

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO, CADMIO, ARSÉNICO Y PLOMO EN EL RÍO SAUCICUCHO Y EFLUENTE MINERO. SAN MIGUEL DE ALGAMARCA. CAJABAMBA. FEBRERO Y JUNIO. 2018”

Trabajo de investigación para optar el grado de:

BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Autores:

CRISTHIAN OMAR SEMPÉRTEGUI SORIANO
BETSY LORENA AMBROCIO SERNAQUE
CARLOS ALBERTO RUDAS CABRERA

Asesor:

Ing. JUAN CARLOS FLORES CERNA

Cajamarca - Perú

2019



DEDICATORIA

A nuestros padres,
por haber inculcado el espíritu de lucha,
estudio y perseverancia,
derrumbando toda barrera para alcanzar nuestros sueños.

AGRADECIMIENTO

A Dios,
A nuestros padres,
A nuestras familias,
A nuestros maestros por su enseñanza
humana y académica y
a la Universidad Privada del Norte.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTO	03
INDICE DE CONTENIDOS	04
INDICE DE TABLAS	05
INDICE DE FIGURAS	06
RESUMEN	08
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	09
1.1. Realidad problemática	09
1.1.1. Antecedentes	12
1.1.2. Historia de la minería en el cerro Algamarca	17
1.1.3. Metales pesados y la salud humana	20
1.1.3.1. Intoxicación por mercurio	20
1.1.3.2. Intoxicación por cadmio	27
1.1.3.3. Intoxicación por arsénico	33
1.1.3.4. Intoxicación por plomo	40
1.1.4. Definiciones básicas	43
1.1.5. Marco legal	48
1.1.6. Geografía de la zona de estudio	54
1.2. Formulación del problema	56
1.3. Objetivos	57
1.4. Hipótesis	58
CAPITULO II. METODOLOGÍA	59
CAPITULO III. RESULTADOS	70
CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	74
REFERENCIAS	87
ANEXOS	90

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Frecuencia de muestreo de agua superficial y presentación de reporte, efluentes minero-metalúrgicos.</i>	49
<i>Tabla 2: Frecuencia del análisis químico.</i>	49
<i>Tabla 3. Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas</i>	50
<i>Tabla 4: Categoría 3. Riego de vegetales y bebidas de animales. Estándares de Calidad Ambiental para agua</i>	54
<i>Tabla 5: Categoría 4. Conservación del ambiente acuático. Estándares de Calidad Ambiental para agua</i>	54
<i>Tabla 6: Vías de acceso de Cajamarca a Algamarca.</i>	55
<i>Tabla 7: Tiempos de almacenamiento según ANA.</i>	63
<i>Tabla 8: Identificación de puntos de monitoreo</i>	65
<i>Tabla 9: Parámetros de control según ANA.</i>	67
<i>Tabla 10: Características de la muestra del Punto 1 y 2, comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) agua. Primera evaluación.</i>	70
<i>Tabla 11: Características de la muestra del Punto 1 y 2, comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) agua. Segunda evaluación.</i>	71
<i>Tabla 12: Características del Punto 03. Efluente minero Nivel V, comparado con LMP. Primera evaluación.</i>	72
<i>Tabla 13: Características del Punto 03. Efluente minero Nivel V, comparado con LMP. Segunda evaluación.</i>	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Ubicación satelital del río Saucicucho - Cañaris. Google Earth 2019.	56
Figura II. Ubicación de los puntos de estudio (punto 1 y 2). Google Earth 2019.	65
Figura III. Río Saucicucho (punto 1), antes del contacto. Fotografía tomada 2019.	66
Figura IV. Ubicación del punto 2, después del contacto. Fotografía tomada 2019.	66
Figura V. Punto 3, nivel V de mina, vertimiento de efluentes. Fotografía 2018	67
Figura VI. Concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo vs. ECA	74
Figura VII. Concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo vs. ECA	75
Figura VIII. Concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo vs. ECA	76
Figura IX. Concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo vs. ECA	77
Figura X. Concentración de mercurio vs. ECA	78
Figura XI. Concentración de cadmio vs. ECA	79
Figura XII. Concentración de arsénico vs. ECA	80
Figura XIII. Concentración de plomo vs. ECA	81
Figura XIV. Concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo vs. LMP	83
Figura VI. Concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo vs. LMP	84
Figura XVI. Río Saucicucho. Fotografía tomada 2019.	90
Figura XVII. Toma de muestra en el punto 1. Fotografía tomada 2018.	90
Figura XVIII. Río Saucicucho cerca al efluente. Fotografía tomada 2019.	91
Figura XIX. Georreferenciación para toma de muestras. Fotografía tomada 2018.	91
Figura XX. Punto 2, se evidencia efluente minero. Fotografía tomada 2019.	92
Figura XXI. Toma de muestras en punto 2, después del contacto. Fotografía 2018.	92
Figura XXII. Rotulación de muestras en el punto 2. fotografía tomada 2018.	93
Figura XXIII. Río Saucicucho después del contacto con el efluente minero. 2018.	93
Figura XXIV. Georreferenciación del punto 1, punto 1. Fotografía tomada 2018.	94
Figura XXV. Medida del ancho del cauce del río Saucicucho antes del contacto con el efluente. Fotografía tomada en el 2018.	94
Figura XXVI. Medida del cauce de río Saucicucho, y profundidad para calcular el	95

caudal. Fotografía tomada 2018.

Figura XXVII. Toma de muestras en el punto 2, después del contacto. 95

Figura XXVIII. Toma de muestras en el punto 2. Fotografía 2018. 96

Figura XXIX. Rotulación y Toma de muestras en el punto 2. Fotografía 2018. 96

Figura XXX. Medida de parámetros físicos en el punto 2. Fotografía 2018. 97

RESUMEN

Desde el año 1956, se viene explotando al cerro anticlinal de Algamarca, actualmente la empresa minera Tahoe-Perú tiene la propiedad, pero en conversaciones con la Asociación de mineros artesanales San Blas de Algamarca (AMASBA), formada desde el 2003, conformada por 132 socios registrados, vienen explotando; con el paso del tiempo todos sus efluentes mineros desde que iniciaron la explotación viene siendo vertida en el río Saucicucho – Cañaris. Nuestro objetivo fue determinar la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo en el río Saucicucho y del efluente minero informal. Fue un estudio descriptivo, transversal y no experimental. Se ejecutó durante los meses de febrero y junio del 2018, se tomaron primer punto, fue antes del contacto con el efluente; segundo punto, después del contacto con efluente minero; tercer punto, mismo efluente minero. Encontrando como resultados durante las dos evaluaciones, punto 1, valores normales; punto 2, el cadmio muestra un nivel elevado de (0.003 mg/L) en la primera y segunda evaluación (0.084 mg/L); el arsénico (0.876 mg/L), en la segunda evaluación, también, supera los ECA para la categoría 3; con respecto a los LMP en la segunda evaluación cadmio (1.605 mg/L), arsénico con (17.78 mg/L), plomo (0.566 mg/L), superan los límites máximos permisibles (LMP).

Palabras Clave: Mercurio, cadmio, arsénico, plomo, ECA, LMP.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I.1 Realidad problemática

El río Saucicucho (conocido así por la población aledaña), perteneciente al río Cañaris, constituye un elemento importante para los ecosistemas que se desarrollan en esta área, además de otorgar beneficios a la población para fines de agricultura, ganadería y para actividades humanas en general; actualmente el mismo se encuentra bajo la influencia de la minería informal; siendo fuente principal de recepción de efluentes mineros. Este río sirve también como afluente del río Cajabambino, encontrándose en su recorrido comunidades como Lloque, Rosahuayta y Tabacal (pertenecientes al distrito Cachachi).

La actividad minera informal; la misma que se encuentra en proceso de formalización; que se desarrolla en la zona cercana a este río, elimina una mezcla de distintos residuos químicos en sus aguas; existen aproximadamente 71 bocaminas de explotación reconocidas, 132 socios empadronados (según padrón de la asociación AMASBA); directamente al río Saucicucho, probablemente con contenido de metales pesados como: mercurio, cadmio, arsénico y Plomo, siendo estos metales elementos tóxicos para el desarrollo de cualquier especie, alterando de esta manera los ecosistemas que dependen de este río. Además de alterar la calidad de agua a nivel físico y químico.

Sin embargo, también se puede describir en esta zona, río abajo, la existencia de relaves mineros, considerados como pasivo ambiental minero (PAM), justamente a borde del río Saucicucho, depósitos que fueron colocados por la antigua minera formal Algamarca S.A., en periodos anteriores a la minería informal actual, las mismas que en época de lluvia arrastran sustancias tóxicas al río aledaño, sumándose a la probable contaminación río arriba, se obtiene un río con características físicas diferente a simple vista.

Como se menciona, las aguas de este río (río abajo: Tabacal) son utilizados para fines de agricultura, ganadería y uso humano en general, por lo tanto, la población en general se ve afectada, al hacer uso de este recurso hídrico; desconociendo las características fisicoquímicas, poniendo en riesgo su salud, la productividad de sus sembríos y animales.

El Perú es uno de los países de mayor tradición minera en Latinoamérica y el mundo. Es el segundo productor de cobre, zinc y plata a nivel mundial. En América Latina ocupa el primer lugar en la producción de oro, zinc, plomo y molibdeno. Asimismo, posee las mayores reservas de plata del mundo y lidera el ranking latinoamericano en reservas de estos metales. Esto no solo refleja la riqueza que poseemos en nuestros recursos minerales, sino la capacidad de producción de la minería peruana y la estabilidad de nuestras políticas económicas. (MINEM, 2016)

Resaltar que la minería en el Perú es la industria que más aporta al crecimiento económico nacional, no es una utopía sino una realidad desde antaño, por ello es importante identificar dos aspectos fundamentales: primero, evaluar el diseño a detalle de un proyecto minero y segundo, vigilar estrictamente, a través de los organismos competentes, los aspectos medio ambientales.

Actualmente, el Perú cuenta con una legislación ambiental que rige el desarrollo de las operaciones mineras, con el afán de preservar un estándar de calidad de agua para determinado uso. Es en esa línea que en el mundo se desarrollan tecnologías, productos y plantas cada vez más modernas para que se cumplan con los requerimientos de cada país y cada sector productivo. Además, los procesos de tratamiento y recuperación de agua son determinantes para controlar el impacto ambiental que produce la actividad extractiva y para cumplir con las exigentes normas ambientales que hay. (Rumbo Minero, 2017)

Legalmente, el primer reconocimiento que hace el Estado peruano de la minería artesanal como estrato minero formal ocurrió con la Ley de Formalización, Ley N° 27651, de 2002. Esta ley no solo intenta formalizar operaciones, sino promover la minería artesanal dentro del sector minero formal, afirmándola como potencial “polo de desarrollo”, allí donde el Estado no crea oportunidades de empleo y generación de ingresos. La definición propone que los productores mineros artesanales (PMA) son aquellos que, individual o colectivamente, como persona natural o jurídica, se dedican habitualmente y como medio de subsistencia a la explotación o beneficio directo de minerales, realizando sus actividades con métodos manuales y equipos básicos. En Perú actualmente (2016), el régimen general comprende la “gran minería” y la “mediana minería”. Por otro lado, el régimen de pequeña escala incluye pequeños productores mineros (PPM) y productores mineros artesanales (PMA). Según las estadísticas publicadas por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), en el año 2009 había 1 826 PMA registrados, y para el año 2015 solo había 52. Lo más probable, teniendo en cuenta el aumento de la producción aurífera, es que haya ocurrido una migración importante hacia la informalidad o hacia la ilegalidad. (MINAM, 2016)

Queda claro, en consecuencia, que el proceso productivo minero es una actividad compleja que involucra una serie de interacciones entre los componentes ambientales (agua, suelo, aire, flora, fauna) versus los componentes del proceso productivo (depósito de relaves, depósito de desmontes, pilas de lixiviación y rellenos sanitarios, entre otros), lo que crea alteraciones en el medio natural; desde las más imperceptibles hasta las que representan claros impactos sobre el medio en que se desarrollan. Usualmente, la preocupación de evitar o mitigar un impacto negativo al ambiente está centrada en la disposición final de los desechos mineros. Sin embargo, para poder evitar la liberación descontrolada de elementos desde los desechos mineros, es de suma importancia monitorear todo el proceso productivo para establecer los

puntos críticos y los factores de riesgo que permitan proteger efectivamente los componentes ambientales. Por ello, dichas actividades deben realizarse de manera formal. La actividad minera es, por sus características, una actividad con riesgo ambiental que obliga a un manejo responsable de cada uno de sus procesos y la internalización de las medidas de prevención. No hacerlo implica trasladar los impactos de contaminación, afectación a la salud, degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, deforestación u otros, a los ciudadanos. (MINAM, 2016)

1.1.1. Antecedentes.

Nacionales.

Graza y Quispe (2015) afirman en su estudio sobre la cuantificación de arsénico, cadmio y plomo en las aguas de un tramo del río Santa en el tramo adyacente al Pasivo Ambiental Minero de Recuay, Ticapampa, en la provincia de Recuay (Ancash). Las muestras de agua, se tomaron en nueve (09) puntos consecutivos que están conformados además de tres (03) blancos (blanco viajero, blanco muestreo y blanco lago), analizándose la concentración de los metales en mención en cada punto por el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. La concentración de arsénico fue 0.0404 mg/L, del plomo 0.6402 mg/L y del cadmio 0.0396 mg/L; siendo todos ellos superiores a los límites máximos permisibles establecidos por los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua” del Ministerio del Ambiente. Según los resultados obtenidos. El estudio comprueba que parte de la contaminación del río Santa es provocada principalmente por la descarga residuos mineros que están ubicados a lo largo de todo su cauce (en el tramo de Ticapampa – Recuay).

Loayza (2016) en su trabajo refiere el crecimiento vertiginoso de la actividad minera artesanal en la región Piura, alcanza niveles de preocupación, debido al manejo del mineral durante el proceso de explotación y la disposición de los desechos y relaves, como consecuencia se han generado conflictos sociales que centran el problema en contaminación

ambiental, por tal motivo el estudio de los sedimentos está tomando relevancia para entendimiento del comportamiento de metales en sistemas acuáticos. Para comprender mejor el comportamiento de los metales pesados en la naturaleza, se realiza el análisis de extracción secuencial por el método BCR el mismo que permite determinar los componentes químicamente activos o móviles, así como explicar la existencia de los contaminantes que se encuentran en la fase litogénica o fase difícil de formar parte de la columna de agua o de la cadena trófica. El análisis por especiación o extracción secuencial, permite determinar el comportamiento de los elementos potencialmente contaminantes que ocurren en la naturaleza. Finalmente, el estudio concluye que, no obstante, la existencia de actividad minera artesanal en la zona de estudio y que ésta se realiza de manera intensiva, el riesgo ambiental que representan los metales pesados y que están dispersos como consecuencia de dicha actividad, no son de riesgo para el ambiente, asimismo los elementos pesados se presentan mayormente en la fase litogénica, la misma que es bastante estable y que difícilmente puede precipitar para formar parte de la columna de agua.

Díaz (2016) manifiesta que la existencia de los veintidós pasivos ambientales identificados en el distrito de San Mateo de Huanchor, constituyen un riesgo ambiental permanente y potencial para la población y el ecosistema del lugar; en las onces bocaminas que son un acceso a las labores de mina no se ha realizado ningún estudio por parte del Ministerio de Energía y Minas para saber el estado del interior de mina, son un peligro y riesgo para la población local, se encuentran en estado de abandono, constituyen refugios de especies de fauna como los murciélagos que han encontrado un lugar para refugiarse poniendo en riesgo la salud de la población que se acerque. Los nueve desmontes de mina abandonados son otro foco de contaminación de suelo y agua por la generación de drenaje ácido de roca en el lugar donde se

localizan, los pasivos ambientales mineros deben ser cerrados técnicamente para evitar sus efectos negativos al ecosistema y la salud de los pobladores.

En los resultados del monitoreo de agua de las diferentes estaciones de monitoreo de DIGESA resultan que la calidad de agua presenta solamente en cuatro estaciones E-05 con 0.14 mg/L, E-07 con 0.35mg/L, E-07 con 0.19 mg/L, E-09 con 0.193 mg/L, esporádicamente sobrepasa ligeramente el parámetro del arsénico fijado por el ECA III (As 0.10 mg/L) para el uso de agua de riego de vegetales; para el caso del cadmio se tiene que, solamente en dos meses se sobrepasan, en el primero en tres estaciones y en el segundo en dos estaciones, pero como en el caso de arsénico no es significativo para afirmar que el agua presenta una mala calidad por efecto de la presencia de ambos elementos químicos.

Los niveles de exposición de arsénico y cadmio en el suelo del centro poblado de San Mateo de Huanchor no son significativos, en los resultados de la evaluación y condiciones de la calidad del suelo en el caso de presencia de arsénico si se compara con los ECA de categoría comercial, industrial o extractivo, está muy por debajo del estándar fijado por la legislación peruana; no existiendo zonas dentro del centro poblado de riesgo de terrenos contaminados. Para el caso del cadmio todas las muestras obtenidas presentan resultados por debajo de los ECA de suelos tanto para el uso residencial y parques como también para el uso comercial industrial y extractivo, la explicación es que el suelo alcalino con un pH de 8.2 ha ocasionado la precipitación del cadmio, el cuál influye en el aumento de la cantidad de iones o aniones en el suelo, siendo precipitados conforme aumenta el pH, es importante también señalar la participación de la materia orgánica que absorbe los aniones de cadmio debido a la capacidad de intercambio catiónico del suelo, es una explicación porque en los suelos se encuentra en mínima cantidad no siendo significativa la presencia de cadmio.

Barba *et al.* (2017) realizaron un estudio en el río Auqui y Paria (Ancash), para determinar las concentraciones de metales pesados, específicamente, arsénico, cadmio, cobre, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc; y comparando con los límites máximos permisibles, establecidos por la organización mundial de la salud. (OMS, 2017)

A objeto de obtener muestras representativas, se diseñó un plan de muestreo en espacio y tiempo, esto es, en cada una de las cuatro estaciones (invierno, primavera, verano y otoño) se tomaron cinco puntos (1000 m y 500 m aguas arriba del punto de captación, en el punto de captación, a la entrada y a la salida de la planta de tratamiento) en tres momentos (inicio, intermedio y fin de estación).

La respuesta obtenida indica que en el río Auqui la concentración de manganeso está por encima del límite máximo permitido (0.5 mg/L) y en el río Paria existen evidencias que conducen a pensar que las concentraciones de metales pesados obtenidas son inferiores a los límites máximo permitidos, lo que indica que el agua es apta para el consumo humano.

Internacional.

Covarrubias y Peña (2015) refieren en su trabajo de investigación que la contaminación por metales pesados en México es un problema que va en aumento debido a la actividad antrópica, específicamente la minería. Los metales contaminantes más importantes en México, dada su toxicidad y abundancia son: mercurio, arsénico, plomo y cromo. Entre los sitios más afectados por las altas concentraciones de metales pesados en suelos se encuentran los estados de Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí. Una alternativa para contribuir a la solución de este problema, es el uso de especies vegetales para la remoción de metales pesados del suelo o “fitorremediación”. Al respecto, en México se han caracterizado especies con capacidad de acumulación de metales, como *Scirpus americanus*, *Typha latifolia*, *Jatropha dioica*, *Eichhornia crasipes* y *Amaranthus hybridus*. Una estrategia para mejorar el proceso de

fitoextracción de metales es a través de la inoculación de microorganismos del suelo. Bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Arthobacter*, *Microbacterium*, *Curtobacterium*, *Rhodococcus*, *Xanthomonas* y *Pseudomonas*, han mostrado resultados promisorios al ser empleados en estos tratamientos, así como el uso de hongos micorrízicos arbusculares específicamente del género *Glomus*. Sin embargo, son necesarios más estudios para optimizar los sistemas de tratamiento basados en la selección de las mejores plantas y bacterias endémicas de los sitios contaminados.

