



Investigación de la Contaminación Ambiental en el Municipio de Mollehuaca - Fase II

Preparado para:
Dr. Anibal Díaz Robles
Gerente de la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa

Proyecto auspiciado por:



Solidaridad

Director de Proyecto:

.....
Dr. Dante Pinto (ARMA)

Responsable técnico de Proyecto:

.....
Dr. Oswald Eppers (GIZ)

Autor:

.....
Dr. Oswald Eppers (GIZ)

Revisión técnica:

.....
Ing. Jorge Antonio Delgado Pacheco (ARMA)

.....
Ing. Catherine Elisabeth Cardich Salazar (GIZ)

Arequipa, 04 de Junio de 2014

Lista de Abreviaturas

ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales)
AMIM	Asociación de Mineros Informales de Mollehuaca
APP	Área de Preocupación Potencial
ARMA	Autoridad Regional Ambiental de Arequipa
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment (Consejo Ministerial de Medio Ambiente de Canadá)
CITES	Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
CPP	Contaminante de Preocupación Potencial
ECA	Estándar de Control Ambiental
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperación Alemana)
GREM	Gerencia Regional de Energía y Minas
HIL	Niveles de Investigación para la protección de Salud Humana
ISAT	Instituto de Salud y Trabajo
LMP	Límite Máximo Permisible
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio de Ambiente
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS	Organización Mundial de Salud
PM10	Material particulado por debajo de 10 micrones
SQG	Soil quality guideline (lineamiento de calidad de suelos de Canadá)
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure (Procedimiento de Lixiviación Característica de Toxicidad)
TLV	Threshold Limit Value (Límite máximo admisible)
TWA	Time weighted average (promedio sobre el tiempo)
UCL95	Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95 % de la media aritmética
UICN	Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los EEUU
UNEP	United Nations Environment Program (Programa ambiental de las Naciones Unidas)
UTM	Universal Transverse Mercator (Coordenadas de GPS)

Contenido

Lista de Abreviaturas.....	ii
RESUMEN EJECUTIVO	v
1. Introducción.....	1
1.1. Objetivo.....	1
1.2. Alcance	1
1.2.1 Muestreo de Suelos, Sedimentos y Polvo Sedimentable	2
1.2.2 Muestreo de Agua Subterránea y Agua potable	2
1.3 Marco Legal	3
2. Información relevante del sitio	4
2.1 Descripción del Área de Proyecto	4
2.2 Suelos	5
2.3 Geología y Mineralogía.....	5
2.4 Meteorología.....	7
2.5 Hidrología.....	8
2.6 Flora	9
2.7 Fauna	10
3. Investigaciones Previas	10
3.1 Investigaciones de ARMA-GIZ.....	10
3.1.1 Muestreo del 11 de Octubre 2013.....	11
3.1.2 Muestreo del 29 de Noviembre 2013	11
3.2. Otras Investigaciones anteriores realizadas en la zona	13
3.2.1 Estudio Epidemiológico de Mollehuaca.....	13
3.2.2 Estudios de Impacto Ambiental realizadas en la zona	13
4. Selección de Áreas de Preocupación Potencial (APPs) y Contaminantes de Preocupación Potencial (CPPs).....	14
4.1 Selección de APPs	14
4.2 Selección de CPPs	15
5. Estándares de Calidad Ambiental para la Evaluación de Datos.....	15
5.1 Estándares de Calidad Ambiental de Suelos.....	16
5.2 Estándares de Calidad Ambiental de Sedimentos.....	17
5.3 Estándares de Calidad Ambiental de Agua Subterránea y Agua Potable	17
6. Trabajo de Campo	18
6.1 Muestreo de Suelos, Sedimentos y Polvo Sedimentable	18
6.2 Muestreo de Agua Potable y Subterránea	18

