 1996 (EIA Mina Pierina, 1997) incluyó las quebradas Pacchac y Pucauran para conocer la calidad del agua inicial (antes del establecimiento de la mina) y el aporte del desarrollo

existente incluyendo las minas abandonadas u operativas, áreas impactadas por la agricultura y ganadería y otras actividades humanas, a la fecha del levantamiento de la información.

Respecto al agua subterránea que aflora como manantiales y filtraciones y aporta a las quebradas Pacchac y Pucauran, el estudio de impacto ambiental indicó que su uso como recurso por la población local para satisfacer sus necesidades de consumo doméstico, agrícola y consumo de animales; constituía un recurso importante durante la estación seca.

Los impactos potenciales sobre la calidad de agua superficial identificados para el proyecto en la etapa de operación sugieren que podrá deberse por el transporte de sedimentos, por el drenaje ácido de roca, derrames accidentales y de la descarga del agua tratada.

#### **1.3.4. Quebrada Pacchac.**

La Subcuenca Pacchac empieza en una cuenca ancha sobre los 4000 msnm que se estrecha en un valle en forma de V bajo los 3800 msnm aproximadamente. La longitud del curso es aproximadamente 7000 m, con una pendiente media de 17.5% (EIA, 2003). La subcuenca de Pacchac es afluente del río Santa, en el cual desemboca por su margen izquierda en la cota 2,870 msnm. El área de drenaje de esta subcuenca tiene una superficie de 10.4 km<sup>2</sup>, parte de los cuales se encuentran ocupados por los componentes de la mina Pierina, principalmente por el depósito de desmonte y la pila de lixiviación.

Actualmente, debido a las actividades de la mina Pierina, el patrón de drenaje superficial de esta subcuenca ha sido modificado por el sistema de manejo

de aguas de dicha unidad minera, de tal modo que se han construido canales perimetrales para evitar el ingreso de aguas de escorrentía hacia las instalaciones mineras (EIA Mina Pierina, 1997; EIA Mina Pierina, 2003).

Naturalmente, la naciente de esta quebrada se ubica sobre la cota 4,400 msnm, en la ladera oriental del cerro Chontarangra, desde donde el cauce principal de 4.9 km de longitud, se desarrolla en dirección suroeste a noreste hasta su desembocadura en el río Santa. No posee afluentes importantes a lo largo de su recorrido. Históricamente, no se ha registrado hasta 1996 ninguna actividad minera asociada a la quebrada.

Su régimen hidrológico es irregular, supeditado a la precipitación estacional que se presenta en la cuenca (Modificación Cierre de Minas Pierina, 2014). Con respecto a los caudales, en el año 2013, la empresa Khlon Crippen Berger determinó los caudales promedio por mes entre los años 1997 al 2011; tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Caudales medios mensuales de la quebrada Pacchac (L/s) entre los años 1997 a 2011

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Promedio</b>
<b>1997</b>	314.5	512.1	494.4	113.7	7.5	0.3	0.3	0	21.9	46.7	151.5	222.1	<b>157.1</b>
<b>1998</b>	489.2	535.3	464.1	297.3	18.7	9.1	0	4.9	35.6	158.7	76	134.1	<b>185.3</b>
<b>1999</b>	302.5	550.1	260.4	167.8	60	8.7	0.1	1.2	85.1	42.8	127.7	162.2	<b>147.4</b>
<b>2000</b>	205.6	516.7	439.1	197.6	53.6	0	0.9	16	38.5	71.8	45.3	280.9	<b>155.5</b>
<b>2001</b>	505.6	352.9	675.3	135	44.8	2.1	0	0	80.4	87.7	211.6	136.6	<b>186</b>
<b>2002</b>	271.1	328.8	514.3	153.4	9.6	2.1	0.1	0	24.6	152.4	201.3	206	<b>155.3</b>
<b>2003</b>	212.2	275.3	412.9	130.2	32.1	7	1.8	3	13.5	64.8	58.7	280.1	<b>124.3</b>
<b>2004</b>	82.4	434.8	268.3	126	31.8	7.8	7.1	0.1	70	151.2	143.6	191.5	<b>126.2</b>
<b>2005</b>	182.8	300.7	427.4	107.3	3.2	0	0	15.8	27.9	68.4	23.6	215.2	<b>114.4</b>
<b>2006</b>	314.3	348.7	646.9	231	13.7	20.4	3.6	13.6	29	101.5	125.4	264.7	<b>176.1</b>
<b>2007</b>	237.1	194.7	560.9	265.8	42.1	0.4	4.9	1.9	24.9	102.5	130.9	114.5	<b>140.1</b>
<b>2008</b>	454.8	469.3	402.4	129.2	3.2	7.2	2.8	4.7	26.9	157.8	78.1	87.1	<b>152</b>
<b>2009</b>	469.3	464.2	651.9	258	39	0.7	1.6	3.6	7.3	182.4	182.4	198.4	<b>204.9</b>
<b>2010</b>	230.8	242.7	402.2	139	28.8	2.3	0.3	4.3	37.3	43.7	127.8	320.7	<b>131.7</b>
<b>2011</b>	266.7	234.2	361	232.5	0.3	0.1	0.3	0.1	23.2	25.5	129	172.4	<b>120.4</b>
<b>Prom.</b>	<b>302.6</b>	<b>384</b>	<b>465.4</b>	<b>178.9</b>	<b>25.9</b>	<b>4.5</b>	<b>1.6</b>	<b>4.6</b>	<b>36.4</b>	<b>97.2</b>	<b>120.9</b>	<b>199.1</b>	<b>151.8</b>
<b>D. Est.</b>	<b>125.2</b>	<b>120.4</b>	<b>127.8</b>	<b>62.7</b>	<b>19.4</b>	<b>5.6</b>	<b>2.1</b>	<b>5.8</b>	<b>23.4</b>	<b>51.3</b>	<b>55.5</b>	<b>67.2</b>	<b>55.5</b>
<b>C. Var.</b>	<b>0.41</b>	<b>0.31</b>	<b>0.27</b>	<b>0.35</b>	<b>0.75</b>	<b>1.23</b>	<b>1.35</b>	<b>1.25</b>	<b>0.64</b>	<b>0.53</b>	<b>0.46</b>	<b>0.34</b>	<b>0.7</b>
<b>Máx.</b>	<b>505.6</b>	<b>550.1</b>	<b>675.3</b>	<b>297.3</b>	<b>60</b>	<b>20.4</b>	<b>7.1</b>	<b>16</b>	<b>85.1</b>	<b>182.4</b>	<b>211.6</b>	<b>320.7</b>	<b>244.3</b>
<b>Mín.</b>	<b>82.4</b>	<b>194.7</b>	<b>260.4</b>	<b>107.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7.3</b>	<b>25.5</b>	<b>23.6</b>	<b>87.1</b>	<b>65.7</b>

Fuente: Base de datos MINEM – Elaboración propia

En el Estudio de Impacto Ambiental, presentado en el año 1997 y como parte de su evaluación de impactos, se indicó que el flujo natural de quebrada Pacchac se vería disminuido como resultado de que el agua superficial y subterránea del área de almacenamiento de desmontes y de la plataforma de las pilas de lixiviación serán captadas y tratadas para cumplir las normas para efluentes (R.M. N° 011-96-EM/VMM – Niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos). Esta agua tratada, primero será depositada en una poza de limpieza y luego será descargada en la quebrada Pacchac si se hubiera cumplido las normas de uso de agua o de lo contrario serían conducidas por una tubería central

al Río Santa. Si el agua es llevada al Río Santa, se producirá una reducción en el flujo de la quebrada.

Respecto a las filtraciones provenientes de aguas subterráneas que aportan a la quebrada Pacchac, se pudo identificar cuatro (04) puntos, siendo dos (02) de ellas consideradas como manantiales y llegando a un volumen de 246 L/s durante la temporada de lluvia (entre los meses de febrero y marzo de 1997). La calidad de estas filtraciones obtuvo valores entre 0.001 hasta 0.008 mg/L para el cobre, llegando un valor máximo de 0.308 mg/L para una de las filtraciones. Asimismo, se detectaron altas concentraciones de fierro obteniendo valores entre <0.03 a 0.57 mg/L; llegando hasta 12.76 mg/L en un pozo individual. Las concentraciones de zinc se encontraron entre 0.009 hasta 0.947 mg/L. La concentración de plomo se encontró por debajo del límite detectable (<0.005 mg/L).

Respecto a la calidad del agua superficial, y según los resultados presentados en el EIA Pierina (1997) y comparados con los límites fijados por la Ley General de Aguas, para uso doméstico (Clase I) y uso agrícola (Clase III), se encontró que para la quebrada Pacchac registró elevados niveles de sulfatos, probablemente por la presencia de drenaje ácido de roca de manera natural, el cual coincide con las altas concentraciones de zinc y fierro. Se apreció que, aunque la calidad de agua era pobre, había un uso intensivo de esta agua superficial presente en la quebrada, como uso agrícola, consumo de ganado y consumo humano.

Una actualización de los resultados de calidad de agua superficial se realizó en el 2002, en el estudio de la Optimización de procesos de la Mina Pierina (2003), cuyos resultados fueron comparados con los límites fijados por la Ley General de Aguas, para uso doméstico (Clase I) y uso agrícola (Clase III); cabe resaltar que

estos resultados es cuando la empresa minera ya se encontraba en operación y los registros fueron tomados por un año (2001-2002) de los reportes de monitoreo, tomando el promedio. En estos resultados no se observó mayores variaciones en valores de pH, los niveles de metales (cianuro, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo, níquel y selenio) tampoco presentaron variaciones y se mantuvieron por debajo de los límites permisibles, observándose que las concentraciones de zinc disminuyeron notoriamente de 3,5 a 0,008 mg/L en promedio.

#### **1.3.4. Quebrada Pucauran**

La Microcuenca Pucauran está formada por tres valles en forma de V que convergen entre los 3,200 y 3,000 msnm en un solo cauce. El más largo de estos cauces tiene aproximadamente 3,750 m de longitud con una media pendiente de 24 %. La microcuenca Pucaurán es afluente del río Santa, en el cual desemboca por su margen izquierda en la cota 2,820 msnm. El área de drenaje tiene una superficie total de 8.15 km<sup>2</sup>, parte de esta área es actualmente ocupada por el tajo de la mina Pierina. Como consecuencia de las labores mineras, el patrón de flujo superficial de esta microcuenca se ha visto modificado por canales de contorno que evitan el ingreso del flujo superficial al tajo (EIA Mina Pierina, 1997; EIA Mina Pierina, 2003).

El cauce principal de esta microcuenca tiene 4.6 km de longitud y posee dirección suroeste-noreste. Sus nacientes se ubican en el lado norte de las laderas del cerro Ancoshpunta.

El régimen hidrológico de esta quebrada es irregular debido a la estacionalidad que presenta la precipitación local. Al igual que la quebrada Pacchac, el caudal medio mensual entre los años 1997 al 2011 fue determinado en el estudio

realizado por la empresa Khlon Crippen Berger, tal como se detalla en siguiente tabla.

**Tabla 4.** Caudales medios mensuales de la quebrada Pucauran (L/s) entre los años 1997 a 2011

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
<b>1997</b>	211.8	353.9	356.8	96.7	4.7	0.2	0.2	0	15.2	35.7	115.6	187.9	<b>114.9</b>
<b>1998</b>	329.4	370	334.9	252.9	11.8	5.8	0	3.1	24.8	121.1	58	113.4	<b>135.4</b>
<b>1999</b>	203.7	380.3	187.9	142.7	37.9	5.5	0	0.7	59.3	32.7	97.4	137.2	<b>107.1</b>
<b>2000</b>	138.5	357.2	316.9	168	33.8	0	0.6	10.2	26.8	54.8	34.6	237.5	<b>114.9</b>
<b>2001</b>	340.5	244	487.3	114.8	28.2	1.4	0	0	56	67	161.5	115.5	<b>134.7</b>
<b>2002</b>	182.6	227.3	371.1	130.4	6.1	1.4	0	0	17.1	116.3	153.7	174.2	<b>115</b>
<b>2003</b>	142.9	190.3	298	110.7	20.2	4.5	1.1	1.9	9.4	49.5	44.8	236.9	<b>92.5</b>
<b>2004</b>	55.5	300.6	193.6	107.1	20.1	4.9	4.5	0.1	48.8	115.4	109.6	161.9	<b>93.5</b>
<b>2005</b>	123.1	207.8	308.4	91.3	2	0	0	10.1	19.4	52.2	18	182	<b>84.5</b>
<b>2006</b>	211.7	241	466.8	196.4	8.6	13	2.3	8.7	20.2	77.4	95.7	223.9	<b>130.5</b>
<b>2007</b>	159.6	134.6	404.7	226	26.6	0.3	3.1	1.2	17.3	78.2	99.9	96.8	<b>104</b>
<b>2008</b>	306.3	324.4	290.4	109.9	2	4.6	1.8	3	18.8	120.5	59.6	73.7	<b>109.6</b>
<b>2009</b>	316.1	320.9	470.4	219.4	24.6	0.4	1	2.3	5.1	139.2	139.2	167.8	<b>150.5</b>
<b>2010</b>	155.4	167.8	290.2	118.2	18.1	1.5	0.2	2.8	26	33.4	97.5	271.3	<b>98.5</b>
<b>2011</b>	179.6	161.9	260.5	197.8	0.2	0	0.2	0.1	16.2	19.5	98.5	145.8	<b>90</b>
<b>Prom.</b>	<b>203.8</b>	<b>265.5</b>	<b>335.9</b>	<b>152.2</b>	<b>16.3</b>	<b>2.9</b>	<b>1</b>	<b>2.9</b>	<b>25.4</b>	<b>74.2</b>	<b>92.2</b>	<b>168.4</b>	<b>111.7</b>
<b>D. Est.</b>	<b>84.3</b>	<b>83.2</b>	<b>92.2</b>	<b>53.3</b>	<b>12.3</b>	<b>3.6</b>	<b>1.4</b>	<b>3.7</b>	<b>16.3</b>	<b>39.1</b>	<b>42.4</b>	<b>56.8</b>	<b>40.7</b>
<b>C. Var.</b>	<b>0.41</b>	<b>0.31</b>	<b>0.27</b>	<b>0.35</b>	<b>0.75</b>	<b>1.23</b>	<b>1.36</b>	<b>1.25</b>	<b>0.64</b>	<b>0.53</b>	<b>0.46</b>	<b>0.34</b>	<b>0.7</b>
<b>Máx.</b>	<b>340.5</b>	<b>380.3</b>	<b>487.3</b>	<b>252.9</b>	<b>37.9</b>	<b>13</b>	<b>4.5</b>	<b>10.2</b>	<b>59.3</b>	<b>139.2</b>	<b>161.5</b>	<b>271.3</b>	<b>179.8</b>
<b>Mín.</b>	<b>55.5</b>	<b>134.6</b>	<b>187.9</b>	<b>91.3</b>	<b>0.2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.1</b>	<b>19.5</b>	<b>18</b>	<b>73.7</b>	<b>48.8</b>

Fuente: Base de datos MINEM – Elaboración propia

Respecto a la quebrada Pucauran, se menciona que, se construirán canales de derivación para el agua superficial y orientar su flujo alrededor del tajo abierto. La excavación del tajo abierto y la perforación de pozos perimétricos alterará el flujo natural del agua subterránea y el escurrimiento del agua superficial en el área del tajo abierto. Durante la construcción y operación del tajo abierto las aguas superficiales y subterráneas serán bombeadas para mantener el área lo más seca

posible y mitigar el potencial para producir DAR; si fuera el caso se instalaría un sistema de tratamiento con cal para tratar el agua antes de su descarga. El agua bombeada será descargada en las cuencas de la quebrada Pucauran y del río Llancash.

En la línea base ambiental se identificó agua subterránea que descargaba en aguas superficiales, de los puntos muestreados se identificó un (01) punto que descargaba superficialmente en la quebrada Pucauran, el cual obtenía su mayor caudal en la temporada húmeda llegando a obtener hasta 42 L/s en los meses de febrero y marzo del año 1997; la calidad de esta agua detectó la presencia de arsénico en valores entre 0.005 hasta 0.056 mg/L. El contenido de cobre se halló entre 0.001 hasta 1.146 mg/L, el zinc varió desde <0.009 hasta 0.092 mg/L y el fierro desde 0.03 hasta 4.58 mg/L. El estudio señaló que la variabilidad y altas concentraciones de metales de las filtraciones encontradas en la quebrada Pucauran es un indicio del efecto que tiene la presencia en el área del depósito de minera, sobre la calidad del agua. (EIA Mina Pierina, 1997). Asimismo, los valores de pH llegaron a reportar valores entre 2.8 y 3.9, siendo probable que el agua esté siendo afectada por el drenaje ácido de roca que aflora a la superficie en una zona en la que existe rocas con alto contenido de sulfuros. Las concentraciones de plomo se encontraron por debajo del límite detectable (<0.005 mg/L)

Las muestras de calidad de agua superficial para la quebrada Pucauran, durante la evaluación de la línea base ambiental del EIA Mina Pierina (1997) obtuvo resultados por encima de los estándares de calidad; esto se atribuyó a la zona de roca que contiene sulfuros en o cerca de la superficie, al escurrimiento de usos agrícolas y/ a asentamientos humanos. Se registraron niveles elevados de metales y

de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en varias ubicaciones agrupadas alrededor de la mina Santa Fe (ex mina Santo Toribio). Los contenidos de los metales son indicativos de la generación de drenaje ácido de roca y los niveles de coliformes fecales y de nitratos son indicativos de escurrimiento de usos agrícolas y de asentamientos humanos.

Cabe resaltar, que en esta quebrada se asentó la mayor parte del yacimiento mineral de la mina Pierina, por lo tanto, el tajo se encuentra emplazado en esta ubicación.

Una actualización de los resultados de calidad de agua superficial se realizó en el 2002, en el estudio de la Optimización de procesos de la Mina Pierina (2003), cuyos resultados fueron comparados con los límites fijados por la Ley General de Aguas, para uso doméstico (Clase I) y uso agrícola (Clase III); cabe resaltar que estos resultados es cuando la empresa minera ya se encontraba en operación y los registros fueron tomados por un año (2001-2002) de los reportes de monitoreo, tomando el promedio. En estos resultados, se aprecia que los valores de pH subieron de 3,0 (inicialmente detectados en la línea base) a 3,7. La concentración de sólidos suspendidos disminuyó, así como los metales: arsénico, cadmio, zinc, cobre, hierro, mercurio y níquel. Sin embargo, se pudo apreciar que las concentraciones de plomo se incrementaron cerca de la descarga de la quebrada de 0,31 a 1,64 mg/L, excediendo los valores límites.

#### **1.4. Planteamiento del problema.**

Como se mencionó, la mina Pierina tiene a la extracción de oro como principal proceso. Para dicha actividad utiliza agua de las quebradas de Pacchac y Pucauran principalmente, las cuales, luego de ser procesadas, eventualmente terminan uniéndose al río Santa.

Por otro lado, la mina se encuentra dentro del terreno perteneciente a cuatro (04) comunidades campesinas (Andrés Avelino Cáceres de Cuncashca, San Isidro de Pacollón, Miguel Grau de Shecta y Ramón Castilla), dos (02) centros poblados menores (Huanja y Mataquita) y cinco (05) caseríos (Antahuarán, Atupa, Chaquecyaco, Mareniyoc y San Miguel de Tinyash), cuyos nombres son los que figuran en el Estudio de Impacto Ambiental realizado en el año 1996.

La población en dichas locaciones tiene como principales ocupaciones al pastoreo, agricultura y ganadería, las cuales están dirigidas a una economía de subsistencia. Estas actividades necesitan el uso del agua para su manutención, la cual obtienen de los ríos pertenecientes a la cuenca del río Santa, incluyendo a los pertenecientes a las quebradas Pacchac y Pucauran.

Esto crea la necesidad de conocer los riesgos que podrían presentar a las personas que habitan las comunidades cercanas a estas quebradas por medio de la determinación de los niveles de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc. Metales que como se mencionó anteriormente pueden causar problemas en varios sistemas y órganos del cuerpo como el sistema respiratorio y riñones, respectivamente.

Los resultados del presente estudio podrán determinar si los niveles de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc se han estado acumulando en el agua y

sedimentos de los ríos de las quebradas de Pacchac y Pucauran y si presentan un riesgo a las poblaciones aledañas.

### **1.5. Justificación del estudio.**

Los avances de la tecnología y la alta necesidad de productos mineros ha implicado que exista mucha actividad extractiva y transformativa en muchos lugares del Perú, en esa situación, el cuidado que se le ponga a los efluentes y residuos en muchas ocasiones no es totalmente eficiente, porque existen fugas, filtraciones que tienen contacto con las aguas subterráneas o superficiales o generan efluentes con carga metálica que podrían tener un impacto sobre la salud de las personas que tuvieran contacto de estas aguas. Por ello el presente estudio desarrollado en la zona para determinar el grado de contaminación ambiental, y la generación de impactos negativos en las quebradas aledañas a la unidad minera, y si esta generación produciría consecuencias perjudiciales para la salud a los seres humanos.

El presente estudio entonces procura desarrollar un informe para identificar la problemática, de poder obtener un riesgo de exposición a metales pesados al tomar las aguas de las quebradas como agua de bebida y concluir en recomendaciones que ayuden a mejorar la calidad ambiental de éstas y se refleje en una posterior minimización del riesgo a las personas.

Su justificación reside en aspectos como:

- a) Científica:** Se amplían los conocimientos básicos y especializados acerca de la concentración de metales pesados, pero además de las consecuencias que pueden tener en las personas cuando consumen las aguas que ven

afectadas por ello, este enfoque permite comprender nuevos criterios para el desarrollo de la ciencia ecológico-minera en la Región Ancash y el País.

- b) **Tecnológica:** Permite la aplicación de técnicas, procedimientos y hechos que tienen que ver con validar los materiales y recursos para realizar estos estudios y comprobar su vigencia y eficiencia.
- c) **Investigativa:** Ser el referente que permita realizar otros estudios sobre las causas por las cuales existen las concentraciones de metales pesados, de esta forma la problemática será más amplia de tal forma que profundice, complemente y mejore la situaciones y condiciones, además de mejorar el rigor científico propio, obteniendo información actualizada y sistemática.
- d) **Formativa:** Este estudio amplió las capacidades del maestrista, permitiendo que exista un desarrollo de estas relacionadas con competencias profesionales, en un ambiente responsable y ético.
- e) **Práctica:** Todo lo que se sintetice en el estudio ha de contribuir a la forma como se aprecia o considera a la minería y la gestión ambiental para hacer una labor en conjunto mucho más eficiente en servicio y beneficio de las poblaciones aledañas a las unidades mineras.
- f) **Funcional:** Todo el producto de esta investigación conlleva a la mejora de la salud de las familias y/o comunidades, repercutiendo en una mejor calidad de vida y del contexto o entorno.

Por su vigencia, ya que permite una objetiva aproximación al conocimiento de ambas variables, presentes en la cultura ecológica actual. Por su viabilidad en mérito a que se cuenta con fuentes, técnicas e instrumentos para su análisis e interpretación.

**1.6. Pregunta de investigación.**

¿La evaluación de concentración de metales pesados en las aguas de consumo humano evidencia el riesgo de exposición a los mismos en las poblaciones aledañas a las quebradas Pacchac y Pucaurán de Huaraz – Ancash en los años 1996 al 2014?

## **II. OBJETIVOS.**

### **2.1. Objetivo general.**

Determinar el riesgo de la exposición a metales pesados en niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina y luego descargada a las quebradas mencionadas, durante la serie de tiempo determinada para el presente estudio: 1996 al 2014.

### **2.2. Objetivos específicos.**

- a. Determinar el riesgo de exposición al arsénico en niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina, por año de estudio.
- b. Determinar el riesgo de exposición al cadmio en niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina, por año de estudio
- c. Determinar el riesgo de exposición al cobre en niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina, por año de estudio.
- d. Determinar el riesgo de exposición al plomo en niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el

agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina, por año de estudio.

- e. Determinar el riesgo de exposición al zinc en niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina, por año de estudio.
- f. Determinar el riesgo de exposición al arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc de la comunidad por punto específico de toma de muestra en niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina, por año de estudio.

### III. METODOLOGÍA.

#### 3.1. Diseño del estudio.

El estudio será descriptivo, donde (según lo define Tamayo, 2004) se describe un fenómeno o una situación, mediante el estudio del mismo en una circunstancia de tiempo y espacio determinada, habitualmente corto, sin incluir grupos de control (Manterola, 2014). Asimismo, la presente investigación es considerada un estudio retrospectivo, donde se ha centrado en exposiciones pasadas (Manterola, 2014).

Para la presente investigación se utilizó información secundaria, por tanto, el tipo de estudio es descriptivo basado en información secundaria.

#### 3.2. Población y Muestra.

##### 3.2.1. Población de estudio.

La población de estudio son las comunidades aledañas a las quebradas Pacchac y Pucauran que se benefician con el agua de las quebradas mencionadas, esta presenta las siguientes características:

**Tabla 5.** Reporte de indicadores según Censo 2007 para las poblaciones dispersas y centro poblados aledañas a las quebradas Pacchac y Pucaurán

	Quebrada Pacchac				Quebrada Pucaurán			
	Cuyar	San Miguel de Tinyash	Paccha	San Juan de Pisico	Atupa Alto	Atupa	Antahurán	Tarapampa
Población dispersa	X	X	X	X	X		X	
Centro poblado						X		X
Población	16	132	18	81	30	215	114	153
Viviendas	11	74	11	60	11	111	57	49

	Quebrada Pacchac				Quebrada Pucaurán			
	Cuyar	San Miguel de Tinyash	Paccha	San Juan de Pisco	Atupa Alto	Atupa	Antahurán	Tarapampa
Población de 1 a 14 años	5	40	5	23	7	54	34	48
Población de 15 a 29 años	2	38	5	20	9	47	27	41
Población de 30 a 44 años	Sin datos							
Población de 45 a 64 años	Sin datos							
Población de 65 a más	Sin datos							
Viviendas <b>que no</b> cuentan con abastecimiento de agua	0	3	0	0	0	6	4	5
Disponibilidad de agua con sistema convencional	Sin datos							
Estado situacional de la infraestructura del sistema de agua	Sin datos							
Tipo de sistema de abastecimiento	Sin datos							
Cloración	Sin datos							

Fuente: Plataforma Nacional de Datos Georreferenciados Geo Perú

**Tabla 6.** Reporte de indicadores según Censo 2017 para las poblaciones dispersas y centro poblados aledañas a las quebradas Pacchac y Pucaurán

	Quebrada Pacchac				Quebrada Pucaurán			
	Cuyar	San Miguel de Tinyash	Paccha	San Juan de Pisco	Atupa Alto	Atupa	Antahurán	Tarapampa
Población dispersa	X	X	X	X	X		X	
Centro poblado						X		X
Población	2	45	10	85	8	167	109	151
Viviendas	10	94	6	37	9	104	70	67
Población de 1 a 14 años	0	7	2	23	0	36	17	30
Población de 15 a 29 años	0	9	2	20	3	27	29	45
Población de 30 a 44 años	0	5	2	15	0	41	20	28
Población de 45 a 64 años	0	9	1	15	1	22	21	25
Población de 65 a más	2	15	3	12	4	41	22	23
Viviendas QUE NO cuentan con abastecimiento de agua	0	3	0	0	0	1	4	2
Disponibilidad de agua con sistema convencional	Sin datos					100%	100%	100%

	Quebrada Pacchac				Quebrada Pucaurán			
	Cuyar	San Miguel de Tinyash	Paccha	San Juan de Pisco	Atupa Alto	Atupa	Antahurán	Tarapampa
Estado situacional de la infraestructura del sistema de agua	Sin datos				Regular	Bueno	Regular	
Tipo de sistema de abastecimiento	Sin datos				Por gravedad sin tratamiento			
Cloración	Sin datos				sí	sí	sí	
Acceso al sistema convencional por gravedad con cloración	Sin datos				Deficiente			
Riesgos Exposición de metales y metaloides	X	X	X	X	X	X	X	X
Conflictos sociales - Minería	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Plataforma Nacional de Datos Georeferenciados Geo Perú

De las tablas arriba mostradas, se aprecia variaciones en cuanto a la accesibilidad o disponibilidad del abastecimiento de agua y/o disponibilidad de agua con un sistema convencional de las poblaciones cercanas a las quebradas. Asimismo, para el año 2017, de acuerdo a la Plataforma de Datos Georeferenciados (Geo Perú), se identificó que estas localidades poseen un riesgo a la exposición de metales y metaloides, sin embargo, no se detalló la ruta de exposición de estas. En el mismo año, se señaló que estas localidades tienen conflictos detectados por la Defensoría del Pueblo con respecto a la minería, ya sea por conflictos ambientales o sociales (Geo Perú).