Mancilla *et al.* (2017) realizó el presente trabajo en relación a la calidad del agua en la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería (México). El estudio se dio entre febrero y abril del 2014, se tomaron 40 muestras de agua, se analizaron el pH, conductividad eléctrica, aniones y cationes, así como arsénico y metales pesados totales: cadmio, mercurio y plomo. En la distribución de la concentración iónica predominó el anión bicarbonato y el catión magnesio. Los metales pesados se determinaron utilizando la metodología recomendada por la Environmental Protection Agency (EPA) y American Public Health Association (APHA). Se comparó la calidad del agua con los criterios de la NOM-001-ECOL-1996, de EPA (1986) y SEDUE (1989). Los resultados mostraron valores bajos en la concentración de metales pesados en agua para riego agrícola y su uso urbano, no así para aguas naturales, pues el 100% de las muestras presentaron concentraciones por encima de los límites permisibles para mercurio y 92.5% para plomo. La concentración más alta la presentó el mercurio con valores de 0.0039 mg/L a 0.0203 mg/L, mientras que la menor con valores de 0.0007 mg/L a 0.0086 mg/L fue para el plomo. En cuanto a salinidad, las muestras entraron en las clasificaciones C2, C3 y C4, y en sodicidad todas clasificaron como SI. En los sólidos totales disueltos la mayoría presenta valores entre 450 – 2000 mg/L.

Reyes *et al.* (2015) manifiestan que la contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local. Abordando en su estudio el problema específico de la contaminación por mercurio, arsénico, cadmio y plomo en ambiente y alimentos. Se presenta una descripción sobre las fuentes de contaminación y exposición en seres vivos así como la incorporación y retención en alimentos y productos de consumo humano. Además, los estudios demuestran que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua, pastos o forrajes contaminados por metales pesados (mercurio, plomo, arsénico y cadmio) influye sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche y carne. De igual manera las condiciones de cultivo influyen en la concentración de metales pesados sobre diferentes matrices (aire, agua suelo y plantas). Los límites máximos permisibles están muy establecidos en agua. Sin embargo, aún falta por definir los límites de concentración y riesgo de mercurio, arsénico y cadmio en hortalizas, legumbres y cereales, para permitir estandarizar y consensuar los estudios de contaminación que se están realizando, así como los efectos tóxicos y en ambiente.

1.1.2. Historia de la minería en el cerro de Algamarca.

El centro poblado San Miguel de Algamarca ha sido reconocido desde épocas muy remotas; en la cima del cerro del mismo nombre existen ruinas, quizás de edad preincaica. Durante la Colonia sus minerales fueron explotados por cuenta del Rey de España en pequeña escala. Se extraía la plata (Ag) por el método de amalgamación desde 1771 hasta 1848, fecha que Don Pedro Hugón estableció en Araqueda una oficina de lixiviación, esta se abandonó en 1854 y se volvió a la amalgamación. En 1881 se hacen tentativas de fundición. Posteriormente, la familia Velezmoro, en 1903, estableció una oficina de fundición por matas y mientras pudieron extraer los minerales de fácil acceso, tuvieron una época de gran esplendor económico; pero, conforme

estos minerales se fueron agotando, y se hacía necesaria nuevas y costosas exploraciones que estaban obstaculizadas por la topografía y geología del lugar, los sistemas anticuados de trabajo y por el acostumbrado derroche de dinero, la situación fue cambiando, al extremo que en 1916 sobrevino irremediamente la quiebra. (Samame, 1992)

La firma comercial Pinillos Goicochea y Compañía de Trujillo entró entonces en posesión de Algamarca por adjudicación en remate público, pero tampoco pudo hacer gran cosa por dificultades económicas, derivadas de la crisis que sobrevino después de la primera guerra mundial (1914-1918). Las minas fueron puestas de nuevo de remate público y otorgadas al Sr. Luis José de Orbegoso en 1930, quien suspendió los trabajos por considerarlos inadecuados y, en espera de mejores oportunidades, permanecieron paralizadas hasta el año 1946, en que sus herederos resolvieron iniciar los trabajos. El 15 de setiembre de 1955, la Testamentaría Luis José de Orbegoso puso en funcionamiento la actual planta de beneficio de minerales por flotación; teniendo inicialmente una capacidad de 50 TMS/día. El 19 de junio de 1956, se cambió la razón social a Compañía Minera Algamarca S.A. y en el mes de octubre de 1968 se amplió la capacidad de producción de la mina y la planta a 200 MTS/día. Posteriormente, en el mes de mayo de 1976, se ampliaron también las instalaciones de mina y planta para tratar 300 MTS/día. (Samame, 1992)

En Algamarca la mineralización está constituida por sulfuros de cobre y plata: calcopirita, tetraedrita-tennantita y enargita, asociadas con proporciones menores de bournonita, esfalerita, galena; con ganga de cuarzo, pirita, arsenopirita y marcasita con contenido de oro. En los niveles de la mina se aprecia la presencia de mineralización supergénica en forma de digenita y covellita. (Samame, 1992)

En 1989, las reservas de mineral primario (sulfuros) han disminuido en 66.85% en comparación con las que se tenían a diciembre de 1988, habiendo sido de las leyes superiores,

la del cobre (Cu) en 64.56%, la de la plata (Ag) en 31.17%, y del oro (Au) en 50.69%. Las reservas de mineral secundario (óxidos) han aumentado en 31.50% en comparación con las que se tenían a diciembre de 1988; la ley de oro ha sido mayor en 5.92% y la ley de plata menor en 15.38%. En este mismo año el mineral tratado con la planta de Concentración ha sido de 26133 TMS; y para óxidos, se han tratado 30385 TMS en la planta de Cianuración y 1 487 TMS por el sistema de Cianuración en rumas, haciendo un total de 31872 TMS. (Samame, 1992)

En el año 2003, se posesionan una cantidad de 300 mineros artesanales, a explorar los óxidos en todo el cerro, el 80% de esta población era personas de raíces algarquinas. Pero en el año 2004, nace la idea de un grupo de mineros artesanales, formar una asociación cuya finalidad era tener representantes y que estos velen por la minería artesanal; por decisión unánime del grupo de mineros de ese entonces esta asociación queda registrada como San Blas, en honor al patrón del centro poblado de San Miguel de Algamarca, desde aquel entonces la Asociación de Mineros Artesanales San Blas de Algamarca (AMASBA), queda registrado y reconocido, ese mismo año se empieza a trabajar de la mano con los socios y se realiza un empadronamiento, quedando registrado en un libro de actas; dentro de las funciones de la asociación están las de ordenar, disciplinar y sancionar a los socios que incumplan con los acuerdos. Hasta la fecha la asociación viene trabajando con la empresa minera Tahoe-Perú (anteriormente Sulliden Shahuindo), para obtener un contrato de explotación y alcanzar su formalización. (Samame, 1992)

A la fecha, la minería informal, viene imperando en el centro poblado San Miguel de Algamarca, porque no todos están inscritos como asociados, y vienen explotando de forma clandestina, sin leyes ni supervisiones de organismos competentes, desde el límite superior (nivel 0) de explotación hasta el límite inferior (nivel 5), sus efluentes mineros se encuentran en este último, y son vertidos directamente al río en estudio, y no hay organismo ni entidad que

detenga este impacto ambientalmente nocivo para la población aledaña que hace uso de este recurso hídrico.

Es por esta razón que nace el interés del estudio, para valorar y cuantificar los valores de los metales pesados (cadmio, arsénico, mercurio y plomo), en el río Saucicucho, y tomar las mejores medidas para disminuir el impacto ambiental, y el daño que está causando a la población en general, y el potencial peligro a la salud y los ecosistemas. Mostrar que se deberían tomar acciones inmediatas a través de las leyes que protegen el medio ambiente, y que los organismos responsables cumplan con el compromiso de “mitigar el impacto”, y mejorar las condiciones de la población y mejorar el hábitat de las especies que puedan desarrollarse en este tipo de ecosistemas. El presente proyecto se desarrolló durante los meses de febrero y junio, meses donde se obtuvieron las muestras, del año 2018.

1.1.3. Metales pesados y la salud humana.

1.1.3.1. Intoxicación por mercurio (Hg).

Etiología.

El mercurio es un metal pesado de color blanco plateado que se encuentra unido a diversos minerales en la corteza terrestre, principalmente bajo la forma de sulfuros de mercurio (cinabrio rojo), a temperatura ambiente se halla en estado líquido a pesar de ser muy denso y poco compresible, además posee gran capacidad de alearse con otros metales y formar amalgamas, no obstante, no lo hace con el hierro. Punto de fusión es -38.4°C y el punto de ebullición 357°C . (MINSa, 2013)

Se estima que alrededor del 30% de mercurio es de origen natural o elemental. El 70% restante deriva de la actividad antropogénica, principalmente de la minería, la incineración de productos urbanos y médicos. (MINSa, 2013)

El mercurio existe en tres formas: elemental, orgánico e inorgánico.

- *Mercurio elemental o metálico (HgO)*: es líquido a temperatura ambiente y se transforma de líquido a vapor de mercurio procedente tanto de la desgasificación natural de la superficie terrestre, como de la reevaporación del mismo.

Desde los 13°C el mercurio elemental emite vapores, lo que facilita la intoxicación ocupacional (Alfonso, 2010), asimismo, en el hogar cuando se quiebran termómetros de cristal u otros dispositivos que contienen mercurio elemental, éste se evapora generando vapores de mercurio lentamente, que al ser más pesados que el aire tienden a permanecer cerca del piso o de la fuente de mercurio, pero pueden entrar en el sistema de ventilación y propagarse en todo el hogar. (Healthcare, 2011)

- *Mercurio orgánico (metilmercurio y etilmercurio)*: el metilmercurio, surge a partir de la metilación del mercurio mercúrico (Hg^{++}), a través de procesos no enzimáticos o por la acción de bacterias, es un compuesto potencialmente tóxico debido a que es hidrofóbico y liposoluble, lo cual le permite acumularse en los tejidos orgánicos. Una vez que el metilmercurio es liberado al agua puede difundirse a través de la cadena alimenticia acuática, que luego es consumida por peces herbívoros, carnívoros y mamíferos marinos, los cuales pueden ser consumidos por los humanos, siendo la principal causa de exposición no ocupacional. (MINSa, 2013)
- *Mercurio inorgánico o sales de mercurio*: son compuesto derivados del mercurio mercurioso (Hg^{1+}) y del mercúrico (Hg^{2+}) unidos a átomos de cloro (Cl), nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S), destacando el calomel o cloruro mercurioso ($HgCl$) o cloruro mercúrico ($HgCl_2$), usado en luces de bengala, papel de calomel, mezclado con oro para pintura de porcelana, en electrodos de calomel. Otros compuestos se han usado como laxantes, para blanquear los dientes, pilas, entre otros. (MINSa, 2013)

Fisiopatología.

Vía inhalatoria: la más frecuente e importante en el ámbito ocupacional y en casos de emergencias por derrames. Se destaca la implicancia del mercurio elemental, el cual se transforma fácilmente de su estado líquido a vapor de mercurio; una vez inhalado difunde hasta un 80% al flujo sanguíneo. Aunque el mercurio elemental se acumula en cierto grado en los riñones, generalmente no produce daño renal. (MINSA, 2013)

Vía oral: los compuestos orgánicos de mercurio ingresan al organismo a través de alimentos, se absorben del 90 al 95% en el tracto gastrointestinal; los compuestos inorgánicos de mercurio se absorben entre 2 a 15% de la dosis ingerida acumulándose en el túbulo renal proximal, donde puede producir falla renal aguda. Cabe señalar que el mercurio elemental no tiene buena absorción por esta vía, siendo en menos del 0.1%.

Vía dérmica: por contacto, se han descrito casos de intoxicación por aplicación tópica de compuestos que contienen metilmercurio.

El mercurio absorbido es transportado por la sangre en las células rojas hasta un 90% de los compuestos orgánicos y el 50% del mercurio inorgánico es transportado unido a la albumina. El mercurio elemental y los compuestos orgánicos se distribuyen a todo el organismo, teniendo mayor afinidad por el encéfalo (sustancia gris), hígado y riñón, también se ha detectado en epitelio de tiroides y páncreas, en células medulares de las glándulas adrenales, espermatozoides, epidermis y cristalino. (MINSA, 2013)

Los compuestos inorgánicos o sales de mercurio se concentran principalmente en los riñones, hígado, intestino, piel, glándulas salivales, corazón, sistema musculo esquelético, cerebro y pulmón. Luego de una semana, el 85 a 95% se redistribuye y almacena en los riñones. El vapor de mercurio elemental se difunde rápidamente a través de la barrera hematoencefálica (BHE) y la placenta, el metilmercurio conjugado con los grupos sulfhidrilos (-SH) es transportado al interior del cerebro fetal a través de los transportadores de aminoácidos de la

BHE produciendo alteraciones congénitas cognitivas en el feto. El mercurio inorgánico no es soluble en lípidos y no atraviesa fácilmente la BHE. (MINSA, 2013)

La vida media plasmática es de 23 a 40 días para los compuestos inorgánicos y de 50 a 70 días para los compuestos orgánicos, siendo la circulación entero hepática responsable de su tiempo de vida media prolongada. Los compuestos de mercurio se eliminan por las heces y la orina preferentemente. El metilmercurio se excreta hasta un 90% en heces desde el hígado vía bilis, también esta descrita la excreción a través de la saliva, que corresponde a 1/4 de la concentración sanguínea y 1/10 de la concentración urinaria, asimismo la exhalación puede representar hasta el 7% de la excreción.

Aspectos epidemiológicos.

El primer registro del uso del mercurio proviene por parte de Aristóteles en el siglo IV a.C., quien descubrió su uso en ceremonias religiosas y lo denominó Hydrargyrium que significaba plata líquida. Los incas conocían el cinabrio no cristalizado al que denominaban “Llimpi” y lo utilizaron como pintura. Los árabes lo denominaron azogue. Durante la Edad Media, el mercurio tuvo una singular trascendencia para los alquimistas, por su implicancia en el principio formativo de los metales: “Tría Prima: mercurio-azufre-sal”, según Paracelso en el siglo XVI y además introdujo su empleo en el tratamiento de la Sífilis; Torricelli, en 1643, lo utilizó en su barómetro; en 1720, Fahrenheit, en su termómetro. (MINSA, 2013)

En Minamata – Japón, se presentó la mayor epidemia de envenenamiento ocasionada por metilmercurio y otros compuestos de mercurio que eran descargados a la Bahía de Minamata por la empresa petroquímica Chisso, la cual utilizaba mercurio metálico para obtener acetaldehído, un material para el cloruro de polivinilo (PVC), estos compuestos posteriormente se bioacumulaban en los peces y mariscos que consumía la población. A partir de 1953, los habitantes de las aldeas pesqueras desarrollaron un síndrome neurológico grave y permanente, notificando 111 casos hasta 1960. Otro caso importante de señalar ocurrió en el año 1971 –

1972 cuando granos de semilla fueron tratados con mercurio orgánico y distribuido para su consumo, causando 459 casos de muertes en Irak.

En el Perú, durante la época del virreinato (1564) la mina de azogue (mercurio), de Santa Bárbara ubicada a 3675 m.s.n.m., en la región de Huancavelica, fue la más explotada, llegando a producir 115 mil quintales de azogue, los que permitieron la obtención de plata de las minas de Potosí y Laycacota (Puno), cuyo destino eran las Cajas Reales en España. Asimismo, fue la principal causa de intoxicaciones laborales por mercurio, registradas en el Instituto de Salud Ocupacional – INSO. En el año 2000, entre los distritos de Magdalena (Choropampa) y San Juan, provincia de Cajamarca, ocurrió el derrame de 151 kg de mercurio metálico, equivalente a más o menos 11 litros de mercurio, propiedad de la Minera Yanacocha, durante su transporte, afectando la salud de 800 pobladores. (Ramírez, 2008)

Factores de riesgo asociados.

Medio ambiente.

- Ingesta de agua contaminada por efluentes industriales, minería informal u hospitalaria.
- Habitar cerca de fuentes de exposición, como son las empresas minero metalúrgicas o lugares donde se explota oro, como en la Región Madre de Dios (donde se utiliza el mercurio elemental como insumo (minería informal).
- Ingesta de alimentos contaminados con metilmercurio por cuencas contaminadas con mercurio metálico por actividades mineras e industriales. (MINSA, 2013)

Relacionados a la persona.

- La susceptibilidad individual (hipersensible o atópica).
- Ingesta accidental (ruptura de termómetros).
- Personas con antecedentes de enfermedades pulmonares y renales crónicas.

- Personas con prótesis de amalgama. Las amalgamas dentales son la principal fuente de exposición a mercurio elemental en la población general, a partir de 5 amalgamas los niveles de esa persona serán un poco más elevados que el resto. (Gunnar, 2011)
- Personas con alteraciones intestinales como diverticulosis, fístula, obstrucción, donde el mercurio puede quedar atrapado en el tracto gastrointestinal por un periodo de tiempo indefinido, permitiendo a las bacterias convertir el mercurio elemental a su forma orgánica que puede ser absorbida sistemáticamente.

Salud ocupacional.

- Exposición a los vapores de mercurio elemental.
- La extracción del mineral de mercurio, emisión de industrias o plantas termoeléctricas, durante la generación de energía a partir de combustibles fósiles.
- La producción metalúrgica de mercurio metálico, tratamiento de minerales auríferos y argentíferos incluyendo la minería artesanal y en pequeña escala.
- La producción de hidróxidos sódico y potásico (plantas de clorosada), tintes y lámparas fluorescentes.
- La producción y reparación de aparatos de medición eléctricos, incluyendo las de electrolisis e instrumentos de laboratorio.
- Fabricación de baterías, producción electrolítica de clorina preparación de zinc amalgamado para pilas eléctricas.
- Producción de amalgamas odontológicas.
- Tratamiento de semillas y la protección de la madera mediante compuestos orgánicos de mercurio.

Diagnóstico.

Epidemiológico: exposición ambiental, personal y/o ocupacional.

Clínico: con manifestaciones clínicas.

Laboratorio: indicadores biológicos de exposición que se consideran para valorar las concentraciones de mercurio elemental e inorgánico (OPS, 2011):

- Personas no expuestas ocupacionalmente (valores referenciales): dosaje de mercurio en orina es de $<5 \mu\text{g Hg/L}$ o $5 \mu\text{g Hg/g}$ de creatinina.
- Personas expuestas ocupacionalmente (índice biológico de exposición): dosaje de mercurio en orina es $<50 \mu\text{g Hg/L}$ o $35 \mu\text{g Hg/g}$ de creatinina.

Tratamiento específico – quelantes. (Chiang, 2015)

Son de uso exclusivamente hospitalarios a partir del III nivel de atención, requiere supervisión médica constante.