6.3	Análisis de Laboratorio	19
6.4	Muestras de Control de Calidad	20
7.	Análisis e Interpretación de Resultados	21
7.1	Suelos y Sedimentos	22
7.1.1	<i>Concentraciones de Fondo</i>	22
7.1.2	<i>Suelos en la zona agrícola</i>	22
7.1.3	<i>Suelos en el área industrial histórica de Mollehuaca</i>	23
7.1.4	<i>Sedimentos en el lecho del río Huanuhuanu</i>	24
7.1.5	<i>Suelos en el área urbana de Mollehuaca</i>	25
7.1.6	<i>Ensayos de TCLP</i>	26
7.2	Delineación horizontal y vertical de la contaminación	27
7.3	Polvo Sedimentable en el área urbana de Mollehuaca	28
7.4	Agua potable y Agua Subterránea	30
7.5	Conclusiones	30
8.	Uso del Informe y Limitaciones.....	32
9.	Bibliografía.....	33
Anexo A	Tablas con resumen de resultados analíticos	
Anexo B	Tablas con resumen de resultados estadísticos de UCL95	
Anexo C	Figuras	
Anexo D	Informes de Laboratorio	
Anexo E	Documentación Fotográfica	
Anexo F	Investigaciones Preliminares	

RESUMEN EJECUTIVO

La municipalidad de Huanuhuanu y la Asociación de Mineros Informales de Mollehuaca (AMIM) han solicitado apoyo a la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa y a la Cooperación Alemana, implementado en el Perú por la GIZ, para llevar a cabo una investigación ambiental detallada (Fase II) en la comunidad Mollehuaca en el marco del proceso de formalización.

El objetivo de la Evaluación Fase II en Mollehuaca es identificar y evaluar la potencial contaminación ambiental causada por la actividad minera realizada durante unos 30 años al lado del lecho del río Huanuhuanu, adyacente a la población de Mollehuaca.

El alcance del trabajo llevado a cabo para la evaluación del impacto ambiental incluyó la toma de muestras de suelos, sedimentos, polvo sedimentable, agua potable y agua subterránea. El análisis de polvo sedimentable en la población de Mollehuaca tiene el objetivo de estimar la exposición de la población a contaminantes inhalables y el análisis de agua potable y subterránea permite una estimación de la exposición de la población a contaminantes presentes en este medio.

Como resultado de la investigación, se confirmó la contaminación de suelos en el área industrial histórica de Mollehuaca como resultado de actividades realizadas con minerales conteniendo metales pesados y metaloides y por la amalgamación utilizando mercurio. De los Contaminantes de Preocupación Potencial (CPPs) identificados en anteriores investigaciones en el área de proyecto, Hg, As, Pb y Cu fueron encontrados con concentraciones promedias muy por encima de niveles considerados seguros para la salud humana y el ecosistema. De estos cuatro contaminantes, el As y el Hg parecen ser los dos impulsores de riesgo por sus altas excedencias a los estándares de calidad ambiental. De las Áreas de Preocupación Potencial (APPs) identificadas, las áreas IV, IIIA y IIB representan el mayor grado de peligro para la salud humana por la contaminación de suelos (ver Figura 2). En conclusión, el orden de la peligrosidad de los sectores en el área industrial histórica (cualitativamente) es el siguiente:

IV > IIIA > IIB > I > IIA > IIC > IIIB

Dentro del casco urbano de Mollehuaca, los resultados demuestran que los suelos en la población de Mollehuaca son impactados por la contaminación ambiental de la actividad minera, aunque en menor grado comparado con los suelos del área industrial histórico. Unas 22.7% de las muestras de suelos analizados contenían concentraciones de arsénico por encima del ECA para áreas residenciales. El mercurio excedió el ECA correspondiente en unos 9.1%. De los otros CPPs, el Cd y Sb no fueron detectados dentro de la población en ninguna muestra por encima de su estándar ambiental adaptado y el Cu, Pb y Zn se

detectaron en una sola muestra tomada al costado de la calle que por su composición química parecía ser resultado de un derrame de relave.

Para evaluar la exposición a los CPPs por la inhalación de polvo, se analizaron muestras de polvo sedimentable tomados de techos de casas. As, Cu, Hg y Pb fueron encontrados con concentraciones promedias muy por encima de los estándares ambientales nacionales e internacionales adaptados. Existe una buena correlación entre los resultados analíticos de los polvos sedimentables y de los suelos superficiales encontrados en el área industrial histórica. Esta correlación prueba la dispersión de los contaminantes por erosión eólica. Debido a que los relaves tienen una menor granulometría que el suelo natural de la zona, la erosión eólica primordialmente causa la dispersión de las partículas finas de los relaves depositados en la superficie del suelo. El peligro de esta dispersión eólica es la inhalación de material particulado con elevadas concentraciones de contaminantes causando un potencial riesgo para la salud de la población.