En el EIA Mina Pierina (1996), antes del inicio de las actividades mineras, se incluyeron datos del Censo de Población y Vivienda (1993), los cuales fueron citados en el mencionado estudio y se reconoce las siguientes localidades alrededor de la unidad minera, a la que se adiciona la población según el INEI 2017 y se detallan de la siguiente manera:

**Tabla 7.** Población y número de viviendas incluidos en el EIA 1996, basados en el Censo de Población y Vivienda de 1993 y 2017

Comunidad	Tipo	Distrito	Censo de 1993		Censo 2017	
			Población	Vivienda	Población	Vivienda
Jangas	Centro urbano	Jangas	747	243	1768	619
Huanja	Comunidad pequeña	Jangas	344	166	351	189
Mataquita	Comunidad pequeña	Jangas	230	70	475	210
Chontayoc	Comunidad pequeña	Independencia	350	11	260	128
Atupa	Comunidad rural	Jangas	216	103	167	104
Shecta	Comunidad rural	Independencia	457	112	61	56
Tinyash	Comunidad rural	Independencia	211	84	18	21
Cuncashca	---	Jangas	122	61	250	40
Mareniyoc	Comunidad rural	Jangas	224	65	136	67
Antahurán	Comunidad rural	Jangas	100	53	109	70
<b>Total</b>			<b>3001</b>	<b>1068</b>	<b>3595</b>	<b>1504</b>

Fuente: EIA Mina Pierina, 1996 e INEI 2017

De los datos tomados del EIA Mina Pierina (1996), mediante trabajo de campo (entrevistas y encuestas), se concluyó que de las poblaciones que se encuentran alrededor del área donde se emplazaría la unidad minera, un tercio de la población consumía y se abastecía de agua directamente de manantiales, la población restante se abastecía por medio de caños colectivos, cuya agua no era potable.

### 3.2.2. Muestra.

De acuerdo con lo georreferenciado y según los datos de ubicación de localidades de los archivos shapefile del Ministerio de Educación, la localidad de Paccha se

ubica alejada de la quebrada Pacchac, por lo que no sería representativa para el presente trabajo, por lo que se descarta para la discusión de este.

Las localidades que se tomaron en cuenta para el estudio fueron:

- a) Quebrada Pacchac:
  - Cuyar,
  - San Miguel de Tinyash, y
  - San Juan de Pisco
  
- b) Quebrada Pucaurán:
  - Atupa alto
  - Atupa
  - Antahurán
  - Tarapampa

### **3.2.3. Criterios de selección.**

Para seleccionar esta muestra se ha considerado las condiciones de las poblaciones, su cercanía a las quebradas y afluentes de las mismas, su cercanía a la unidad minera. Además de ello, se consideró las condiciones iniciales de los cuerpos de agua, si hubo o no, presencia de metales pesados que pudieron sobrepasar los límites establecidos y si éstos influyeron en el riesgo de contaminación a la salud de las personas de las localidades.

### **3.3. Operacionalización de variables.**

<b>Objetivo</b>	Determinar el riesgo de la exposición a metales pesados en niños y adultos de las comunidades aledañas en las quebradas Pacchac y Pucauran luego que el agua ha sido tratada o colectada dentro de la operación minera Pierina y luego descargada a las quebradas mencionadas, durante la serie de tiempo determinada para el presente estudio: 1996 al 2014			
<b>Variables</b>	<b>Definición</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos</b>
Concentración de metales pesados en agua en las quebradas Pacchac y Pucauran  (independiente)	Niveles de concentración de metales pesados (cobre, cadmio, plomo, zinc y arsénico) en el agua	Concentraciones de metales pesados (arsénico, plomo, zinc, cobre, cadmio) reportados a la autoridad entre los años 1996 al 2014 en las quebradas Pacchac y Pucauran	mg/L	Resultados de análisis ICP
Riesgo de exposición a metales pesados en niños y adultos de las comunidades aledañas a las quebradas Pacchac y Pucauran  (dependiente)	Uso de datos y observaciones para definir los efectos para la salud causados por la exposición a metales pesados en el agua de bebida.	EMEG niño  EMEG adulto  Dosis de exposición  Riesgo de exposición	mg/L  mg/L  mg/Kg/día	Metodología OPS/OMS Díaz Barriga (1999) y ATSDR (2008)

### 3.4. Instrumentos.

Para determinar el riesgo de exposición de las poblaciones por beber el agua de las quebradas Pacchac y Pucauran se utilizará la *Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados*, realizado por Díaz-Barriga (1999); avalado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y complementado con la evaluación toxicológica y de vías de exposición propuesta por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, 2008). Esta metodología identifica a los contaminantes críticos, el análisis dosis-respuesta y la estimación de la exposición.

Cabe resaltar que, en esta investigación sólo se utilizará los análisis realizados a las aguas que discurren por las quebradas; no se incluye biomarcadores de exposición y nutricionales.

#### **3.2.4. Identificación de los contaminantes críticos.**

Los contaminantes analizados en el presente estudio fueron considerados como críticos por medio de la comparación de su concentración ambiental con frente al valor estimado de la Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG) para un medio específico (Díaz, 1999; ATSDR, 2008).

La EMEG no es considerada una norma o estándar ambiental, su única función es servir como referencia para definir los contaminantes críticos o clave para un sitio específico (Díaz, 1999). El cálculo de la EMEG se realiza teniendo en cuenta que para este trabajo de investigación se considera la ingestión por vía oral (agua de bebida) para el caso de niños (menores de 6 años) y adultos:

$$EMEG = \frac{RfD (mg/Kg/día) * PC (Kg)}{TI (L/día)}$$

Donde:

RfD: es la dosis de referencia determinada por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) que puede ser obtenida del banco de datos IRIS del sistema TOXNET

PC: Peso corporal (14 Kg para niños y 70 Kg para adultos), USEPA, 2008

TI: Tasa de ingestión (diaria para agua) = 1 Litro/día para niños y 2 Litros/día para adultos

### 3.2.5. Estimación de la dosis de exposición

En la etapa de caracterización del riesgo, la evaluación de la exposición asume el riesgo máximo posible. Esto significa que una vez absorbidos, los contaminantes tienen la misma toxicidad independientemente de la ruta de exposición.

Además de la obtención de la RfD, para la identificación de los contaminantes críticos, también se deberá obtener la NOAEL (máxima dosis experimental en la cual no se ha observado efecto adverso alguno para el contaminante seleccionado) y la LOAEL (mínima dosis experimental en la cual se observa un efecto adverso); éstos últimos valores se obtienen revisando la bibliografía científica o en la base de datos de la ATSDR o IRIS.

Para este cálculo, se utilizó la siguiente formula:

$$Dosis (mg/Kg/día) = \left( \frac{Conc * TI}{PC} \right) * FE$$

Donde:

- Dosis: Se refiere a la dosis de exposición que está estimándose.
- Concentración: Concentración del contaminante en el medio ambiental seleccionado.
- TI: Tasa de ingestión (diaria de agua) = 1 Litro/día para niños o 2 Litros/día para adultos.
- PC: Peso corporal = 14 Kg para niños o 70 Kg para adultos.
- FE: Factor de exposición (que incluye datos de biodisponibilidad, absorción y/o temporalidad). Para este estudio se utilizó un factor de exposición de 11% de biodisponibilidad, de acuerdo con lo mencionado en la metodología López-Barriga basado en Exposure Factors Handbook (USEPA, 1997).

La relación dosis/RfD es un factor que se obtiene dividiendo la dosis estimada entre la dosis de referencia estimada por la EPA. Cuanto mayor sea este factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar reacciones adversas; la EPA denomina a esta relación como Índice de Peligro. Además, la dosis estimada también se puede comparar con la NOAEL o LOAEL.

### **3.5. Procedimiento.**

#### **3.2.6. Monitoreo.**

Para esta investigación se utilizaron los datos obtenidos del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) que se basan en los resultados de las muestras de agua recolectadas mediante el monitoreo participativo.

El monitoreo se realizó siguiendo las directrices del “Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua” (1994) y el “Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero-Metalúrgicas” (2011), el cual se utiliza para el monitoreo de la calidad de agua en la industria minera en el Perú.

El programa de monitoreo debe determinar la frecuencia de este según al volumen total del efluente. Para este caso, se determinó que según el volumen total en las quebradas Pacchac y Pucauran, el monitoreo debe ser trimestral:

**Tabla 8.** Frecuencia de muestreo

Volumen total de efluente	Frecuencia de muestreo
Mayor que 300 m <sup>3</sup> /día	Semanal
50 a 300 m <sup>3</sup> /día	Trimestral
Menor que 50 m <sup>3</sup> /día	Semestral

Fuente: Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero Metalúrgicas. 2011

Los datos utilizados en el presente estudio comprenden los obtenidos entre los años 1996 al 2014.

### **3.2.7. Colección de muestras.**

Bajo los estándares establecidos en el “Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero-Metalúrgicas”, se podrá determinar con exactitud cómo, donde y cuando se deben tomar las muestras y los procedimientos post-muestreo.

Los puntos de control (o monitoreo) para las quebradas Pacchac y Pucauran fueron tomados de acuerdo con lo descrito en el levantamiento de la línea base del EIA Pierina (1997), el Proyecto de Optimización de la Mina Pierina (2004), puntos PAVER (del Programa de Adecuación de Vertimientos y Reuso de Agua Residual) y los puntos de monitoreo establecidos y reportados a la autoridad competente (MINEM), los cuales son:

**Tabla 9.** Puntos de control en la quebrada Pacchac

Punto de control	Coordenadas UTM (WGS 84) Zona 18		Altitud (msnm)	Descripción	Fuente de datos	Periodo
	Este	Norte				
26 <sup>1</sup>	----	----	----	Aproximadamente 4.0 km aguas arriba de la confluencia con el Río Santa. Puede llegarse a esta estación de muestreo desde un camino que va de la comunidad de Huisllacpampa hasta la Mina Santo Toribio.	EIA 1997	1996
SWM 25	220 109	8 954 592	2 917	En la confluencia con el río Santa. Puede accederse a la estación de muestreo desde la estación 13 de muestreo que está aproximadamente 400 m al norte.	EIA 1997, Optimización Mina Pierina, 2003	1996-2014
LPCS-1	216 018,3	8 952 635,6	3 912,4	Subdrenajes de la plataforma de lixiviación en la quebrada Pacchac a 100 m abajo del dique de contención. Parte de este subdrenaje descarga por el canal SDD a la Quebrada.	Punto de monitoreo y reporte a la autoridad	2007-2014

**Tabla 10.** Puntos de control en la quebrada Pucauran

Punto de control	Coordenadas UTM (WGS 84) Zona 18		Altitud (msnm)	Descripción	Fuente de datos	Periodo
	Este	Norte				
28 <sup>2</sup>	----	----	----	Ubicado aproximadamente 2.5 km aguas arriba de la confluencia con el Río Santa. Puede accederse a ella desde ya sea Mareniyoc, Atupa o el área de la mina. Esta estación presenta el acceso más difícil.	EIA 1997	1996
SWM 27	218 001	8 957 574	2 910	Quebrada Pucauran parte baja antes de la confluencia con el Río Santa	EIA 1997, Optimización Mina Pierina, 2003	1996-2014
OPDM-83	216 439	8 955 356	sin datos	Corresponde a la escorrentía proveniente del tajo. Para el control de escorrentías superficiales dentro del tajo, se dispone de infraestructura hidráulica, cunetas, canales, alcantarillas, pozas de sedimentación, con el objetivo de recolectar y conducir los flujos de agua superficial hacia	Puntos PAVER Reporte a la autoridad	2008-2014

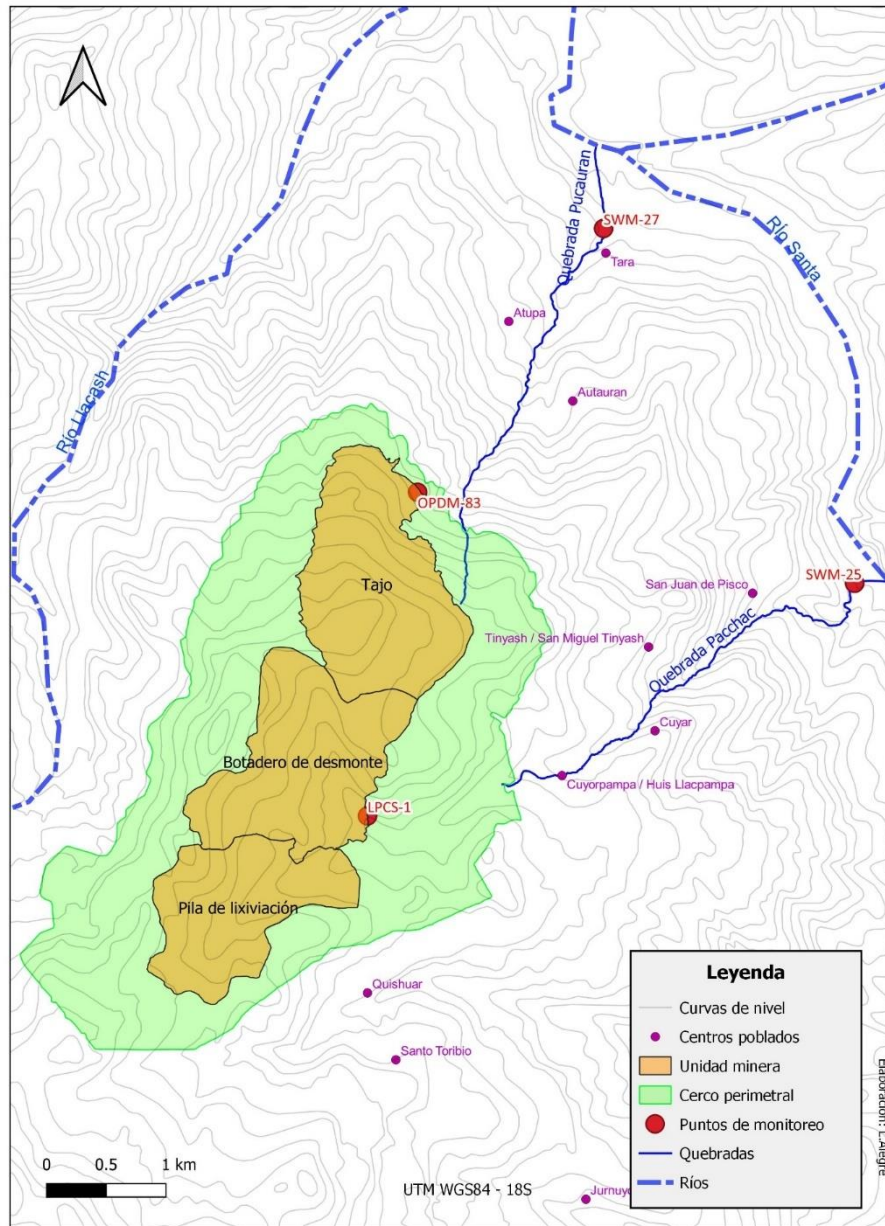
<sup>1</sup> En el EIA Mina Pierina, aprobado en el año 1997, en su cuadro de estaciones de monitoreo de aguas, no incluye coordenadas del punto 26, solo describe su ubicación y acceso, la cual se transcribe en la presente tesis.

<sup>2</sup> En el EIA Mina Pierina, aprobado en el año 1997, en su cuadro de estaciones de monitoreo de aguas, no incluye coordenadas del punto 28, solo describe su ubicación y acceso, la cual se transcribe en la presente tesis.

Punto de control	Coordenadas UTM (WGS 84) Zona 18		Altitud (msnm)	Descripción	Fuente de datos	Periodo
	Este	Norte				
				la parte baja del tajo donde se disponen de 3 pozas en serie cuya función es sedimentar los sólidos arrastrados por el flujo de agua. Asimismo, en estas pozas se controla el pH del agua mediante la dosificación de cal, tal como se aprobó en el EIA 1996. Luego es descargada a la Quebrada Pucauran con un caudal entre 1 a 30 L/s.		

En el siguiente mapa se puede apreciar la ubicación geográfica de los puntos de monitoreo mencionados, para ambas quebradas:

**Mapa 1.** Localización de los puntos de monitoreo ubicados en las quebradas



### **3.2.8. Análisis de las muestras**

El análisis de las muestras se realizó en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de Calidad - INACAL. Además, acreditó ser capaz de lograr un Método de Detección de Límite que sea suficiente para que los resultados del monitoreo sean contrastados con los estándares de calidad de agua aplicables (por ejemplo: D.S N° 010-2010-MINAM y el D.S N° 002-2008- MINAM si son requeridos).

Las tomas de muestras realizadas fueron analizadas para varios parámetros solicitados por los organismos estatales y asumidos en los compromisos ambientales en los instrumentos de gestión ambiental; para esta investigación, los análisis que se necesitan para obtener el riesgo a la población recaen en los resultados sobre los metales pesados.

Para el análisis de los metales pesados, se usó la metodología de ICP para metales totales (Espectroscopía de plasma). La Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP) es una técnica de análisis inorgánico elemental e isotópico capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango de 8 órdenes de magnitud (ng/L – mg/L); además de poder llevar a cabo la determinación de los elementos en un análisis multielemental que provee la composición de la muestra analizada. (Thomas, 2001). Es un método adecuado para la determinación de trazas de metales y metaloides en aguas superficiales, subterráneas y aguas potables. También puede ser adecuado para las aguas residuales, suelos, sedimentos, lodos, y muestras biológicas después de la digestión adecuada seguido de dilución y / o limpieza. (APHA, 2009).

Esta determinación analítica se encuentra estandarizada por Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (2009); y realizada como método estandarizado en los Laboratorios Certificados que realizaron los análisis durante el transcurso de la toma de muestras.

## IV. RESULTADOS.

### 4.1. Rutas de exposición.

La tabla a continuación describe la principal ruta de exposición de la población cercana a las quebradas Pacchac y Pucauran. Como se observa, la principal ruta de exposición es la ingesta del agua proveniente de los ríos de ambas quebradas.

**Tabla 11.** Rutas de exposición relacionadas a las quebradas Pacchac y Pucauran

Nombre de la ruta	Fuente	Medio del Ambiente	Punto de exposición	Población receptora	Población pasada, presente o futura	Población completa o potencial
Pacchac	Efluente pluvial	Agua	Bebida	Toda la población	Presente	Completa
Pucauran	Efluente pluvial y agua subterránea	Agua	Bebida	Toda la población	Presente	Completa

### 4.2. Cálculo del EMEG (Guía de Evaluación para Medios Ambientales para un medio específico)

Para el cálculo del EMEG, primero se ubicó los valores de RfD por vía oral para cada uno de los metales evaluados. Estos valores de RfD se encuentran como libre acceso mediante la página web de la EPA (Environmental Protection Agency):

**Tabla 12.** Dosis de Referencia (RfD) para metales pesados

Metal pesado	RfD (mg/Kg/día)
Cadmio (Cd)	0,0005
Cobre (Cu) <sup>1</sup>	0,005
Plomo (Pb) <sup>2</sup>	0,00357
Zinc (Zn)	0,3
Arsénico no carcinógeno	0,0003
Arsénico carcinógeno	1,5

<sup>1</sup> como CuCN; <sup>2</sup> Health Canada, 1996

Luego de sustituir los valores para cada caso en la fórmula para el cálculo del EMEG se obtiene la información que se indica en la siguiente tabla:

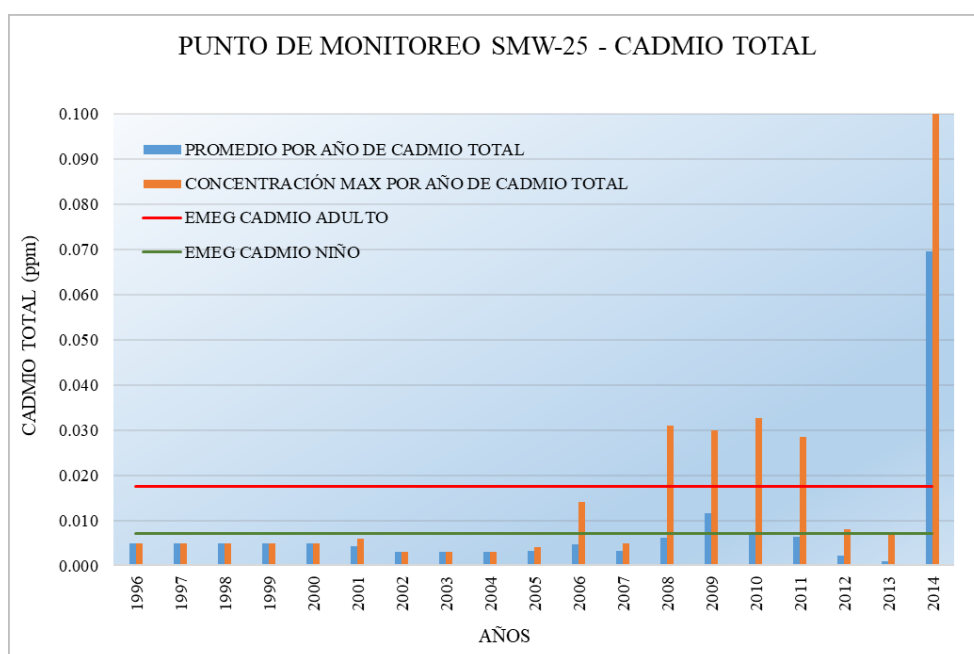
**Tabla 13.** Valores EMEG obtenidos para diferentes categorías de población evaluadas, vía oral

Metal pesado	EMEG (mg/L)	
	Niños	Adultos
Cadmio (Cd)	0,007	0,0175
Cobre (Cu)	0,07	0,175
Plomo (Pb)	0,04998	0,12495
Zinc (Zn)	4,2	10,5
Arsénico no carcinógeno	0,0042	0,0105
Arsénico carcinógeno	21	52,5

### 4.3.1. Comparación de los valores EMEG con los valores promedio por año de cadmio, cobre, plomo, zinc y arsénico en la quebrada Pacchac

#### A. En el punto de monitoreo SMW-25.

**Gráfico 1.** Comparación de los niveles promedio de cadmio en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014

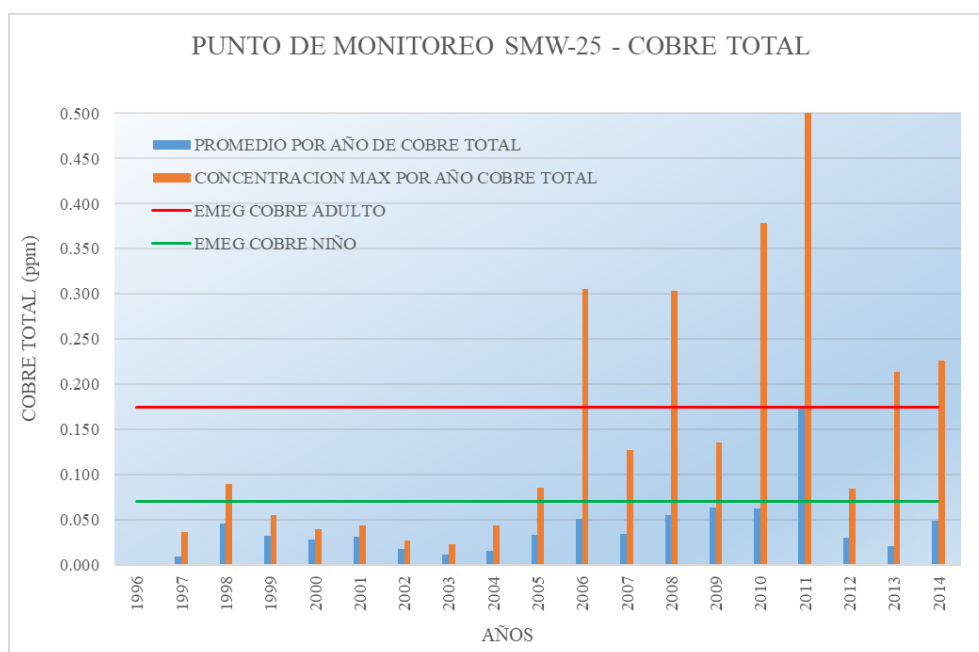


#### Comentario.

Cuando se compara el valor EMEG con los valores de las concentraciones máximas anuales de cadmio, se observa que los niveles de este metal fueron mayores a los correspondientes al EMEG durante los años 2006, 2008 al 2012 y 2014 para niños. En el caso de los adultos, los valores de las concentraciones máximas anuales mayores al EMEG fueron observados en los años 2008 al 2012 y 2014. Tanto en niños como en adultos, los mayores valores que superaron el EMEG se observaron

en el año 2014. Respecto a los promedios anuales, solo se superó en el EMG niños en el año 2009 y 2014.