Los quelantes de elección para los casos de intoxicación por mercurio bajo todas sus formas en pacientes con función renal normal, son los siguientes:

En personas que toleren la vía oral se empleará el succimero o DMSA (2,3 dimercaptosuccínico) a razón de 10 mg/kg de peso cada 8 horas por 5 días, luego continuar la misma dosis cada 12 horas por 14 días, durante la administración de la terapia se debe monitorizar la función renal y realizar análisis de sangre. Asimismo, en casos de envenenamiento con mercurio elemental y organico se debe continuar la terapia hasta 24 horas después que el mercurio urinario sea menor a $20 \mu\text{g/L}$. (MINSa, 2013)

Las personas que no toleren la vía oral y sin disfunción renal se empleara el dimercaprol o BAL (British anti- Lewisite), siendo la dosis empleada de $3\text{--}5 \text{ mg/kg}$ vía intramuscular (nunca endovenosa), cada 4 horas por dos días, luego se administra $2,5\text{--}3 \text{ mg/kg}$ IM cada 6 horas por dos días, y finalmente cada 12 horas, por 1–3 días, está contraindicado en personas alérgicas al maní y aquellos con daño hepático. (MINSa, 2013)

Sin embargo, no se recomienda en toxicidad por mercurio orgánico debido al incremento del nivel de mercurio en sangre, el cual ocasionará alteración del sistema nervioso central.

En caso de no contar con los quelantes antes mencionados, se puede emplear como terapia quelante alternativa D-penicilamina, en casos de intoxicación por mercurio inorgánico y elemental.

1.1.3.2. Intoxicación por Cadmio (Cd). (MINSA, 2013)

Etiología.

El cadmio es un metal pesado, dúctil, resistente a la corrosión, de color blanco plateado que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre y combinado con otros elementos como el oxígeno (óxido de cadmio), el cloro (cloruro de cadmio) o el sulfuro (sulfato o sulfuro de cadmio). Estos compuestos se disuelven en el agua, siendo los cloruros y sulfatos las formas más solubles. Su punto de fusión 320.9°C y punto de ebullición 765°C .

El cadmio de origen natural proviene principalmente de:

- La erosión de las rocas y suelos en pequeñas cantidades casi siempre asociado con el zinc, plomo, cromo y las minas de cobre.
- Formación de sales marinas; siendo reportados los niveles más altos cerca de las zonas costeras y marinas.
- Incendios forestales.
- La actividad volcánica es la mayor fuente natural de liberación de cadmio a la atmósfera, pero al no tener un olor o sabor característico, es imperceptible.

No obstante, a lo señalado, se debe tener en cuenta que la mayor parte de cadmio se origina a partir de la actividad antropogénica, generalmente en las fuentes señaladas. El cadmio se dispersa a través del aire, agua y suelo, conforme al detalle:

En el aire: se encuentra adherido, bajo la forma de óxido de cadmio en pequeñas partículas y viaja a grandes distancias antes de regresar a la tierra como polvo, lluvia o nieve.

En el suelo: la aplicación de ciertos fertilizantes o excremento de animales en las tierras de cultivo puede aumentar los niveles de cadmio, lo cual conlleva al aumento de este metal por acumulación y concentración en plantas (raíces, hojas y frutos). Los alimentos con mayor concentración son los cereales como arroz, maíz y trigo, vegetales de hoja verde (lechuga, espinaca), soja, zanahorias y las papas, le sigue en importancia los pescados, el pan y en menor medida las carnes y frutas.

En el agua: solo pequeñas cantidades de cadmio llegan procedentes de los derrames o fugas en sitios de desechos peligrosos, aguas residuales industriales y domésticas, las que pueden contaminar a su vez a peces, mariscos y crustáceos. Asimismo, puede encontrarse en el agua cuando viaja a través de tuberías fabricadas con cadmio.

Fisiopatología.

Vía inhalatoria: es la de mayor absorción, entre el 25 a 50% de lo inhalado se absorbe, sin embargo, en fumadores se ve incrementado, ya que el tabaco de un cigarrillo contiene de 1.5 a 2 μg de cadmio, de los cuales el 70% pasa al humo y cerca del 60% de este llega al torrente sanguíneo. (MINSa, 2013)

Vía oral: es la de mayor toxicidad, se da por ingesta de agua y alimentos contaminados, pese a una baja absorción entre 5 a 20% en un adulto, los niños son los más afectados, esta se ve aumentada considerablemente cuando hay deficiencias de calcio, proteínas, ácido fólico, hierro y zinc. Asimismo, es la vía más común de exposición entre los fumadores y personas no expuestas ocasionalmente.

Vía dérmica: es casi nulo y se considera de menor importancia.

Una vez absorbido, el cadmio pasa al torrente sanguíneo, entre el 90 a 95% se fija a la hemoglobina y a la metalotioneína, una proteína de bajo peso molecular rica en grupos

sulfhidrilos (-SH) sintetizada en el hígado, para luego ser transportado hacia el pulmón, riñón e hígado, donde se almacena entre el 50 al 75%, sin embargo, progresivamente se traslada al hígado y riñón donde se acumulará casi de manera definitiva.

Asimismo, el cadmio atraviesa fácilmente la barrera placentaria, induce la síntesis de metalotioneina y forma el complejo que se acumulara progresivamente en la placenta durante el embarazo.

El cadmio es filtrado por los glomérulos, para luego ser reabsorbido y almacenado en las células tubulares renales. Diariamente se elimina por orina 0.007% del contenido corporal. La concentración del metal en el riñón es aproximadamente 10 mil veces más alta que en el torrente sanguíneo. La excreción fecal del metal representa una mínima cantidad de cadmio no absorbido en el sistema gastrointestinal (0.03%) y en menor cantidad por las faneras.

El cadmio tiene una vida media larga en los humanos que varía entre 15 a 40 años, es por ello que incluso a bajas dosis de exposición y tiempo prolongado pueden condicionar un nivel significativo en el organismo. (MINSA, 2013)

Aspectos epidemiológicos.

Históricamente, el cadmio proviene del latín cadmia que significa “calamina”, fue descubierto en Alemania en 1817 por Friedrich Stromeyer, quien lo encontró como impureza de compuestos de zinc. Es así que Alemania fue el principal productor de este metal, resultado de la explotación minera y refinado de los minerales no ferrosos.

Desde 1942, se describen unos pocos casos de osteomalacia en trabajadores de una fábrica francesa productora de baterías. Años más tarde, en 1950, Friberg relaciona la aparición de disfunción renal, daño renal y proteinuria en trabajadores del mismo tipo de fábrica.

El brote epidémico más serio ocurrió en el valle del río Jintsu – Japón, en el año 1955, debido a la ingesta de pescado y arroz, los que fueron regados con agua contaminada por cadmio proveniente de una mina de zinc y plomo. La enfermedad provocada se caracterizó por

degeneración ósea asociada a daño renal que recibió el nombre de enfermedad de Itai – Itai, afectando principalmente a mujeres pos menopáusicas, multíparas y en personas adultas mayores en general. Se presentaron 184 casos confirmados desde 1967.

En nuestro país las principales fuentes de exposición a cadmio están vinculadas a la actividad minero metalúrgica ocasionando exposiciones en trabajadores y poblaciones aledañas.

Factores de riesgo asociados.

Ambiental. (MINSA, 2013)

- Ingesta de agua o alimentos contaminados de forma natural, desechos industriales.
- Habitar cerca de fuentes contaminantes, como minas en actividad o en zonas con presencia de fuentes naturales de cadmio que contaminan agua y suelos.

Relacionados a la persona.

- La susceptibilidad individual que hacen a una persona vulnerable a la intoxicación. (hipersensibles o atópicos)
- Personas con antecedentes de enfermedades pulmonares crónicas, osteoarticulares y renales crónicas.
- A menor edad, mayor riesgo de intoxicación, siendo los fetos, los neonatos y pre escolares los más vulnerables. Los neonatos absorben 20 veces más cadmio que los adultos.
- Factores dietéticos, la absorción de cadmio puede verse aumentada por deficiencias proteicas, calcio, hierro, zinc; así como deficiencias de vitamina C y D.
- El tabaquismo, duplica el ingreso promedio diario de cadmio. Se ha estimado que los fumadores e tabaco están expuestos a 1.7 µg de cadmio por cigarrillo y los no fumadores también pueden estar expuestos al cadmio a través del humo de los cigarrillos.

Ocupacional.

- El riesgo más importante en la exposición ocupacional al cadmio se debe a su elevada volatilidad. Este tipo de exposiciones se presenta por inhalación de: cenizas de los incineradores, humo de las soldaduras, durante operaciones de calentamiento de cadmio para realizar aleaciones, vapores de fundición, entre otros sub productos de la minería.

Diagnóstico.

Epidemiológico: exposición ocupacional, ambiental de fuentes contaminantes (fuentes industriales y actividades minero metalúrgicas) y natural. (MINSa, 2011)

Clínico: manifestaciones compatibles con intoxicación por cadmio.

Laboratorio: los indicadores biológicos de exposición que se consideran para valorar las concentraciones de cadmio son:

- Expuestos no ocupacionalmente (valores referenciales): dosaje de cadmio en orina de 24 horas $<1 \mu\text{g Cd/L}$ (no fumadores) y $<2 \mu\text{g Cd/L}$ (fumadores) o $<2 \mu\text{g Cd/g}$ de creatinina.
- Expuestos ocupacionalmente (índice biológico de exposición): dosaje de cadmio en orina de 24 horas $<10 \mu\text{g Cd/L}$ o $<5 \mu\text{g Cd/g}$ de creatinina.

Tratamiento específico – quelantes.

La efectividad de la terapia de quelación no ha sido probada del todo, porque algunos de estos agentes no solo retiran cadmio circulante sino también el acumulado en los órganos blancos, pudiendo ocasionar un incremento súbito de los niveles de cadmio que podrían ocasionar síntomas o signos más graves. Sin embargo, su uso en casos de intoxicación aguda da mejores resultados y en los casos de intoxicación crónica no existe más tratamiento que el retirar al paciente de la fuente de exposición. (MINSa, 2011)

Recomendaciones generales: son de uso exclusivamente hospitalario a partir de III nivel de atención y requiere de supervisión médica para evaluación hepática, renal, hematológica, antes, durante y después de la quelación. Además, se debe contar con el consentimiento informado, se debe retirar definitivamente al paciente de la fuente de exposición. (MINSA, 2011)

Los quelantes de elección para los casos de intoxicación son los siguientes: en personas que toleran la vía oral se empleará el succimero o DMSA (ácido 2,3-dimercaptosuccínico) a razón de 10 mg/kg de peso cada 8 horas por 5 días, y luego continuar la misma dosis cada 12 horas por los siguientes 14 días, durante la administración de la terapia de debe monitorizar la función renal y realizar análisis de sangre. Este medicamento puede causar náuseas, vómitos, diarrea, anorexia, dolor abdominal, rash, prurito, dolor de garganta, rinorrea, parestesias, trombocitosis, eosinofilia y elevación transitoria de la fosfatasa alcalina y transaminasas. (MINSA, 2011)

En personas que no toleren la vía oral, el agente quelante de elección es el ácido etilendiamino-tetra acético-calcio-disódico (CaNa_2EDTA), que posee un amplio espectro para quelar metales, utilizándose principalmente en el tratamiento de las intoxicaciones por plomo, zinc, manganeso, cobre, mercurio, cadmio y berilio. Se puede administrar por vía endovenosa o intramuscular, a una dosis de 75mg/kg/día en tres a seis dosis por 5 días (dosis total por cinco días que no excedan de 500 mg/kg). Durante la administración del tratamiento se deberá supervisar función renal y volumen urinario. El (CaNa_2EDTA), puede causar necrosis túbulo renal, cefalea, anorexia, malestar general, sed excesiva, orina turbia, hipotensión, náuseas, vómitos, cólicos abdominales; dolor e hinchazón en el lugar de la inyección, tromboflebitis; estornudos, congestión nasal, lagrimeo. Ocasionales efectos, hemorragias y hematomas, dolor de garganta, fiebre 4 u 8 horas después de la administración del compuesto, cansancio o debilidad no habituales; constipación, somnolencia, sequedad bucal, sabor metálico, alteraciones en la piel y alteraciones en el ECG. (MINSA, 2011)

1.1.3.3. *Intoxicación por Arsénico (As).* (MINSA, 2012)

Etiología.

El arsénico es un metaloide de olor aliáceo que se encuentra como elemento natural en la corteza terrestre, siendo la concentración promedio de 2 mg/kg dependiendo de la estructura geológica del suelo. Existen tres grandes grupos de compuestos de arsénico: inorgánico, orgánico y como gas arsina y arsinas sustituidas. (MINSA, 2012)

El arsénico ingresa en pequeñas cantidades al cuerpo humano a través del agua, aire y alimentos. La Organización Mundial de la Salud (OMS), fija el límite máximo de arsénico en agua de 10 µg/L.

Los procesos que pueden dar lugar a una contaminación natural del agua por arsénico son muy variados, así podemos mencionar: áreas geotermales, regiones volcánicas, acuitardos o niveles de arcillas, intercalados en acuíferos detrítico que contienen minerales con arsénico, acuíferos que contienen óxido de hierro y manganeso, con fuerte afinidad por arsénico, lixiviación de arsénico en el agua subterránea también puede deberse a la extracción excesiva de agua subterránea con fines de riego, generando así alimentos con altos índices de arsénico.

La contaminación antropogénica también se relaciona con: con residuos de los plaguicidas como rodenticidas y herbicidas, principalmente empleados por agroindustriales, pecuario y artesanías, alimentos contaminados usados para la crianza de cerdos y aves principalmente, destilación ilegal de bebidas alcohólicas, en la dieta se puede encontrar arsénico en aquellos sembríos cercanos a una fuente contaminante (tubérculos y hortalizas), asimismo, en mariscos y peces se encuentra bajo la forma orgánica llamada arsenobetaína que es menos peligrosa que la forma inorgánica, las plantas industriales y la contaminación atmosférica puede condicionar la presencia de arsénico en el aire, en productos para preservar la madera y en el tratamiento de la leucemia promielocítica aguda. También se emplean en la fabricación de vidrios. (MINSA, 2012)

Fisiopatología.

El arsénico se absorbe por vía digestiva, respiratoria e incluso por la piel, en el organismo humano, los compuestos absorbidos circulan unidos a la hemoglobina y otras proteínas, distribuyéndose en 24 horas por todo el organismo, especialmente en el hígado, bazo, pulmones, intestino y piel. En esos órganos se fija a los grupos sulfhidrilos de las proteínas tisulares e inhibe diversos mecanismos enzimáticos, en particular la fosforilación oxidativa. Los compuestos arsenicales son muy tóxicos, particularmente en estado trivalente. La arsina afecta a los hematíes al inhibir el glutatión, produciendo así la hemólisis característica.

Cabe señalar que podemos encontrar el tóxico en las uñas o el pelo. El arsénico atraviesa la barrera hematoencefálica en pequeñas cantidades, los compuestos inorgánicos pueden atravesar la barrera placentaria dando lugar a recién nacidos de bajo peso, con malformaciones o toxicidad fetal. (MINSA, 2012)

El tiempo de vida media del arsénico en el ser humano es de 10 horas, se excreta la mayor parte por vía urinaria, heces, sudor y piel (descamación). El riñón elimina rápida y completamente el As^{5+} y arsénico orgánico.

El arsénico actúa inhibiendo el sistema inmune, provoca aberraciones cromosómicas en los linfocitos, más típicas en la exposición crónica. Al revés de otros metales, la fracción tóxica es la inorgánica, pues las formas orgánicas son de excreción muy rápida.

Toxicidad.

La toxicidad del arsénico depende del estado de oxidación, estructura química del compuesto y la solubilidad en el medio biológico. El grado de toxicidad varía según el derivado del arsénico. La arsina es el compuesto más tóxico letal de forma instantánea a dosis de 250 ppm o a dosis de 50 ppm en 30 minutos. Le sigue el arsénico trivalente, cuya dosis letal es inferior a 5 mg/kg de peso corporal, en algunas ocasiones cantidades considerablemente mayores no han causado la muerte debido a su expulsión inmediata por medio de vómitos

originados por la irritación gástrica. La toxicidad del arsenito es 10 veces superior a la del arseniato.

El arsénico pentavalente requiere dosis de entre 5-50 mg/kg de peso corporal para ser mortal. Y para compuestos orgánicos se considera de 0.1 – 0.5 g/kg de peso corporal. La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden: arsina (H_3As) > As^{3+} inorgánico (arsenito) > As^{3+} orgánico > As^{5+} inorgánico (arseniato) > As^{5+} orgánico > compuestos arsenicales y arsénico elemental. (MINSA, 2012)

La intoxicación por arsénico puede ocurrir en dos formas: toxicidad aguda y crónica. La aguda es la consecuencia de la absorción de alto contenido de arsénico en un tiempo corto y la toxicidad crónica es el resultado de la absorción de pequeña cantidad de arsénico en un largo periodo de tiempo.

Las combinaciones orgánicas de arsénico liberan lentamente el tóxico y no producen, en general, intoxicaciones agudas, salvo casos especiales. La inhalación de arsenina causa la muerte en pocos minutos si se encuentra en cantidad de 5 mg/m³ de aire. La concentración máxima permitida de este compuesto en un ambiente industrial es de 0.05 ppm. En los alimentos se puede admitir hasta 3.5 ppm. En el tabaco se ha encontrado hasta 13 ppm, provenientes de los plaguicidas usados en la planta del tabaco.

Aspectos epidemiológicos.

Desde los años 70, se reportan numerosos casos que demuestran efectos tóxicos de una exposición prolongada al arsénico de origen natural, notables son los casos de Bangladesh (1978) y del Oeste de Bengala en los que un millón de pozos se vieron contaminados con arsénico.

En la India existen aproximadamente 6 millones de personas expuestas al arsénico, asimismo el último brote en Bangladesh se registró 7000 afectados por contaminación del agua de consumo en el 2000 y en Estados Unidos más de 350000 personas beben agua cuyo

contenido de arsénico es > 0.5 mg/L, especialmente aquellos que se abastecen de pozos privados no analizados. También se describen casos en China, Taiwán, Pakistán.

Según datos del servicio de prospecciones geológicas estadounidenses las minas de cobre y plomo contienen aproximadamente 11 millones de toneladas de arsénico, especialmente en Perú y Filipinas, asimismo este metaloide se encuentra asociado con depósitos de cobre – oro en Chile y Canadá. En nuestro país la exposición crónica para arsénico está ligada principalmente a exposiciones originadas por la actividad minero metalúrgicas, existen referencias aisladas respecto a regiones con presencia de arsénico en el medio ambiente.

Factores de riesgo asociados. (MINSA, 2012)

Medio ambiente.

- Ingesta de agua contaminada con desechos industriales.
- Habitar cerca de fuentes contaminantes como son las empresas minero metalúrgicas.
- Ingesta de alimentos contaminados por desechos industriales (peces y moluscos) asimismo provenientes de tubérculos y hortalizas irrigadas con agua contaminada y por uso de plaguicidas.
- Habitar en zonas con presencia de fuentes naturales.

Relacionados a la persona.

- En cuanto a los estilos de vida, el hábito de fumar.
- La susceptibilidad individual que hacen a una persona vulnerable a la enfermedad (hipersensibles o atópicos).
- Personas con enfermedades de la piel, pulmonares, cardiovasculares, hepáticas o renales.
- Ingesta accidental de productos químicos.

Ocupacional.

El riesgo más importante que se halla en la exposición ocupacional es al arsénico inorgánico predominantemente relacionado con actividades industriales específicas como son la minería, metalurgia, fabricación de vidrios, plaguicidas, agricultura, entre otros.