Dos muestras de agua potable tomadas en viviendas dentro de la población de Mollehuaca y dos muestras tomadas de pozos instalados dentro o en proximidad al lecho del río Huanuhuanu fueron analizadas para evaluar la exposición de la población a los CPPs por el consumo de agua. En ninguna muestra se detectaron valores de CPPs por encima de los ECA. En las dos muestras de agua subterránea se detectaron concentraciones de sulfato por encima del ECA para agua potable. Además, en la muestra A-4, tomada de un pozo ubicado en el lecho del río, se encontraron bacterias de tipo Coliformes Fecales (termotolerantes) y E.Coli que significan un riesgo agudo para la salud humana en caso de un consumo sin desinfección previa.

En síntesis, se confirmó que la contaminación ambiental encontrada en el área industrial histórica es por resultado de las actividades mineras. Las bajas concentraciones de CPPs en la muestra tomadas en el área agrícola río abajo indican que el impacto de la Compañía Minera Caravelí no parece ser significativo para la población de Mollehuaca. Las bajas concentraciones de CPPs en muestras de fondo tampoco respaldan la teoría de una contaminación natural en el área por estos elementos.

La contaminación encontrada en el área industrial histórico potencialmente es una amenaza para la salud de la población de Mollehuaca como para el ecosistema en general. La necesidad de una remediación activa para reducir la contaminación a niveles aceptables para la salud humana debe ser definida en un análisis de riesgo específico para el sitio.

Investigación de la Contaminación Ambiental en el Municipio de Mollehuaca - Fase II

1. Introducción

La municipalidad de Huanuhuanu y la Asociación de Mineros Informales de Mollehuaca (AMIM) han solicitado apoyo a la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa y a la Cooperación Alemana, implementado en el Perú por la GIZ, para llevar a cabo una investigación ambiental detallada (Fase II) en la comunidad Mollehuaca en el marco del proceso de formalización.

Desde hace pocos años atrás, en Mollehuaca se procesó en inmediata proximidad a la población y a la quebrada Huanuhuanu mineral con quimbaletes, extrayendo oro por medio del proceso de amalgamación con mercurio (Hg). El problema con el beneficio usando quimbaletes es que la recuperación del oro es baja y una buena parte se derrama durante el quimbaleteo y otra parte se queda dispersa en los relaves. Mientras en la actualidad los relaves de la amalgamación generalmente son entregados a plantas de cianuración, en el pasado era práctica común disponer minerales con muy bajo contenido de oro en el mismo lugar de trabajo encima del suelo. Por otro lado, hasta hoy en día la quema abierta de la amalgama para la producción de oro es práctica común y muchas veces se realiza en las casas de los mineros con consecuencias negativas para la salud de los mismos.

En el marco del proceso de la formalización del parque industrial instalado en una distancia de aproximadamente 1.2 km al poblado de Mollehuaca y las nuevas exigencias de investigar contaminaciones generados en los suelos según el D.S. N° 002-2014 MINAM, se realizó una investigación ambiental del área potencialmente impactada para definir medidas de remediación en el caso de que sean necesarias.

Los trabajos de campo correspondientes a la investigación ambiental del sitio fueron realizados por ARMA con el apoyo de la cooperación alemana, implementada por la GIZ (desde ahora GIZ) en tres etapas entre octubre de 2013 y enero de 2014. En enero, la ONG Solidaridad con personal de su oficina en Chala apoyó en el muestreo y en la elaboración de los mapas del informe.

1.1. Objetivo

El objetivo de la Evaluación Fase II en Mollehuaca es identificar y evaluar la potencial contaminación ambiental causada por la actividad minera realizada durante más de 30 años en proximidad directa al río Huanuhuanu, adyacente a la población de Mollehuaca.