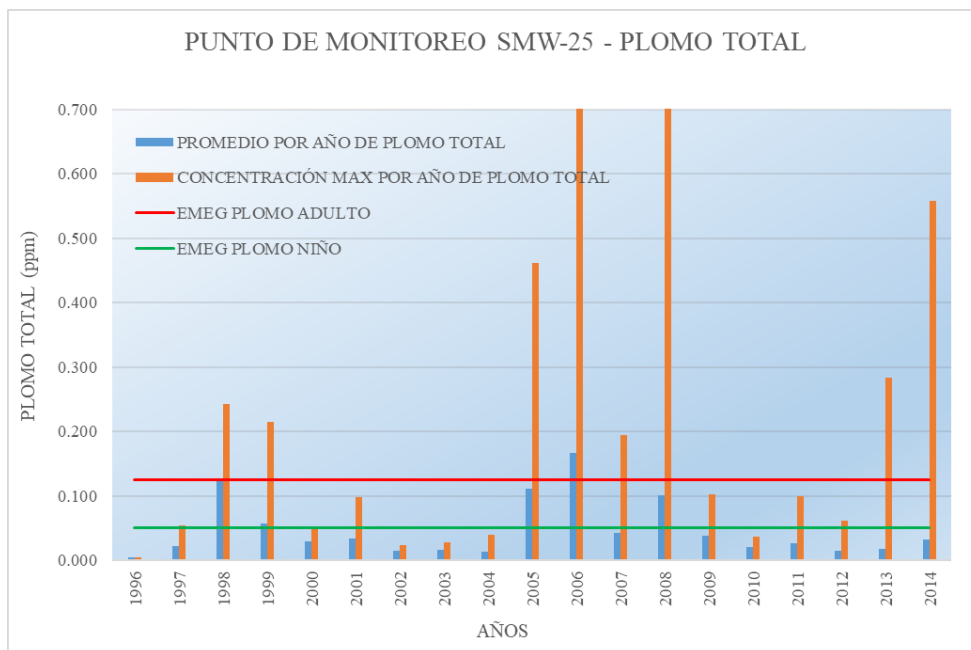
**Gráfico 2.** Comparación de los niveles promedio de Cobre en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014



**Comentario:**

En el caso del cobre, las concentraciones máximas que sobrepasaron el valor EMEG para niños se observaron durante los años 1998, 2005 al 2014; para el caso de adultos sobrepasó el valor EMEG calculado los años 2006, 2008, 2010, 2011, 2013 y 2014. En el caso de los adultos, se observa que las concentraciones máximas anuales que sobrepasaron este límite fueron en los años 2006, 2008, 2010, 2011, 2013 y 2014 donde el año 2011 fue el valor máximo a su correspondiente valor EMEG. Además de ello, se observa un aumento de concentración de cobre desde el inicio de las actividades de la unidad minera.

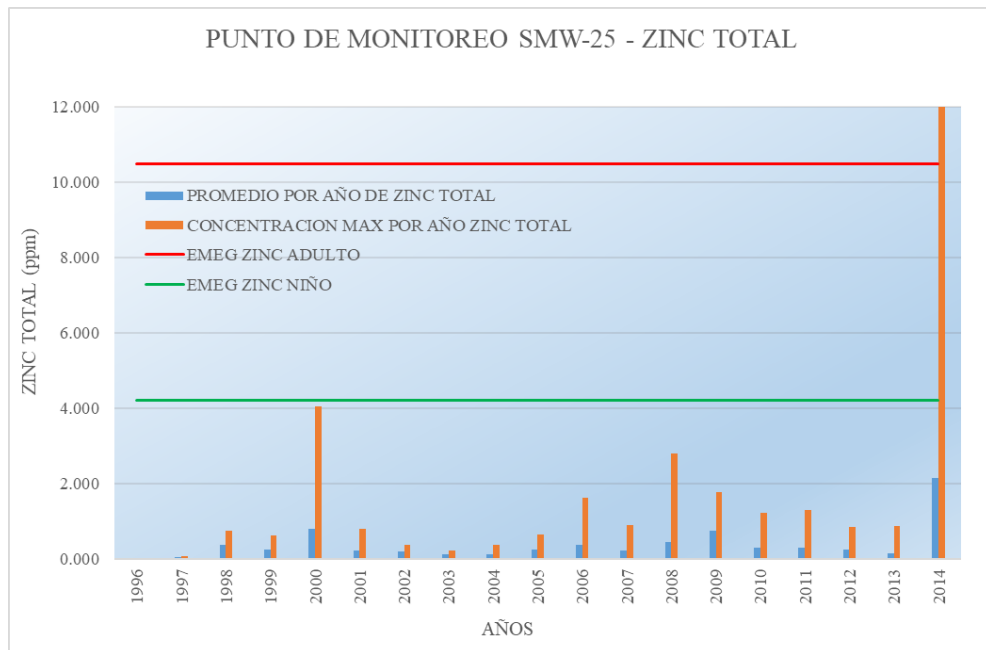
**Gráfico 3.** Comparación de los niveles promedio de Plomo en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014



**Comentario:**

En el caso del plomo, el valor EMEG en adultos y niños fue superado por los niveles máximos de este metal durante los años 1998, 1999, 2005 al 2008, 2013 y 2014; siendo los mayores valores, los observados en los años 2006 y 2008. En el caso de niños, los valores EMEG fueron superados para sus correspondientes valores promedio de plomo durante los años 1998, 1999, 2005, 2006 y 2008.

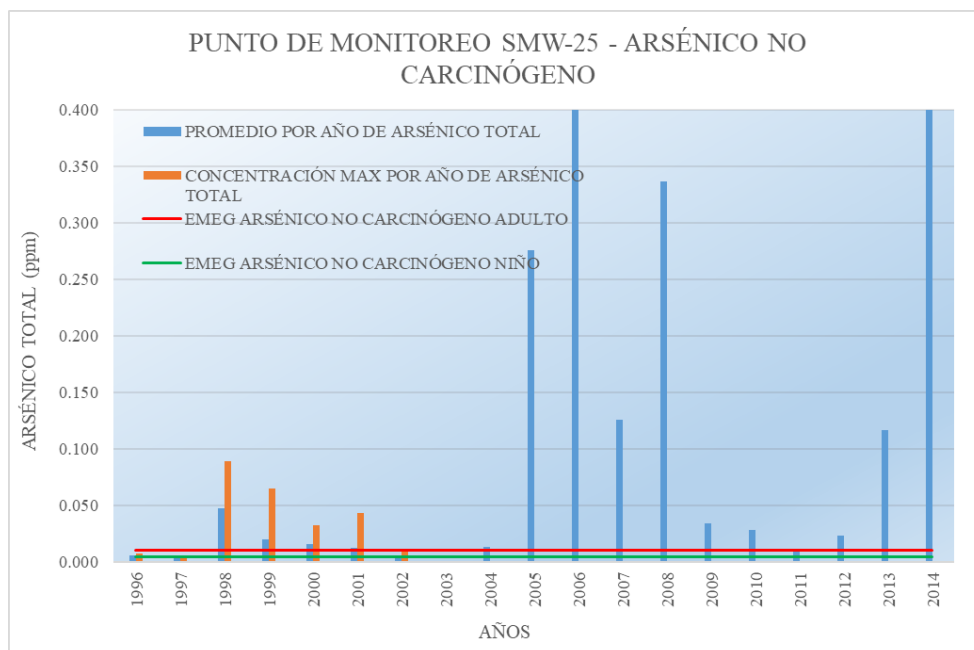
**Gráfico 4.** Comparación de los niveles promedio de Zinc en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014



**Comentario:**

Con respecto al zinc, se observó que solo en el año 2014, el valor máximo de este metal superó el EMEG para niños y adultos. Para la concentración promedio anual, ningún valor superó el EMEG en ningún momento.

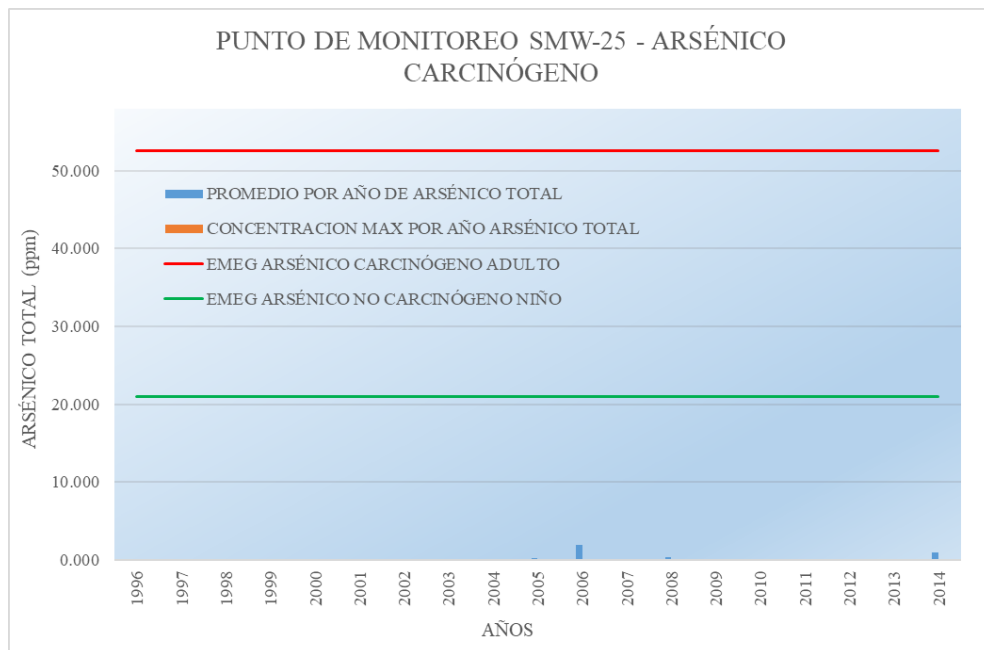
**Gráfico 5.** Comparación de los niveles promedio de arsénico no carcinogénico en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014



**Comentario:**

En el caso del arsénico no carcinogénico, en los adultos y niños, en los años 1998 al 2001, 2005 al 2010 y 2012 al 2014 los valores promedios de este metal superaron el EMEG, siendo mayor los valores en los años 2006 y 2014. Respecto a la concentración máxima anual, sobrepasó el EMEG de niños y adultos en los años 1998 al 2001. Respecto a la línea base tomada en 1996, sobrepasó ligeramente el EMEG para niños.

**Gráfico 5.** Comparación de los niveles promedio de arsénico carcinogénico en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014

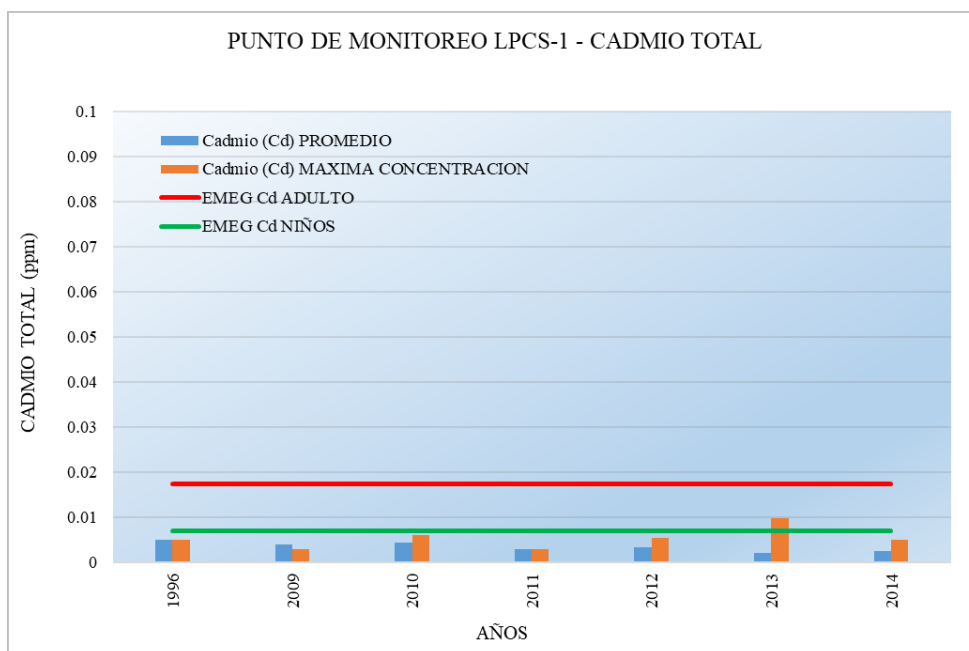


**Comentario:**

En el caso del arsénico carcinogénico, de los valores promedio medidos, se observa que en ningún caso esto sobrepasan los valores EMEG tanto en niños como en adultos.

## B. En el punto de monitoreo LPCS-1.

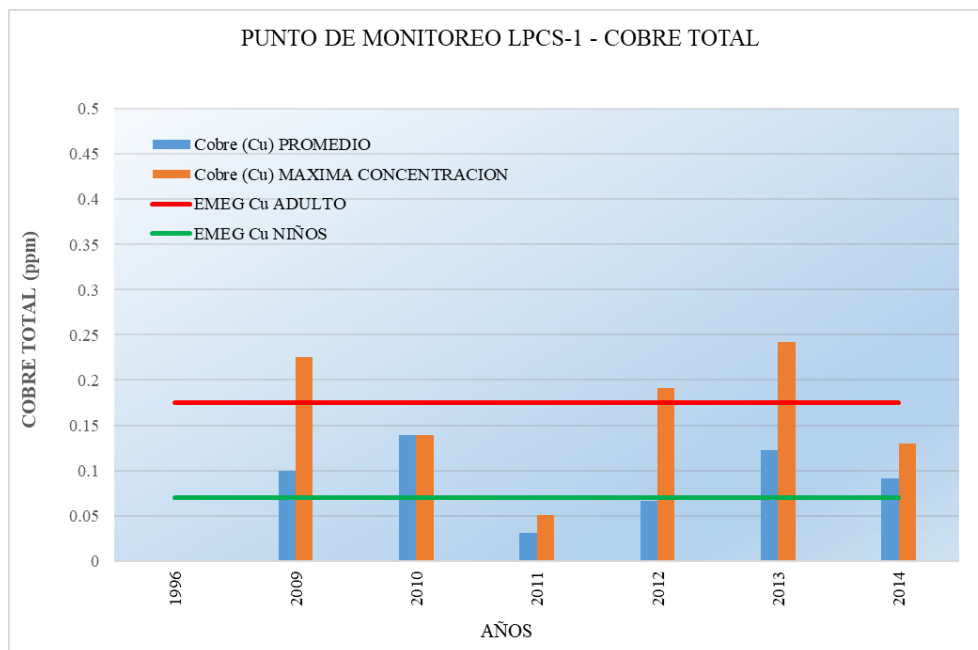
**Gráfico 7.** Comparación de los niveles promedio de cadmio en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



### Comentario:

Los valores se mantuvieron por debajo del EMG niño y adulto, con excepción de una concentración puntual identificada en el año 2013, donde sobrepasó el EMEG para niño, no observándose una tendencia anual, por lo que podría considerarse una excepción probablemente relacionada a la toma de la muestra.

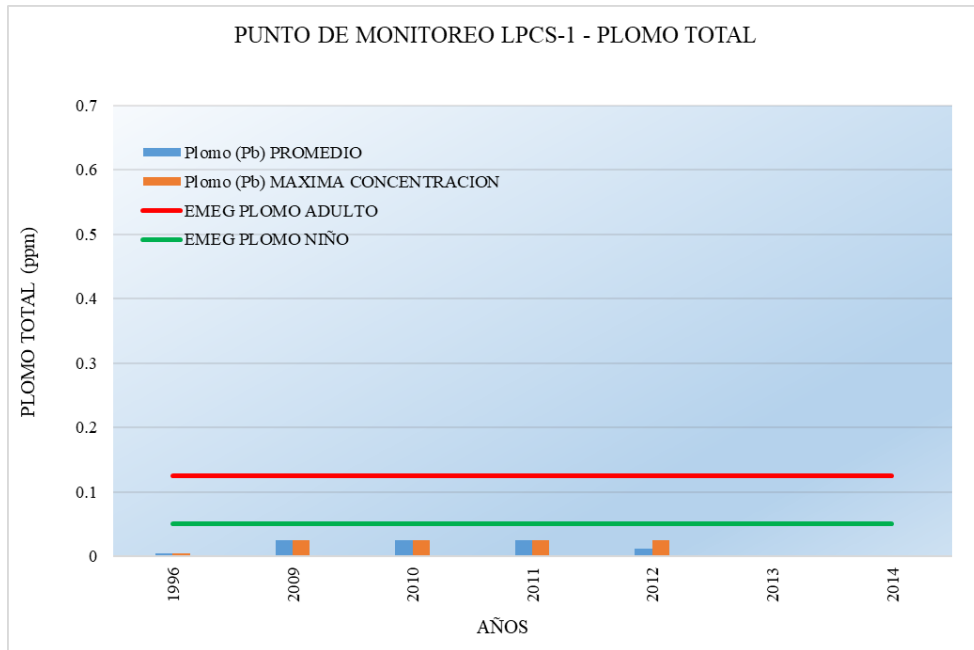
**Gráfico 6.** Comparación de los niveles promedio de cobre en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Para el caso del cobre, se distingue cinco (05) valores que sobrepasan el EMEG para niños, solo en los casos puntuales con altas concentraciones y no se evidencia concentraciones altas constantes durante los años registrados y, estas concentraciones puntuales coinciden con las temporadas de lluvias (diciembre a marzo). Para el caso de adultos, se observa que sobrepasa el respectivo EMEG para adultos y niños solo para el caso de las concentraciones puntuales máximas en tres (03) años: 2009, 2012 y 2013. Los resultados de los promedios anuales y comparados con los EMEG tanto para niños y adultos, se observaron excedencias en los años 2009, 2010, 2013 y 2014 para el EMEG de niño, influenciados quizás por la máxima concentración anual mencionados líneas arriba; para el caso de adultos se mantuvieron por debajo del mismo.

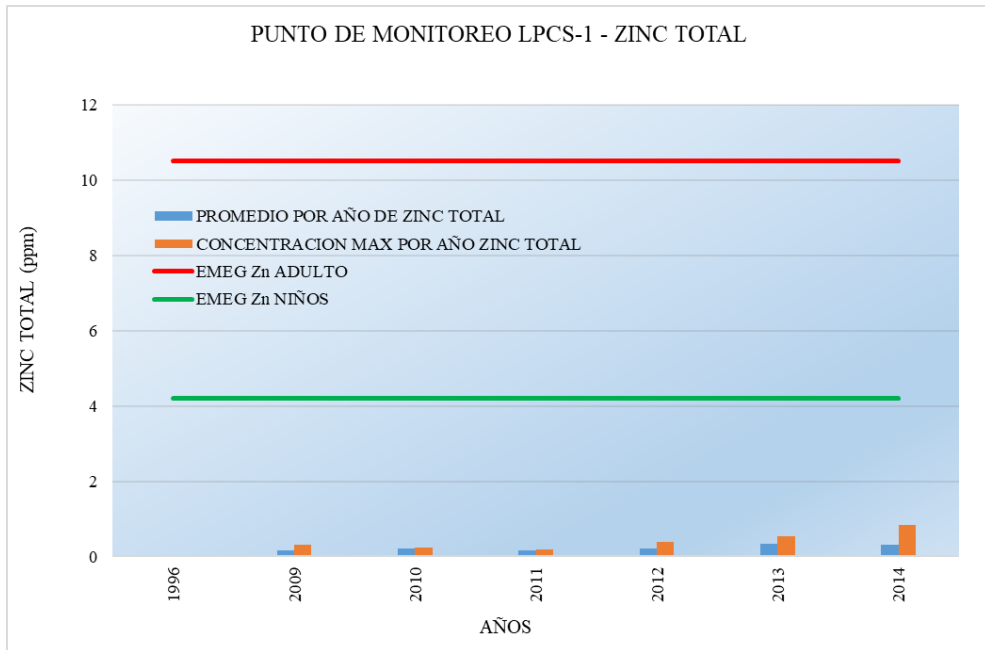
**Gráfico 7.** Comparación de los niveles promedio de plomo en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Las concentraciones de plomo tanto para los promedios anuales y concentraciones máximas registradas no sobrepasaron los EMEG ni de niños ni de adultos, por lo que no se consideraría como contaminante crítico este metal dentro de este punto de monitoreo.

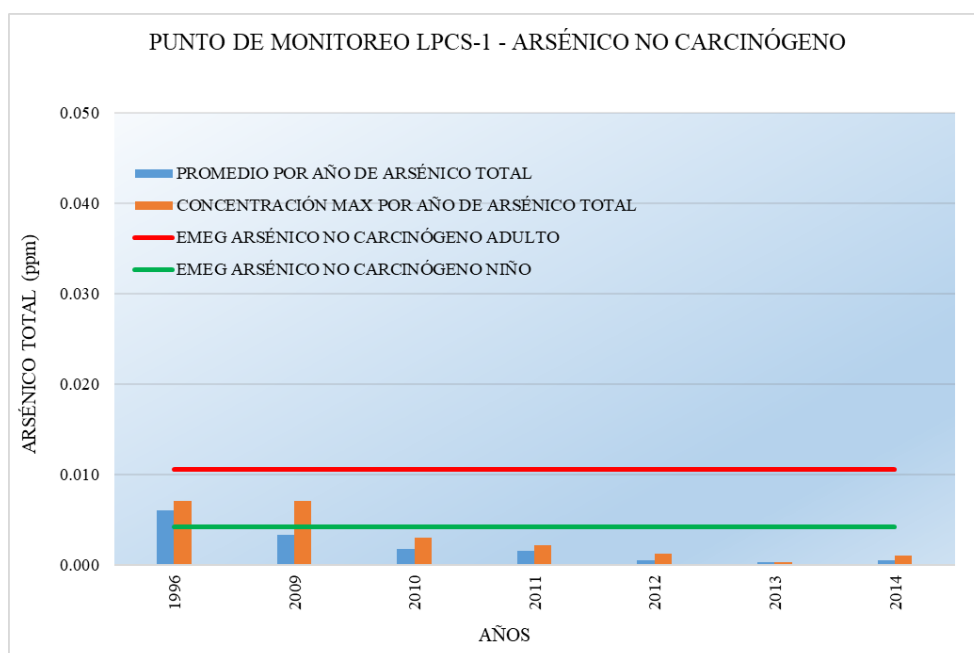
**Gráfico 8.** Comparación de los niveles promedio de Zinc en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Las concentraciones de zinc tanto para los promedios anuales y concentraciones máximas registradas no sobrepasaron los EMEG ni de niños ni de adultos, por lo que no se consideraría como contaminante crítico este metal dentro de este punto de monitoreo.

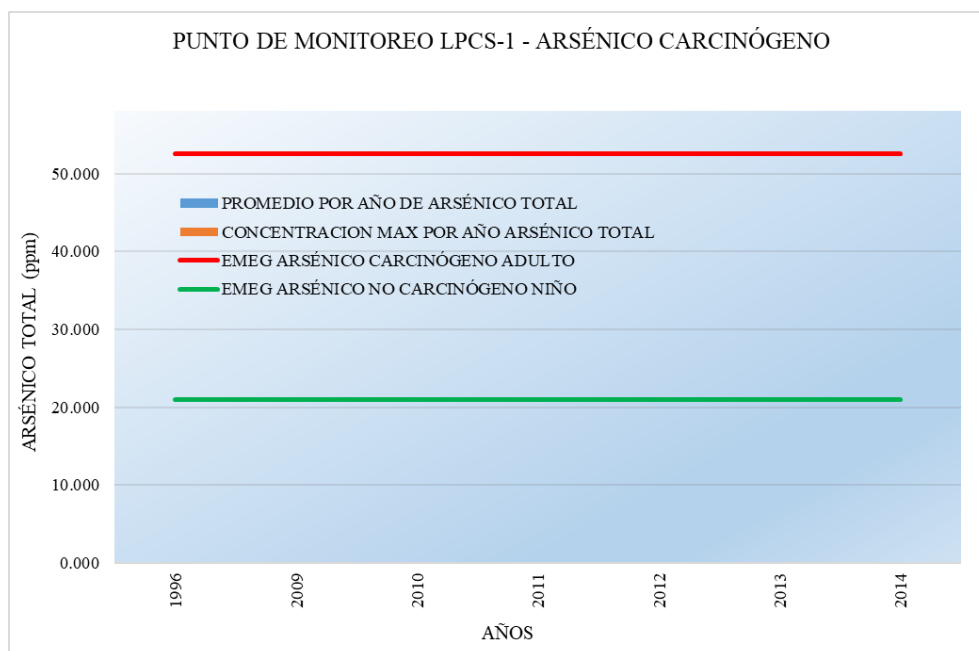
**Gráfico 9.** Comparación de los niveles promedio arsénico no carcinogénico en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Como se puede apreciar, antes del inicio de las actividades de la unidad minera, se sobrepasó el EMEG para niño de manera puntual para la máxima concentración y promedio anual en el año 1996; por lo que se podría inferir que la población cercana al punto LPCS-1 tuvo contacto con arsénico. Durante el periodo de tiempo 2009 al 2014, las concentraciones de arsénico (no carcinogénico) tanto para los promedios anuales y concentraciones máximas registradas no sobrepasaron los EMEG ni de niños ni de adultos, por lo que no se consideraría como contaminante crítico este metal dentro de este punto de monitoreo. Con excepción de un dato puntual como concentración máxima registrada en el abril del 2009 que sobrepasó el EMEG para niños.

**Gráfico 10.** Comparación de los niveles promedio de arsénico carcinogénico en la quebrada Pacchac con los valores EMEG entre los años 2009 al 2014



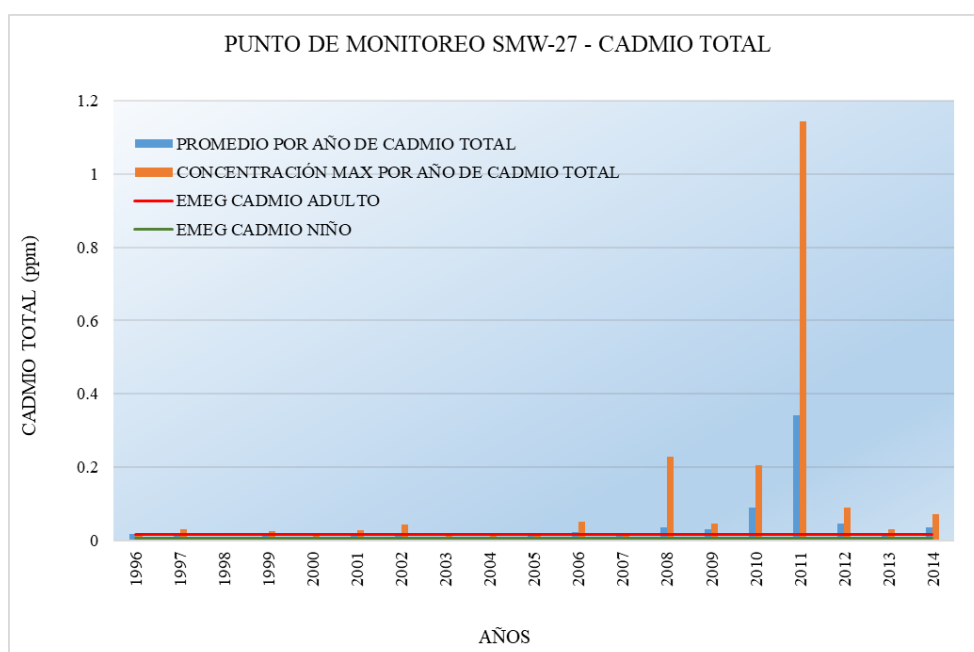
**Comentario:**

Las concentraciones de arsénico (carcinogénico) tanto para los promedios anuales y concentraciones máximas registradas no sobrepasaron los EMEG ni de niños ni de adultos, por lo que no se consideraría como contaminante crítico este metal dentro de este punto de monitoreo.