En este sentido, la ausencia o incumplimiento de normas de salud y seguridad en el trabajo, condiciones de trabajo inseguras, falta de capacitación al trabajador sobre riesgos que implica para su salud la actividad que realiza y la falta de uso de equipos de protección personal condicionan mayor riesgo de intoxicación.

El índice biológico de exposición para la vigilancia de la salud de los trabajadores es de: orina de 24 horas < 100 mg/L, y el límite de exposición recomendado: arsénico elemental y compuestos inorgánicos (excepto hidruro de arsénico) 0.01 mg/m³; hidruro de arsénico 0.16 mg/m³ (0.05 ppm).

Diagnóstico. (MINSA,2012)

Epidemiológico: exposición ocupacional, personal y ambiental de fuentes contaminantes (fuentes industriales y actividades minero metalúrgicas) y natural.

Clínico: manifestaciones compatibles con intoxicación por arsénico.

Laboratorio: los indicadores biológicos de exposición que se consideran son:

- Concentraciones de arsénico en orina de 24 horas (valores referenciales):
- Expuestos no ocupacionalmente: 10 a 50 $\mu\text{g/L}$ de orina o < 20 $\mu\text{g As/g}$ creatinina; debiendo ser investigada la procedencia de dicho arsénico para su control inmediato y determinar el estado de intoxicación de la persona.
- Expuestos ocupacionalmente: hasta 100 $\mu\text{g/L}$ o < 50 $\mu\text{g/g}$ de creatinina; concentraciones mayores deben ser investigadas, tomar medidas oportunas en el trabajo, evitar la exposición y determinar el estado de intoxicación del trabajador.

Tratamiento.

El tratamiento depende de la vía de intoxicación por arsénico, es así que se considera:

- En caso de contacto ocular: realizar el lavado de la zona afectada con abundante agua por 15 minutos, si la irritación persiste, referir.
- Contacto dérmico: retirar toda la ropa contaminada y disponerla como un residuo tóxico (bolsas amarillas), realizar el lavado de la zona afectada con abundante agua y jabón por 15 minutos, y de tener alguna herida realizar la curación con sustancia antiséptica. Si la irritación persiste, referir.
- Inhalación de gas arsina: trasladar a la persona a un área descontaminada y brindar medidas de soporte (oxígeno, manejo electrolítico, etc.). realizar pruebas adicionales para verificar que no haya daño sistémico, asimismo, solicitar evaluación por otras especialidades según criterio clínico. Esta intoxicación puede causar hemólisis masiva o insuficiencia renal, en esos casos está indicada la exanguinotransfusión o hemodiálisis respectivamente en los establecimientos del tercer nivel de atención del sector salud según casos.
- Por ingestión: dentro de la primera hora de ingerido el metaloide se deberá considerar el lavado gástrico sin carbón activado por no absorber metales, asimismo, no está indicado el uso de catárticos debido a la diarrea profusa generada en los casos agudos. En caso de que no se pueda conseguir su eliminación, evidenciando restos de arsénico en la radiografía abdominal (imagen radiopaca), puede estar indicada la irrigación intestinal con polietilenglicol vía oral en niños 255 cc/hora y adultos 1000cc/hora, balanceado en solución electrolítica, hasta que las heces sean líquidas y claras. Tratar el cuadro diarreico y deshidratación, se administra fluidos intravenosos para restaurar la hidratación adecuada, mantener el flujo urinario, y corregir el desbalance de

electrolitos. Observar continuamente el ingreso/egreso para evitar sobrecarga de fluidos. En caso de insuficiencia renal aguda, revisar los electrolitos regularmente. De ser necesario administrar oxígeno y transfusiones de sangre, de existir taquicardia ventricular y fibrilación manejar según corresponda.

- Tratamiento con quelantes: en caso de intoxicación aguda se brindará tratamiento quelante incluso antes de la confirmación de laboratorio y en casos de intoxicación crónica se administrará tratamiento quelante a aquellos casos confirmados con toxicidad sistémica. Cabe señalar que la indicación de quelación en pacientes con neuropatía es controversial porque no responden al tratamiento.

Para realizar la quelación se empleará el Dimercaprol (BAL), a dosis de 3–5 mg/kg vía IM (nunca EV), cada 4–6 horas por dos días y luego se administrará cada 12 horas por 10 días, está contraindicado en personas alérgicas al maní y aquellas con daño hepático. Se debe monitorizar la excreción de arsénico en la orina mientras se está administrando cualquier quelante, tan pronto la excreción de 24 horas disminuya por debajo de 50 µg/L, es recomendable suspender la terapia de quelación.

La D-penicilamina se puede usar en casos de intoxicación crónica, la dosis habitual es de 20 a 40 mg/kg/día por vía oral, cada 6 horas por 5 días, de 30 a 60 minutos antes de las comidas y al momento de acostarse. Ninguno de estos quelantes es útil tras la exposición al gas arsina.

Si el paciente tolera vía oral se empleará el succimero o ácido 2-3-dimercaptosuccínico (DMSA), que tiene menos reacciones adversas, la dosis habitual es de 10 mg/kg de peso cada 8 horas por 5 días, luego continuar cada 12 horas hasta completar 14 días.

1.1.3.4. *Intoxicación por plomo (Pb)*. (MINSA, 2011)

Etiología.

Ingreso de plomo en el organismo humano, que genera alteraciones bioquímicas, subclínicas y clínicas. Con fines de manejo se establecen los parámetros siguientes de nivel de plomo en sangre:

- > 10 µg/dL para niños y gestantes.
- > 20 µg/dL para adultos no expuestos ocupacionalmente.
- > 40 µg/dL para adultos expuestos ocupacionalmente (OMS. OIT)

El plomo es el agente etiológico de la intoxicación, es un metal gris, azulado, maleable y dúctil. Tiene un punto de fusión de 327°C y cuando se calienta por encima de los 550°C emite vapores muy tóxicos que en contacto con el aire se transforman en óxido de plomo. Con el agua forma óxido de plomo que es ligeramente soluble (los compuestos solubles de plomo son tóxicos). Se encuentra en todo el planeta en forma de galena, que es un sulfuro de plomo; en la industria se usan sus óxidos, carbonatos, sulfuros y otros. (MINSA, 2011)

Fisiopatología.

Se absorbe por vía respiratoria, digestiva y la piel. Por vía oral la absorción con los alimentos va hasta el 50% en niños.

La absorción de plomo aumenta cuando el aporte de otros minerales y proteínas en la dieta es inadecuado. Así, aquellos con deficiencia de hierro, calcio o zinc están en mayor riesgo de toxicidad. El calcio de la dieta inhibe competitivamente el transporte activo del plomo intestinal. Existe una correlación inversa clara entre los niveles de plomo en sangre y los niveles de vitamina D. en el sistema endocrino la vitamina D es responsable de gran parte del mantenimiento del homeostasis de calcio intra y extracelular. Los efectos biológicos del plomo son los mismos independientemente de la vía de ingreso. El plomo interfiere con la función

celular normal y con varios procesos fisiológicos, alterando entre otros el funcionamiento de las mitocondrias. (MINSa, 2011)

El plomo que penetra en el espacio intravascular se adhiere a 97% rápidamente a los eritrocitos; menos el 3% en una muestra de sangre se encuentra en plasma. Según estudios radioisótopos, la vida media del plomo en sangre es aproximadamente 30 días. Se distribuye en todos los tejidos teniendo afinidad por el sistema nervioso central, en especial por el que se encuentra en desarrollo. Se acumula principalmente en los huesos donde puede permanecer hasta 20 años de donde puede ser removido como sucede en la lactancia, originando niveles de plomo en la leche materna. La excreción es fundamentalmente a través de la orina, aunque también se encuentran pequeñas cantidades en la bilis, el cabello, saliva, sudor, heces y uñas.

El efecto tóxico por plomo, se relaciona con la concentración en la sangre y tejidos blandos. Esto constituye normalmente solo el 5% de la carga total del plomo corporal, ya que la mayor parte 90-95% se almacena en los huesos. La neuropatía por plomo se produce por toxicidad de las neuronas motrices de asta anterior de la medula espinal, con degeneración de las terminales axónicas y el recubrimiento de mielina.

La anemia sucede por el deterioro de la síntesis del grupo HEM. El plomo inhibe a la enzima del glóbulo rojo delta aminolevulínico dehidratasa. También inhibe a la ferroquelatasa y así evita la incorporación del hierro a la protoporfirina para formar la molécula del HEM.

Epidemiología. (MINSa, 2011)

En nuestro país las principales fuentes de exposición al plomo se encuentran en Lima Norte, Callao, La Oroya, Cerro de Pasco, Cajamarca, Ancash, vinculadas a la actividad minera, metalúrgica, metalmecánica, e industrial (pinturas, baterías entre otras), formal e informal, ocasionando exposiciones en trabajadores y poblaciones aledañas.

Existen determinadas actividades laborales y no laborales relacionadas a fuentes de plomo y que el médico general las debe identificar plenamente cuando tenga un alto índice de sospecha.

Los estudios epidemiológicos realizados en el país utilizan diferentes metodologías en el diseño maestral lo cual no permiten tener una dimensión real del problema, en la determinación de casos y en la contaminación ambiental

Factores de riesgo asociados.

- Fuentes fijas y móviles.
- Trabajar y/o habitar en zonas de exposición.
- Desnutrición, pobre ingesta de alimentos ricos en calcio, hierro, zinc y proteínas.
- Edad menor de 6 años.
- Gestación y lactancia.
- Deficiente condición sanitaria de la vivienda y malos hábitos higiénicos dietéticos.
- Factores sociales, manipulación y fundición clandestina.
- Malas condiciones de higiene y seguridad laboral, minería informal.

Diagnóstico.

- a) Antecedentes epidemiológicos de exposición ocupacional y/o ambiental de fuentes contaminantes.
- b) Manifestaciones clínicas compatibles con intoxicación por plomo.
- c) Pruebas de laboratorio: dosaje de plomo en sangre venosa método de absorción atómica: > 10 µg/dL para niños y gestantes; > 20 µg/dL para adultos no expuestos ocupacionalmente; > 40 µg/dL para los expuestos ocupacionalmente (OPS, OMS, OIT)
Para la población expuesta laboralmente se utilizarán los criterios de la OMS, los niveles de plomo en sangre en trabajadores expuestos establecidos como permisibles, no deben ser mayores de 40 µg/dL en adultos masculinos y de 30 µg/dL en mujeres en edad fértil, y en la comunidad máximo 20 µg/dL para adultos y 10 µg/dL en niños y mujeres gestantes.

Tratamiento.

Considerar la utilización de quelantes evaluando el riesgo beneficio para el paciente. Todos los medicamentos utilizados en la terapia de quelación tienen márgenes de seguridad aceptables cuando se administra con precaución y en estricta supervisión. Todos pueden revertir los efectos bioquímicos del plomo al menos temporalmente. Sin embargo, el déficit cognitivo atribuible es de naturaleza permanente. Por lo tanto, los principales esfuerzos deben orientarse a prevenir la intoxicación por este metal.

Posterior a la quelación se debe retirar definitivamente al paciente de la fuente de exposición, se mencionan los quelantes más usados: SUCCIMER (ácido 2,3 dimercaptosuccínico), CaNa_2EDTA (calcio disódico-ácido etilendiaminotetraácético), dimercaprol (BAL). Sin embargo, para utilizar estos quelantes se debe tener ciertos criterios: pacientes con niveles $> 70 \mu\text{g/dL}$ confirmados a las 24 horas y con sintomatología, pacientes que hayan sido hospitalizados en el nivel III de atención, tienen que estar a cargo de un equipo de salud entrenado y previo consentimiento informado, evaluación de las funciones hepáticas, renales, hematológicas antes de iniciar el tratamiento de quelación, si tolera vía oral Succimer, de lo contrario BAL o EDTA.

1.1.4. Definiciones básicas. (MINAM, 2012)

Agua. (MINAM, 2012)

Es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación.

Riesgo ambiental. (MINAM, 2012)

Se define como la probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico.

Evaluación del riesgo ambiental. (MINAM, 2012)

Es el proceso mediante el cual se determina si existe una amenaza potencial que comprometa la calidad del agua, aire o suelo, poniendo en peligro la salud del ser humano como consecuencia de la exposición a todos los productos tóxicos presentes en un sitio, incluyendo aquellos compuestos tóxicos presentes que son producto de actividades industriales ajenas al sitio o cualquier otra fuente de contaminación, y define un rango o magnitud para el riesgo.

Ambiente. (MINAM, 2012)

Es el conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos, de origen natural o antropogénico, que rodean a los seres vivos y determinan sus condiciones de existencia.

En sentido amplio, el concepto de ambiente también comprende al medio social en el cual se desenvuelven los seres humanos en particular.

Área de conservación ambiental minera. (MINAM, 2012)

Son áreas de conservación promovidas por el gobierno nacional o regional, a efectos de que las áreas donde se ubican los pasivos ambientales de la actividad minera sean remediadas voluntariamente por titulares distintos a los responsables de dicha remediación, por organizaciones no gubernamentales, entidades de conservación nacionales o extranjeras y otras organizaciones de la sociedad civil, mediante la total ejecución del plan de cierre de pasivos ambientales mineros correspondiente, incluidas las medidas de post cierre.

Estas áreas rehabilitadas podrán ser utilizadas directamente por el titular del área de conservación ambiental minera o por terceros, mediante convenios, alianzas u otras formas de colaboración institucional con entidades nacionales o del exterior, para fines turísticos, culturales, recreativos, deportivos u otros que no pongan en riesgo la remediación ambiental realizada.

Autorización de vertimiento. (MINAM, 2012)

Es el otorgamiento de una autorización a través de la certificación ambiental, por el organismo correspondiente, cumpliendo los LMP y la implementación progresiva de los ECA, que comprende el sistema de tratamiento de aguas residuales y el efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, sujeta a un pago en función a la cantidad y calidad del efluente en cuestión.

Para el otorgamiento de tal autorización, la ANA debe contar con la opinión previa favorable de DIGESA. En cuanto a la opinión de la autoridad ambiental sectorial, el reglamento ha establecido que tal opinión se expresa a través de la emisión de la certificación ambiental correspondiente que comprenda al sistema de tratamiento de aguas residuales y el efecto del vertimiento en el cuerpo receptor. La autorización de vertimiento está sujeta al pago de una contraprestación económica que se establece en función a la cantidad y calidad del efluente.

Calidad ambiental. (MINAM, 2012)

Condición de equilibrio natural que describe el conjunto de procesos geoquímicos, biológicos y físicos, y sus diversas y complejas interacciones, que tienen lugar a través del tiempo, en un determinado espacio geográfico. La calidad ambiental se puede ver impactada positiva, o negativamente, por la acción humana; poniéndose en riesgo la integridad del ambiente así como la salud de las personas.

Conservación ambiental. (MINAM, 2012)

También denominada conservación de los recursos naturales. Esta referida a las medidas requeridas para asegurar la continuidad de la existencia de los recursos naturales, respetando los procesos ecológicos esenciales, conservando la biodiversidad y aprovechando sosteniblemente los recursos naturales.

Contaminación ambiental. (MINAM, 2012)

Acción y estado que resulta de la introducción por el hombre de contaminantes al ambiente por encima de las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas tomando en consideración el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente.

Contaminante ambiental. (MINAM, 2012)

Toda materia o energía que al incorporarse o actuar en el ambiente degrada o altera su calidad a niveles no adecuados para la salud y el bienestar humano y/o ponen en peligro los ecosistemas.

Cuenca hidrográfica. (MINAM, 2012)

Unidad de manejo y planificación ambiental, compuesta por el área o espacio geográfico delineados por la cima de los cerros y la divisoria de aguas por el cual escurre el agua proveniente principalmente de las precipitaciones a un río, lago o mar; conformando un sistema en el que interactúan factores naturales, socioeconómicos y culturales.

Efluente. (MINAM, 2012)

Descarga directa de aguas residuales que son descargadas al ambiente, cuya concentración de sustancias contaminantes es medida a través de los límites máximos permisibles (LMP).

Estándar de Calidad Ambiental (ECA). (MINAM, 2012)

Estándar ambiental que regula el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente.

En relación a su naturaleza jurídica, la ley General del Ambiente señala que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, y que, así mismo, es referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental. A su vez, establece que no corresponde otorgar la certificación ambiental (aprobar el instrumento de

gestión ambiental correspondiente), cuando el respectivo estudio ambiental concluye que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento de algún ECA. Ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los ECA, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas jurídicas o naturales, a menos que se demuestre que existe causalidad entre su actuación y la transgresión de dichos estándares.

Límite Máximo Permisible (LMP). (MINAM, 2012)

Instrumento de gestión ambiental, que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su determinación lo establece el MINAM y es exigible su cumplimiento legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (MINAM, 2012)

Es un organismo público técnico especializado, con personería jurídica de derecho público interno, que constituye un pliego presupuestal. Se encuentra adscrito al MINAM y se encarga de la fiscalización, supervisión, evaluación, control y sanción en materia ambiental, así como de la aplicación de los incentivos. Es el ente rector del Sistema de Evaluación y Fiscalización Ambiental y es la entidad encargada de dirigir y supervisar la aplicación del régimen común de la fiscalización y control ambiental, así como el régimen de incentivos previstos en la Ley N° 28611; asimismo, está encargada de supervisar y fiscalizar directamente el cumplimiento de las actividades bajo su competencia.

Efluente líquido de actividades minero-metalúrgicos. (MINAM, 2012)

Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores que proviene de: a) cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como

campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros; b) cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros; c) cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, industriales y domésticos; d) cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros; e) cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; f) cualquier combinación de los antes mencionados (D.S. N° 010-2010-MINAM).

Monitoreo de efluentes líquidos. (MINAM, 2012)

Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un punto control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el protocolo de monitoreo de aguas y efluentes (D.S. N° 010-2010-MINAM).

1.1.5. Marco legal nacional.

Ley general del ambiente, ley N° 28611.

Que, el art. 3°, el Estado a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la ley; que, el art. 32°, modificado por la D.L. N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permisible – LMP, corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por este y los organismos que conforman el sistema nacional de gestión ambiental. (MINAM, 2005)

Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM. Aprueban los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos.

Que, los estudios de impacto ambiental correspondientes a la actividad minero-metalúrgica deben estar formulados en base a los niveles máximos permisibles que el Ministerio de Energía y Minas apruebe; que, los programas de adecuación y manejo ambiental tienen como objetivo que los titulares de la actividad minero-metalúrgica logren reducir sus niveles de contaminación ambiental hasta alcanzar los niveles máximos permisibles; que, es necesario establecer los niveles máximos permisibles de los elementos contenidos en los efluentes líquidos de la industria minero-metalúrgica con la finalidad de controlar los vertimientos producto de sus actividades y contribuir efectivamente a la protección ambiental. (MINAM, 1996)

Tabla 1

Frecuencia de muestreo y presentación de reporte, efluentes minero-metalúrgicos

Volumen total del efluente	Frecuencia de muestreo	Frecuencia de presentación de reporte
Mayor que 300 m ³ /día	Semanal	Trimestral
50 a 300 m ³ /día	Trimestral	Semestral
Menor que 50 m ³ /día	Semestral	Anual

Fuente: Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM. Aprueban los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos.

Tabla 2

Frecuencia del análisis químico

Parámetro	Efluente mayor que 300 m³/día	Efluente de 50 a 300 m³/día	Efluente menor que 50 m³/día
pH	Semanal	Trimestral	Semestral
Sólidos suspendidos	Semanal	Trimestral	Semestral
Pb, Cu, Zn, Fe, As	Mensual	Trimestral	Semestral
CN total	Quincenal	Trimestral	Semestral

Fuente: Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM. Aprueban los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos.