1.2. Alcance

El alcance del trabajo llevado a cabo para la evaluación del impacto ambiental incluyó la toma de muestras de suelos, sedimentos, polvo sedimentable, agua potable y agua subterránea. El análisis de polvo sedimentable en la población de Mollehuaca tenía el

objetivo de estimar la exposición de la población a contaminantes inhalables y el análisis de agua potable y subterránea permite una estimación de la exposición de la población a contaminantes presentes en este medio.

Las limitaciones del estudio se presentan en la Sección 8.

1.2.1 Muestreo de Suelos, Sedimentos y Polvo Sedimentable

Las siguientes muestras de suelos, sedimentos y polvo sedimentable fueron tomadas para su análisis de metales y metaloides:

- a) Área Industrial histórica:
 - 28 muestras de suelo superficiales (5 a 20 cm)
 - 7 muestras de suelo profundos (30 a 50 cm)
 - 3 muestras de sedimento de río
- b) Área Agrícola histórico
 - 4 muestras de suelo superficial
 - 1 muestra de suelo profundo
 - 1 muestra de sedimento de río
- c) Área Urbano
 - 21 muestras de suelos superficiales
 - 5 muestras de polvo sedimentable
- d) Muestras de Fondo
 - Se tomaron 2 muestras de fondo, 1.7 km río arriba y 1.3 km río abajo del área industrial histórico

Un total de 3 duplicados de suelos fueron tomados como control de calidad.

Muestras para el Procedimiento de Lixiviación Característica de Toxicidad (TCLP): los lixiviados de 4 muestras con concentraciones altas de metales y/o metaloides fueron analizados para evaluar la biodisponibilidad de los contaminantes.

1.2.2 Muestreo de Agua Subterránea y Agua potable

- e) Agua de Pozos

Se tomaron 2 muestras de agua subterránea, una de un pozo ubicado río arriba del área industrial histórica y una muestra de un pozo dentro del lecho de río en el área industrial histórica.

- f) Agua potable

Se realizó el muestreo y análisis de 2 muestras de agua potable en distintos lugares en Mollehuaca, tomando en cuenta que el agua tenía orígenes diferentes.

Se tomaron un duplicado y un blanco de campo como muestras de control de calidad.

Las muestras de agua fueron analizadas por los siguientes parámetros:

- a) Parámetros de campo: pH, Conductividad, Turbidez, olor aparente
- b) Parámetros de laboratorio:
 - Sólidos suspendidos
 - Metales pesados (Hg, As, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn, Fe y Sb)
 - Coliformes termotolerantes y EColi
 - Sulfuros, cloruro, sulfato

El número de las muestras fue elegido basándose en la superficie potencialmente contaminada y recomendaciones para la cantidad mínima de muestras en sitios contaminados (NSW EPA 1995). La densidad de los puntos de muestreo en el área industrial histórica estadísticamente permite la detección de un área contaminada con un radio de unos 21 metros.

Las coordenadas de los puntos de muestreo y códigos de muestras se encuentran en la Tabla A1 del Anexo A. Mapas con la presentación de los sitios de muestreo se adjuntan en el Anexo C.

1.3 Marco Legal

Las siguientes leyes, decretos o reglamentos son los más relevantes para el presente proyecto:

Leyes

- Ley N° 28611 (2005) – Ley General del Ambiente
- Ley N° 27314 modificada por Decreto Legislativo N° 1065, Ley General de Residuos Sólidos
- Ley N° 27446: Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental
- Ley N° 28271: Ley que regula los Pasivos Ambientales de la actividad minera
- Ley 29325 (2009): Sistema Nacional Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA)
- Ley No 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Decretos y Reglamentos

- D.S. N° 001-2010-AG: Reglamento de la Ley N° 29338 (Ley de Recursos Hídricos)
- D.S. N° 002-2013-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo
- D.S. N° 002-2008-MINAM: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua
- D.S. N° 004-2012-MINAM - Disposiciones Complementarias para el Instrumento de Gestión Ambiental Correctivo (IGAC), para la Formalización de Actividades de Pequeña Minería y Minería Artesanal en curso
- D.S. N° 010-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas
- D.S. N° 013-2002-EM: Reglamento de la Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal.
- Texto Único Ordenado (TUO) del D.S. N° 014-92-EM (04.06.92): Ley General de Minería