#### 4.3.2. Comparación de los valores EMEG con los valores promedio por año de cadmio, cobre, plomo, zinc y arsénico en la quebrada Pucauran

##### A. En el punto de monitoreo SMW-27

**Gráfico 13.** Comparación de los niveles promedio de cadmio en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014

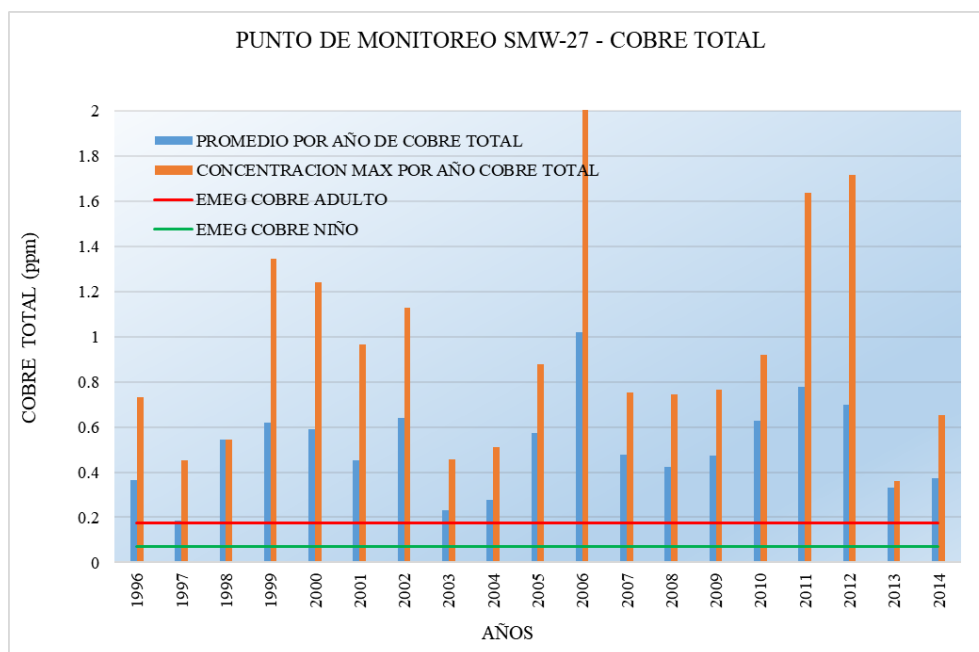


##### Comentario:

Se observa concentraciones máximas y promedios anuales que sobrepasan los EMEG niños y adultos, siendo sus máximas concentraciones registradas en los años 2008 y 2011, 0.228 mg/L y 1.144 mg/L, respectivamente. Los datos también reflejan que las concentraciones hacen que sean consideradas como contaminante crítico para este punto de monitoreo de manera constante durante los años 1996 al

2014 (con excepción el año 1998), inclusive desde antes del inicio de las actividades mineras.

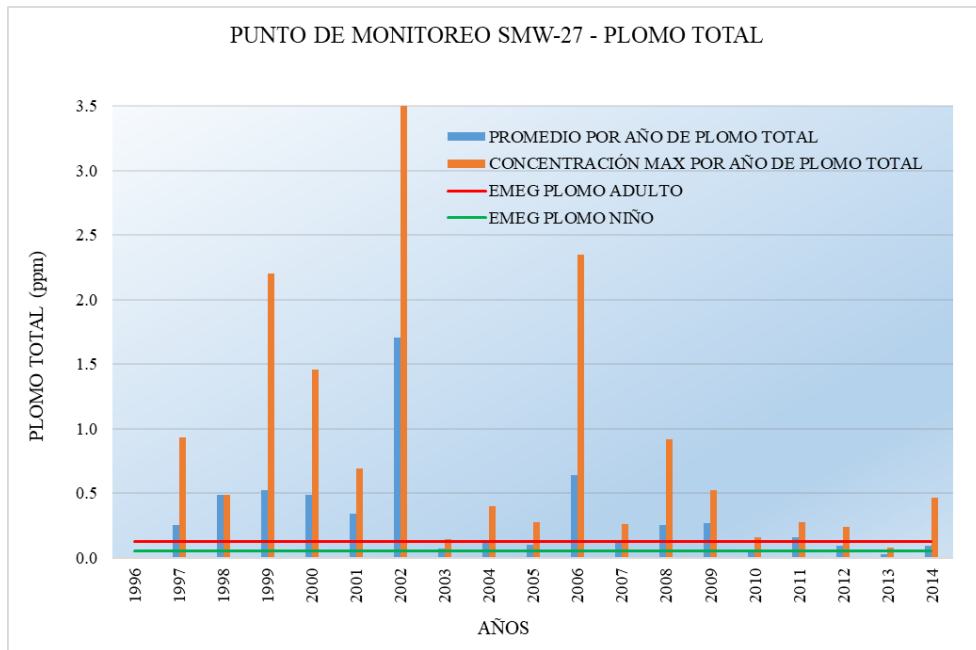
**Gráfico 11.** Comparación de los niveles promedio de cobre en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014



**Comentario:**

Al igual que el caso del cadmio, se observa que, para todos los años, desde 1996 al 2014 tanto para las concentraciones máximas (hasta 2.583 mg/L en el año 2006) y el promedio anual (1.021 mg/L, para el mismo año), todas sobrepasan el EMEG determinado para niños y adultos, siendo considerado un contaminante crítico para este punto de monitoreo, desde antes de las actividades mineras.

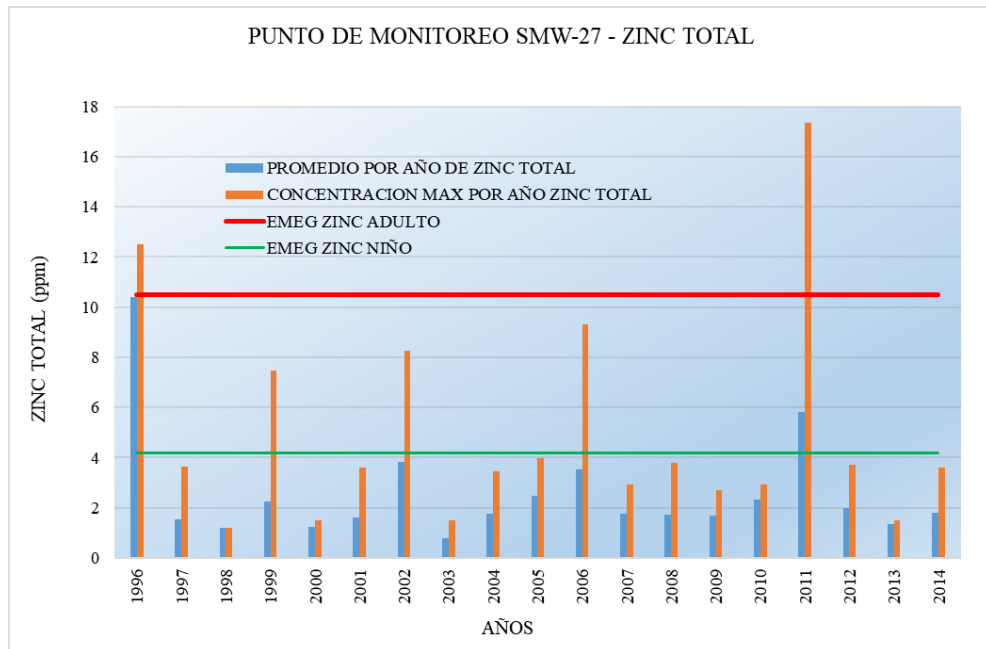
**Gráfico 15.** Comparación de los niveles promedio de plomo en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014



**Comentario:**

Se observa que, para todos los años, desde 1997 al 2014 tanto para las concentraciones máximas (hasta 4.599 mg/L en el año 2002) y el promedio anual (1.707 mg/L, para el mismo año), todas sobrepasan el EMEG determinado para niños y adultos, siendo considerado un contaminante crítico para este punto de monitoreo. Se observa que en el año 1996 la concentración promedio anual y la concentración máxima anual no se sobrepasaron el EMEG para niños y adultos, no siendo considerado un contaminante crítico para ese año.

**Gráfico 12.** Comparación de los niveles promedio de Zinc en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014

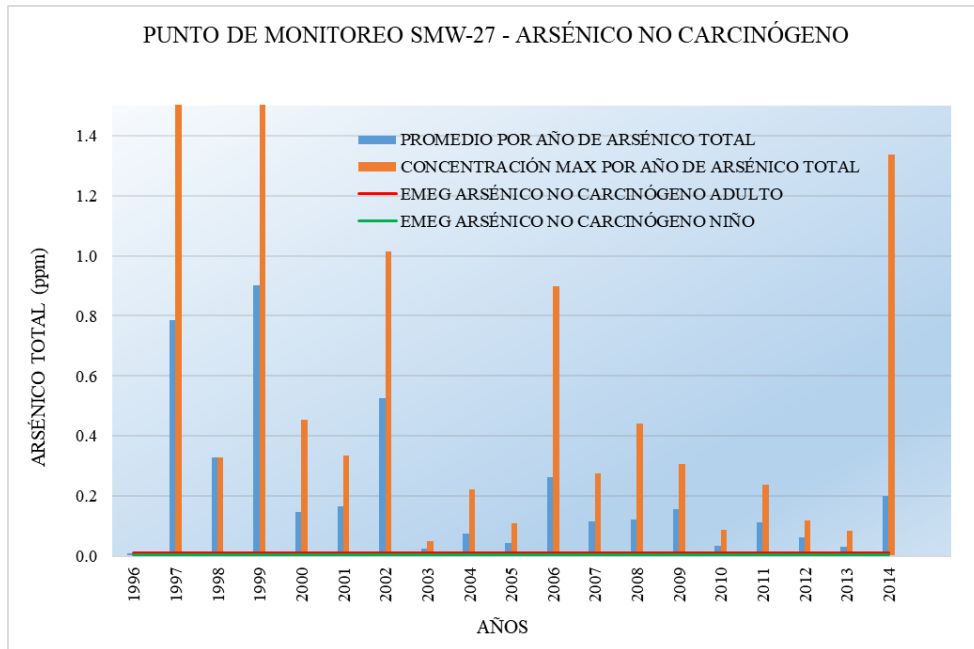


**Comentario:**

Se advierte que antes de las operaciones de la unidad minera, la presencia de zinc sobrepasó los valores de EMEG, por lo que se podría inferir que se trataría de un contaminante crítico para las poblaciones cercanas, y que probablemente tuvieron un riesgo de exposición ex-ante.

Durante los años 1997 al 2014, en su mayoría, las concentraciones tanto máximo como de promedio anual, se mantienen por debajo del EMEG adulto, sin embargo, se advierte que sobrepasa el EMEG para niños, solo en el caso de concentraciones puntuales máximas para los años 1999, 2002 y 2006; y durante el año 2011, la concentración promedio anual y máxima superó tanto el EMEG niños y adulto.

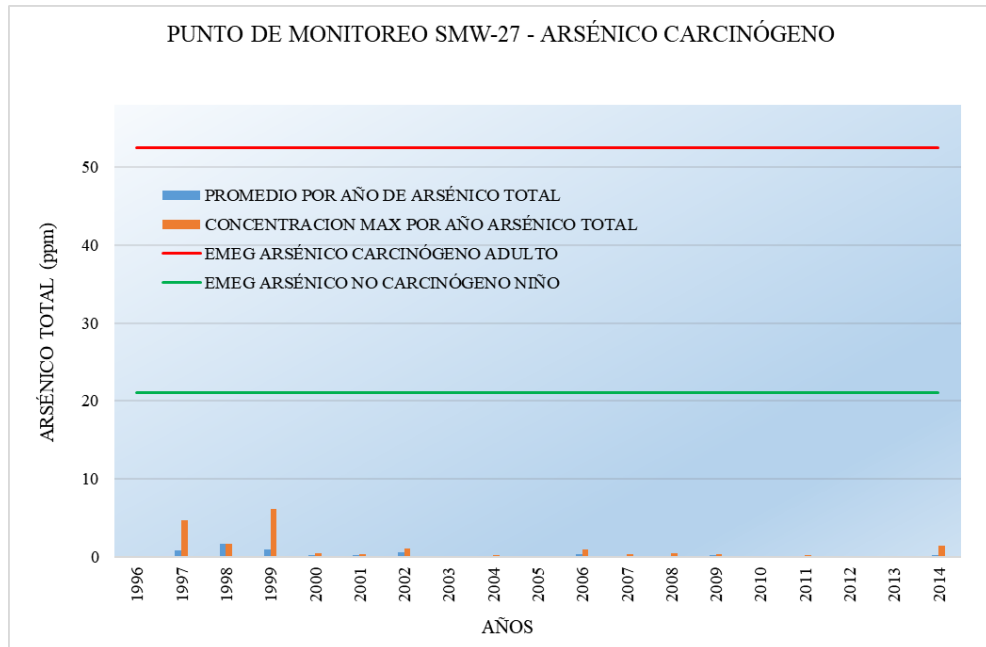
**Gráfico 13.** Comparación de los niveles promedio de arsénico no carcinogénico en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014



**Comentario:**

Para este punto de monitoreo, todas las concentraciones de arsénico (no carcinogénico) sobrepasaron el EMEG tanto de niños y adultos durante todos los años de monitoreo (1997 al 2014), siendo considerado un contaminante crítico. Asimismo, se puede apreciar que en el año 1996 la concentración promedio anual y la máxima anual no sobrepasaron el EMEG tanto para niño y adulto.

**Gráfico 14.** Comparación de los niveles promedio de arsénico carcinogénico en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996 al 2014

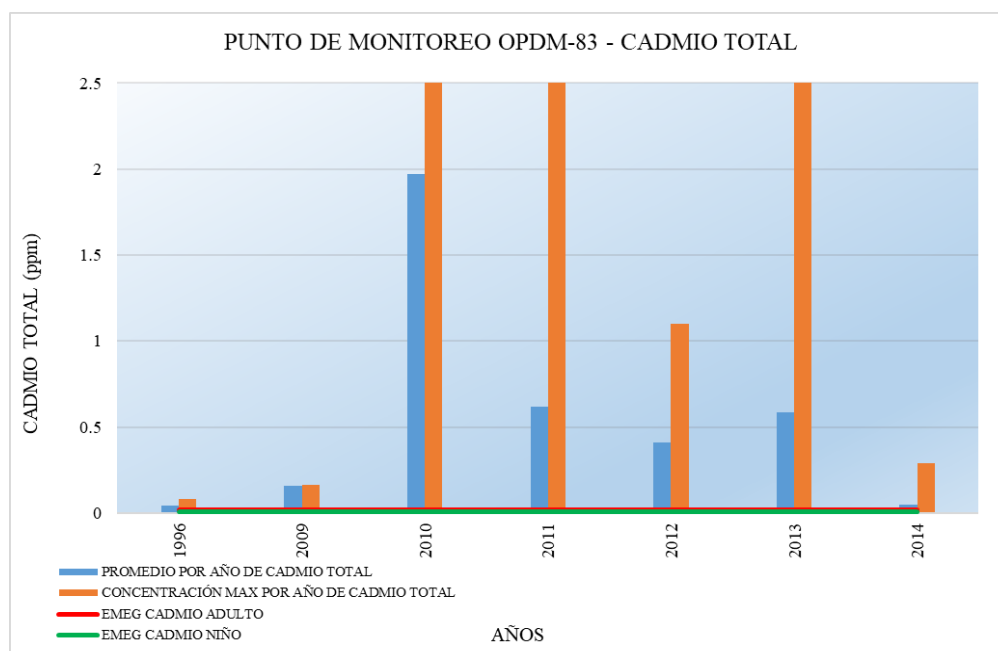


**Comentario:**

Las concentraciones de arsénico (carcinogénico) tanto para los promedios anuales y concentraciones máximas registradas no sobrepasaron los EMEG ni de niños ni de adultos, por lo que no se consideraría como contaminante crítico dentro de este punto de monitoreo.

**B. En el punto de monitoreo OPDM-83.**

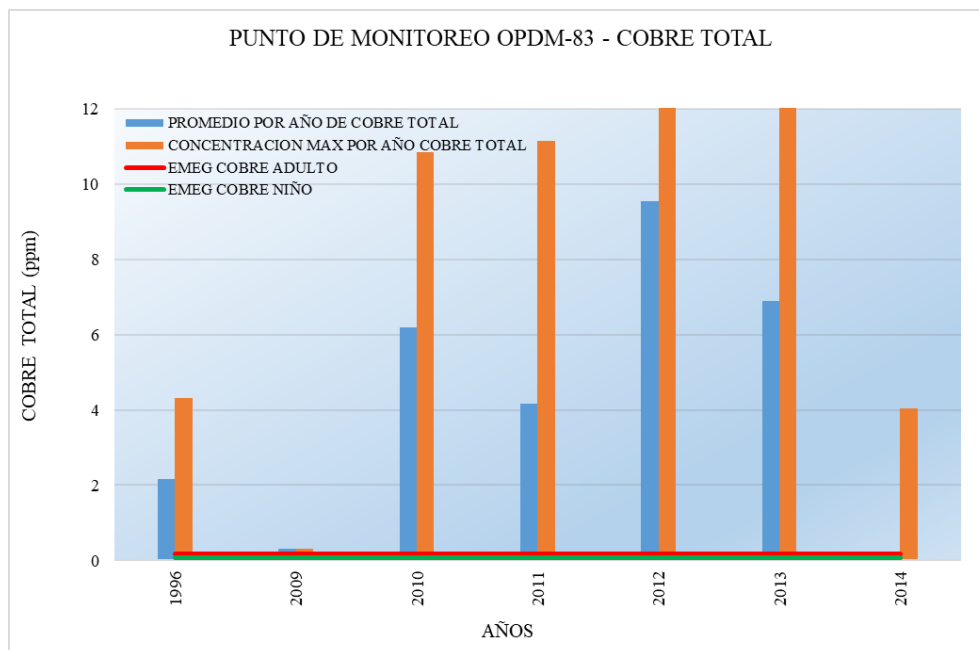
**Gráfico 15.** Comparación de los niveles promedio de cadmio en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Para todos los años de monitoreo (1996 y 2009 al 2014), en el punto OPDM-83, las concentraciones máximas promedios anuales sobrepasan el EMEG determinado tanto para niños y adultos, siendo considerado este metal como un contaminante crítico.

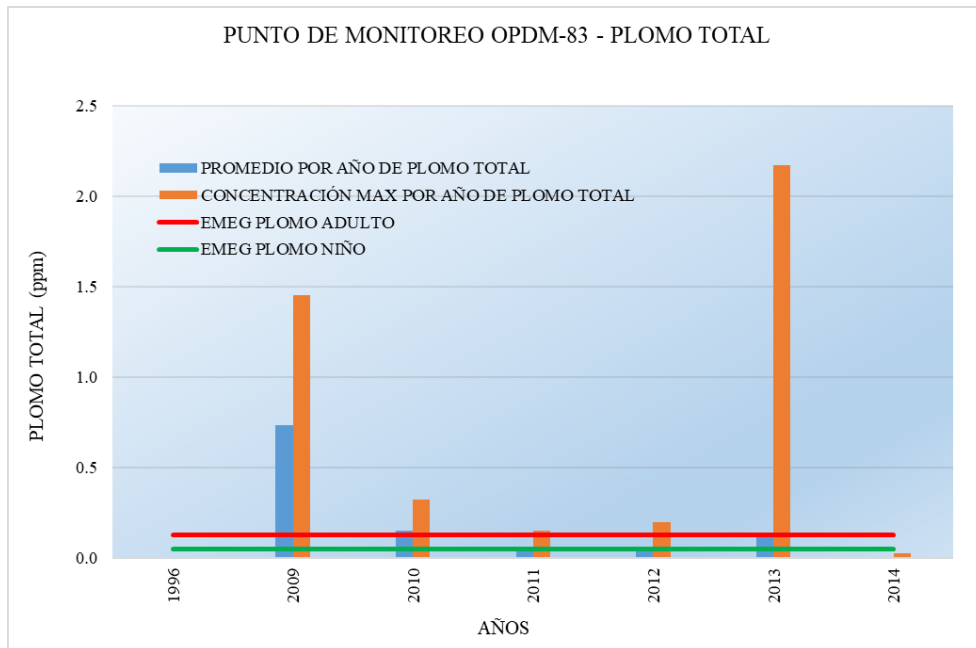
**Gráfico 16.** Comparación de los niveles promedio de cobre en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Para todos los años de monitoreo (2009 al 2014), en el punto OPDM-83, las concentraciones máximas (hasta 36.203 mg/L en el año 2013) y los promedios anuales (hasta 9.553 mg/L en el año 2012) del cobre sobrepasan el EMEG determinado tanto para niños y adultos, siendo considerado este metal como un contaminante crítico.

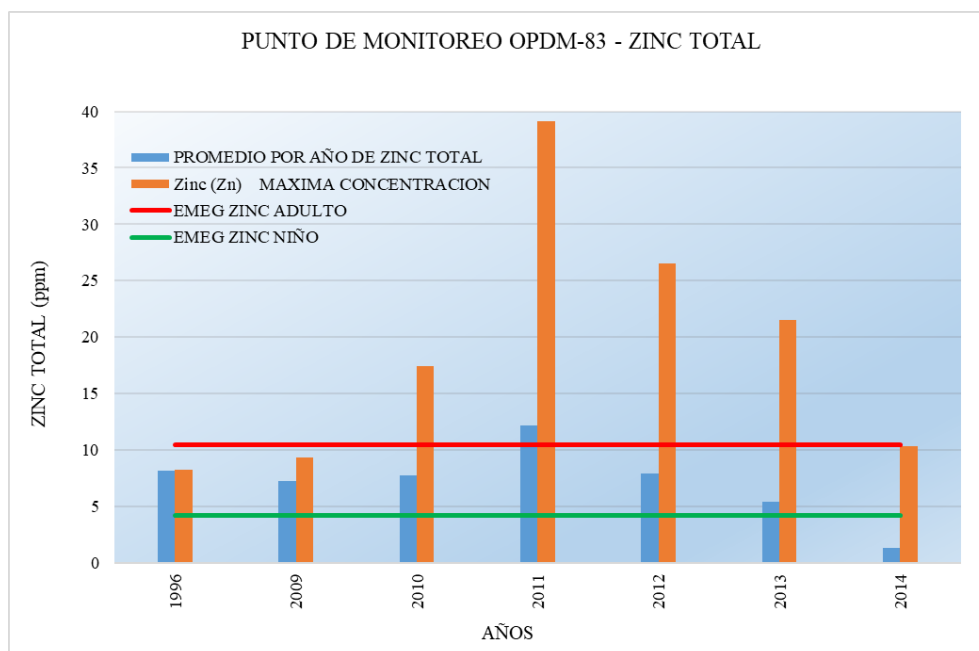
**Gráfico 17.** Comparación de los niveles promedio de plomo en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Con respecto al plomo, para el periodo 2009 al 2013, para todos los casos, las concentraciones máximas anuales y promedios anuales del metal sobrepasan los EMEG de niños y adultos, siendo considerado como contaminante crítico para esos años, con excepción de los años 1996 y 2014, que se mantuvo por debajo de lo establecido.

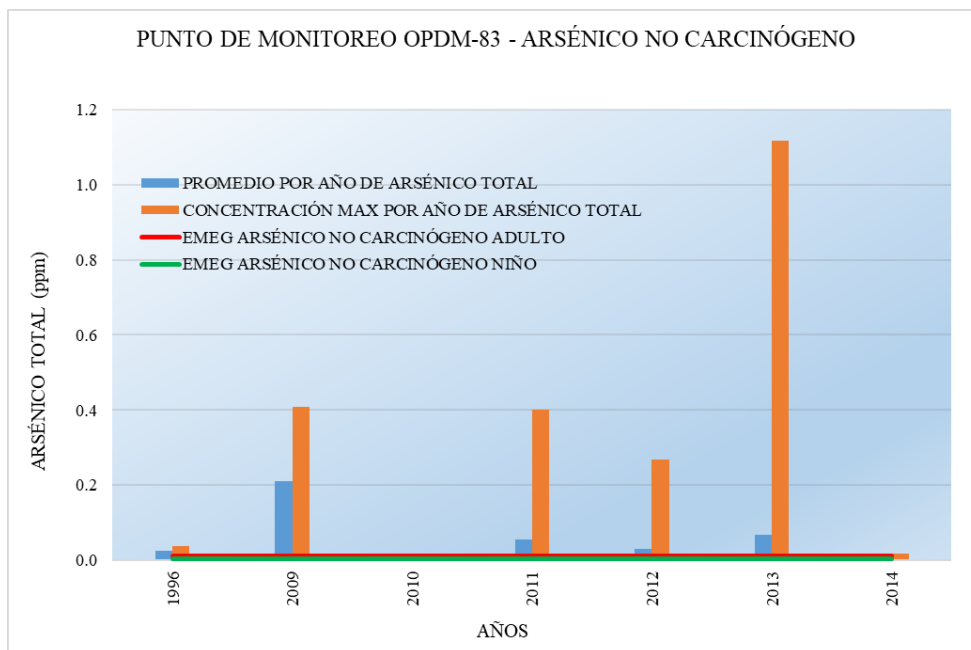
**Gráfico 18.** Comparación de los niveles promedio de zinc en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Con respecto a las concentraciones de zinc, se observa que para todos los casos sobrepasa solo el EMEG de niños, en la máxima concentración anual registrada para el año 1996 y el periodo del año 2009 al 2014, así como el EMEG adultos, con excepción del año 1996 y 2009. Respecto a las concentraciones promedios anuales, en todos los casos sobrepasa el EMEG niño y EMEG adulto, con excepción del año 1996 y 2014.

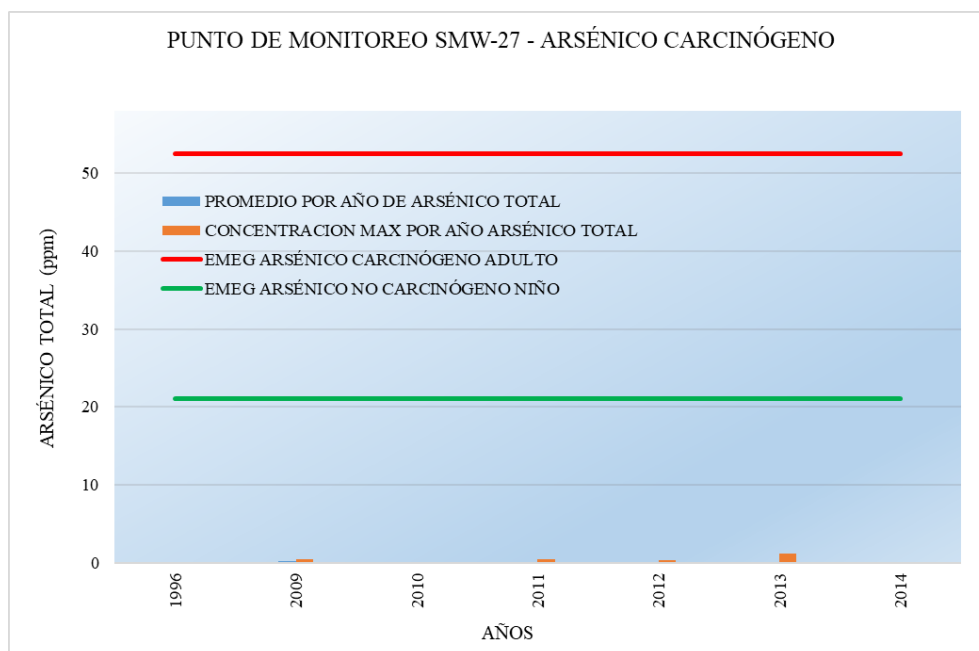
**Gráfico 19.** Comparación de los niveles promedio de arsénico no carcinogénico en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Con respecto a la comparación del EMEG niño y adulto, calculado para el arsénico no carcinogénico con las concentraciones de arsénico halladas en el punto de monitoreo OPDM-83, solo en los años 2010 y 2014 no se evidencia datos que hayan sobrepasado los EMEG señalados.