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.

Que, el conocimiento actual de las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contiene los efluentes líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en que estos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los LMP se actualicen para las actividades minero-metalúrgicas, a efecto que cumplan con los objetivos de protección ambiental. (MINAM, 2010)

Tabla 3

Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6-9	6-9
Sólidos totales en suspensión	en mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0.8
Arsénico total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio total	mg/L	0.005	0.04
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.08
Cobre total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc total	mg/L	1.5	1.2

Fuente: D.S. N° 010-2010-MINAM. Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.

Resolución Ministerial N° 030-2011-MEM/DM. Aprueban términos de referencia conforme a los cuales se elaborará el plan de implementación para el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas, así como el procedimiento de evaluación de dicho plan.

Que, el numeral 4.3., del art. 4°, del D.S. N° 010-2010-MINAM, que aprobó los LMP para las descargas de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas, dispone que sólo en el

caso que el titular minero requiera diseñar y poner en operación nueva infraestructura de tratamiento para adecuarse a los nuevos LMP, la autoridad competente podrá otorgarle un plazo de hasta 36 meses contados a partir de la vigencia de dicho Decreto Supremo. Para la adecuación antes referida, el titular minero debe presentar un plan de implementación dentro de un plazo de 6 meses, contado a partir de la vigencia del D.S. N° 010-2010-MINAM. (MINAM, 2011)

Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación.

Que, el art. 31° de la ley N° 28611, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente. Que, el numeral 33.4, del art. 33°, de la citada ley, dispone que, en proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso. (MINAM, 2015)

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.

Que, el numeral 31.2, del art. 31°, de la ley N° 28611, establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017), describe en el D.S. N° 04-2017-MINAM:

3.3. categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales.

a) subcategoría D1: riego de vegetales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido: entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej. Hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua en riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.
- Agua para riego restringido: entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) subcategoría D2: bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno, equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4. categoría 4: conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales, que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lenticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua loticos, que se mueven continuamente en una misma dirección.

- Ríos de la costa y sierra: entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la cordillera de los andes, por encima de los 600 msnm.
- Ríos de la selva: entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de los andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: ecosistemas costeros y marinos

- Estuarios: entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.
- Marinos: entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precítese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen de origen minero-medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Tabla 4

Categoría 3. Riego de vegetales y bebidas de animales. Estándares de Calidad Ambiental para agua.

Parámetros	Unidad Medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego restringido	Agua para no riego restringido	Bebida de animales
Inorgánicos				
Mercurio	mg/L	0.001	0.001	0.01
Cadmio	mg/L	0.01	0.01	0.05
Arsénico	mg/L	0.1	0.1	0.2
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.05

Fuente: D.S. N° 04-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias.

Tabla 5

Categoría 4. Conservación del ambiente acuático. Estándares de Calidad Ambiental para agua.

Parámetros	Unidad de medida	E2: Ríos	
		Costa y sierra	Selva
Inorgánicos			
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001
Cadmio disuelto	mg/L	0.00025	0.00025
Arsénico	mg/L	0.15	0.15
Plomo	mg/L	0.0025	0.0025

Fuente: D.S. N° 04-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias.

I.1.6. Geografía de la zona de estudio.

Ubicación.

El área de la actividad minera de la asociación AMASBA, está localizado en el Centro Poblado de San Miguel de Algamarca, distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca. La elevación de esta zona se encuentra entre los 2 600 m.s.n.m y los 3 600 m.s.n.m. a 21 km al oeste de Cajabamba, pero nuestra zona de estudio se encuentra

delimitada por los dos puntos en el río Saucicucho, punto 1, con coordenadas UTM (Norte) 9156422 y (Este) 803573; y punto 2, con coordenadas UTM (Norte) 9157774 y (Este) 802612; y el punto 3, con coordenadas UTM (Norte) 9157939 y (Este) 802770. Algamarca se encuentra en la divisoria fluvial entre la quebrada del río Cañaris y el valle del río Condebamba.

Clima.

Clima frío, y lluvias de diciembre a abril.

Vías de acceso.

Las distancias aproximadas desde la ciudad de Cajamarca a Algamarca se muestran a continuación:

Tabla 6

Vías de acceso de Cajamarca a Algamarca.

Ruta	Distancia	Tiempo	Tipo de vía
Cajamarca – Cajabamba	125 km	3 horas	Asfaltado
Cajabamba – Chuquibamba	14.4 km	1 hora	Asfaltado – trocha
Chuquibamba – Algamarca	19.6 km	1 hora y 30 minutos	Trocha
Algamarca – zona de estudio	4.5 km	15 minutos	Trocha
Total	163.5 km	5 horas 45 minutos	

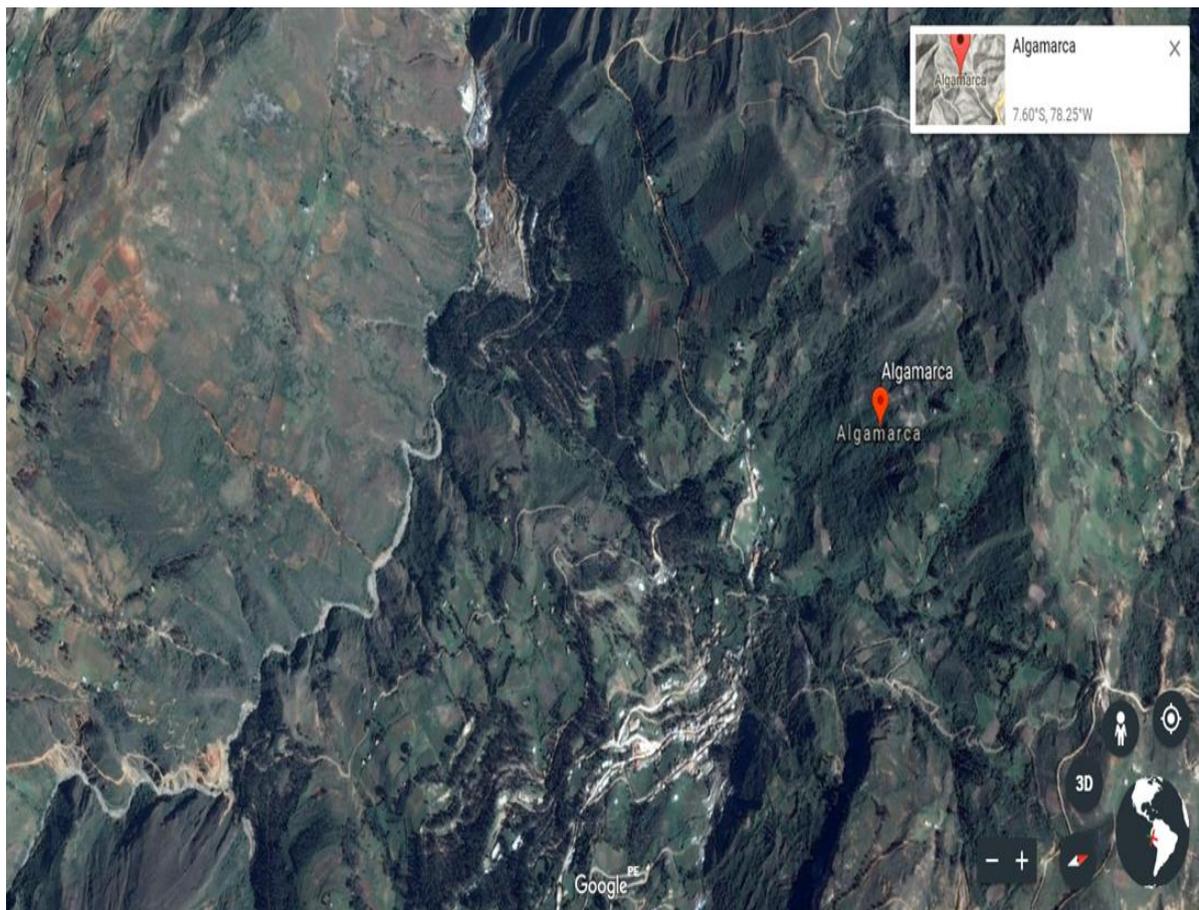


Figura 1. Ubicación satelital del río Saucicucho - Cañaris. Se evidencia la cuenca del río Cañaris. Google Earth 2019.

I.2. Formulación del problema

¿Cuál es la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo en el río Saucicucho y en el efluente de la actividad minera informal. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Febrero y junio 2018?

I.3. Objetivos

I.3.1. Objetivo general.

- Determinar la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo en el río Saucicucho y en el efluente minero informal. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses febrero y junio 2018.

I.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar la concentración de mercurio, cadmio, arsénico, plomo, en los puntos establecidos para el estudio en el río Saucicucho. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses de febrero y junio del 2018.
- Determinar la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, en el efluente minero. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses de febrero y junio del 2018.
- Comparar los niveles de concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, con los estándares de calidad ambiental en agua (ECA) categoría 3, actuales en el Perú. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses de febrero y junio del 2018.
- Comparar los niveles de concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, con los límites máximos permisibles (LMP) en el punto del efluente minero, antes del encuentro con el río Saucicucho. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses de febrero y junio del 2018.

I.4. Hipótesis

I.4.1. Hipótesis general.

- Existen altos niveles de concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, en el río Saucicucho y en el efluente minero informal. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses de febrero y junio 2018.

I.4.2. Hipótesis específicas.

- Existen altos niveles de concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo en el río Saucicucho, en los puntos de estudio. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses febrero y junio 2018.
- Existen altos niveles de concentración mercurio, cadmio, arsénico y plomo en el efluente minero informal. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses febrero y junio 2018.
- Existen altos niveles de concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo que sobrepasen los estándares de calidad ambiental (ECA) categoría 3, en los puntos de estudio. Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses febrero y junio 2018.
- Existen altos niveles de concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, en el efluente minero, que sobrepasen los límites máximos permisibles (LMP). Centro poblado San Miguel de Algamarca. Cachachi. Cajabamba. Meses febrero y junio 2018.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de estudio de la investigación fue descriptivo, transversal y no experimental, porque en principio se describirá como se manifiesta determinado fenómeno con respecto al otro; transversal, porque se estudiaron las variables en un momento determinado y no experimental porque solo se tomaron y analizaron las muestras obtenidas de agua, en dos meses distintos de febrero y junio del 2018, para su análisis el presente año 2019.

El propósito fue conocer el contexto y analizar la incidencia e interrelación de los posibles elementos contaminantes, metales pesados, generados por la actividad minera informal, sobre el río Saucicucho, contexto donde se desarrolla la actividad minera.

2.2. Metodología de la investigación

La metodología utilizada fue determinada mediante la “Guía de evaluación de riesgos ambientales dada por el Ministerio del Ambiente” (MINAM), publicado en el año 2010. Donde establece los criterios para evaluar los riesgos ambientales, dado el presente estudio de determinar los metales pesados mercurio, cadmio, arsénico y plomo en el río Saucicucho, perteneciente al río Cañaris. Siguiendo la estructura que la presente guía nos muestra.

La guía de evaluación de riesgos ambientales propone un modelo estandarizado para la identificación, análisis y evaluación de los riesgos ambientales que generan las actividades productivas en un área geográfica, así como la consecuencia de los peligros naturales.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas.

La técnica de recolección de datos contó con dos etapas, la de gabinete y la de campo.

Etapa de gabinete.

Se elaboró el plan de trabajo, recolección y procesamiento de datos; a través de compilación bibliográfica y la ubicación de las muestras en un plano georreferenciado.

Etapa de campo.

Muestreo propiamente dicho y se describe a continuación, para tomar las muestras se tuvo como base el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”²⁹, que la Autoridad Nacional del Agua (ANA), aprobó mediante Resolución Jefatural en el 2016.

Premonitoreo del trabajo de campo.

- Primero se planificó el monitoreo: se desarrolló en dos meses distintos, febrero y junio del 2018, en tres puntos diferentes identificados; primero: antes del encuentro con el efluente de la minería; segundo: después del efluente minero; y tercero: en el mismo efluente para determinar los Límites máximos permisibles.
- Se estableció la red de puntos de monitoreo: se realizó de manera preliminar en gabinete. Para ello fue necesario contar con un mapa hidrográfico de la cuenca, además la recopilación e integración de la información se realizó a través de herramientas informáticas como ArcGis, Google Earth Pro.
- Se codificaron los puntos de muestreo (se georreferenció los puntos): se identificó y reconoció claramente, de manera que nos permitió su ubicación exacta en muestreos futuros. Se utilizó el sistema GPS; las coordenadas de los puntos de muestreo (03), serán registradas en sistema UTM, identificadas en el río Saucicucho. Se registró la información en el formato de identificación del punto de monitoreo. Según el ANA, los puntos se etiquetaron de acuerdo al protocolo: [R][Sauc] [numeración continua], la numeración en orden creciente y desde la parte más alta hacia abajo.

- Establecer la frecuencia: se tomaron tres muestras por mes (una en febrero y la otra en junio), en tres puntos definidos del río Saucicucho. Las mismas que fueron definidas e influenciadas por: el presupuesto del estudio, factores climatológicos, la estacionalidad de la cuenca, la variabilidad del proceso productivo de las actividades mineras.
- Preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección.

Monitoreo del trabajo de campo.

- Recursos humanos: el equipo estuvo conformado por cuatro (3) integrantes con conocimiento sobre la toma de muestras, preservación, transporte y todos los puntos tomados en el protocolo (ANA).
- Tipo de muestra: el tipo de muestra utilizado fue un muestreo simple o puntual. A esta muestra también se le denomina discreta. Consiste en la toma de una porción de agua en un punto determinado para su análisis individual. Representa las condiciones y características de la composición original del cuerpo de agua para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en el instante en el que se realiza su recolección.
- Reconocimiento del entorno: se realizó una descripción de los puntos donde se tomaron las muestras.
- Medición de las condiciones hidrográficas del río Saucicucho - Cañaris.
- Georreferenciación de los puntos de monitoreo.
- Medición de los parámetros de campo.
- Rotulado y etiquetado de las muestras obtenidas.
- Toma de muestra en los puntos identificados: Para la toma de muestras en el río se evitó las áreas de turbulencia excesiva, considerando la profundidad, la velocidad de la corriente y la distancia de separación entre ambas orillas; la toma de muestra se realizó en el centro de la corriente a una profundidad de acuerdo al parámetro a determinar; la

toma de muestras, se realizó en dirección opuesta al flujo del recurso hídrico; para determinar plomo, cadmio y arsénico, mercurio se emplearon frascos inertes de boca ancha con cierre hermético, limpios de un litro de capacidad. Se abre el envase sin tocar la parte interna del frasco, se procede a enjuagar dos veces el frasco, excepto para parámetros orgánicos y microbiológicos y sumergirá a unos 20 cm por debajo de la superficie; coger la botella por debajo del cuello; considerar un espacio de alrededor de 1% aproximadamente de la capacidad del envase para parámetros que requieren preservación; evitar coleccionar suciedad, películas de la superficie o sedimentos; sumergir el recipiente a una profundidad de 20 o 30 cm.

- Preservación de las muestras tomadas: una vez que se tomaron las muestras se procedió a adicionarle el preservante para los parámetros requeridos, en caso de metales pesados se preservó con HNO_3 hasta alcanzar una acidez de 1 o 2; una vez homogenizada la muestra se cerró herméticamente el recipiente, se tomaron las medidas correspondientes.
- Llenado de la cadena de custodia
- Transporte de las muestras: los frascos se almacenaron dentro de cajas térmicas (coolers), de forma vertical, para su conservación deberán estar bajo un adecuado sistema de enfriamiento (5 a 3°C), con refrigerantes, los coolers deberán estar en la sombra; debiendo ser transportadas inmediatamente al laboratorio cumpliendo con los tiempos de almacenamiento máximo para medir los parámetros en estudio.
- Aseguramiento de la calidad de los resultados.

Tabla 7

Tiempos de almacenamiento según ANA

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo máximo de almacenamiento
Arsénico	PE-HD PTFE/ PFA FEP	o Acidificar a pH 1-2 con HCl o HNO ₃ . Se debería usar HCl si se usa la técnica de hidruros para análisis.	6 meses
Cadmio	PE-HD PTFE/ PFA FEP	o Acidificar a pH 1-2 con o HNO ₃	6 meses
Plomo	PE-HD PTFE/ PFA FEP	o Acidificar a pH 1-2 con o HNO ₃	6 meses
Mercurio	Plástico vidrio	o Acidificar a pH 1-2 con HNO ₃	6 meses

Fuente: resolución jefatural N° 010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

Post monitoreo del trabajo de campo.

- Se analizaron las muestras en el Laboratorio Regional del Agua (laboratorio acreditado por INACAL).
- Luego se procesó y se revisó los datos obtenidos de los análisis.

Instrumentos de recolección.

Materiales.

- Equipo de protección personal (casco, chaleco fosforescente con cinta reflectiva, botas de jebe, lentes, guantes de jebe, poncho impermeable, arnés)
- Marcadores indelebles
- Lápices
- Cinta adhesiva
- Papel secante
- Libreta de campo
- Soga

- Cinta métrica
- Tablero
- Formatos de recolección de datos (formato de punto de monitoreo, cadena de custodia)
- Material cartográfico (si se dispone).
- Cooler grande
- Frascos de plástico (laboratorio)
- Baldes de plástico transparentes de primer uso y limpios
- Guantes descartables
- Mascarillas
- Pizetas
- Refrigerantes

Equipos.

- GPS
- Correntómetro (si se cuenta), de lo contrario flotador para evaluar el caudal.
- Cámara fotográfica

Soluciones y reactivos.

- Agua destilada
- Preservantes
- Soluciones estándar
- Solución de ácido nítrico HNO_3

Análisis de datos

Identificación de los puntos de monitoreo y/o control en el cuerpo receptor.

El punto de monitoreo fue identificado de manera que permita su ubicación exacta antes de la toma de muestra. En la determinación de la ubicación se utilizó el Sistema de

Posicionamiento Global (GPS); las coordenadas de los puntos de monitoreo fueron expresados en sistema UTM para puntos de cuerpos de agua continental.

Tabla 8

Identificación de puntos de monitoreo

PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
803573	802612	802770
9156422	9157774	9157939
COTA: 2687 m.s.n.m	COTA: 2603 m.s.n.m	COTA: 2712 m.s.n.m



Figura II. Ubicación de los puntos de estudio (punto 1 y 2) y del punto donde se tomó del efluente minero informal. Google Earth 2019.