- D.S. N° 032-2013-EM: Fortalecen proceso de formalización de la Pequeña Minería y Minería Artesanal al amparo de lo dispuesto por el Decreto Legislativo N° 1105.
- D.S. N° 046-2001-EM: Reglamento de Seguridad e Higiene Minera
- D.S. N° 055-2010-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería.
- D.S. N° 054-2013 PCM: Nuevos Criterios Técnicos para la Evaluación de Proyectos de Modificaciones y/o Ampliaciones de Componentes Mineros o de mejoras tecnológicas en Unidades Mineras en Exploración y Explotación con Impactos Ambientales negativos no significativos que cuentan con Certificación Ambiental.
- D.S. N° 002-2014 MINAM: Disposiciones complementarias para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

2. Información relevante del sitio

El pueblo de Mollehuaca cuya capital es Tocota, se encuentra en el Distrito de Huanuhuanu, Provincia de Caravelí y Región de Arequipa. El acceso es por la carretera Panamericana Km 610, Sector la Aguadita (a 2 km de la localidad de Chala). Desde la ciudad de Arequipa se llega al pueblo de Mollehuaca en un lapso de unas 8 horas vía asfaltada y luego en unas 1.5 horas en camino de trocha. Un mapa con la ubicación del sitio se presenta en la Figura 1, Anexo C.

Mollehuaca es una comunidad minera, con aproximadamente 2000 pobladores. La actividad minera que se desarrolla en la zona desde hace unos 30 años consiste principalmente en la extracción y el procesamiento de minerales auríferos obtenidos en las labores mineras ubicadas en las zonas altas de los cerros. Tradicionalmente, el molido y la extracción de oro por amalgamación con Hg fueron realizados utilizando quimbaletes en proximidad directa a la población de Mollehuaca y la quebrada seca Huanuhuanu. En julio del año 2013 la AMIM con el apoyo de la municipalidad Huanuhuanu destruyó cerca de 600 quimbaletes y continuó con sus actividades utilizando tecnología más innovadora y limpia en un parque industrial que fue instalado en una zona más alejada de la población. Hasta la fecha, no se realizó ninguna investigación detallada del área histórica industrial y alrededores para evaluar si se requiere una remediación del lugar con el objetivo de proteger la población de Mollehuaca, así como el medio ambiente en general.

2.1 Descripción del Área de Proyecto

La topografía en el área de Mollehuaca es comprendida en el flanco occidental del Batolito de la costa, en un área sin cobertura vegetal, propia de un singular desierto. El relieve topográfico de la zona es muy accidentado y conformado por pendientes del declive pronunciadas que sobrepasan el 50%.

Mollehuaca está ubicada entre unos 1350 y 1420 metros sobre el nivel del mar dentro de la quebrada seca de Huanuhuanu. El ancho del centro poblado en el estrecho valle no excede unos 250 metros. La mayor parte de la población se encuentra al lado sur de la quebrada donde se extiende por 1.3 km aproximadamente en dirección sur-oeste a nor-

este con una pendiente de aproximadamente 3.5%. El pueblo está ubicado sobre terrazas, principalmente situadas en el lado sur de la quebrada con una pendiente general entre unos 20 y 25%. Solamente una pequeña parte de las calles en el centro de la población son pavimentadas. La mayor parte son trochas y como consecuencia constituyen una constante fuente de emisión de polvo.

Mollehuaca está ubicado en una zona altamente afectada por la minería formal e informal. La Tabla 2.1 resume la distancia (línea directa) y dirección a importantes potenciales receptores (o fuentes) de una contaminación.

Tabla 2.1 - Distancia y dirección a potenciales receptores o fuentes de una contaminación ambiental.

	Aproximada distancia directa en km	Dirección desde Mollehuaca
Poblado de Tocota	7	sur-oeste
Poblado de Relaves	3	nor-oeste
Población de Chala	35	sur-oeste
Planta Metalúrgica Mollehuaca	2.2	sur-oeste
Planta Chacchulle, Cía. Minera Caravelí	5	sur-oeste
Parque Industrial Mollehuaca	1.2	Este
Bocas de mina con desmontes	diferentes, desde aprox. 0.5 km	Mayormente lado este y oeste

2.2 Suelos

Los suelos alrededor del pueblo son desarrollados a partir de materiales transportados y acumulados por erosión hídrica y eólica. Por sus características granulométricas y la falta de una cobertura vegetal, los suelos presentan una alta vulnerabilidad para la erosión y deslizamientos. Particularmente en la zona baja de la quebrada en el lecho del río se nota un alto índice de erosión hídrica (ver Fotos 1 y 3, Anexo E).