**Gráfico 20.** Comparación de los niveles promedio de arsénico carcinogénico en la quebrada Pucauran con los valores EMEG entre los años 1996, 2009 al 2014



**Comentario:**

Con respecto al arsénico carcinogénico, las concentraciones de este metal se encontraban en niveles muy inferiores a su valor EMEG calculado tanto para niños como adultos.

### **4.3. Cálculo de la estimación de riesgo de exposición.**

De la identificación de los contaminantes críticos (datos de la Guía de Evaluación para Medios Ambientales -EMEG- que sobrepasaron el promedio y concentración máxima anual para cada metal pesado), se realizó el cálculo de la estimación del riesgo de exposición para niños y adultos, por punto de monitoreo y quebrada; de acuerdo a la relación entre la dosis de exposición calculada y el NOAEL / LOAEL anual (mg/Kg/día).

$$Dosis (mg/Kg/día) = \left( \frac{Conc * TI}{PC} \right) * FE$$

El cálculo de los datos se adjunta en los Anexos 5 al Anexo 10 del presente estudio.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos:

#### **1.3.1. Quebrada Pacchac.**

##### **A. Estimación del riesgo de exposición antes de la operación de la unidad minera (año 1996):**

Se tomaron los datos reportados como levantamiento de la línea base ambiental, durante el muestreo de los meses de octubre y noviembre de 1996 y analizados en el EIA Mina Pierina (1996). Las estaciones consideradas para este análisis fueron las denominadas “25” y “26” que estuvieron ubicadas en la quebrada Pacchac, la primera ubicada en la confluencia con el río Santa y la segunda ubicada aproximadamente a 4 km aguas arriba de la confluencia con el río Santa.

Los valores para esta quebrada y punto de muestreo se encontraron por debajo de la Ley General de Aguas (establecidas en esa fecha), tanto para el promedio como la mayor concentración analizada.

Se detectó como contaminante crítico el arsénico no carcinogénico, por presentar valores por encima del EMEG tanto para niño y adulto, y comparado con la concentración máxima anual y la concentración promedio anual, para ambas estaciones.

Sin embargo, el resultado de la estimación del riesgo de exposición para todos los metales establecidos en el presente estudio, tuvieron un coeficiente de cero (0), tal como se muestra en el Anexo 5 (Puntos de monitoreo 25 y 26, Quebrada Pacchac – Línea base 1996).

**B. Estimación del riesgo de exposición durante el periodo 1997-2014, en el punto SMW-25:**

De acuerdo a los datos registrados y calculados, de las concentraciones promedio anual y máxima concentraciones anuales que solo sobrepasaron los EMEG tanto para niño y adulto, y según la aplicación de la fórmula de relación de la dosis de exposición/NOAEL o LOAEL, se obtiene riesgo individual de exposición (relación igual o mayor a 1, calculada de manera conservadora: 0.5 es considerado como 1) para el caso de los metales: plomo (años 2005, 2006, 2008 y 2014; para las concentraciones máximas anuales puntuales) y para el arsénico no carcinogénico (años 2005, 2006, 2007, 2008, 2013 y 2014; para las concentraciones promedios anuales). Respecto al arsénico carcinogénico, al no presentar excedencias a los EMEG

calculados, tanto para niños y adultos, por lo tanto, no es considerado como un contaminante crítico.

**Tabla 14.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cadmio en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
SMW-25	Pacchac	1997	0.2	0	0	0	0
		1998	0.2	0	0	0	0
		1999	0.2	0	0	0	0
		2000	0.2	0	0	0	0
		2001	0.2	0	0	0	0
		2002	0.2	0	0	0	0
		2003	0.2	0	0	0	0
		2004	0.2	0	0	0	0
		2005	0.2	0	0	0	0
		2006	0.2	0	0	0	0
		2007	0.2	0	0	0	0
		2008	0.2	0	0	0	0
		2009	0.2	0	0	0	0
		2010	0.2	0	0	0	0
		2011	0.2	0	0	0	0
		2012	0.2	0	0	0	0
2013	0.2	0	0	0	0		
2014	0.2	0	0	0	0		

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

**Tabla 15.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cobre en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
SMW-25	Pacchac	1997	0.042	0	0	0	0
		1998	0.042	0	0	0	0
		1999	0.042	0	0	0	0
		2000	0.042	0	0	0	0
		2001	0.042	0	0	0	0
		2002	0.042	0	0	0	0
		2003	0.042	0	0	0	0
		2004	0.042	0	0	0	0
		2005	0.042	0	0	0	0
		2006	0.042	0	0	0	0
		2007	0.042	0	0	0	0
		2008	0.042	0	0	0	0
		2009	0.042	0	0	0	0
		2010	0.042	0	0	0	0
		2011	0.042	0	0	0	0
		2012	0.042	0	0	0	0
2013	0.042	0	0	0	0		
2014	0.042	0	0	0	0		

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

**Tabla 16.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para plomo en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Plomo (Pb) PROMEDIO ADULTO	Plomo (Pb) PROMEDIO NIÑO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
SMW-25	Pacchac	1997	0.0036	0	0	0	0
		1998	0.0036	0	0	0	0
		1999	0.0036	0	0	0	0
		2000	0.0036	0	0	0	0
		2001	0.0036	0	0	0	0
		2002	0.0036	0	0	0	0
		2003	0.0036	0	0	0	0
		2004	0.0036	0	0	0	0
		2005	0.0036	0	0	0	1
		2006	0.0036	0	0	1	2
		2007	0.0036	0	0	0	0
		2008	0.0036	0	0	1	1
		2009	0.0036	0	0	0	0
		2010	0.0036	0	0	0	0
		2011	0.0036	0	0	0	0
		2012	0.0036	0	0	0	0
2013	0.0036	0	0	0	0		
2014	0.0036	0	0	0	1		

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

**Datos resaltados en rojo:** Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 17.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para zinc en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO
SMW-25	Pacchac	1997	60	0	0	0	0
		1998	60	0	0	0	0
		1999	60	0	0	0	0
		2000	60	0	0	0	0
		2001	60	0	0	0	0
		2002	60	0	0	0	0
		2003	60	0	0	0	0
		2004	60	0	0	0	0
		2005	60	0	0	0	0
		2006	60	0	0	0	0
		2007	60	0	0	0	0
		2008	60	0	0	0	0
		2009	60	0	0	0	0
		2010	60	0	0	0	0
		2011	60	0	0	0	0
		2012	60	0	0	0	0
2013	60	0	0	0	0		
2014	60	0	0	0	0		

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

**Tabla 18.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para arsénico no carcinógeno en el punto de monitoreo SMW-25. Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
SMW-25	Pacchac	1997	0.0008	0	0	0	0
		1998	0.0008	0	0	0	0
		1999	0.0008	0	0	0	0
		2000	0.0008	0	0	0	0
		2001	0.0008	0	0	0	0
		2002	0.0008	0	0	0	0
		2003	0.0008	0	0	0	0
		2004	0.0008	0	0	0	0
		2005	0.0008	1	2	0	0
		2006	0.0008	7	10	0	0
		2007	0.0008	0	1	0	0
		2008	0.0008	1	2	0	0
		2009	0.0008	0	0	0	0
		2010	0.0008	0	0	0	0
		2011	0.0008	0	0	0	0
		2012	0.0008	0	0	0	0
		2013	0.0008	0	0	1	0
		2014	0.0008	4	5	0	0

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**C. Estimación del riesgo de exposición durante el periodo 2009-2014, en el punto LPCS-1:**

Los cálculos realizados respecto a las concentraciones promedio anuales y máximas concentraciones anuales; con los EMEG calculados de niños y adultos, evidencias que son considerados como contaminantes críticos los metales: cadmio, cobre y arsénico no carcinógeno. Se aprecia que ninguno de los valores obtiene una relación mayor de 1, que pueda ocasionar algún efecto adverso, de manera individual, en las poblaciones de niños y adultos.

**Tabla 19.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cadmio en el punto de monitoreo LPCS-1. Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
LPCS-1	Pacchac	2009	0.2	0	0	0	0
		2010	0.2	0	0	0	0
		2011	0.2	0	0	0	0
		2012	0.2	0	0	0	0
		2013	0.2	0	0	0	0
		2014	0.2	0	0	0	0

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 20.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cobre en el punto de monitoreo LPCS-1. Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Co) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cobre (Co) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
LPCS-1	Pacchac	2009	0.042	0	0	0	0
		2010	0.042	0	0	0	0
		2011	0.042	0	0	0	0
		2012	0.042	0	0	0	0
		2013	0.042	0	0	0	0
		2014	0.042	0	0	0	0

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 21.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para arsénico no carcinogénico en el punto de monitoreo LPCS-1. Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
LPCS-1	Pacchac	2009	0.0008	0	0	0	0
		2010	0.0008	0	0	0	0
		2011	0.0008	0	0	0	0
		2012	0.0008	0	0	0	0
		2013	0.0008	0	0	0	0
		2014	0.0008	0	0	0	0

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

### **1.3.2. Quebrada Pucauran:**

#### **A. Estimación del riesgo de exposición antes de la operación de la unidad minera (año 1996):**

Se tomaron los datos reportados como levantamiento de su línea base ambiental, durante el muestreo de los meses de octubre y noviembre de 1996 y analizados en el EIA Mina Pierina (1996). Las estaciones consideradas para este análisis fueron las denominadas “27” y “28” que estuvieron ubicadas en la quebrada Pucauran, una de ellas ubicada en la confluencia con el río Santa y otra ubicada aproximadamente a 2,5 km aguas arriba de la confluencia con el río Santa, respectivamente.

Se registraron valores por encima de lo establecido en la Ley General de Aguas (vigentes en el año 1996), para los metales cadmio, zinc y cobre.

Respecto a la detección de contaminantes críticos, se registró que los valores de cadmio, cobre y arsénico no carcinogénico sobrepasaron los valores EMEG tanto para niños y adultos para la concentración máxima anual y la concentración promedio anual, para ambas estaciones. Para el caso del zinc, se observó que sobrepasó el EMEG solo para niños para la concentración máxima anual y la concentración promedio anual.

Sin embargo, el resultado de la estimación de riesgo de exposición para los metales establecidos y su posterior relación dosis/LOAEL o NOAEL, fue de cero (0), tal como se muestran en el Anexo 8 (Punto de monitoreo 27 y 28, Quebrada Pucauran – Línea base 1996).

**B. Estimación del riesgo de exposición durante el periodo 1997-2014, en el punto SMW-27:**

La determinación de contaminantes críticos para el punto SMW-27, comparando las concentraciones promedio anuales y las concentraciones máximas anuales con el EMEG calculado tanto para niños y adultos, registraron que todos los metales fueron considerados como contaminantes críticos, con excepción del arsénico carcinogénico. Del cálculo de las dosis de exposición con el NOAEL o LOAEL, se obtiene que la relación igual o mayor a 1 se registraron en los metales plomo y arsénico no carcinogénico. En el caso del plomo, la relación máxima hallado fue de 6, por lo que se podría traducir en un riesgo de exposición individual hasta de 6 veces al plomo en agua; los años en los que se registraron valores fueron: 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2006, 2008, 2009 y 2014; el riesgo de exposición hallado se observa en mayor medida en las concentraciones máximas anuales (concentraciones puntuales), observándose que solo en los años 1998, 1999, 2000, 2002 y 2006 se detectó un mayor riesgo de exposición, en su mayoría en la población de niños.

En el caso del arsénico no carcinogénico, se hallaron relaciones máximas de hasta 33 veces el riesgo de exposición al arsénico, tanto en las poblaciones de niños y adultos.; se aprecia además que solo en el año 2003 y 2013 son considerados como “atípicos” ya que son los únicos años donde no registraron valores mayores a 1. Estos datos se observan tanto para las concentraciones máximas anuales (puntuales) y las concentraciones promedios anuales, por lo que haría suponer una exposición de la población cercana a este punto de monitoreo en constante contacto con este metal.

**Tabla 22.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cadmio en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
SMW-27	Pucaurán	1997	0.2	0	0	0	0
		1998	0.2	0	0	0	0
		1999	0.2	0	0	0	0
		2000	0.2	0	0	0	0
		2001	0.2	0	0	0	0
		2002	0.2	0	0	0	0
		2003	0.2	0	0	0	0
		2004	0.2	0	0	0	0
		2005	0.2	0	0	0	0
		2006	0.2	0	0	0	0
		2007	0.2	0	0	0	0
		2008	0.2	0	0	0	0
		2009	0.2	0	0	0	0
		2010	0.2	0	0	0	0
		2011	0.2	0	0	0	0
		2012	0.2	0	0	0	0
2013	0.2	0	0	0	0		
2014	0.2	0	0	0	0		

**NOAEL, LOEAL:** Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

**Datos resaltados en rojo:** Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 23.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cobre en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO
SMW-27	Pucaurán	1997	0.042	0	0	0	0
		1998	0.042	0	0	0	0
		1999	0.042	0	0	0	0
		2000	0.042	0	0	0	0
		2001	0.042	0	0	0	0
		2002	0.042	0	0	0	0
		2003	0.042	0	0	0	0
		2004	0.042	0	0	0	0
		2005	0.042	0	0	0	0
		2006	0.042	0	0	0	0
		2007	0.042	0	0	0	0
		2008	0.042	0	0	0	0
		2009	0.042	0	0	0	0
		2010	0.042	0	0	0	0
		2011	0.042	0	0	0	0
		2012	0.042	0	0	0	0
2013	0.042	0	0	0	0		
2014	0.042	0	0	0	0		

**NOAEL, LOEAL:** Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

**Datos resaltados en rojo:** Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 24.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para plomo en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Plomo (Pb) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Plomo (Pb) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO
SMW-27	Pucaurán	1997	0.0036	0	0	1	1
		1998	0.0036	0	1	0	1
		1999	0.0036	0	1	2	3
		2000	0.0036	0	1	1	2
		2001	0.0036	0	0	1	1
		2002	0.0036	2	2	4	6
		2003	0.0036	0	0	0	0
		2004	0.0036	0	0	0	0
		2005	0.0036	0	0	0	0
		2006	0.0036	1	1	2	3
		2007	0.0036	0	0	0	0
		2008	0.0036	0	0	1	1
		2009	0.0036	0	0	0	1
		2010	0.0036	0	0	0	0
		2011	0.0036	0	0	0	0
2012	0.0036	0	0	0	0		
2013	0.0036	0	0	0	0		
2014	0.0036	0	0	0	1		

**NOAEL, LOAEL:** Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

**Datos resaltados en rojo:** Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 25.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para zinc en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO
SMW-27	Pucaurán	1997	60	0	0	0	0
		1998	60	0	0	0	0
		1999	60	0	0	0	0
		2000	60	0	0	0	0
		2001	60	0	0	0	0
		2002	60	0	0	0	0
		2003	60	0	0	0	0
		2004	60	0	0	0	0
		2005	60	0	0	0	0
		2006	60	0	0	0	0
		2007	60	0	0	0	0
		2008	60	0	0	0	0
		2009	60	0	0	0	0
		2010	60	0	0	0	0
		2011	60	0	0	0	0
		2012	60	0	0	0	0
		2013	60	0	0	0	0
2014	60	0	0	0	0		

**NOAEL, LOAEL:** Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

**Datos resaltados en rojo:** Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 26.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para arsénico no carcinogénico en el punto de monitoreo SMW-27. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO
SMW-27	Pucaurán	1997	0.0008	3	4	18	25
		1998	0.0008	1	2	1	2
		1999	0.0008	4	5	24	33
		2000	0.0008	1	1	2	3
		2001	0.0008	1	1	1	2
		2002	0.0008	2	3	4	6
		2003	0.0008	0	0	0	0
		2004	0.0008	0	0	1	1
		2005	0.0008	0	0	0	1
		2006	0.0008	1	1	4	5
		2007	0.0008	0	1	1	2
		2008	0.0008	0	1	2	2
		2009	0.0008	1	1	1	2
		2010	0.0008	0	0	0	0
		2011	0.0008	0	1	1	1
		2012	0.0008	0	0	0	1
		2013	0.0008	0	0	0	0
2014	0.0008	1	1	5	7		

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

### C. Estimación del riesgo de exposición durante el periodo 2009-2014, en el punto OPDM-83:

La determinación de contaminantes críticos para el punto OPDM-83, comparando las concentraciones promedio anuales y las concentraciones máximas anuales con el EMEG calculado tanto para niños y adultos, registraron que todos los metales fueron considerados como contaminantes críticos, con excepción del arsénico carcinogénico. Del cálculo de las dosis de exposición con el NOAEL o LOAEL, se obtiene que la relación igual o mayor a 1 se registraron en los metales cobre, plomo y arsénico no carcinogénico.

Para el caso del cobre, solo los años 2009 y 2014 no registraron valores por encima de 1.

Para el caso del plomo, solo los años 2009 y 2013 presentaron valores por encima de 1, llegando hasta un máximo de 3 en la concentración máxima anual (puntual).

Para el caso del arsénico no carcinogénico, se registra que solo los años 2010 y 2014 no obtuvieron valores por encima de 1, siendo el valor más alto de 6 en la concentración máxima anual en el caso de niños, traduciéndose como que existió un riesgo de exposición de hasta 6 veces, de manera individual, para el caso de niños, y de manera aguda, ya que se evidencia que solo fue una sola concentración obtenida durante todo el año.

**Tabla 27.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cadmio en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
OPDM-83	Pucauran	2009	0.200	0	0	0	0
		2010	0.200	0	0	0	0
		2011	0.200	0	0	0	0
		2012	0.200	0	0	0	0
		2013	0.200	0	0	0	0
		2014	0.200	0	0	0	0

NOAEL, LOAEL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 28.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para cobre en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
OPDM-83	Pucauran	2009	0.042	0	0	0	0
		2010	0.042	0	1	1	1
		2011	0.042	0	0	1	1
		2012	0.042	1	1	2	3
		2013	0.042	1	1	3	4
		2014	0.042	0	0	0	0

NOAEL, LOAEL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 29.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para plomo en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Plomo (Pb) PROMEDIO ADULTO	Plomo (Pb) PROMEDIO NIÑO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
OPDM-83	Pucauran	2009	0.0036	1	1	1	2
		2010	0.0036	0	0	0	0
		2011	0.0036	0	0	0	0
		2012	0.0036	0	0	0	0
		2013	0.0036	0	0	2	3
		2014	0.0036	0	0	0	0

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 30.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para zinc en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
OPDM-83	Pucauran	2009	60	0	0	0	0
		2010	60	0	0	0	0
		2011	60	0	0	0	0
		2012	60	0	0	0	0
		2013	60	0	0	0	0
		2014	60	0	0	0	0

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

**Tabla 31.** Estimación del riesgo de exposición (relación dosis/NOAEL-LOAEL) para arsénico no carcinogénico en el punto de monitoreo OPDM-83. Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de exposición)				
			NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
OPDM-83	Pucauran	2009	0.0008	1	1	2	2
		2010	0.0008	0	0	0	0
		2011	0.0008	0	0	2	2
		2012	0.0008	0	0	1	1
		2013	0.0008	0	0	4	6
		2014	0.0008	0	0	0	0

NOAEL, LOEAL: Es el máximo nivel de dosis al que no se observan efectos adversos. Es el mínimo nivel de dosis al que se observan efectos adversos, respectivamente. Se utiliza en el siguiente cuadro para el cálculo del riesgo de exposición al metal pesado.

Datos resaltados en rojo: Relación dosis calculada/NOAEL o LOAEL, mayor a 0,5 (de manera conservadora).

## V. DISCUSIÓN

El principal aporte de este estudio es el conocer si la población que vive o vivió aledaña a las quebradas Pacchac y Pucaurán tuvieron algún riesgo de exposición por metales pesados, teniendo en cuenta un consumo del agua, como bebida. Cabe resaltar que, no se cuentan con estudios previos o antecedentes de salud por metales pesados en la zona para poder realizar estudios comparativos o tomar como base para el próximo análisis.

Como parte del análisis, se realizaron los cálculos del riesgo a la exposición a metales pesados de la población aledaña a la unidad minera, antes del inicio de las operaciones mineras, estos datos fueron obtenidos de la línea base ambiental del Estudio de Impacto Ambiental Pierina, que fue aprobado en el año 1997, estos resultados nos permitieron conocer si las condiciones antes de las operaciones de la instalación de la mina Pierina eran adecuadas.

Respecto a la quebrada Pucaurán, se tuvo dos (02) puntos de monitoreo constantes, denominados SMW-27 y OPDM-83, ubicados en la confluencia con el río Santa y al inicio de las descargas de la unidad minera, respectivamente. Respecto a la quebrada Pacchac, se tuvo dos (02) puntos de monitoreo constantes, denominados SWM-25 y LPCS-1, ubicados en la confluencia con el río Santa y de los subdrenajes que son descargados a la quebrada, respectivamente.

A continuación, se analizarán los resultados obtenidos por punto de monitoreo y por cada metal.

El punto OPDM-83 (quebrada Pucauran) cuenta con información desde el año 2009 hasta el 2014 y de acuerdo con los cálculos realizados, se obtuvo una detección de contaminantes críticos para los metales cadmio, cobre, plomo, zinc y arsénico no carcinógeno, al haber sobrepasado la guía de evaluación para medios ambientales (o EMEG, por sus siglas en inglés).

Sin embargo, los resultados del cálculo del riesgo (relación dosis/NOAEL o LOAEL) no obtuvieron un riesgo de exposición individual con posibilidad de desarrollar algún efecto adverso sobre el metal cadmio, zinc y arsénico carcinógeno, los cálculos demostraron que las localidades cercanas al punto de monitoreo o aguas abajo del mismo no tuvieron un riesgo en la exposición a estos metales pesados.

Respecto al riesgo de exposición de las personas por la presencia de cobre, se obtuvo un riesgo de exposición de hasta cuatro (04) veces para la población de niños en su máxima concentración detectada en el año 2013. El riesgo se mantuvo presente desde el año 2010 hasta el 2013 oscilando entre valores de 1 hasta 4, las cuales pudo verse afectada las poblaciones de niños y adultos, por lo que se podría considerar que la localidad más cercana a este punto (Atupa y Antahurán) tuvo un mayor riesgo de exposición al cobre durante tiempos prolongados; sin embargo, cabe resaltar que el punto de monitoreo mide la concentración antes de la descarga a la quebrada Pucauran y que luego probablemente al descargar se diluya con el volumen del caudal presente en la quebrada Pucauran, obteniendo que el agua que obtiene la población ya sea de menor concentración, tal como se puede apreciar en los datos obtenidos en el punto SWM-27 (parte baja de la quebrada, antes de llegar al río Santa).

El riesgo de la exposición por el metal plomo, se identifica hasta un riesgo de hasta dos (02) veces, detectado en el año 2013 y un riesgo de exposición de tres (03) en el año 2004, esto debido a datos puntuales de monitoreo atípicos (marzo 2013 y abril 2009). Respecto al riesgo de la exposición al arsénico, para el caso del no carcinógeno, se evidencia riesgo de hasta seis (06) veces solo en la máxima concentración tanto para niños y adultos en el año 2013; esto evidencia también, que fue un dato puntual y atípico identificado en el mes de marzo, el único año donde fue constante las concentraciones de arsénico fueron en el año 2009. Al realizar la revisión de los reportes de monitoreo presentados a la autoridad, no se evidencia justificación técnica a estos datos puntuales y atípicos, solo menciona que este punto de monitoreo pertenece a la red del programa de adecuación de vertimiento y reúso de agua industrial (PAVER), donde indica que se encuentra en proceso de adecuar el efluente a los límites máximos establecidos (LMP) para agua y al Estándar de calidad ambiental para agua (ECA Agua), por lo que se puede concluir que no hubo un riesgo de exposición al cobre, plomo y arsénico. Los datos puntuales elevados, podrían sugerir que hubo un contacto de la población tanto de niños y adultos en un corto plazo; pero pudo deberse a varios factores: mala toma de muestra, contaminación cruzada, entre otros.

El punto SMW-27 (quebrada Pucauran) cuenta con información desde el año 1996 hasta el año 2014 y de acuerdo con los cálculos realizados, la detección de contaminante críticos se dio para los metales cadmio, cobre, plomo, zinc y arsénico no carcinógeno, al haber sobrepasado la guía de evaluación para medios ambientales (o EMEG, por sus siglas en inglés).

Sin embargo, los resultados del cálculo del riesgo (relación dosis/NOAEL o LOAEL) no obtuvieron un riesgo de exposición individual para el cadmio para las localidades ubicadas cerca al punto de monitoreo o aguas arriba del mismo. De igual manera para el caso del cobre, zinc y el arsénico carcinógeno, los cálculos demostraron que las localidades cercanas al punto de monitoreo o aguas arriba del mismo no tuvieron un riesgo en la exposición de estos metales pesados.

Respecto al riesgo de exposición a las poblaciones de niños y adultos por la presencia de plomo, para este punto de monitoreo, los resultados arrojaron un riesgo de exposición de hasta seis (06) veces, el cual fue identificado durante el año 2002, tanto para la población de niños como adultos; asimismo, se identificó que el riesgo a este metal pesado se mantuvo presente desde el año 1997 hasta el año 2002, por lo que podría considerar que las localidades (Atupa, Antahurán y Tarapampa) tuvieron una exposición prolongada durante seis (06) años con un alto riesgo de exposición a este metal, por el consumo de agua.

Los resultados del riesgo a la exposición por arsénico se repiten en cuanto a la exposición prolongada a este metal, llegando a obtener hasta un riesgo de exposición con un nivel de hasta 33 veces y una exposición constante por dieciocho (18) años con interrupciones por un (01) año, siendo afectadas las poblaciones de niños y adultos.

Al realizar un análisis con lo calculado en la línea base (muestreado en el año 1996, antes del inicio de las operaciones) para los puntos 27 y 28; se puede apreciar que no se tuvo un riesgo a la exposición por ningún metal pesado, sin embargo, cabe

resaltar que el muestreo realizado en ese año fue de manera puntual y en la época de lluvias (meses de octubre y noviembre, según se detalla en el estudio) lo cual se podría suponer de una dilución del agua presente en la quebrada Pucaurán, haciendo que las concentraciones de metales disminuyan por el aumento de caudal. Además de ello, si bien no se identificó un riesgo de exposición a la población de manera puntual, durante el muestreo del año 1996 se detectó la presencia de filtraciones de agua subterránea que descargaban a la quebrada Pucauran, el cual tenía valores de arsénico y otros metales, producto del yacimiento mineralógico presente de manera natural.

Además, la identificación del área antes de la operación minera da cuenta de la presencia de drenaje ácido de roca debido al arrastre de los sedimentos por la quebrada, producto de la explotación de la Mina Santa Fe (ex mina Santo Toribio), por lo que se atribuiría una exposición muy prolongada, de más de 20 años, de las localidades adyacentes a la quebrada Pucauran, especialmente a los metales pesados cadmio, cobre, zinc y arsénico, debido al uso como agua de bebida de esta quebrada. La falta de datos a la salud y la ausencia de postas médicas no nos permite obtener un seguimiento a la salud a los pobladores de estas localidades y sus repercusiones crónicas durante este margen de años.