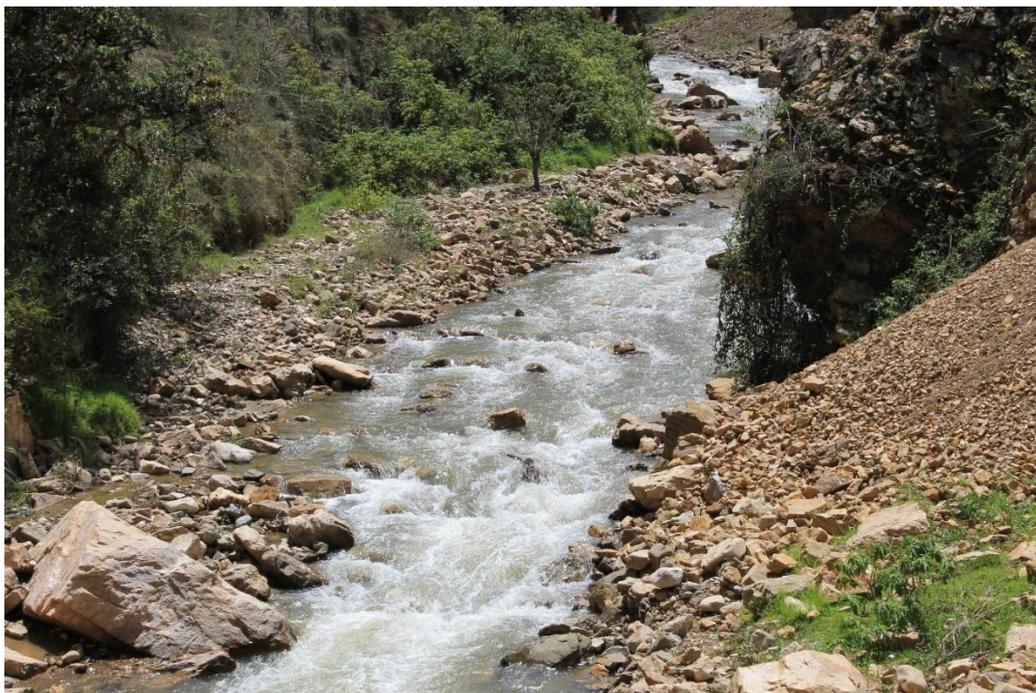


Figura III. Río Saucicucho (punto 1), antes del contacto. Fotografía tomada 2019.



Figura IV. Ubicación del punto 2, después del contacto. Fotografía tomada 2019.



Figura V. Punto N° 03, Nivel V de mina, vertimiento de efluentes. Fotografía tomada 2019.

Asimismo, se registró y describió los puntos de referencia en la proximidad del punto de monitoreo, tales como puentes, localidad u otro elemento que permita su ubicación rápida en campo.

Parámetros de control en función de la actividad generadora de las aguas residuales.

Tabla 9

Parámetros de control según ANA

Actividad generadora	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4 Ríos, lagunas y lagos.		Categoría 4 ecosistemas marino- costeros	
Minera y metalúrgica	pH, CN _{tot} , Cd, Cu, Hg, Zn.	AyG, As, Pb,	pH, SST, CN _{WAD} , Cr ⁶⁺ , Cd, Cu, Pb, Hg, Zn.	AyG, As,	pH, CN _{WAD} , Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn.	AyG, As,	pH, SST, As, Cd, Cr ⁶⁺ , Cu, Pb, Hg, Zn.	AyG, CN _{tot} , Cd, Cu, Hg, Zn, Cr ⁶⁺	pH, CN _{tot} , Cd, Cu, Hg, Zn, Cr ⁶⁺	AyG, As,

Fuente: resolución jefatural N° 010-2016-ANA. Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.

Medición del caudal.

Los caudales de los ríos o quebradas pueden ser estimados utilizando diferentes métodos, la dificultad para medir el flujo de agua radica principalmente en la medición del área transversal debido a la poca homogeneidad del cauce, presencia de piedras, profundidad y turbulencia. Para nuestro estudio se realizó la medida del caudal con el método del flotador, como detalla el protocolo del ANA, para ello se seleccionó un tramo homogéneo, se estimó una distancia apropiada que represento el espacio recorrido por el flotador, y la medida recorrida fue de 10 metros, para dos de los tres puntos en estudio, cabe mencionar que para el tercer punto dado que se encuentra de forma vertical el efluente se midió el caudal de la siguiente manera: se utilizó la medida del caudal a través de un balde de 20 L, y se calculó el volumen por tiempo, tomando la medida en cuatro oportunidades, el caudal en promedio es el que se tomó (método volumétrico); y en los meses que se realizaron las tomas, se contó con un flotador visible, se estimó el tiempo utilizado por el flotador al completar el espacio recorrido, se realizaron las mediciones correspondientes, se utilizó la fórmula: $Q = A \times V$ (donde: Q, es caudal; A, es área transversal, y V, velocidad).

Obtención de las muestras.

Se procedió a obtener las muestras en los puntos indicados anteriormente, y siguiendo el protocolo nacional para monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. En los meses de febrero y junio del 2018. Se consideraron estos meses dado que en febrero no hay mucho personal en la labor minera, y en junio es donde más trabajadores se han contratado según la asociación AMASBA, además de no contar con recursos económicos necesarios, y disponibilidad de tiempo. Luego las muestras obtenidas fueron llevadas al Laboratorio Regional del Agua en la ciudad de Cajamarca, para su análisis, certificada por INACAL.

Resultados y procesamiento de datos.

Luego de obtenidos los resultados se procedió a realizar el estudio que nos compete de acuerdo a nuestros objetivos y el fin de nuestro estudio. El análisis y la determinación de la concentración de metales pesados se realizó en el Laboratorio Regional del Agua, a través de un procedimiento de absorción atómica.

El estudio que se desarrolló pretende medir los metales pesados que se deben controlar en actividades de minería y metalurgia; además de acuerdo a los estándares de calidad ambiental de agua en la categoría 4; ríos, se solicitan también los cuatro metales pesados en estudio como: mercurio, cadmio, arsénico y plomo, con el objetivo de evaluar el riesgo ambiental en el río Saucicucho, perteneciente al río Cañaris, dado que este es utilizado para actividades agropecuarias y algunas actividades humanas río abajo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados de laboratorio. Características del punto 1 y 2, comparados con los ECA de agua, categoría 3.

3.1.1. Primera evaluación del mes de febrero.

La primera evaluación se llevó a cabo en el mes de febrero del 2018, se tomaron las dos muestras puntuales en los puntos establecidos, ellos serán comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua, categoría 3. Además, a través del método del flotador se calculó un caudal del Punto 1 = **2.455 m³/s**; y del Punto 2 = **5.301 m³/s**, ambos caudales fueron obtenidos siguiendo los pasos detallados en la evaluación de caudales a través del método del flotador.

Tabla 10

Características de la muestra del Punto 1 y 2, comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) agua

Parámetros	Unid.	Punto 1	Punto 2	Categoría 3		
				Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de animales
pH a 25°C	pH	7.82	7.08	6.5 – 8.5		6.5 – 8.4
Temperatura	°C	13.9	18	± 3		± 3
Conductividad 25°C	a μS/cm	98.0	124	2500		5000
Metales pesados						
Mercurio	mg/L	<LCM	<LCM	0.001		0.01
Cadmio	mg/L	<LCM	0.003	0.01		0.05
Arsénico	mg/L	<LCM	0.005	0.1		0.2
Plomo	mg/L	<LCM	<LCM	0.05		0.05

Fuente: Elaboración muestra febrero 2018 con los resultados del laboratorio regional del agua – Cajamarca. (<LCM: límite de cuantificación del método; mercurio 0.0002; cadmio 0.002; arsénico 0.003; plomo 0,003). D.S. N° 04-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias.

3.1.2. Segunda evaluación del mes de junio.

La segunda evaluación se llevó a cabo en el mes de junio del 2018, se tomaron las dos muestras puntuales en los puntos establecidos, ellos serán comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua, categoría 3. Además, a través del método del flotador se calculó un caudal del Punto 1 = **4.19 m³/s**; y del Punto 2 = **6.126 m³/s**, ambos caudales fueron obtenidos siguiendo los pasos detallados en la evaluación de caudales a través del método del flotador.

Tabla 11

Características de la muestra del Punto 1 y 2, comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) agua

Parámetros	Unid.	Punto 1	Punto 2	Categoría 3		
				Agua para riego no restringid o	Agua para riego restringid o	Bebida de animales
pH a 25°C	pH	8.84	3.38	6.5 – 8.5		6.5 – 8.4
Temperatura	°C	12.2	18.2	± 3		± 3
Conductivida d a 25°C	µS/cm	83.0	522	2500		5000
Metales pesados						
Mercurio	mg/L	<LCM	<LCM	0.001		0.01
Cadmio	mg/L	<LCM	0.084	0.01		0.05
Arsénico	mg/L	<LCM	0.876	0.1		0.2
Plomo	mg/L	<LCM	0.033	0.05		0.05

Fuente: Elaboración muestra junio 2018 con los resultados del laboratorio regional del agua – Cajamarca. (<LCM: límite de cuantificación del método; mercurio 0.0002; cadmio 0.002; arsénico 0.003; plomo 0.003). D.S. N° 04-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias.

3.2. Características del punto 3, comparado con los límites máximos permisibles (LMP).

3.2.1. Primera evaluación mes de febrero 2018.

La evaluación se llevó a cabo en el mes de febrero del 2018, se tomó la muestra puntual en el punto establecido, esta muestra dado que se tomó en el mismo efluente minero será comparado con los LMP, se calculó el caudal con el método volumétrico siendo este de **0.006 m³/s**. La lectura de los metales pesados se realizó en el laboratorio regional del agua, a través del procedimiento de absorción atómica.

Tabla 12

Características del Punto 03. Efluente minero, comparado con LMP

Parámetros	Unidad	Valor encontrado	Límites máximos permisibles (LMP) Descarga de efluentes líquidos minero metalúrgicos	
			Límite en cualquier momento	Límite promedio anual
pH a 25°C	pH	6.13	6 -9	6 – 9
Conductividad	µS/cm	140	-	-
Metales pesados				
Mercurio total	mg/L	<LCM	0.002	0.0016
Cadmio total	mg/L	0.014	0.05	0.04
Arsénico total	mg/L	0.119	0.1	0.08
Plomo total	mg/L	<LCM	0.2	0.16

Fuente: Elaboración muestra febrero 2018 con los resultados del laboratorio regional del agua – Cajamarca. (* <LCM: límite de cuantificación del método; mercurio 0.0002; cadmio 0.002; arsénico 0.003; plomo 0.003). D.S. N° 010-2010-MINAM. Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.

3.2.2. Segunda evaluación mes de junio del 2018.

La evaluación se llevó a cabo en el mes de junio del 2018, se tomó la muestra puntual en el punto establecido, esta muestra dado que se tomó en el mismo efluente minero será comparado con los LMP, se calculó el caudal con el método volumétrico siendo este de **0.071 m³/s.** Además, estos resultados serán contrastados con los antecedentes mencionados en el marco teórico, dado que hay estudios que validan los resultados obtenidos, por el Laboratorio Regional del Agua, a través del procedimiento de Absorción atómica.

Tabla 13

Características del Punto 03. Efluente minero, comparado con LMP

Parámetros	Unidad	Punto 3	Límites máximos permisibles (LMP) Descarga de efluentes líquidos minero metalúrgicos	
			Límite en cualquier momento	Límite promedio anual
pH a 25°C	pH	2.39	6 -9	6 – 9
Conductividad	µS/cm	>3999	-	-
Metales pesados				
Mercurio total	mg/L	<LCM	0.002	0.0016
Cadmio total	mg/L	1.605	0.05	0.04
Arsénico total	mg/L	17.78	0.1	0.08
Plomo total	mg/L	0.766	0.2	0.16

Fuente: Elaboración muestra junio 2018 con los resultados del laboratorio regional del agua – Cajamarca. (* <LCM: límite de cuantificación del método; mercurio 0.0002; cadmio 0.002; arsénico 0.003; plomo 0.003). D.S. N° 010-2010-MINAM. Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

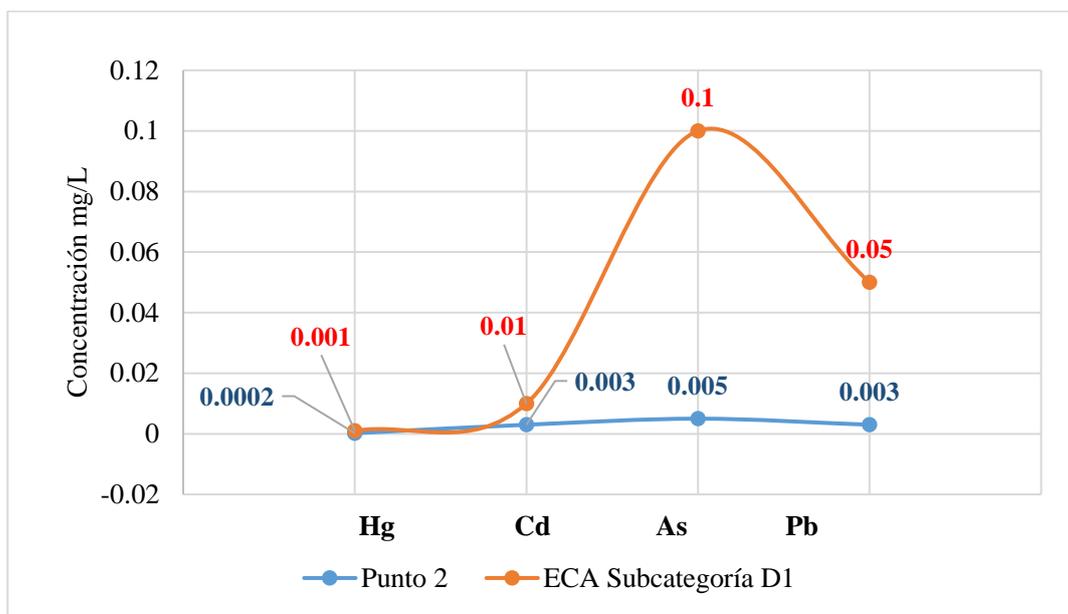


Figura VI. comparación de la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, resultados de muestra en el punto 2 vs. ECA de agua Categoría 3, riego de vegetales. Primera evaluación febrero 2018. (valores asignados al Hg=0.0002 y Pb=0.003, se han considerado los límites de cuantificación del método de lectura en el laboratorio).

En la *figura VI*, punto 2, de muestra se evidencia las concentraciones de mercurio (<0.0002 mg/L), plomo (<0.003 mg/L), arsénico con una cantidad de 0.005 mg/L, y cadmio (0.003 mg/L) en estudio se encuentran dentro de los valores normales comparados con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua para la categoría 3, para la subcategoría D1: riego de vegetales, considerándose adecuado para uso agropecuario y ganadero, establecidos según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

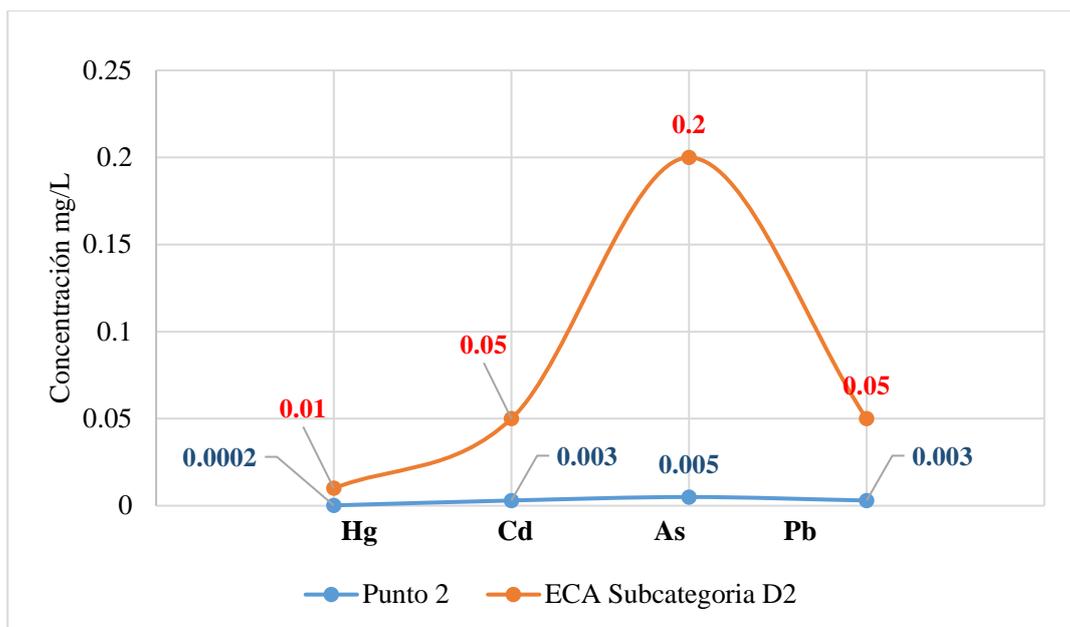


Figura VII. Comparación de la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, de la muestra en el punto 2 vs, ECA, categoría 3, bebida de animales. Primera evaluación febrero 2018. (En los valores con respecto al Hg y Pb, se han considerado los valores límite de cuantificación del método de lectura en el laboratorio).

En la *figura VII*; se evidencia, además que también las concentraciones de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3, subcategoría D2: bebida de animales, lo que demuestra que en esta evaluación no se encuentran alterando la calidad del recurso hídrico. Pero es importante mencionar que existen múltiples estudios que demuestran que la minería afecta de manera directa a los recursos hídricos, si no cuentan con un plan de gestión ambiental, y el estudio de impacto ambiental detallado, para mitigar los impactos negativos en el recurso hídrico. Sin embargo, los resultados en esta primera evaluación nos brindan diferente resultado, los mismos pueden verse contrastados con Barba *et al.* (2017), realizaron un estudio en el río Auqui y Paria (Ancash), para determinar las concentraciones de metales pesados, específicamente, arsénico, cadmio, cobre, cromo, también bajo influencia minera, pero los resultados fueron que ningún metal en estudio pasaba los valores normales.

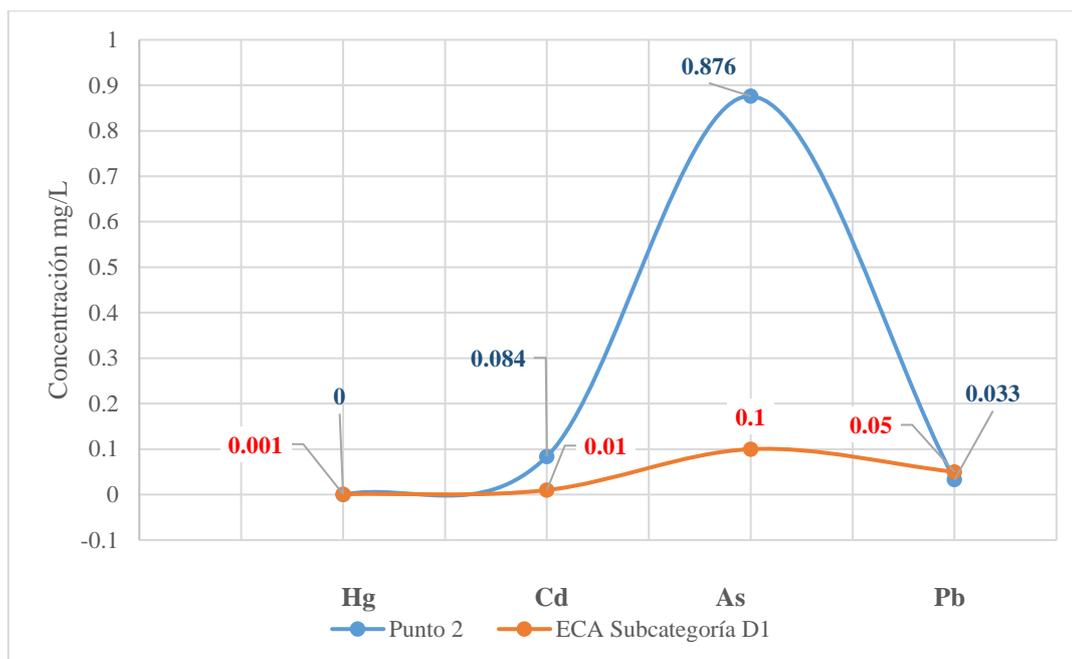


Figura VIII. comparación de la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, resultados de muestra en el punto 2 vs. ECA de agua Categoría 3, riego de vegetales. Segunda evaluación junio 2018. (valores asignados al Hg=0.0002 y Pb=0.003, se han considerado los límites de cuantificación del método de lectura en el laboratorio).