El punto de monitoreo LPCS-1 (quebrada Pacchac) cuenta con información desde el año 2009 hasta el 2014, este punto capta los subdrenajes de la plataforma de lixiviación y que luego son descargados a la quebrada Pacchac, de acuerdo con los cálculos realizados para la determinación del riesgo de exposición, ninguno de los metales analizados en el presente estudio obtuvo un resultado igual o mayor a 1, lo

cual aparentemente la descarga de agua hacia la quebrada Pacchac por parte de la unidad minera no aportaría al riesgo de exposición a los metales pesados analizados en las localidades que se encuentran aguas abajo o en el curso de la misma.

El punto SMW-25 (quebrada Pacchac) cuenta con información desde el año 1996 hasta el año 2014 y de acuerdo con los cálculos realizados, la detección de contaminante críticos se dio para los metales cadmio, cobre, plomo, zinc (solo para el año 2014) y arsénico no carcinógeno, al haber sobrepasado la guía de evaluación para medios ambientales (o EMEG, por sus siglas en inglés).

Sin embargo, los resultados del cálculo del riesgo (relación dosis/NOAEL o LOAEL) no obtuvieron un riesgo de exposición individual sobre el metal cadmio, cobre, zinc y arsénico carcinógeno, los cálculos demostraron que las localidades cercanas al punto de monitoreo o aguas abajo del mismo no tuvieron un riesgo en la exposición de estos metales pesados.

Respecto al riesgo calculado para el metal plomo, se evidenció un riesgo de hasta dos (02) veces, el cual fue identificado durante el año 2006 (para la población de niños para una máxima concentración puntual), asimismo, se identificó datos puntuales (que no persistieron durante el año de muestreo) durante los años 2005, 2008 y 2014, lo cual hace suponer que la concentración atípica identificada corresponde en su mayoría en monitoreos realizados en temporada de lluvias, lo cual puede haber producido algún tipo de arrastre de sedimentos y que por acción oxidativa el plomo pueda estar presente en el agua de la quebrada Pacchac. De la fuente de información de donde fueron recabados estas concentraciones de plomo

(EIA, 1997 y EIA optimización, 2003) señala que los datos en promedio no presentan mayores variaciones, manteniéndose por debajo de los límites permisibles (en promedio). Cabe resaltar que, el área al tener un yacimiento mineral, según la línea base, contiene mineralización de plata, plomo, zinc, cobre y oro, y que podrían ser una posible fuente de estos metales.

Respecto al riesgo de la población por la exposición al arsénico, se observa que las altas concentraciones de este metal se mantienen de manera constante a través de los años, sin embargo, según los cálculos realizados, los años con mayor riesgo tanto para las poblaciones de niños y adultos tienen hasta un valor de diez (10) veces en el año 2006. Asimismo, se observan riesgos entre los valores de uno (01) hasta cinco (05) durante los años 2005, 2007, 2008, 2013 y 2014. Estos resultados son compatibles con lo identificado en los estudios presentados y en los reportes de monitoreo, que la zona de manera natural contiene altas concentraciones de arsénico, lo cual hace suponer que las poblaciones que se encuentran a lo largo de la quebrada han estado expuestas a este contaminante mientras utilizaban el agua de esta quebrada como bebida. Cabe señalar, que el punto SMW-25 se encuentra ubicado al final de la quebrada Pacchac, antes de la confluencia con el río Santa, por tanto, las localidades Cuyar, San Miguel de Tinyash y San Juan de Pisco adyacentes a esta quebradas fueron las más susceptibles, además de ello, al tener por décadas (por la mineralización de la zona) la presencia de este metal pesado en las aguas, hace suponer un alto riesgo de exposición de los adultos y niños, y que ante la ausencia de un rastreo médico no es posible tener una certeza sobre el impacto total de este metal sobre las personas que habitan estas localidades.

Por lo tanto, los resultados obtenidos en el presente estudio señalan que las poblaciones aledañas a la quebrada Pucauran (Atupa, Antahurán y Tarapampa) se encontraron con un riesgo por la exposición al plomo y arsénico, al tener concentraciones que sobrepasaron el EMEG y se mantuvieron constantes en sus promedios anuales. Sin embargo, no se puede atribuir este riesgo a la exposición a las descargas realizadas por la unidad minera, ya que, como se aprecia en los monitoreos realizados y lo evaluado en la línea base del año 1996, la presencia de estos metales es por la mineralización de la zona y por la presencia del arrastre de sedimentos por la minería antigua (aguas arriba) de la quebrada Pucauran (ex mina Santo Toribio). Esto concluye que las poblaciones aledañas a esta quebrada han tenido un riesgo a la exposición al plomo y arsénico por el uso del agua como agua de bebida, tanto para el grupo adulto como niños.

Respecto a la quebrada Pacchac, los resultados obtenidos respecto al riesgo de exposición, se detectaron al final de la quebrada cerca de las localidades Cuyar, San Miguel de Tinyash y San Juan de Pisco, por lo que no podría asociarse por la descarga de los subdrenajes de la plataforma de lixiviación, ya que el riesgo fue menor a 1; sino más bien por la presencia de arsénico de manera natural y por la alta mineralización de la zona, según lo señalado en los estudios previos a la instalación de la unidad minera. Las poblaciones aledañas a esta quebrada han tenido un riesgo a la exposición al arsénico por un largo tiempo por usar el agua como agua de bebida, tanto para el grupo adulto como niños, debido a causas naturales.

Adicionalmente, se debe tener en consideración otras fuentes de exposición a los metales pesados, tales como: concentración de metales por dispersión del viento, donde la exposición sería por vía inhalatoria, esta dispersión podría darse en temporadas de estiaje (seca), donde el suelo con concentraciones de metales se dispersa por acción del viento y tránsito vehicular de carreteras sin asfaltar; así como la exposición de metales por ingesta de alimentos cultivados en suelos con alta concentración de metales pesados y/o riego de las aguas de las quebradas Pacchac y Pucauran, que ingresarían al metabolismo de verduras y hortalizas sembradas.

Es importante señalar, además, que en investigaciones realizadas respecto a la tolerancia de microorganismos a metales pesados en pasivos mineros ubicados en el distrito de Jangas (Muñoz-Silva, 2019) se evidencia una interacción de la presencia de microorganismos como bioacumuladores de manera directa o interactuando con plantas (indirecta), o como parte de la biorremediación de metales pesados; o también, según lo indica Nies (2003) existen microorganismos capaces de expulsar iones derivados de cadmio, cobalto, cobre, níquel, plata, plomo y zinc (por ejemplo: *Cupriavidus metallidurans*), así como un grupo de microorganismos que expulsan oxianiones derivados de arsénico y de cromo (por ejemplo: *Escherichia coli*) y que podría también influir en la concentración de éstos en las aguas de las quebradas.

## **VI. CONCLUSIONES.**

- a. Los resultados señalan que las descargas de la unidad minera Pierina, entre los años 1997 al 2014 hacia las quebradas Pucauran y Pacchac, no incrementaron el riesgo de exposición a metales pesados, tanto para la población de niños y adultos de las localidades cercanas a las quebradas mencionadas y usaron las aguas como agua de bebida.
- b. Se determinó que no hubo un riesgo de exposición al arsénico carcinogénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en niños y adultos de las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto SMW-27 (metros antes de la descarga al río Santa).
- c. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al arsénico no carcinogénico en niños de hasta 33 veces para el análisis de la máxima concentración en el año 1999, manteniendo valores de riesgo de exposición sobre 1 durante los años 1997 al 2014 (con excepción de los años 2003, 2004, 2005, 2010, 2012 y 2013) para las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto SMW-27 (metros antes de la descarga al río Santa).
- d. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al arsénico no carcinogénico en adultos de hasta 24 veces para el análisis de la máxima concentración en el año 1999, manteniendo valores de riesgo de exposición sobre 1 durante los años 1997 al 2014 (con excepción de los años 2003, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013) para las localidades aledañas a la quebrada

Pucauran, específicamente en el punto SMW-27 (metros antes de la descarga al río Santa).

- e. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al plomo en adultos de hasta cuatro (04) veces para el análisis de la máxima concentración en el año 2002 para las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto SMW-27 (metros antes de la descarga al río Santa).
- f. Se determinó que no hubo un riesgo de exposición al arsénico carcinogénico, cadmio y zinc en niños y adultos de las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto OPDM-83 (descarga de aguas de escorrentía del tajo hacia la quebrada).
- g. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al arsénico no carcinogéno en niños de hasta seis (06) veces para el análisis de la máxima concentración en el año 2013, manteniendo valores de riesgo de exposición sobre 1 durante los años 2009 al 2014 (con excepción del año 2010) y solo identificándose un riesgo de exposición de 1 solo en el año 2009 para el promedio anual para las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto OPDM-83 (descarga de aguas de escorrentía del tajo hacia la quebrada).
- h. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al arsénico no carcinogéno en adultos de hasta cuatro (04) veces para el análisis de la máxima concentración en el año 2013, manteniendo valores de riesgo de exposición sobre 1 durante los años 2009 al 2014 (con excepción del año 2010) y solo identificándose un riesgo de exposición de 1 solo en el año 2009 para el

promedio anual para las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto OPDM-83 (descarga de aguas de escorrentía del tajo hacia la quebrada).

- i. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al cobre en niños de hasta cuatro (04) veces para la máxima concentración en el año 2013, manteniendo valores de riesgo de exposición mayores a 1 tanto en la máxima concentración y el promedio anual (con excepción del año 2011) durante los años 2009 al 2014 de las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto OPDM-83 (descarga de aguas de escorrentía del tajo hacia la quebrada).
- j. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al cobre en adultos de hasta tres (03) veces para la máxima concentración en el año 2013, manteniendo valores de riesgo de exposición mayores a 1 tanto en la máxima concentración (con excepción de los años 2009 y 2014) y el promedio anual (con excepción de los años 2009, 2010, 2011 y 2014)) durante los años 2009 al 2014 de las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto OPDM-83 (descarga de aguas de escorrentía del tajo hacia la quebrada).
- k. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al plomo en niños de hasta dos (02) veces para el análisis de la máxima concentración y hasta uno (1) en su promedio anual solo en el año 2009, así como un riesgo de hasta tres (03) solo en la máxima concentración identificada en el año 2013 para las

localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto OPDM-83 (descarga de aguas de escorrentía del tajo hacia la quebrada).

- l. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al plomo en adultos de hasta dos (02) veces para el análisis de la máxima concentración solo en el año 2013, así como un riesgo de hasta uno (01) solo en promedio anual identificada en el año 2019 para las localidades aledañas a la quebrada Pucauran, específicamente en el punto OPDM-83 (descarga de aguas de escorrentía del tajo hacia la quebrada).
- m. Se determinó que no hubo un riesgo de exposición al arsénico carcinogénico, cadmio, cobre y zinc en niños y adultos de las localidades aledañas a la quebrada Pacchac, específicamente en el punto SWM-25 (antes de la descarga al río Santa).
- n. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al arsénico no carcinogénico en niños de hasta diez (10) veces para el análisis de su promedio anual en el año 2006, manteniendo valores de riesgo de exposición sobre 1 durante los años 2005, 2007, 2008, 2013 y 2014 durante el periodo de 1997 al 2014 para las localidades aledañas a la quebrada Pacchac, específicamente en el punto SWM-25 (antes de la descarga al río Santa).
- o. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al arsénico no carcinogénico en adultos de hasta siete (07) veces para el análisis de su promedio anual en el año 2006, manteniendo valores de riesgo de exposición sobre 1 durante los años 2005, 2008 y 2014 durante el periodo de 1997 al 2014 para las

localidades aledañas a la quebrada Pacchac, específicamente en el punto SWM-25 (antes de la descarga al río Santa).

- p. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al plomo en niños de hasta dos (02) veces para el análisis de la máxima concentración en el año 2006, manteniendo valores de riesgo de exposición por encima 1 durante los años 2005, 2008 y 2014, durante el periodo 1997 al 2014 para las localidades aledañas a la quebrada Pacchac, específicamente en el punto SWM-25 (antes de la descarga al río Santa).
- q. Se determinó que hubo un riesgo de exposición al plomo en adultos de hasta uno (01) para el análisis de la máxima concentración solo en los años 2006 y 2008, durante el periodo 1997 al 2014 para las localidades aledañas a la quebrada Pacchac, específicamente en el punto SWM-25 (antes de la descarga al río Santa).
- r. Se determinó que no hubo un riesgo de exposición a ninguno de los metales analizados en niños y adultos de las localidades aledañas a la quebrada Pacchac, específicamente en el punto LPCS-1 (subdrenajes de la plataforma de lixiviación que descarga a la quebrada Pacchac).
- s. Según los datos recogidos de la línea base ambiental y la bibliografía registrada, la presencia de metales pesados en el agua de las quebradas Pucauran y Pacchac data del inicio de la minería antigua, aledaña al área de estudio como, por ejemplo: la ex mina Santo Toribio que impactó las aguas por arrastre de sedimentos; y la mineralización natural que contiene alta carga metálica.

- t. Asimismo, el riesgo de exposición a metales pesados puede deberse a la exposición por vía inhalatoria o por los mecanismos oxidativos, de bioacumulación o de expulsión por parte de microorganismos que podrían estar presentes en el suelo, sedimentos o las aguas de las quebradas.
- u. Las localidades ubicadas a lo largo de la quebrada Pucaurán y que han utilizado el agua presente como agua de bebida, han obtenido un riesgo de exposición alto por la presencia permanente de plomo durante seis (06) años consecutivos, tanto para adultos y niños.
- v. Las localidades ubicadas a lo largo de la quebrada Pucaurán y que han utilizado el agua presente como agua de bebida, han obtenido un riesgo de exposición alto por la presencia permanente de arsénico durante dieciocho (18) años, tanto para adultos y niños.
- w. Las localidades ubicadas a lo largo de la quebrada Pacchac y que han utilizado el agua presente como agua de bebida, tuvieron expuestas de manera constante al riesgo de exposición al arsénico no carcinogénico, durante el periodo de tiempo evaluado, sin embargo, según bibliografía presentada, este metal se encuentra presente desde antes de la operación minera, lo que supondría exposiciones por un largo tiempo de las poblaciones que se encuentran a lo largo de la quebrada.
- x. Se debe tener en cuenta las limitaciones de datos de los monitoreos de agua superficial, que no nos permitió obtener las variaciones de las concentraciones de metales en periodos más cortos de tiempo, y poder

obtener una data más precisa de la dinámica de los metales pesados en las quebradas Pacchac y Pucauran.

## **VII. RECOMENDACIONES.**

- a. Los resultados de la presente investigación dan sustento para realizar posteriormente un estudio con biomarcadores para metales pesados y corroborar la exposición de la población de niños y adultos en las quebradas Pacchac y Pucauran.
- b. Se recomienda realizar estudios de monitoreo de exposición a la salud, desde los años 2015 en adelante, teniendo en consideración las nuevas plantas de tratamiento que fueron propuestas por la unidad minera en su plan integral de adecuación a los estándares de calidad de agua.
- c. Se recomienda analizar la situación actual de salud de las poblaciones de niños y adultos y relacionarlos con la exposición de metales pesados, teniendo en cuenta que son exposiciones a largo plazo, por presencia de yacimientos mineralógicos y minería antigua no cerrada ni rehabilitada cercanas a las quebradas.
- d. Se recomienda realizar estudios de riesgo de exposición a los metales pesados por vía inhalatoria e incluyendo una posible influencia de los microorganismos presentes en los sedimentos y aguas de las quebradas Pacchac y Pucauran.
- e. Cabe resaltar que, no hay un seguimiento de las diluciones de los efluentes o descargas hacia las quebradas del presente estudio, por lo que se recomienda realizar un balance de masas, para conocer el comportamiento de las diluciones de las concentraciones de los metales.

- f. Se recomienda realizar monitoreos independientes cumpliendo los protocolos de monitoreo de acuerdo con la normativa nacional, de manera que evitemos el sesgo de información y obtener data fuerte y fidedigna de la concentración de metales en las quebradas.
- g. Se recomienda evaluar el uso de técnicas de estabilidad hidrológica y geoquímica que permita realizar el cierre respectivo de los pasivos ambientales mineros identificados en el área de estudio y que aportan concentraciones de metales pesados en las aguas superficiales y subterráneas.
- h. Se recomienda evaluar el uso de técnicas de biorremediación que permita disminuir la concentración de metales pesados en las aguas superficiales de las quebradas, y que ayuden a disminuir el riesgo de exposición a los grupos poblacionales.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. María Isabel Carretero León, Manuel Pozo Rodríguez. Mineralogía aplicada: salud y medio ambiente. Editorial Paraninfo, 2007. 406 páginas.
2. Raimondi, Antonio. Oro del Perú. Lima: UNMSM, Fondo Editorial; COFIDE; Compañía de Minas Buenaventura, 2004. 179 p., v.: il., mapas; 24 cm. Serie: Clásicos sanmarquinos. Colección Estudios geológicos y mineros para la obra "El Perú"; 1
3. Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la salud en el mundo. Capítulo 2. 2002.
4. National Academy of Sciences 1983. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. National Academy Press, Washington D.C.
5. Instituto Nacional de Ecología. Introducción al análisis de riesgos ambientales. 2003 - 123 páginas. México.
6. Díaz Barriga F. Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Lima, 1999.
7. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Curso "II. Evaluación toxicológica y de vías de exposición". [https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha\\_professional2/index.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha_professional2/index.html)
8. Ghersi, C., Lovece, G., & Weingarten, C. (2004). Daños al ecosistema y al medio ambiente. Buenos Aires: Editorial Astrea.
9. Nicole Bernex Weiss. Aguas y arsénico natural en Perú. Academia Nacional de Ciencias, 2015. 1era Edición.

10. Fernández-Caliani, J. C., Giráldez, M. I., & Barba-Brioso, C. (2019). Oral bioaccessibility and human health risk assessment of trace elements in agricultural soils impacted by acid mine drainage. *Chemosphere*, 237, 124441.
11. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2013. Estudios de Caso en Medicina Ambiental (CSEM). La toxicidad del arsénico. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. (on line) [https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic\\_csem\\_spanish.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic_csem_spanish.pdf)
12. George, C. M., Sima, L., Arias, M. H., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D., Checkley, W., & Gilman, R. H. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization*, 92(8), 565–572. <https://doi.org/10.2471/BLT.13.128496>
13. Custodio, M., Cuadrado, W., Peñaloza, R., Montalvo, R., Ochoa, S., & Quispe, J. (2020). Human Risk from Exposure to Heavy Metals and Arsenic in Water from Rivers with Mining Influence in the Central Andes of Peru. *Water*, 12(7), 1946. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/w12071946>
14. Khan, K. M., Chakraborty, R., Bundschuh, J., Bhattacharya, P., & Parvez, F. (2019). Health effects of arsenic exposure in Latin America: An overview of the past eight years of research. *Science of The Total Environment*, 136071.
15. Puntoriero M., Volpedo A. Riesgo para la población rural en zonas con alto contenido de arsénico en agua. *Acta toxicol. Argent*, vol. 22, N° 1; 2014

16. AJE, Arsenic ingestion and internal cancers. A review. American journal of epidemiology, vol. 139, N° 12; 1994
17. OMS, Nota descriptiva N° 372, Diciembre del 2012 (on line)  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>
18. Litter M.I, Armienta M.A, Farías S.S. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. CYTED-Argentina, Octubre 2009.
19. Hasegawa H. The behavior of trivalent and pentavalent methylarsenicals in Lake Biwa. Appl. Organomet. Chem. 11(1997), págs. 305-311
20. Woolson E.A. Fate of arsenicals in different environmental substrates. Environ. Health Perspect. 19(1977), págs. 73-81
21. Cullen W.R., Reimer K.J. Arsenic speciation in the environment. Chem. Rev. 89(1989), pags. 713-764
22. Castañares R., Figueroa E., Rico F. Daños a la salud por contaminación atmosférica. UAEMEX, 2001, 481 páginas.
23. Repetto M. Toxicología Avanzada. Ediciones Díaz de Santos S.A., 1995, 603 páginas, España.
24. Manahan, Stanley E. Introducción a la Química Ambiental. Reverté Ediciones, 2007, 760 páginas. España.
25. Pérez García, Perla Esmeralda, Azcona Cruz, María Isabel (2012). Los efectos del cadmio en la salud. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas,17(3),199-205.Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=473/47324564010>
26. Kjellström T. Critical organs, critical concentration and whole body dose-respond relationships. En: Friberg L., Elinder C.G, Kjellström T.,

- Nordberg G.F, (eds.). Cadmium and health: A toxicological and epidemiological appraisal. Vol II Effects and Response. Boca Raton FL, CRC Press, 1986
27. Ellis K.J., Morgan W.D., Zauzi I.L., Yamasura S., Vartsky D., Cohn S.H. Critical concentrations of cadmium in human renal cortex: dose effects studies in cadmium smelter workers. J Toxicol Environ Health, 1981, 7, 691-703
  28. Mager J.S. Encyclopaedia of Occupational Health and Safety: Chemical, industries and occupations. International Labour Organization, 4320 pp, 1998
  29. Bellido Guerrero Diego, De Luis Román Daniel. Manual de nutrición y metabolismo. Ediciones Díaz de Santos, 2006-625
  30. Sancha, A. Presencia de cobre en aguas de consumo humano: causas, efectos y Soluciones. WHO. 2012 Universidad de Chile
  31. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2014. Reseña Toxicológica del Cobre (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. (on line) [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts132.html)
  32. US Environmental Protection Agency (EPA). Health Effects Assessment for Copper. 1986. Cincinnati, OH. 1984 (on line) <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=2000FDJS.txt>
  33. Blanca Elena Jiménez. La Contaminación Ambiental en México. Editorial Limusa, 1 ene. 2001 - 200 páginas.
  34. OMS. Nota descriptiva N° 379, Intoxicación por plomo, Agosto, 2015 (on line) <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>

35. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (ATSDR). Public Health Statement Lead. August 2007.
36. Baird, C. Química Ambiental. Segunda Edición. Versión española, Editorial Reverté. 2001. 622 pag.
37. Yucra, Sandra, Gasco, Manuel, Rubio, Julio, & Gonzales, Gustavo F. (2008). Exposición ocupacional a plomo y pesticidas órganofosforados: efecto sobre la salud reproductiva masculina. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 25(4), 394-402.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342008000400009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000400009&lng=es&tlng=es).
38. Astete, Jonh, Cáceres, Walter, Gastañaga, María del Carmen, Lucero, Martha, Sabastizagal, Iselle, Oblitas, Tania, Pari, Jessie, & Rodríguez, Félix. (2009). Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica, 26(1), 15-19.  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342009000100004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342009000100004&lng=es&tlng=es).
39. T.G. Lovering. Lead in the Environment: A Compilation of Papers on the Abundance and Distribution of Lead in Rocks, Soils, Plants, and the Atomsphere, and on Methods of Analysis for Lead Used by the U.S. Geological Survey. U.S. Government Printing Office, 1976 - 90 pag
40. Lew, Kristi. Understanding the Elements of the Periodic Table: Zinc. First Edition, The Rosen Publishing Group, Inc. USA. 48 pp. 2008

41. John Burke Sullivan, Gary R. Krieger. Clinical Environmental Health and Toxic Exposures. Lippincott Williams & Wilkins Ed., 2001 - 1323 pags. Second Edition.
42. V. P. Singh. Toxic Metals and Environmental Issues. Sarup & Sons, 2005 - 362 pags.
43. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2005. Reseña Toxicológica del Cinc (versión actualizada) (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública
44. Minera Barrick Misquichilca S.A. 1997. Estudio de Impacto Ambiental de la planta de beneficio denominada “Misquichilca”. Elaborado por Klonh Crippen – SVS S.A. Aprobado mediante Informe N° 545-97-EM-DGM/DPDM, Lima.
45. Minera Barrick Misquichilca S.A. 2003. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de optimización de procesos de Mina Pierina. Elaborado por Khlon Crippen Consultores S.A. Aprobado mediante R.D. N° 254-2003-EM/DGAA, Lima.
46. Minera Barrick Misquichilca S.A. 2014. Segunda Modificación del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera “Pierina”. Elaborado por Golder Associates. Aprobado mediante R.D. N° 589-2014-MEM/DGAAM, Lima.
47. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2004. Reseña Toxicológica del Cobre (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. (on line) [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts132.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts132.html)

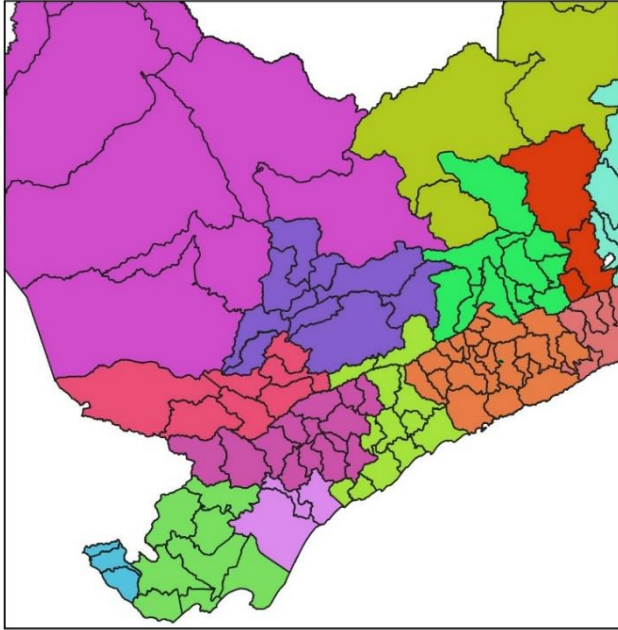
48. Ministerio de Energía y Minas. Guía para la evaluación de impactos en la calidad de las aguas superficiales por actividades minero metalúrgicas. Sub - sector Minería. Volumen XXII. Lima, 2007
49. PERCAN – Proyecto de Reforma del Sector de Recursos Minerales del Perú. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Efluentes y Aguas Superficiales en las Actividades Minero- Metalúrgicas. Informe Final. 2011.
50. Dirección General de Salud Ambiental DIGESA. Protocolo de Monitoreo de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos Superficiales R.D N°2254/2007/DIGESA/SA 2007.
51. Thomas, Robert (2001). «A Beginner's Guide to ICP-MS. Part II: The Sample Introduction System». Spectroscopy 16 (5): 56-60.
52. APHA, AWWA, WEF. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 21ava. Edición. Versión en español. Ediciones Díaz de Santos S.A. España. 2009
53. Hernández-Ávila M, Garrido-Latorre F, López-Moreno S. Diseño de estudios epidemiológicos. Salud Publica Mex 2000; 42 (2): 144-54.
54. Tamayo y Tamayo M. Diccionario de a investigación científica. Segunda Edición. Limusa Noriega Editores. 2004
55. Manterola, Carlos, & Otzen, Tamara. (2014). Estudios Observacionales: Los Diseños Utilizados con Mayor Frecuencia en Investigación Clínica. International Journal of Morphology, 32(2), 634-645. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022014000200042>
56. U.S. EPA. Exposure Factors Handbook (1997, Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/P-95/002F a-c, 1997.