En la *figura VIII*, de la muestra en el punto 2, segunda evaluación junio 2018, presenta un grado de acidez importante (3.38), alterando desde ya las características del cuerpo hídrico del río en estudio, los niveles de concentración se encuentran alterados, cadmio (0.084 mg/L) y arsénico (0.876 mg/L), superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de agua, categoría 3; subcategoría D1: riego de vegetales, demostrando que, bajo influencia minera, el recurso hídrico se ve afectado.

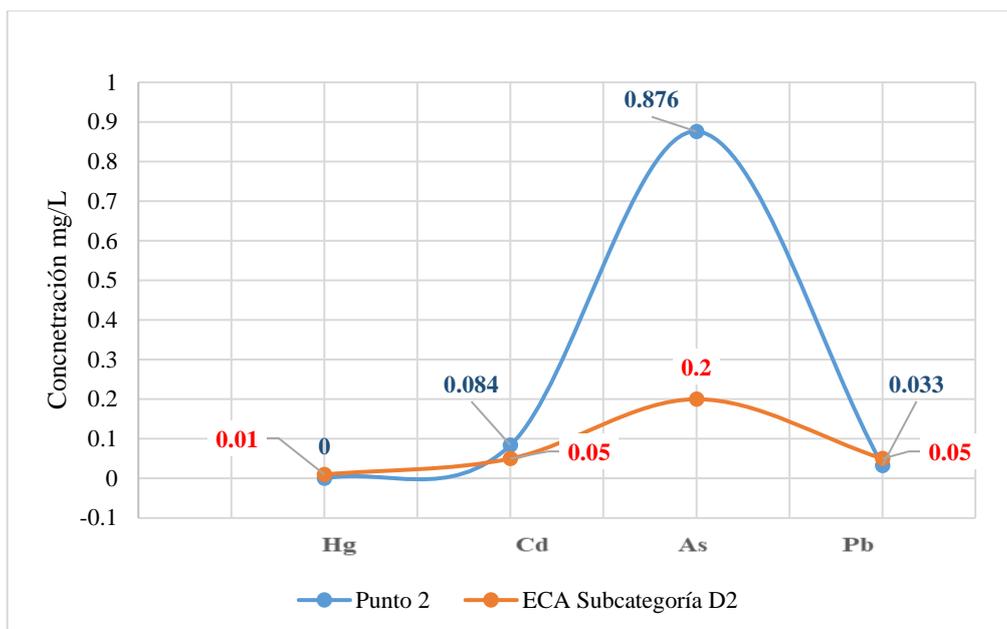


Figura IX. Comparación de la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, de la muestra en el punto 2 vs, ECA, categoría 3, bebida de animales. Segunda evaluación junio 2018. (En los valores con respecto al Hg y Pb, se han considerado los valores límite de cuantificación del método de lectura en el laboratorio).

En figura IX muestra resultados de la muestra de punto 2, segunda evaluación junio 2018, se evidencia que el nivel de mercurio (<0.0002 mg/L) y plomo (0.033 mg/L) es mínimo y no supera los ECA, categoría 3, encontrándose dentro de los estándares de calidad de agua; cadmio (0.084 mg/L) y arsénico (0.876 mg/L) se evidencia en las concentraciones de estos metales que superan los estándares de calidad ambiental, categoría 3, subcategoría D2, bebida de animales.

Por lo tanto, este tipo de recurso hídrico no puede ser utilizado para regadío de vegetales y bebida de animales, mucho menos consumo humano. Esto se ve reafirmado con los estudios de Graza y Quispe (2015), quienes también demostraron en su estudio que el río Santa, contiene niveles altos de arsénico, plomo y cadmio debido a influencia minera; Díaz (2016) en su estudio también encontró en dos muestras distintas que el plomo superaba los límites máximos, y que el arsénico no se encontró en niveles altos; otro estudio nacional de Barba *et al.* (2017), en el río Auqui, también bajo influencia minera, no encontró niveles altos de los metales pesados como mercurio, arsénico, Cadmio y plomo. Los estudios internacionales hablan que el recurso hídrico bajo influencia minera se encuentra muy alterado.

4.1.1. Evaluación del nivel de concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, con los estándares de calidad ambiental (ECA) de agua, para la categoría 3; y sus dos subcategorías: riego de vegetales y bebida de animales.

Como se mencionó durante el desarrollo del estudio, según Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Donde se Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua; se compararon los resultados por metal pesado con las categorías de clasificación, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales; subcategoría D1: riego de vegetales; y subcategoría D2: bebida de animales, encontrando los resultados siguientes, mencionando que debido a la influencia del efluente minero, el cual se descarga en el río Saucicucho, alterando las características del mismo, las comparaciones con los ECA de agua, se desarrollaran en el punto 2, del estudio.

Comparación de la concentración de mercurio con los ECA de agua, categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales. Evaluaciones febrero y junio.

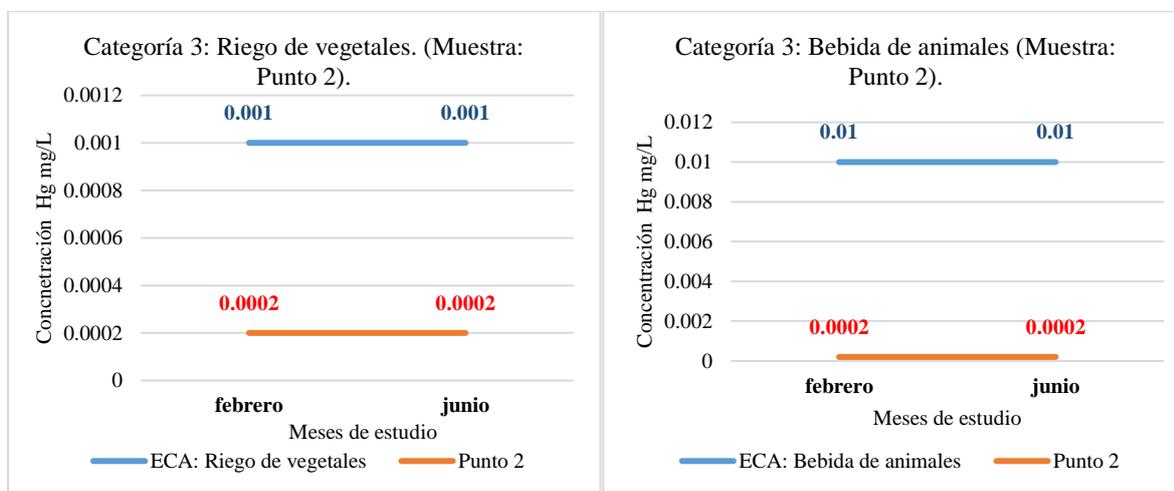


Figura X. Comparación de la concentración de mercurio en el Punto 2 con los ECA categoría 3. Se comparan las dos evaluaciones mes de febrero y junio 2018. (valores asignados al Hg=0-0002, se han considerado los límites de cuantificación del método de lectura en el laboratorio)

Como se evidencia en la figura X, la concentración de mercurio en el río Saucicucho, después de la descarga del efluente minero, es mínima, encontrándose el nivel de concentración dentro de los estándares de calidad ambiental para esta categoría, subcategoría D1 y D2, tanto

para riego de vegetales y bebida de animales. Por lo tanto, demuestra que en la minería informal no se utiliza este metal pesado, desde que se prohibió la Cianuración. Sin embargo, es importante medir su concentración.

Comparación de la concentración de cadmio con los ECA de agua, categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales. Evaluaciones febrero y junio.

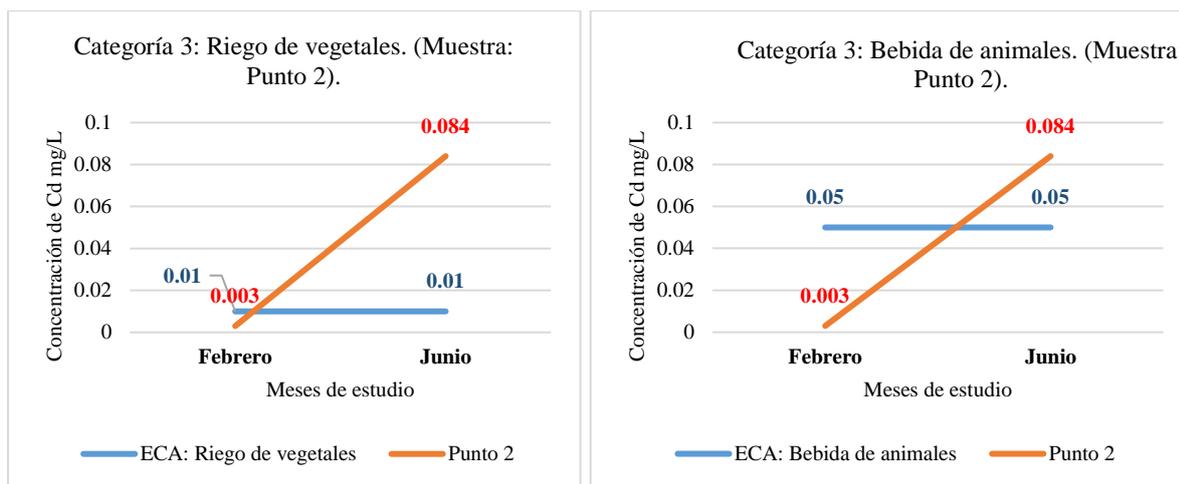


Figura XI. Comparación de la concentración de cadmio en el Punto 2 con los ECA categoría 3. Se comparan las dos evaluaciones mes de febrero y junio 2018. (valores asignados al Hg=0-0002, se han considerado los límites de cuantificación del método de lectura en el laboratorio)

Como se evidencia en la *figura XI*, la concentración de cadmio en el río Saucicucho, después de la descarga del efluente minero, revela una alteración importante, encontrándose un alto nivel de concentración de cadmio en la evaluación del mes de junio, pasando los estándares de calidad ambiental para este metal, por lo tanto, el recurso hídrico no se encuentra apto para ser utilizado para riego de vegetales, mucho menos para bebida de animales. Como se mencionó durante el desarrollo del tema, en el mes de junio hay más trabajadores, y por ende mayor demanda de recursos naturales e hídrico (efluente), Graza y Quispe (2015), quienes también demostraron en su estudio que el río Santa, contiene niveles altos de arsénico, plomo y cadmio debido a influencia minera.

Comparación de la concentración de arsénico con los ECA de agua, categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales. Evaluaciones febrero y junio.

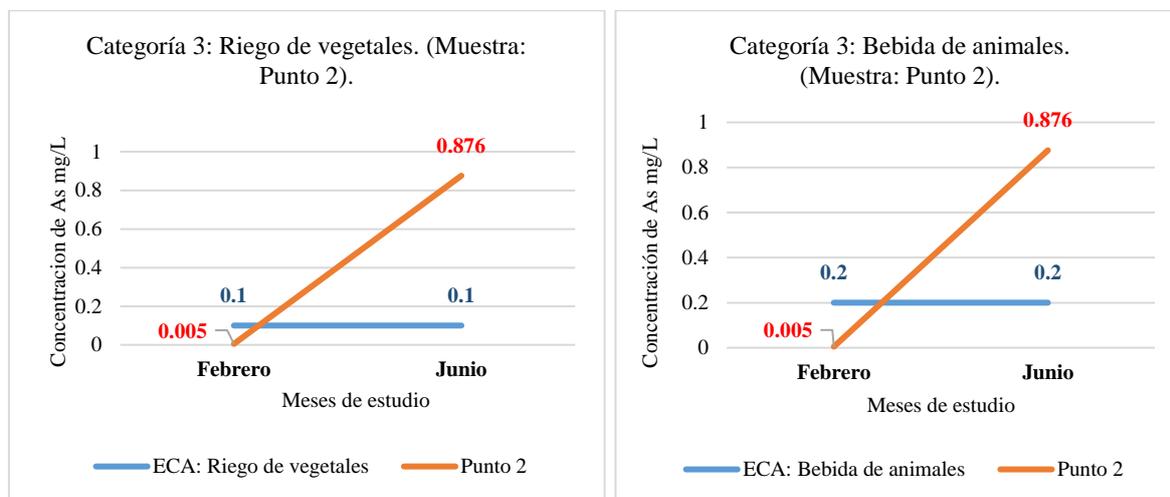


Figura XII. Comparación de la concentración de arsénico en el Punto 2 con los ECA categoría 3. Se comparan las dos evaluaciones mes de febrero y junio 2018. (valores asignados al Hg=0-0002, se han considerado los límites de cuantificación del método de lectura en el laboratorio).

Como se evidencia en la *figura XII*, la concentración de arsénico en el río Saucicucho, después de la descarga del efluente minero, revela una alteración importante, encontrándose un alto nivel de concentración de arsénico en la evaluación del mes de junio, pasando los estándares de calidad ambiental para este metal, por lo tanto, el recurso hídrico no se encuentra apto para ser utilizado para riego de vegetales, mucho menos para bebida de animales. Graza y Quispe (2015), quienes también demostraron en su estudio que el río Santa, contiene niveles altos de arsénico, plomo y cadmio debido a influencia minera. Díaz (2016) en su estudio también encontró en dos muestras distintas que el plomo superaba los límites máximos, y que el arsénico no se encontró en niveles altos; otro estudio nacional de Barba *et al.* (2017), en el río Auqui, también bajo influencia minera, no encontró niveles altos de los metales pesados como mercurio, arsénico, Cadmio y plomo.

Comparación de la concentración de plomo con los ECA de agua, categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales. Evaluaciones febrero y junio.

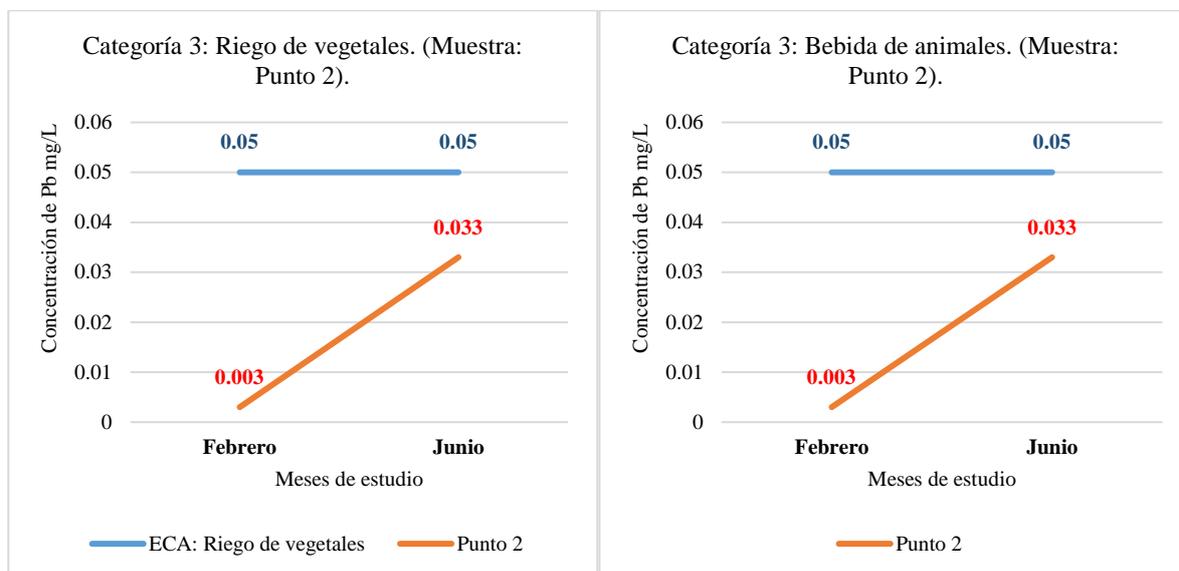


Figura XIII. Comparación de la concentración de plomo en el Punto 2 con los ECA categoría 3. Se comparan las dos evaluaciones mes de febrero y junio 2018. (valores asignados al Hg=0-0002, se han considerado los límites de cuantificación del método de lectura en el laboratorio).

Como se evidencia en la *figura XIII*, la concentración de plomo en el río Saucicucho, después de la descarga del efluente minero, la concentración es mínima, encontrándose el nivel de concentración de Plomo (Pb) por debajo de los estándares de calidad ambiental para este metal, por lo tanto, el recurso hídrico no se encuentra alterado por este metal pesado. Graza y Quispe (2015), quienes también demostraron en su estudio que el río Santa, contiene niveles altos de arsénico, plomo y cadmio debido a influencia minera. Díaz (2016) en su estudio también encontró en dos muestras distintas que el plomo superaba los límites máximos, y que el arsénico no se encontró en niveles altos; otro estudio nacional de Barba *et al.* (2017), en el río Auqui, también bajo influencia minera, no encontró niveles altos de los metales pesados como mercurio, arsénico, Cadmio y plomo.

4.1.2. Evaluación del nivel de concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, con los límites máximos permisibles (LMP), durante las evaluaciones de febrero y junio 2018.

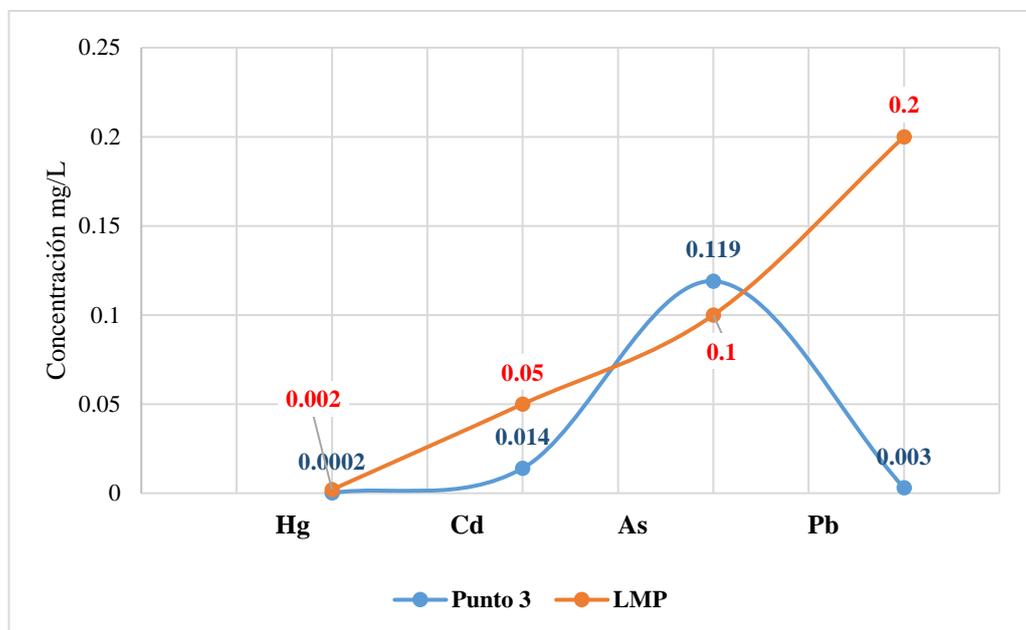


Figura XIV. Comparación de la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo con los límites máximos permisibles. Se compara la evaluación de febrero 2018. (valores asignados al Hg=0-0002, se han considerado los límites de cuantificación del método de lectura en el laboratorio).