57. Valdivia, Diego; Ramírez, Ángel. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Ancash, Perú. *The Biologist*, [S.l.], v. 16, n. 1, may. 2018. ISSN 1994-9073.: <http://revistas.unfv.edu.pe/index.php/rtb/article/view/223/217>.
58. Paredes, M. 2004. Utilización del humus y lodos de desagüe en la recuperación del agua de relave del pasivo ambiental de la planta concentradora Santo Toribio, Independencia – Huaraz. Tesis Ing. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz – Perú.
59. Villanueva, A. 2003. Biorremediación de aguas de relaves mineros con el empleo de humus de lombriz y lodo de desagüe en el pasivo ambiental santo toribio – Independencia- Ancash, 2002 – 2003. Tesis Ing MSc. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz – Perú.
60. Muñoz-Silva, Loyer, Olivera-Gonzales, Percy, Santillán Torres, Miguelina, & Tamariz-Angeles, Carmen. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa, Jangas (Perú). *Revista Peruana de Biología*, 26(1), 109-118. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i1.15912>
61. MuñozDietrich H. Nies, Efflux-mediated heavy metal resistance in prokaryotes, *FEMS Microbiology Reviews*, Volume 27, Issue 2-3, June 2003, Pages 313–339. [https://doi.org/10.1016/S0168-6445\(03\)00048-2](https://doi.org/10.1016/S0168-6445(03)00048-2)

## **IX. ANEXOS**

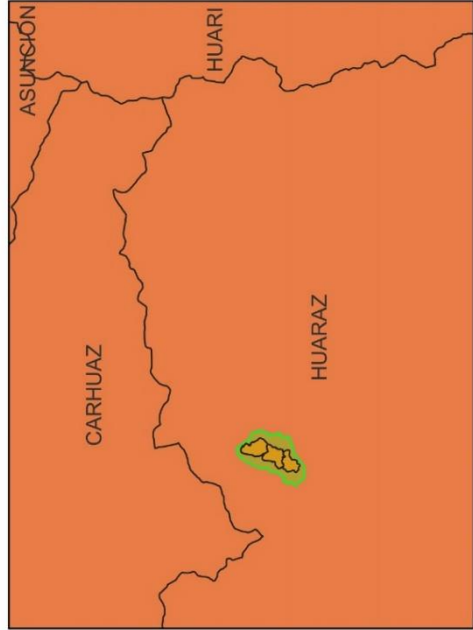
## **Anexo 1**

Ubicación de la Unidad Minera

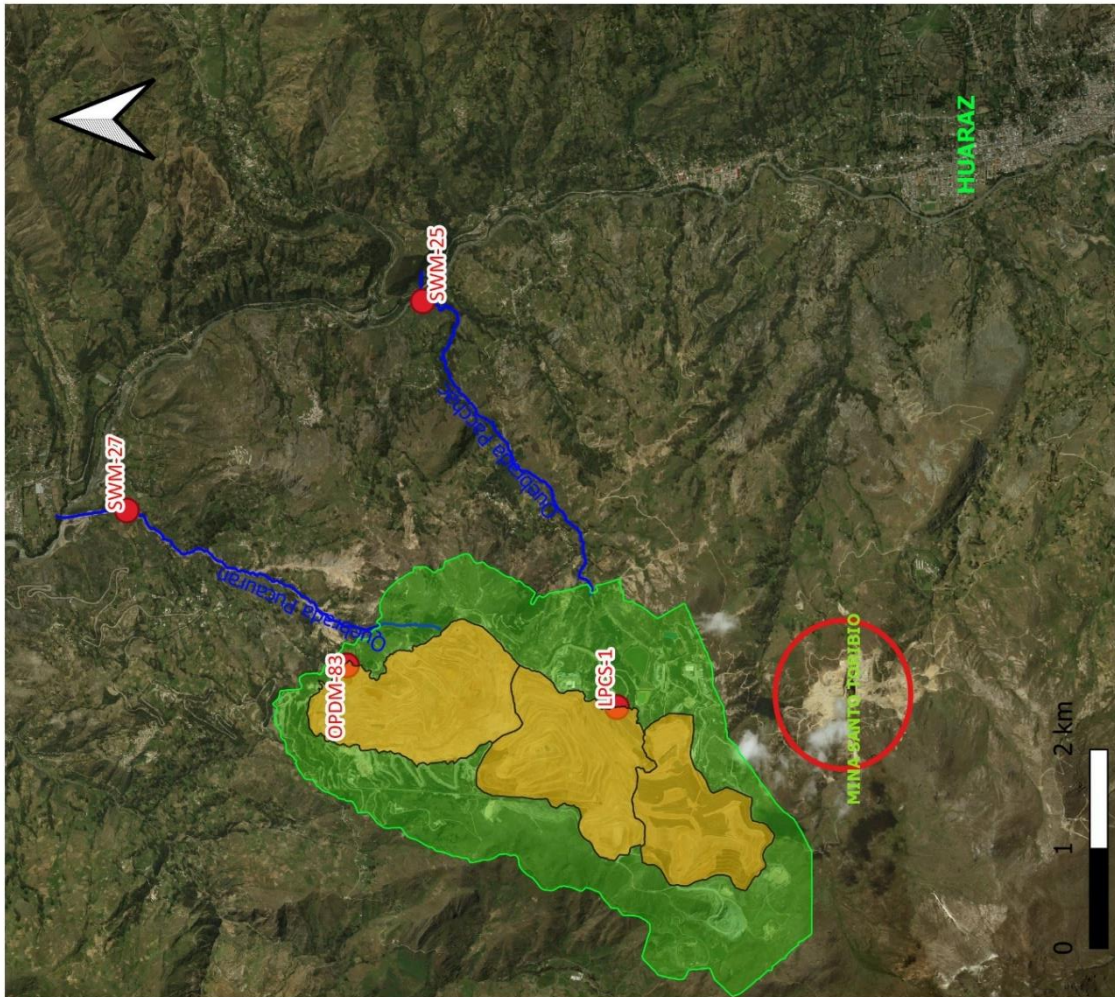


UTM WGS 84 - 18S

Elaboración: L.Alegre



Mapa satelital: Bing Aerial virtualearth



## **Anexo 2**

Localización de los componentes de la Unidad Minera

**Botadero de desmonte**



**Tajo abierto**

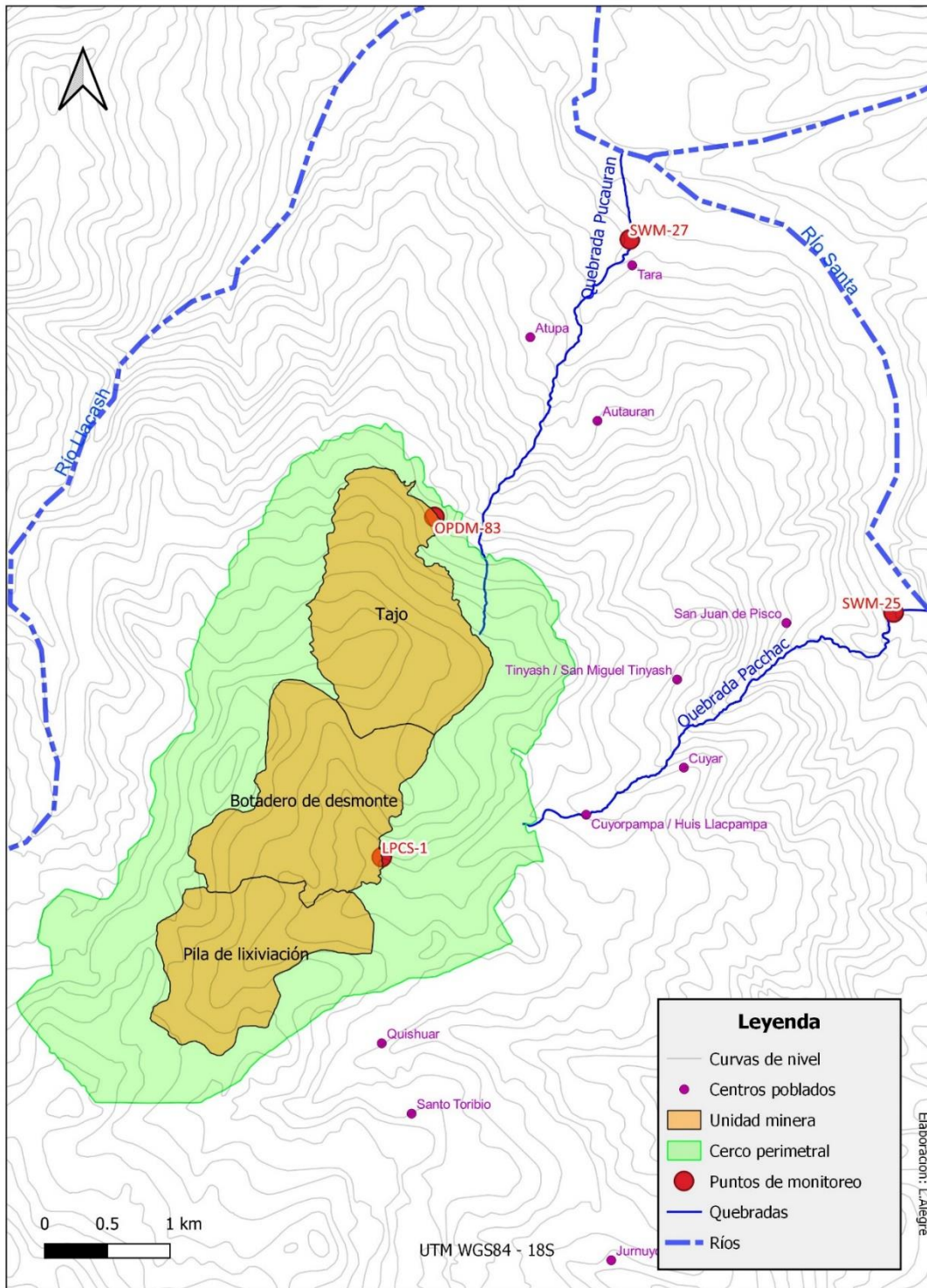


**Pad de lixiviación**



### **Anexo 3**

Localización de los puntos de monitoreo ubicados en las quebradas



**Anexo 4**

Pasivos ambientales según la R.M. N° 010-2019-EM/DM – Ex unidad minera

Santo Toribio 2

ID	Nombre ex unidad minera	Tipo de componente	Sub tipo de componente	Coordenadas WGS84 18S		Generador del pasivo	Responsable del pasivo	Estudios ambientales
				Este	Norte			
1120	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215631	8949969	N.I.	N.I.	N.G.
1136	Santo Toribio 2	Labor minera	Bocamina	215689	8949745	N.I.	N.I.	N.G.
1137	Santo Toribio 2	Labor minera	Tajo	216244	8950175	N.I.	N.I.	N.G.
1138	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215742	8949785	N.I.	N.I.	N.G.
1139	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215792	8949842	N.I.	N.I.	N.G.
1140	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215787	8950050	N.I.	N.I.	N.G.
1155	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215604	8949818	N.I.	N.I.	N.G.
1168	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215697	8949746	N.I.	N.I.	N.G.
1192	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215690	8949786	N.I.	N.I.	N.G.
1193	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215836	8950017	N.I.	N.I.	N.G.
1194	Santo Toribio 2	Infraestructura	Campamentros, oficinas, talleres	216316	8949887	N.I.	N.I.	N.G.
5308	Santo Toribio 2	Infraestructura	Campamentros, oficinas, talleres	221580	8948508	N.I.	N.I.	N.G.
5309	Santo Toribio 2	Infraestructura	Campamentros, oficinas, talleres	221552	8948520	N.I.	N.I.	N.G.
5310	Santo Toribio 2	Infraestructura	Generadores y transformadores eléctricos	221495	8948522	N.I.	N.I.	N.G.
5311	Santo Toribio 2	Infraestructura	Chancadoras	221487	8948508	N.I.	N.I.	N.G.
5312	Santo Toribio 2	Infraestructura	Plantas de procesamiento	221475	8948495	N.I.	N.I.	N.G.
5313	Santo Toribio 2	Infraestructura	No determinado	221494	8948471	N.I.	N.I.	N.G.
5314	Santo Toribio 2	Infraestructura	Campamentos, oficinas, talleres	221529	8948464	N.I.	N.I.	N.G.
5315	Santo Toribio 2	Residuo minero	Relaves	221228	8948938	N.I.	N.I.	N.G.
5365	Santo Toribio 2	Labor minera	Media baretta	215627	8949965	N.I.	N.I.	N.G.
5366	Santo Toribio 2	Labor minera	Media baretta	215780	8950046	N.I.	N.I.	N.G.
5367	Santo Toribio 2	Labor minera	Trinchera	215575	8949826	N.I.	N.I.	N.G.
5368	Santo Toribio 2	Labor minera	Trinchera	215732	8949784	N.I.	N.I.	N.G.
5369	Santo Toribio 2	Labor minera	Trinchera	215785	8949841	N.I.	N.I.	N.G.
5370	Santo Toribio 2	Labor minera	Bocamina	215872	8950022	N.I.	N.I.	N.G.
5371	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215748	8950032	N.I.	N.I.	N.G.
5372	Santo Toribio 2	Labor minera	Media barreta	215776	8950020	N.I.	N.I.	N.G.
5373	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215728	8950114	N.I.	N.I.	N.G.
5374	Santo Toribio 2	Labor minera	Trinchera	215780	8950304	N.I.	N.I.	N.G.
5375	Santo Toribio 2	Residuo minero	Material de desbroce	215813	8950290	N.I.	N.I.	N.G.
5376	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215568	8950231	N.I.	N.I.	N.G.
5377	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	215757	8950262	N.I.	N.I.	N.G.
5378	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmante de mina	216250	8950173	N.I.	N.I.	N.G.

ID	Nombre ex unidad minera	Tipo de componente	Sub tipo de componente	Coordenadas WGS84 18S		Generador del pasivo	Responsable del pasivo	Estudios ambientales
				Este	Norte			
5379	Santo Toribio 2	Labor minera	Tajo	216095	8949719	N.I.	N.I.	N.G.
5380	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216095	8950000	N.I.	N.I.	N.G.
5381	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216282	8950067	N.I.	N.I.	N.G.
5382	Santo Toribio 2	Residuo minero	Material de desbroce	216451	8949894	N.I.	N.I.	N.G.
5383	Santo Toribio 2	Residuo minero	Material de desbroce	216095	8949718	N.I.	N.I.	N.G.
5384	Santo Toribio 2	Residuo minero	Material de desbroce	216625	8949631	N.I.	N.I.	N.G.
6276	Santo Toribio 2	Labor minera	Media barreta	216449	8947969	N.I.	N.I.	N.G.
6277	Santo Toribio 2	Labor minera	Tajeo comunicado	216446	8947981	N.I.	N.I.	N.G.
6278	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216463	8947976	N.I.	N.I.	N.G.
6279	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216506	8948001	N.I.	N.I.	N.G.
6280	Santo Toribio 2	Labor minera	Bocamina	216489	8947994	N.I.	N.I.	N.G.
6281	Santo Toribio 2	Labor minera	Media barreta	216469	8997941	N.I.	N.I.	N.G.
6282	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216479	8947942	N.I.	N.I.	N.G.
6283	Santo Toribio 2	Labor minera	Bocamina	216478	8947914	N.I.	N.I.	N.G.
6284	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216483	8947908	N.I.	N.I.	N.G.
6285	Santo Toribio 2	Labor minera	Bocamina	216486	8947904	N.I.	N.I.	N.G.
6286	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216488	8947904	N.I.	N.I.	N.G.
6287	Santo Toribio 2	Labor minera	Tajo	216147	8989570	N.I.	N.I.	N.G.
6288	Santo Toribio 2	Labor minera	Media barreta	216177	8988600	N.I.	N.I.	N.G.
6289	Santo Toribio 2	Labor minera	Bocamina	216480	8947991	N.I.	N.I.	N.G.
6290	Santo Toribio 2	Labor minera	Bocamina	216496	8947898	N.I.	N.I.	N.G.
6291	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216392	8947950	N.I.	N.I.	N.G.
6293	Santo Toribio 2	Labor minera	Trinchera	216388	8947955	N.I.	N.I.	N.G.
6294	Santo Toribio 2	Labor minera	Trinchera	216383	8947945	N.I.	N.I.	N.G.
6295	Santo Toribio 2	Labor minera	Tajo	216336	8947912	N.I.	N.I.	N.G.
6296	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216316	8947903	N.I.	N.I.	N.G.
6297	Santo Toribio 2	Labor minera	Trinchera	216370	8947942	N.I.	N.I.	N.G.
6298	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216370	8947936	N.I.	N.I.	N.G.
6300	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216510	8947893	N.I.	N.I.	N.G.
6302	Santo Toribio 2	Residuo minero	Desmonte de mina	216352	8947913	N.I.	N.I.	N.G.
6304	Santo Toribio 2	Labor minera	Media barreta	216344	8947918	N.I.	N.I.	N.G.

N.I. No identificado; N.G. No gestionado

## **Anexo 5**

Puntos de monitoreo 25 y 26, Quebrada Pacchac – Línea base 1996



Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ZINC				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION				RELACION DOSIS/NOAEL-LOAEL				
			Zinc (Zn) PROMEDIO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Zn ADULTO	EMEG Zn NIÑOS	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO
25			0.012	0.014	10.500	4.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	60	0	0	0	0	0	0
26	Pachac	1996	0.590	0.850	10.500	4.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	60	0	0	0	0	0	0

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ARSENICO NO CARCINOGENO				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION				RELACION DOSIS/NOAEL-LOAEL				
			Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico (As) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO
25			0.006	0.007	0.011	0.004	0.000	0.006	0.007	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0	0	0
26	Pachac	1996	0.012	0.019	0.011	0.004	0.012	0.012	0.019	0.019	0.019	0.019	0.0008	0	0	0	0	0	0

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ARSENICO CARCINOGENO				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION				RELACION DOSIS/NOAEL-LOAEL				
			Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico (As) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO
25			0.006	0.007	52.500	21.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0	0	0
26	Pachac	1996	0.012	0.019	52.500	21.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0	0	0

## **Anexo 6**

Punto de monitoreo SMW-25, Quebrada Pacchac

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	CADMIO AÑOS 1997-2014			DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS			ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)						
			Cadmio (Cd) PROMEDIO	Cadmio (Cd) MÁXIMA CONCENTRACION	EMEG Cd ADULTO	EMEG Cd NIÑOS	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cadmio (Cd) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MÁXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cadmio (Cd) MÁXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MÁXIMA CONCENTRACION ADULTO
SMW-25	Pachac	1997	0.005	0.005	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		1998	0.005	0.005	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		1999	0.005	0.005	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2000	0.005	0.005	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2001	0.004	0.006	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2002	0.003	0.003	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2003	0.003	0.003	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2004	0.003	0.003	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2005	0.003	0.004	0.0175	0.007	0	0	0	0.2	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2006	0.005	0.014	0.0175	0.007	0	0	0	0.014	0.0	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2007	0.003	0.005	0.0175	0.007	0	0	0	0	0.2	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2008	0.006	0.031	0.0175	0.007	0	0.031	0.031	0.031	0.2	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2009	0.012	0.030	0.0175	0.007	0	0.012	0.030	0.030	0.2	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
		2010	0.007	0.033	0.0175	0.007	0	0.007	0.033	0.033	0.2	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0
2011	0.006	0.028	0.0175	0.007	0	0	0.028	0.028	0.2	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0		
2012	0.002	0.008	0.0175	0.007	0	0	0	0.008	0.2	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0		
2013	0.001	0.007	0.0175	0.007	0	0	0	0	0.2	0.0	0.000	0	0.2	0	0	0	0		
2014	0.069	1.395	0.0175	0.007	0.069	0.069	1.395	1.395	0.2	0.0	0.0	0.004	0	0.2	0	0	0		

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	COBRE AÑOS 1997-2014			DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS			ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)						
			Cobre (Cu) PROMEDIO	Cobre (Cu) MÁXIMA CONCENTRACION	EMEG Cu ADULTO	EMEG Cu NIÑOS	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cobre (Cu) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL / LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Cu) MÁXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cobre (Cu) MÁXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL / LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Cu) MÁXIMA CONCENTRACION ADULTO
SMW-25	Pachac	1997	0.009	0.036	0.175	0.07	0	0	0	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		1998	0.046	0.090	0.175	0.07	0	0	0.09	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		1999	0.032	0.055	0.175	0.07	0	0	0	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		2000	0.028	0.040	0.175	0.07	0	0	0	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		2001	0.031	0.044	0.175	0.07	0	0	0	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		2002	0.018	0.027	0.175	0.07	0	0	0	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		2003	0.012	0.023	0.175	0.07	0	0	0	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		2004	0.016	0.044	0.175	0.07	0	0	0	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		2005	0.033	0.085	0.175	0.07	0	0	0.085	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0
		2006	0.051	0.305	0.175	0.07	0	0	0.305	0.042	0.000	0.000	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0
		2007	0.035	0.127	0.175	0.07	0	0	0.127	0.042	0.000	0.000	0.000	0.001	0.042	0	0	0	0
		2008	0.055	0.303	0.175	0.07	0	0.303	0.303	0.042	0.000	0.000	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0
		2009	0.063	0.135	0.175	0.07	0	0	0.135	0.042	0.000	0.000	0.000	0.001	0.042	0	0	0	0
		2010	0.062	0.378	0.175	0.07	0	0.378	0.378	0.042	0.000	0.001	0.001	0.004	0.042	0	0	0	0
2011	0.176	1.118	0.175	0.07	0.176	0.176	1.118	0.042	0.001	0.001	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0		
2012	0.030	0.085	0.175	0.07	0	0	0.085	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.042	0	0	0	0		
2013	0.021	0.214	0.175	0.07	0	0	0.214	0.042	0.000	0.000	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0		
2014	0.049	0.227	0.175	0.07	0	0	0.227	0.042	0.000	0.000	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0		

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	PIOMBO				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL <small>(mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)</small>				
			AÑOS 1997-2014				Plomo (Pb) PROMEDIO / EMERG ADULTO	Plomo (Pb) PROMEDIO / EMERG NIÑO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION / EMERG ADULTO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION / EMERG NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Plomo (Pb) PROMEDIO ADULTO	Plomo (Pb) PROMEDIO NIÑO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	Plomo (Pb) PROMEDIO ADULTO	Plomo (Pb) PROMEDIO NIÑO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
			Plomo (Pb) PROMEDIO	Plomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION	EMERG Pb ADULTO	EMERG Pb NIÑOS													
SMW-25	Pacchac	1997	0.023	0.054	0.125	0.050	0.000	0.000	0.000	0.054	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
		1998	0.126	0.243	0.125	0.050	0.126	0.243	0.243	0.243	0.0036	0.0006	0.0006	0.0006	0.0036	0	0	0	0
		1999	0.058	0.215	0.125	0.050	0.058	0.215	0.215	0.215	0.0036	0.0003	0.0003	0.0003	0.0036	0	0	0	0
		2000	0.030	0.059	0.125	0.050	0	0	0	0.059	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
		2001	0.034	0.098	0.125	0.050	0	0	0	0	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
		2002	0.015	0.023	0.125	0.050	0	0	0	0	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
		2003	0.016	0.028	0.125	0.050	0	0	0	0	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
		2004	0.014	0.040	0.125	0.050	0	0	0	0	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
		2005	0.112	0.462	0.125	0.050	0	0.112	0.462	0.462	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	1	2
		2006	0.166	1.604	0.125	0.050	0.166	1.604	1.604	1.604	0.0036	0.0007	0.0007	0.0007	0.0036	0	0	1	2
		2007	0.043	0.195	0.125	0.050	0	0	0	0.195	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
		2008	0.101	1.054	0.125	0.050	0.101	1.054	1.054	1.054	0.0036	0.0004	0.0004	0.0004	0.0036	0	0	1	1
		2009	0.039	0.103	0.125	0.050	0	0	0	0.103	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
		2010	0.020	0.036	0.125	0.050	0	0	0	0	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0
2011	0.026	0.069	0.125	0.050	0	0	0	0	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0		
2012	0.014	0.061	0.125	0.050	0	0	0	0.061	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0		
2013	0.017	0.284	0.125	0.050	0	0	0.284	0.284	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0		
2014	0.032	0.559	0.125	0.050	0	0	0.559	0.559	0.0036	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0	0	0	0		

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ZINC				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL <small>(mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)</small>				
			AÑOS 1997-2014				Zinc (Zn) PROMEDIO / EMERG ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMERG NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMERG ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMERG NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
			Zinc (Zn) PROMEDIO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION	EMERG Zn ADULTO	EMERG Zn NIÑOS													
SMW-25	Pacchac	1997	0.041	0.061	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		1998	0.372	0.735	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		1999	0.245	0.605	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2000	0.791	4.034	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2001	0.219	0.802	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2002	0.193	0.368	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2003	0.118	0.215	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2004	0.108	0.366	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2005	0.248	0.646	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2006	0.373	1.608	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2007	0.213	0.882	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2008	0.446	2.795	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2009	0.742	1.757	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
		2010	0.289	1.223	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0
2011	0.293	1.287	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0		
2012	0.233	0.847	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0		
2013	0.145	0.868	10.500	4.200	0	0	0	0	60	0	0	0	60	0	0	0	0		
2014	2.131	36.147	10.500	4.200	0	0	0	36.147	60	0	0.114	0.159	60	0	0	0	0		

Punto de muestreo	Quebrada	ARSENICO NO CARCINOGENO AÑOS 1997-2014				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION				RELACION DOSIS/NOAEL-LOAEL (menor más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)				
		Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
SMW-25	Pachac	1997	0.005	0.005	0.011	0.004	0.005	0.005	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		1998	0.047	0.089	0.011	0.004	0.047	0.089	0.089	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		1999	0.020	0.065	0.011	0.004	0.020	0.065	0.065	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2000	0.016	0.032	0.011	0.004	0.016	0.032	0.032	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2001	0.012	0.044	0.011	0.004	0.012	0.044	0.044	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2002	0.004	0.009	0.011	0.004	0	0	0.009	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2003	0.000	0.000	0.011	0.004	0	0	0	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2004	0.013	0.000	0.011	0.004	0.013	0.013	0	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2005	0.276	0.000	0.011	0.004	0.276	0.276	0	0.008	0.001	0.001	0.000	0.0008	1	2	0	0
		2006	1.893	0.000	0.011	0.004	1.893	1.893	0	0.008	0.006	0.008	0.000	0.0008	7	10	0	0
		2007	0.126	0.000	0.011	0.004	0.126	0.126	0	0.008	0.000	0.001	0.000	0.0008	1	1	0	0
		2008	0.337	0.000	0.011	0.004	0.337	0.337	0	0.008	0.001	0.000	0.000	0.0008	1	2	0	0
		2009	0.034	0.000	0.011	0.004	0.034	0.034	0	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2010	0.029	0.000	0.011	0.004	0.029	0.029	0	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
2011	0.012	0.000	0.011	0.004	0.012	0.012	0	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0		
2012	0.023	0.000	0.011	0.004	0.023	0.023	0	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0		
2013	0.117	0.000	0.011	0.004	0.117	0.117	0	0.008	0.001	0.001	0.000	0.0008	0	1	0	0		
2014	0.942	0.000	0.011	0.004	0.942	0.942	0	0.008	0.003	0.004	0.000	0.0008	4	5	0	0		

Punto de muestreo	Quebrada	ARSENICO CARCINOGENO				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION				RELACION DOSIS/NOAEL-LOAEL				
		Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinogénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
SMW-25	Pachac	1997	0.005	0.005	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		1998	0.047	0.089	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		1999	0.020	0.065	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2000	0.016	0.032	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2001	0.012	0.044	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2002	0.004	0.009	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2003	0.000	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2004	0.013	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2005	0.276	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2006	1.893	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2007	0.126	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2008	0.337	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2009	0.034	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
		2010	0.029	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0
2011	0.012	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0		
2012	0.023	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0		
2013	0.117	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0		
2014	0.942	0.000	52.500	21.000	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0		

**Anexo 7**

Punto de monitoreo LPCS-1, Quebrada Pacchac





## **Anexo 8**

Punto de monitoreo 27 y 28, Quebrada Pucauran – Línea base 1996

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	COBRE AÑO 1996			DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS			ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN					RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL					
			Cobre (Cu) PROMEDIO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Cu ADULTO	EMEG Cu NIÑOS	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION ON NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION ON ADULTO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION ON NIÑO
27	Pucauran	1996	0.366	0.730	0.175	0.07	0.366	0.366	0.730	0.730	0.042	0	0	0	0.042	0	0	0	0
28	Pucauran	1996	2.160	4.320	0.175	0.07	2.160	2.160	4.320	4.320	0.042	0	0	0	0.042	0	0	0	0

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	CADMIO AÑO 1996			DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS			ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN					RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL					
			Cadmio (Cd) PROMEDIO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Cd ADULTO	EMEG Cd NIÑOS	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ON NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ON ADULTO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ON NIÑO
27	Pucauran	1996	0.018	0.013	0.0175	0.007	0.018	0.018	0.013	0.013	0.200	0	0	0	0.200	0	0	0	0
28	Pucauran	1996	0.043	0.080	0.0175	0.007	0.043	0.043	0.080	0.080	0.200	0	0	0	0.200	0	0	0	0

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	PLOMO AÑO 1996			DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS			ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN					RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL					
			Piomo (Pb) PROMEDIO	Piomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Pb ADULTO	EMEG Pb NIÑOS	Piomo (Pb) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Piomo (Pb) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Piomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Piomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Piomo (Pb) PROMEDIO ADULTO	Piomo (Pb) PROMEDIO NIÑO	Piomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ON NIÑO	Piomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ON ADULTO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Piomo (Pb) PROMEDIO ADULTO	Piomo (Pb) PROMEDIO NIÑO	Piomo (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ON NIÑO
27	Pucauran	1996	0.005	0.005	0.125	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0036	0	0	0	0.0036	0	0	0	0
28	Pucauran	1996	0.005	0.005	0.125	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0036	0	0	0	0.0036	0	0	0	0

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ZINC AÑO 1996				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACION Dosis/NOAEL-LOAEL				
			Zinc (Zn) PROMEDIO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Zn ADULTO	EMEG Zn NIÑOS	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO
27	Pucauran	1996	10.390	12.490	10.500	4.200	0.000	10.390	12.490	0.000	12.490	8.290	60	0	0	0	0	0	0
28	Pucauran	1996	8.145	8.290	10.500	4.200	0.000	8.145	0.000	0.000	8.290	60	0	0	0	0	0	0	

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ARSENICO NO CARCINOGENO AÑO 1996				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACION Dosis/NOAEL-LOAEL				
			Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico (As) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO
27	Pucauran	1996	0.009	0.013	0.011	0.004	0.000	0.009	0.013	0.000	0.013	0.039	0.0008	0	0	0	0	0	0
28	Pucauran	1996	0.026	0.039	0.011	0.004	0.026	0.026	0.039	0.039	0.008	0.008	0.0008	0	0	0	0	0	0

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ARSENICO CARCINOGENO AÑO 1996				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACION Dosis/NOAEL-LOAEL				
			Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico (As) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO
27	Pucauran	1996	0.009	0.013	52.5	21.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0	0	0
28	Pucauran	1996	0.026	0.039	52.5	21.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0008	0	0	0	0	0	0	0

## **Anexo 9**

Punto de monitoreo SMW-27, Quebrada Pucauran

Quebrada	AÑO	CADMIO AÑOS 1997-2014				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION					RELACION DDSSINQAEI-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)				
		Cadmio (Cd) PROMEDIO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG C4 ADULTO	EMEG C4 NIÑOS	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO
Pucaráñ	1997	0.016	0.030	0.016	0.007	0	0.016	0.030	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	1998	0.005	0.005	0.008	0.007	0	0	0.025	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	1999	0.012	0.025	0.008	0.007	0	0.012	0.025	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	2000	0.008	0.012	0.008	0.007	0	0.008	0.012	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	2001	0.008	0.012	0.008	0.007	0	0.008	0.012	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	2002	0.020	0.043	0.008	0.007	0.020	0.020	0.043	0.008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2	0	0	0	0	
	2003	0.008	0.012	0.008	0.007	0	0.008	0.012	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	2004	0.008	0.013	0.008	0.007	0	0.008	0.013	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	2005	0.013	0.017	0.008	0.007	0	0.013	0.017	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	2006	0.023	0.050	0.008	0.007	0.023	0.023	0.050	0.008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2	0	0	0	0	
	2007	0.012	0.015	0.008	0.007	0	0.012	0.015	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	2008	0.012	0.015	0.008	0.007	0	0.012	0.015	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	
	2009	0.031	0.046	0.008	0.007	0.031	0.031	0.046	0.008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2	0	0	0	0	
	2010	0.031	0.046	0.008	0.007	0.031	0.031	0.046	0.008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2	0	0	0	0	
2011	0.343	1.144	0.008	0.007	0.343	0.343	1.144	0.008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2	0	0	0	0		
2012	0.343	1.144	0.008	0.007	0.343	0.343	1.144	0.008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2	0	0	0	0		
2013	0.020	0.021	0.008	0.007	0.020	0.020	0.021	0.008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2	0	0	0	0		
2014	0.025	0.072	0.015	0.007	0.025	0.025	0.072	0.015	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2	0	0	0	0		

Quebrada	AÑO	COBRE AÑOS 1997-2014				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION					RELACION DDSSINQAEI-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)				
		Cobre (Cu) PROMEDIO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Cu ADULTO	EMEG Cu NIÑOS	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO
Pucaráñ	1997	0.186	0.451	0.175	0.07	0.186	0.451	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	1998	0.542	1.345	0.175	0.07	0.542	1.345	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	1999	0.618	1.345	0.175	0.07	0.618	1.345	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2000	0.592	1.240	0.175	0.07	0.592	1.240	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2001	0.450	0.984	0.175	0.07	0.450	0.984	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2002	0.223	0.465	0.175	0.07	0.223	0.465	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2003	0.276	0.512	0.175	0.07	0.276	0.512	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2004	0.276	0.512	0.175	0.07	0.276	0.512	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2005	0.877	1.877	0.175	0.07	0.877	1.877	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2006	1.021	2.593	0.175	0.07	1.021	2.593	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2007	0.479	0.762	0.175	0.07	0.479	0.762	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2008	0.422	0.745	0.175	0.07	0.422	0.745	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2009	0.627	1.321	0.175	0.07	0.627	1.321	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
	2010	0.779	1.636	0.175	0.07	0.779	1.636	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
2011	0.638	1.718	0.175	0.07	0.638	1.718	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0		
2012	0.330	0.361	0.175	0.07	0.330	0.361	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0		
2013	0.330	0.361	0.175	0.07	0.330	0.361	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0		
2014	0.373	0.851	0.175	0.07	0.373	0.851	0.175	0.07	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0		

Quebrada	AÑO	PLOMO AÑOS 1997-2014				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACION Dosis/NOEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)				
		Pb (Pb) PROMEDIO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Pb ADULTO	EMEG Pb NIÑOS	Pb (Pb) PROMEDIO / ADULTO	Pb (Pb) PROMEDIO / NIÑO	Pb (Pb) CONCENTRACION / ADULTO	Pb (Pb) CONCENTRACION / NIÑO	Pb (Pb) PROMEDIO / ADULTO	Pb (Pb) PROMEDIO / NIÑO	Pb (Pb) CONCENTRACION / ADULTO	Pb (Pb) CONCENTRACION / NIÑO	NOEL 6 LOAEL (mg/Kg/día)	Pb (Pb) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Pb (Pb) CONCENTRACION / EMEG NIÑO	Pb (Pb) PROMEDIO / ADULTO	Pb (Pb) CONCENTRACION / ADULTO
Pucará	1997	0,295	0,930	0,125	0,050	0,295	0,930	0,125	0,050	0,0088	0,001	0,0029	0,0041	0,0036	0	0	0	1
	1998	0,465	1,495	0,125	0,050	0,465	1,495	0,125	0,050	0,0097	0,002	0,0069	0,0097	0,0036	0	1	0	2
	1999	0,425	2,200	0,125	0,050	0,425	2,200	0,125	0,050	0,0095	0,0023	0,0069	0,0097	0,0036	0	1	0	2
	2000	0,483	1,495	0,125	0,050	0,483	1,495	0,125	0,050	0,0095	0,0021	0,0046	0,0064	0,0036	0	1	1	2
	2001	0,343	0,694	0,125	0,050	0,343	0,694	0,125	0,050	0,0091	0,0015	0,0022	0,0021	0,0036	0	0	1	1
	2002	1,707	4,599	0,125	0,050	1,707	4,599	0,125	0,050	0,0084	0,0015	0,0045	0,0022	0,0036	2	2	4	6
	2003	0,073	0,140	0,125	0,050	0,073	0,140	0,125	0,050	0	0,0003	0	0,0006	0,0036	0	0	0	0
	2004	0,129	0,401	0,125	0,050	0,129	0,401	0,125	0,050	0,0004	0,0006	0,0003	0,0008	0,0036	0	0	0	0
	2005	0,129	0,401	0,125	0,050	0,129	0,401	0,125	0,050	0,0004	0,0006	0,0003	0,0008	0,0036	0	0	0	0
	2006	0,138	0,263	0,125	0,050	0,138	0,263	0,125	0,050	0,0004	0,0006	0,0003	0,0008	0,0036	0	0	0	0
	2007	0,168	0,263	0,125	0,050	0,168	0,263	0,125	0,050	0,0004	0,0006	0,0003	0,0008	0,0036	0	0	0	0
	2008	0,262	0,914	0,125	0,050	0,262	0,914	0,125	0,050	0,0008	0,0011	0,0009	0,0012	0,0036	0	0	1	1
	2009	0,266	0,523	0,125	0,050	0,266	0,523	0,125	0,050	0,0008	0,0012	0,0009	0,0012	0,0036	0	0	0	0
	2010	0,084	0,156	0,125	0,050	0,084	0,156	0,125	0,050	0,0005	0,0007	0,0005	0,0007	0,0036	0	0	0	0
2011	0,181	0,272	0,125	0,050	0,181	0,272	0,125	0,050	0,0005	0,0007	0,0005	0,0007	0,0036	0	0	0	0	
2012	0,094	0,239	0,125	0,050	0,094	0,239	0,125	0,050	0	0,0004	0,0007	0,0004	0,0036	0	0	0	0	
2013	0,168	0,263	0,125	0,050	0,168	0,263	0,125	0,050	0	0,0004	0,0007	0,0004	0,0036	0	0	0	0	
2014	0,095	0,468	0,125	0,050	0,095	0,468	0,125	0,050	0	0,0004	0,0005	0,0021	0,0036	0	0	0	1	

Quebrada	AÑO	ZINC AÑOS 1997-2014				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACION Dosis/NOEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)				
		Zn (Zn) PROMEDIO	Zn (Zn) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Zn ADULTO	EMEG Zn NIÑOS	Zn (Zn) PROMEDIO / ADULTO	Zn (Zn) PROMEDIO / NIÑO	Zn (Zn) CONCENTRACION / ADULTO	Zn (Zn) CONCENTRACION / NIÑO	Zn (Zn) PROMEDIO / ADULTO	Zn (Zn) PROMEDIO / NIÑO	Zn (Zn) CONCENTRACION / ADULTO	Zn (Zn) CONCENTRACION / NIÑO	NOEL 6 LOAEL (mg/Kg/día)	Zn (Zn) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Zn (Zn) CONCENTRACION / EMEG NIÑO	Zn (Zn) PROMEDIO / ADULTO	Zn (Zn) CONCENTRACION / ADULTO
Pucará	1997	1,520	3,650	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	1998	1,182	7,480	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	1999	2,251	7,480	10,500	4,200	0	0	0	7,480	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2000	1,224	1,506	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2001	1,602	3,589	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2002	3,846	8,277	10,500	4,200	0	0	0	8,277	0	0	0	0,006	60	0	0	0	0
	2003	0,171	1,916	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2004	2,484	4,444	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2005	2,694	3,376	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0,041	60	0	0	0	0
	2006	3,525	3,316	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2007	1,774	2,930	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2008	1,719	3,789	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2009	1,675	2,697	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0
	2010	2,200	2,923	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0	0,076	60	0	0	0	0
2011	1,966	1,844	10,500	4,200	0	0	0	0	0,026	0,055	0,055	0,055	60	0	0	0	0	
2012	1,908	1,722	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000	60	0	0	0	0	
2013	1,354	1,505	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000	60	0	0	0	0	
2014	1,795	3,607	10,500	4,200	0	0	0	0	0	0,000	0,000	0	60	0	0	0	0	

Quebrada	AÑO	ARSENICO NO CARCINOGENO AÑOS 1997-2014				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DEL RIESGO EN LA POBLACION				RELACION DD/SIN/NOEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)				
		Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL 6 LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL 6 LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO
Pucarán	1997	0.785	4.610	0.011	0.004	0.785	4.610	0.0035	0.00145	0.0025	0.0035	0.0045	0.0203	0.0008	3	4	18	25
	1998	0.329	6.076	0.011	0.004	0.329	6.076	0.0014	0.00014	0.0010	0.0014	0.0014	0.0014	0.0008	1	2	1	2
	1999	0.303	6.076	0.011	0.004	0.303	6.076	0.0040	0.0014	0.0028	0.0040	0.0014	0.0267	0.0008	4	5	24	33
	2000	0.149	0.495	0.011	0.004	0.149	0.495	0.0007	0.00014	0.0005	0.0007	0.00014	0.0020	0.0008	1	1	2	3
	2001	0.185	0.335	0.011	0.004	0.185	0.335	0.0005	0.00014	0.0005	0.0005	0.00014	0.0005	0.0008	2	1	4	2
	2002	0.025	0.049	0.011	0.004	0.025	0.049	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0002	0.0008	0	0	0	0
	2003	0.025	0.049	0.011	0.004	0.025	0.049	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0002	0.0008	0	0	0	0
	2004	0.075	0.224	0.011	0.004	0.075	0.224	0.0002	0.00014	0.0002	0.0002	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	1	1
	2005	0.046	0.109	0.011	0.004	0.046	0.109	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0
	2006	0.264	0.300	0.011	0.004	0.264	0.300	0.0002	0.00014	0.0002	0.0002	0.00014	0.0001	0.0008	1	1	4	5
	2007	0.16	0.275	0.011	0.004	0.16	0.275	0.0005	0.00014	0.0005	0.0005	0.00014	0.0001	0.0008	0	1	2	2
	2008	0.123	0.442	0.011	0.004	0.123	0.442	0.0004	0.00014	0.0004	0.0004	0.00014	0.0001	0.0008	0	1	2	2
	2009	0.033	0.088	0.011	0.004	0.033	0.088	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0
	2010	0.033	0.088	0.011	0.004	0.033	0.088	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0
2011	0.103	0.239	0.011	0.004	0.103	0.239	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	1	1	1	
2012	0.064	0.119	0.011	0.004	0.064	0.119	0.0004	0.00014	0.0004	0.0004	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0	
2013	0.033	0.088	0.011	0.004	0.033	0.088	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0	
2014	0.189	1.338	0.011	0.004	0.189	1.338	0.0006	0.00014	0.0006	0.0006	0.00014	0.0042	0.0059	1	1	5	7	

Quebrada	AÑO	ARSENICO CARCINOGENO AÑOS 1997-2014				DETECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS				ESTIMACION DEL RIESGO EN LA POBLACION				RELACION DD/SIN/NOEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)				
		Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL 6 LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL 6 LOAEL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico (As) MÁXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO
Pucarán	1997	0.785	4.610	52.500	21.000	0.785	4.610	0.0035	0.00145	0.0025	0.0035	0.0045	0.0203	0.0008	3	4	18	25
	1998	0.329	6.076	52.500	21.000	0.329	6.076	0.0014	0.00014	0.0010	0.0014	0.0014	0.0014	0.0008	1	2	1	2
	1999	0.303	6.076	52.500	21.000	0.303	6.076	0.0040	0.0014	0.0028	0.0040	0.0014	0.0267	0.0008	4	5	24	33
	2000	0.149	0.495	52.500	21.000	0.149	0.495	0.0007	0.00014	0.0005	0.0007	0.00014	0.0020	0.0008	1	1	2	3
	2001	0.185	0.335	52.500	21.000	0.185	0.335	0.0005	0.00014	0.0005	0.0005	0.00014	0.0005	0.0008	2	1	4	2
	2002	0.025	0.049	52.500	21.000	0.025	0.049	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0002	0.0008	0	0	0	0
	2003	0.025	0.049	52.500	21.000	0.025	0.049	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0002	0.0008	0	0	0	0
	2004	0.075	0.224	52.500	21.000	0.075	0.224	0.0002	0.00014	0.0002	0.0002	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	1	1
	2005	0.046	0.109	52.500	21.000	0.046	0.109	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0
	2006	0.264	0.300	52.500	21.000	0.264	0.300	0.0002	0.00014	0.0002	0.0002	0.00014	0.0001	0.0008	1	1	4	5
	2007	0.16	0.275	52.500	21.000	0.16	0.275	0.0005	0.00014	0.0005	0.0005	0.00014	0.0001	0.0008	0	1	2	2
	2008	0.123	0.442	52.500	21.000	0.123	0.442	0.0004	0.00014	0.0004	0.0004	0.00014	0.0001	0.0008	0	1	2	2
	2009	0.033	0.088	52.500	21.000	0.033	0.088	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0
	2010	0.033	0.088	52.500	21.000	0.033	0.088	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0
2011	0.103	0.239	52.500	21.000	0.103	0.239	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	1	1	1	
2012	0.064	0.119	52.500	21.000	0.064	0.119	0.0004	0.00014	0.0004	0.0004	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0	
2013	0.033	0.088	52.500	21.000	0.033	0.088	0.0001	0.00014	0.0001	0.0001	0.00014	0.0001	0.0008	0	0	0	0	
2014	0.189	1.338	52.500	21.000	0.189	1.338	0.0006	0.00014	0.0006	0.0006	0.00014	0.0042	0.0059	1	1	5	7	

## **Anexo 10**

Punto de monitoreo OPDM-83, Quebrada Pucauran

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	CADMIO AÑOS 1997-2014				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)					
			EMEG Cd ADULTO		EMEG Cd NIÑOS		Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cadmio (Cd) PROMEDIO ADULTO	Cadmio (Cd) PROMEDIO NIÑO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
			Cadmio (Cd) PROMEDIO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION	Cadmio (Cd) PROMEDIO	Cadmio (Cd) MAXIMA CONCENTRACION														
OPDM-83	Pucauran	2009	0.156	0.163	0.018	0.007	0.156	0.163	0.163	0.163	0.000	0.001	0.001	0.001	0.200	0	0	0	0	
		2010	1.971	4.173	0.018	0.007	1.971	4.173	4.173	4.173	0.006	0.009	0.013	0.018	0.200	0	0	0	0	
		2011	0.619	11.158	0.018	0.007	0.619	11.158	11.158	11.158	0.002	0.003	0.035	0.049	0.200	0	0	0	0	
		2012	0.408	1.098	0.018	0.007	0.408	1.098	1.098	1.098	0.001	0.002	0.003	0.003	0.200	0	0	0	0	
		2013	0.584	3.583	0.018	0.007	0.584	3.583	3.583	3.583	0.002	0.003	0.011	0.016	0.200	0	0	0	0	
2014	0.050	0.291	0.0175	0.007	0.050	0.291	0.291	0.291	0.000	0.000	0.001	0.001	0.200	0	0	0	0	0		

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	COBRE AÑOS 1997-2014				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)					
			EMEG Cu ADULTO		EMEG Cu NIÑOS		Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Cobre (Cu) PROMEDIO ADULTO	Cobre (Cu) PROMEDIO NIÑO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
			Cobre (Cu) PROMEDIO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION	Cobre (Cu) PROMEDIO	Cobre (Cu) MAXIMA CONCENTRACION														
OPDM-83	Pucauran	2009	0.319	0.319	0.175	0.07	0.319	0.319	0.319	0.319	0.001	0.001	0.001	0.001	0.042	0	0	0	0	
		2010	6.197	10.850	0.175	0.07	6.197	10.850	10.850	10.850	0.019	0.027	0.034	0.048	0.042	0	1	1	1	
		2011	4.173	11.158	0.175	0.07	4.173	11.158	11.158	11.158	0.013	0.018	0.035	0.049	0.042	0	0	1	1	
		2012	9.553	27.075	0.175	0.07	9.553	27.075	27.075	27.075	0.030	0.042	0.085	0.119	0.042	1	1	2	3	
		2013	6.896	36.230	0.175	0.07	6.896	36.230	36.230	36.230	0.022	0.030	0.114	0.159	0.042	1	1	3	4	
2014	0.050	4.048	0.175	0.07	0	0	4.048	4.048	0.000	0.000	0.013	0.018	0.042	0	0	0	0	0		

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	PLOMO AÑOS 1997-2014				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN				RELACIÓN DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)					
			EMEG Pb ADULTO		EMEG Pb NIÑOS		Pb (Pb) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Pb (Pb) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Pb (Pb) PROMEDIO ADULTO	Pb (Pb) PROMEDIO NIÑO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL ó LOAEL (mg/Kg/día)	Pb (Pb) PROMEDIO ADULTO	Pb (Pb) PROMEDIO NIÑO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
			Pb (Pb) PROMEDIO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION	Pb (Pb) PROMEDIO	Pb (Pb) MAXIMA CONCENTRACION														
OPDM-83	Pucauran	2009	0.731	1.452	0.125	0.050	0.731	1.452	1.452	1.452	0.0023	0.0032	0.0046	0.0064	0.0036	1	1	1	2	
		2010	0.148	0.321	0.125	0.050	0	0.148	0.321	0.321	0.005	0.007	0.010	0.014	0.0036	0	0	0	0	
		2011	0.051	0.149	0.125	0.050	0	0.051	0.149	0.149	0.000	0.002	0.005	0.007	0.0036	0	0	0	0	
		2012	0.051	0.197	0.125	0.050	0	0.051	0.197	0.197	0.000	0.002	0.006	0.009	0.0036	0	0	0	0	
		2013	0.129	2.171	0.125	0.050	0	0	2	2.171	0.004	0.006	0.068	0.096	0.0036	0	0	2	3	
2014	0.004	0.023	0.125	0.050	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0036	0	0	0	0	0		

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ZINC AÑOS 1997-2014				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACIÓN DE LA DOSIS DE EXPOSICIÓN						RELACION DOSIS/NOAEL-LOAEL (mientras más alto el factor, mayor será el riesgo individual de desarrollar un efecto adverso)			
			Zinc (Zn) PROMEDIO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG Zn ADULTO	EMEG Zn NIÑOS	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL 6 LOAEL (mg/Kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL 6 LOAEL (mg/Kg/día)	Zinc (Zn) PROMEDIO ADULTO	Zinc (Zn) PROMEDIO NIÑO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Zinc (Zn) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
OPDM-83	Pucallura	2009	7.271	9.379	10.500	4.200	0	7.271	0	9.379	0	0,000	0,032	0,000	60	0	0	0	0	
		2010	7.749	17.420	10.500	4.200	0	7.749	17.420	17.420	17.420	0,000	0,034	0,055	60	0	0	0	0	
		2011	12.214	39.142	10.500	4.200	12.214	12.214	39.142	39.142	39.142	0,038	0,054	0,123	60	0	0	0	0	
		2012	7.938	26.550	10.500	4.200	0	7.938	26.550	26.550	26.550	0,000	0,035	0,083	60	0	0	0	0	
		2013	5.392	21.560	10.500	4.200	0	5.392	21.560	21.560	21.560	0,000	0,024	0,068	60	0	0	0	0	
2014	1.365	10.340	10.500	4.200	0	0	0	10.340	10.340	0,000	0,000	0,000	60	0	0	0	0			

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ARSENICO NO CARCINOGENO AÑOS 1997-2014				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION						RELACION DOSIS/NOAEL-LOAEL			
			Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico no carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
OPDM-83	Pucallura	2009	0.210	0.409	0.011	0.004	0.210	0.210	0.409	0.409	0.0008	0.001	0.001	0.0008	0.0008	1	1	1	2	2
		2010	0.003	0.006	0.011	0.004	0	0.006	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.0008	0.0008	0	0	0	0	0
		2011	0.056	0.402	0.011	0.004	0.056	0.056	0.402	0.402	0.0008	0.000	0.001	0.0008	0.0008	0	0	2	2	2
		2012	0.031	0.269	0.011	0.004	0.031	0.031	0.269	0.269	0.0008	0.000	0.001	0.0008	0.0008	0	0	1	1	1
		2013	0.069	1.116	0.011	0.004	0.069	0.069	1.116	1.116	0.0008	0.000	0.004	0.0008	0.0008	0	0	4	4	6
2014	0.003	0.019	0.011	0.004	0	0	0.019	0.019	0.0008	0.000	0.000	0.0008	0.0008	0	0	0	0	0	0	

Punto de muestreo	Quebrada	AÑO	ARSENICO CARCINOGENO AÑOS 1997-2014				DETECCIÓN DE CONTAMINANTES CRÍTICOS				ESTIMACION DE LA DOSIS DE EXPOSICION						COEFICIENTE DOSIS/NOAEL-LOAEL			
			Arsénico (As) PROMEDIO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION	EMEG As ADULTO	EMEG As NIÑOS	Arsénico carcinógeno (As) PROMEDIO / EMEG ADULTO	Arsénico carcinógeno (As) PROMEDIO / EMEG NIÑO	Arsénico carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG ADULTO	Arsénico carcinógeno (As) MAXIMA CONCENTRACION / EMEG NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO	NOAEL / LOAEL ANUAL (mg/Kg/día)	Arsénico (As) PROMEDIO ADULTO	Arsénico (As) PROMEDIO NIÑO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION ADULTO	Arsénico (As) MAXIMA CONCENTRACION NIÑO
OPDM-83	Pucallura	2009	0.210	0.409	52.500	21.000	0	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.0008	0.0008	0	0	0	0	0
		2010	0.003	0.006	52.500	21.000	0	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.0008	0.0008	0	0	0	0	0
		2011	0.056	0.402	52.500	21.000	0	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.0008	0.0008	0	0	0	0	0
		2012	0.031	0.269	52.500	21.000	0	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.0008	0.0008	0	0	0	0	0
		2013	0.069	1.116	52.500	21.000	0	0	0	0	0.0008	0.000	0.004	0.0008	0.0008	0	0	0	0	0
2014	0.003	0.019	52.500	21.000	0	0	0	0	0.0008	0.000	0.000	0.0008	0.0008	0	0	0	0	0		