En la *figura XI*, se evidencia la concentración del mercurio (<0.0002 mg/L), cadmio (0.014 mg/L) y plomo (<0.003 mg/L) se encuentran en niveles inferiores al LMP, no obstante, el arsénico tiene una concentración de 0.119 mg/L, y el valor máximo es 0.1 mg/L, según los límite máximos permisibles en el Perú (2010), se sabe que el arsénico es un metal pesado que en el organismo biológico, en el humano ocasiona muchos efectos nocivos a nivel general, sobre todo a nivel de sistema nervioso central, por lo tanto debería existir un plan de actuación de la asociación de mineros informales (AMASBA), para que tomen medidas frente al efluente minero, dado que el nivel V, pertenece a su asociación, se puede mencionar también que otros estudios avalan el resultado cuando hay una actividad tan devastadora, como es la minería, ya lo mencionó Graza y Quispe (2015) que en su estudio la concentración de arsénico fue 0,0404

mg/L, también superior a los LMP, según su estudio; también Díaz (2016) manifiesta que la existencia de los veintidós pasivos ambientales identificados en el distrito de San Mateo de Huanchor, influyen en la calidad del agua del río, encontrándose también valores por encima de los ECA de agua del arsénico. Reyes *et al.* (2015), también menciona que el arsénico como metal pesado puede ocasionar problemas en los sembríos y ganado de consumirse alimentos que absorban arsénico.

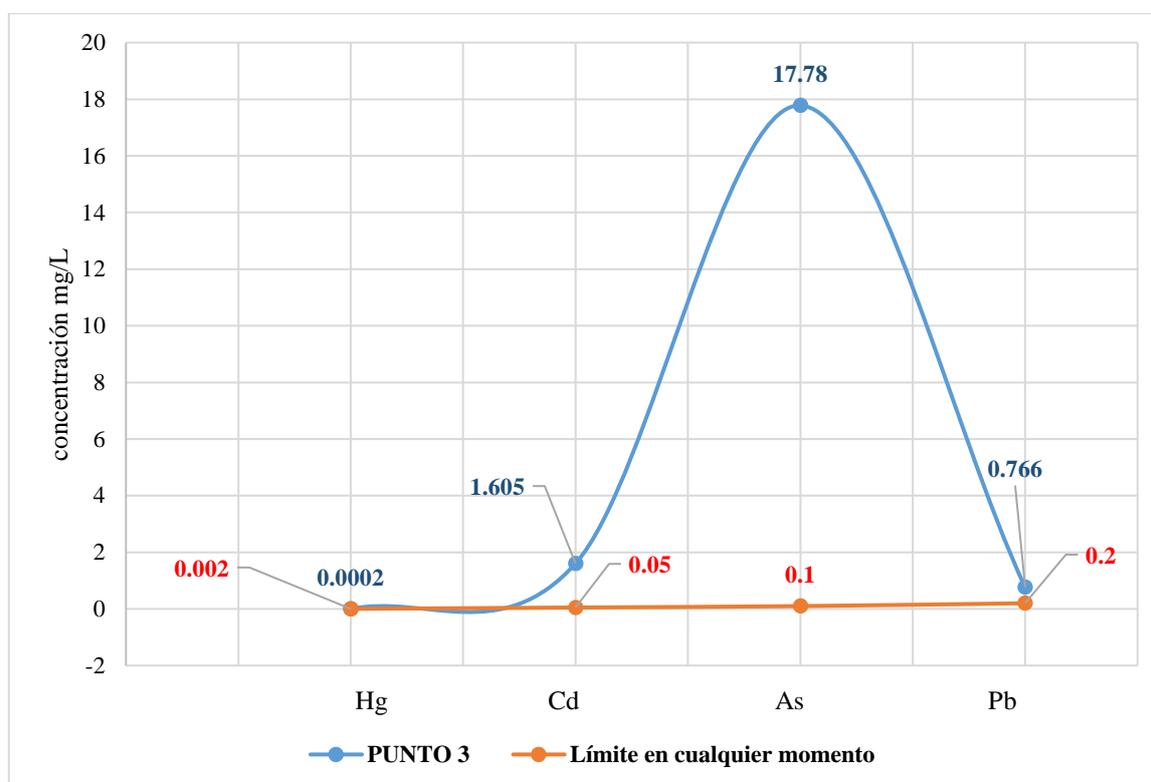


Figura XV. Comparación de la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo con los límites máximos permisibles. Se compara la evaluación de junio 2018. (valores asignados al Hg=0-0002, se han considerado los límites de cuantificación del método de lectura en el laboratorio).

En la *Figura XV*, se evidencia que los resultados obtenidos sobrepasan los límites máximos permisibles, el efluente se encuentra en un estado de acidez crítica con un pH de 2.39, siendo el valor normal entre 6 a 9; la conductividad sobrepasa los 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no se ha detectado mercurio en la muestra, sin embargo, los demás metales pesados sobrepasan de manera crítica los límites máximos, el valor del cadmio, tiene un valor de 1.605 mg/L, siendo según normativa

el límite máximo permisible de 0.05 mg/L, lo mismo sucede con el arsénico con un valor de 17.78 mg/L, y su valor máximo es de 0.1 mg/L; de igual forma con el plomo, cuyo valor es mayor en 0.566 mg/L, al máximo que es de 0.2 mg/L; esto demuestra que el efluente al contener esta concentración de metales pesados modifica las condiciones del río donde son vertidas, alterando las características de este, convirtiéndolo en un recurso hídrico peligroso para categorías 3, según ECA de agua.

Estos resultados además se pueden corroborar con otros estudios, donde se ha visto afectado cuencas o ríos, donde hay labores de minería cercanas, de Graza y Quispe (2015), quienes también demostraron en su estudio que el río Santa, contiene niveles altos de arsénico, plomo y cadmio debido a influencia minera; Díaz (2016) en su estudio también encontró en dos muestras distintas que el plomo superaba los límites máximos; otro estudio nacional de Barba *et al.* (2017), en el río Auqui, también bajo influencia minera, no encontró niveles altos de los metales pesados como mercurio, arsénico, Cadmio y plomo. Los estudios internacionales hablan que el recurso hídrico bajo influencia minera se encuentra muy alterado. Como se sabe el río Saucicucho (estudio) nutre al río Huamachuquino, este es utilizado de manera intensa en agricultura y ganadería, alimenta el valle de Condebamba, y personas también hacen uso de este recurso hídrico río abajo.

4.2. Conclusiones

- Se determinó la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, encontrándose los valores en el punto 1-durante las dos evaluaciones de febrero y junio- concentraciones mínimas de estos metales; en el punto 2, se encontraron las siguientes concentraciones durante la primera evaluación, mercurio (<0.0002 mg/L), cadmio (0.003 mg/L), arsénico (0.005 mg/L) y plomo (<0.003 mg/L), y durante la segunda evaluación (junio), mercurio (<0.0002 mg/L), cadmio (0.084 mg/L), arsénico (0.876 mg/L) y plomo (0.033 mg/L).
- Se determinó la concentración en el efluente minero encontrándose las siguientes concentraciones, primera evaluación: mercurio (<0.0002 mg/L), cadmio (0.014 mg/L), arsénico (0.119 mg/L) y plomo (<0.003 mg/L), y durante la segunda evaluación las siguientes concentraciones, mercurio (<0.0002 mg/L), cadmio (1.605 mg/L), arsénico (17.78 mg/L) y plomo (0.766 mg/L).
- Se compararon los niveles de concentración de los metales pesados en estudio mercurio, cadmio, arsénico y plomo, con los estándares de calidad ambiental (ECA) en agua, categoría 3: subcategorías D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales, encontrándose durante las dos evaluaciones -febrero y junio- en el punto 1 (río Saucicucho- Cañaris), valores dentro de los ECA de agua; para dicha categoría 3 y ambas subcategorías. Sin embargo, en el punto 2, cadmio muestra un nivel de 0.003 mg/L y arsénico (0.005 mg/L), los cuales se encuentran dentro de los ECA, para categoría 3, y ambas subcategorías D1 y D2; segunda evaluación, cadmio con una concentración de 0.084 mg/L y arsénico con una concentración de 0.876 mg/L, superan los ECA agua, para la categoría 3, en la subcategoría D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales, demostrando que a estas concentraciones alteran la calidad del recurso hídrico.

- Se comparó la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo, con los límites máximos permisibles (LMP), en el punto 3, del efluente minero; encontrándose, al arsénico con una concentración de 0.119 mg/L, superando el valor máximo de los LMP (valor máximo 0.1 mg/L), en la primera evaluación. En la segunda evaluación valor del cadmio, con una concentración de 1.605 mg/L, supera en grado importante el límite máximo permisible de 0.05 mg/L, lo mismo sucede con el arsénico con un valor de 17.78 mg/L, y su valor límite máximo permisible de 0.1 mg/L; de igual forma con el plomo (0.766 mg/L), cuyo valor es mayor en 0.566 mg/L, al límite máximo permisible de 0.2 mg/L; lo que demuestra que cadmio, arsénico y plomo superan los límites máximos permisibles (LMP).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Perú 2016: mining annual report*. Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/>
2. Rumbo minero. (2017). *Tratamiento y recuperación del agua: recurso aprovechable para diversos procesos*. Recuperado de <http://www.rumbominero.com/>
3. Ministerio del Ambiente. (2016). *La lucha por la legalidad en la actividad minera (2011 – 2016). Avances concretos y retos para enfrentar la problemática de la minería ilegal y lograr la formalización de los operadores mineros*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/>
4. Samame, M. (1992). *El Perú minero. Tomo IX. Instituto geofísico del Perú*. Lima. Perú: Editorial universal.
5. Ministerio de Salud. (2013). *Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por mercurio*. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3245.pdf>
6. Alfonso, R., Escutia, B. y Carnero, L. (2010). *Trastornos cutáneos inducidos por mercurio*. Recuperado de <https://www.jano.es/noticia-las-revistas-elsevier-doyma-ya-5255>
7. Poisindexz managements. (2011). *Mercury* (versión electrónica). Thomson Reuters (healthcare) Inc., Greenwood Village, Colorado, USA. Recuperado de <http://www.thomsonhc.com>
8. Ramírez, A. *Intoxicación ocupacional por mercurio*. (2008) vol.6, (numero 1), pp.46-51. Perú. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/scielo>
9. Gunnar, N. (2011) *Metales: Propiedades químicas y toxicidad, Mercurio*. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Recuperado de <http://www.insht.es/portal/site/>
10. Organización Panamericana de la Salud. (2011). *Diagnóstico e Investigación epidemiológica de las enfermedades transmitidas por alimentos*. Recuperado de <http://www.ops.org.ar/publicaciones/publicaciones%20virtuales/libroETAs/modulo5/modulo5m.html>
11. Agency for Toxic Substances & Disease Registry – ATSDR. (2011). *Mercury*. Resumen de salud Pública. Recuperado de http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs46.html.
12. Baum, C. (2010). *Mercurio: Los metales pesados y agentes inorgánicos*. Clinical Management of Poisoning and Drug Overdose. W.B Saunders Company. Saunders, 4th edition, 2007, US.
13. Chiang, W. (2015). *Mercury*. Goldfrank'S Toxicologic Emergencies. MC Graw Hill, Marsha Ford. 9na edición. U.S.
14. Ministerio de Salud. (2013). *Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por cadmio*. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/3244.pdf>
15. Ministerio de salud. (2011). *NTS N°068-MINSA/DGSP-V0.1: Listado de Enfermedades Ocupacionales, aprobada con RM N° 480- 2008/MINSA, y modificada con RM N°798-2010/MINSA*. Perú. Recuperado de <ftp://ftp2.minsa.gob.pe/normaslegales/2008/RM480-2008.pdf>

16. Ministerio de Salud. (2012). *Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por arsénico*. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/2109.pdf>.
17. Ministerio de Salud. (2011). *Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por plomo*. Recuperado de http://www.sis.gob.pe/ipresspublicas/normas/pdf/minsa/GUIASPRACTICAS/2011/RM389_2011MINSA.pdf.
18. Ministerio del Ambiente. (2012). *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana*. Dirección general de políticas, normas e instrumentos de gestión ambiental. Recuperado de <http://www.usmp.edu.pe/recursoshumanos/pdf/Glosario-de-Terminos.pdf>.
19. Ministerio del Ambiente. (2005). *Ley General del Ambiente*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>.
20. Ministerio del Ambiente. (1996). *Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM. - Niveles máximos permisibles para efluentes líquidos de las actividades minero-metalúrgica*. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/niveles-maximos-permisibles-efluentes-liquidos-las-actividades-minero>.
21. Ministerio del Ambiente. (2010). *Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>.
22. Ministerio del ambiente. (2011). *Resolución Ministerial N° 030-2011-MEM/DM. Aprueban términos de referencia conforme a los cuales se elaborará el plan de implementación para el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas, así como el procedimiento de evaluación de dicho plan*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/108070-0030-2011-mem>.
23. Ministerio del Ambiente. (2015). *Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM. Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-015-2015-minam/>.
24. Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>.
25. Graza, F., & Quispe, R. (2015). *Determinación de Pb, Cd, As en aguas del río Santa en el pasivo minero ambiental de Recuay* (Tesis de pregrado). UNMSM, Ticapampa, Recuay. Ancash.
26. Loayza, L. (2016). *Evaluación del riesgo ambiental por metales pesados, generados por la actividad minera artesanal en los ríos Quiroz y Chira – Piura por el método de especiación secuencial* (Tesis de maestría). UNMSM, Lima. Perú.

27. Díaz, W. (2016). *Contaminación del ecosistema en San Mateo de Huanchor por los pasivos ambientales minero metalúrgicos y su impacto en la salud de los pobladores* (Tesis de maestría). UNMSM, Lima. Perú.
28. Barba, A., et al. (2017). *Evaluación de las concentraciones de metales pesados en los ríos Auqui y Paria en la región Ancash. Perú*. Revista de investigaciones. Universidad le cordon bleu. Perú.
29. AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. (2016). *Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Lima. Perú. Recuperado de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf.
30. Covarrubias, S. y Peña, J. (2016). *Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación*. Departamento de Biotecnología y Bioquímica. Instituto politécnico nacional. Guanajuato. México.
31. Macilla, O., et al. (2017). *Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila – Tuxcacuesco – Armería*. Chile.
32. Reyes, Y. et al. (2016). *Contaminación por metales pesados: implicaciones en la salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Sagamoso. Boyaca, Colombia.

ANEXOS



Figura XVI. Río Saucicucho. Fotografía tomada 2019.



Figura XVII. Toma de muestra en el punto 1. Fotografía tomada 2018.



Figura XVIII. Río Saucicucho cerca al efluente. Fotografía tomada 2019.

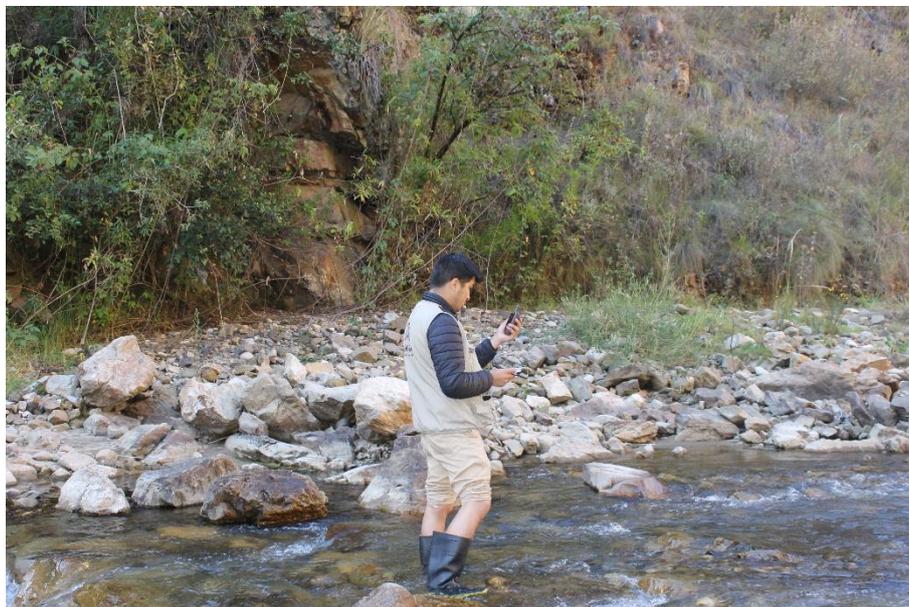


Figura XIX. Georreferenciación para toma de muestras. Fotografía tomada 2018.

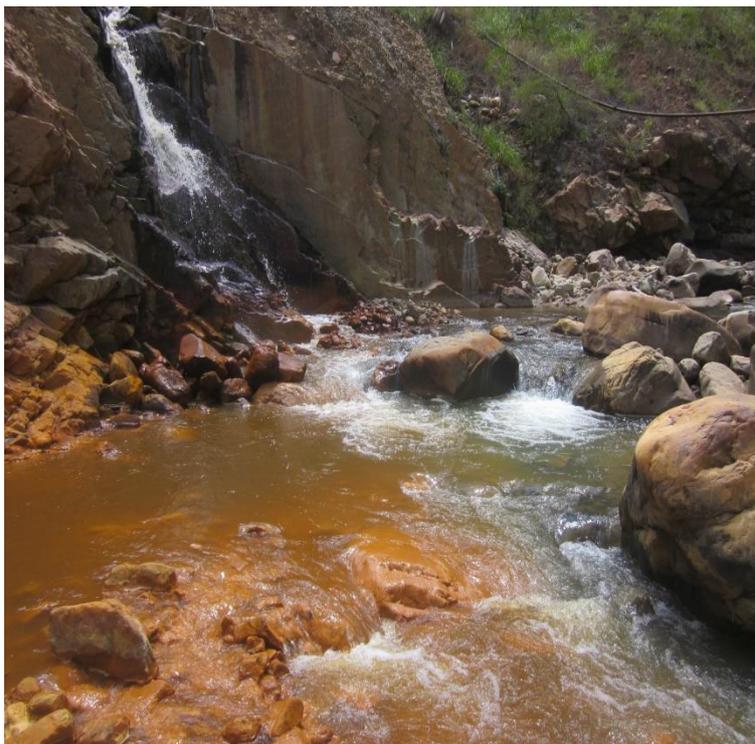


Figura XX. Punto 2, se evidencia efluente minero. Fotografía tomada 2019.



Figura XXI. Toma de muestras en punto 2, después del contacto. Fotografía 2018.



Figura XXII. Rotulación de muestras en el punto 2. fotografía tomada 2018.



Figura XXIII. Río Saucicucho después del contacto con el efluente minero. Fotografía tomada 2018.



Figura XXIV. Georreferenciación del punto 1, punto 1. Fotografía tomada 2018.



Figura XXV. Medida del ancho del cauce del río Saucicucho antes del contacto con el efluente. Fotografía tomada en el 2018.



Figura XXVI. Medida del cauce de río Saucicucho, y profundidad para calcular el caudal. Fotografía tomada 2018.



Figura XXVII. Toma de muestras en el punto 2, después del contacto. Fotografía 2018.



Figura XXVIII. Toma de muestras en el punto 2. Fotografía 2018.



Figura XXIX. Rotulación y Toma de muestras en el punto 2. Fotografía 2018.



Figura XXX. Medida de parámetros físicos en el punto 2. Fotografía 2018.