Los suelos que se encuentran en la quebrada seca de Huanuhuanu, pertenecen al grupo fluvisol-éutrico, suelos de origen aluvial, profundo o con limitante gravoso y pedregoso, que se caracteriza por estar formado por materiales disgregados acarreados por el agua. Este suelo se encuentra solo (como unidad dominante) o asociado con limo y arcilla, particularmente dentro del lecho del río. En forma general, se encontró suelo con muy poco contenido aparente de materia orgánica.

2.3 Geología y Mineralogía

En el segmento Arequipa del batolito de la costa de la costa sur media del Perú, se encuentra la franja Nazca-Ocoña que se caracteriza por una mineralización oro-cobre-

hierro (INGEMMET 2008). Dicha franja que se extiende por el Norte hasta Ica y por el Sur hasta La Joya (Arequipa), contiene una variedad de depósitos explotados de oro, cuyas características son principalmente del tipo filoniano y de origen hidrotermal. La mayoría de las ocurrencias en la zona tienen plata y cobre, a parte del oro. El oro como el elemento más importante se presenta como oro libre (zona NO y Central de la franja); en menor proporción como una aleación natural de oro con plata ("electrum"; zona SE de la franja), y como solución sólida en la pirita (Zona Central y parte SE).

Según el INGEMMET (INGEMMET 2008), el cuadrángulo de Nasca presenta fuertes anomalías geoquímicas de Au y Fe, anomalías moderadas de Co y débiles de Cu, Mo, Pb, As, Ni y Cr. La distribución geoquímica de Au-Ni-Cr-Mo, Cu,As y Fe (y más débil en Co y Cr), se encuentran fundamentalmente en rocas intrusivas cretáceo-paleógenas del batolito de la costa.

En el *cuadrángulo de Chala* ocurren fuertes anomalías de Au, moderadas de Pb y As y débiles de Cu, Mo, Fe, Co, Zn y Hg, que generalmente se presentan en anomalías volcánicas jurásicas.

En el *cuadrángulo de Cháparra* existen anomalías altas de Au y Cu, un nivel moderado en Mo y Ag, y niveles débiles de Pb, Cu, Fe, Co y As.

En el *cuadrángulo de Caravelí* (en la parte oriental) se distribuyen afloramientos de rocas intrusivas cretáceo-paleógenas, resultando una anomalía alta en Au, moderada en Ag y débiles en Cu, Mo, Zn, Ni, Co, Fe y As.

Los minerales de la zona con significado económico son el oro nativo y los telururos (calaverita, silvanita, krennerita y petzita). Entre los principales minerales (menas) están aquellos con contenidos de oro nativo en varios tamaños granulares, pepitas y escamas, formando aleaciones en mayor o menor proporción con plata, cobre, hierro y metales del grupo del platino, y asociados casi invariablemente con cuarzo y sulfuros, excepto en zonas oxidadas cerca de la superficie.

El oro nativo generalmente contiene algo de plata como principal impureza y en menor concentración cobre y a veces hierro. Un caso particular es el electrum, donde el contenido de plata oscila entre 25 y 55%.

Los telururos constituyen el segundo tipo de minerales portadores de oro en importancia económica y los más comunes son silvanita (AuAgTe_4), calaverita (AuTe_2) y petzita (Ag_3AuTe_2); los menos comunes son krennerita ($\text{Au}_4\text{AgTe}_{10}$), hesita (Ag_2Te) y montbroyita (Au_2Te). Los minerales del último grupo contienen a menudo, además de plata, trazas de mercurio. Los telururos están generalmente asociados con pirita y uno o más otros sulfuros mencionados en adelante.

Las asociaciones más comunes con sulfuros, en orden de frecuencia son: pirita (FeS_2), arsenopirita (FeAsS), galena (PbS), calcopirita (CuFeS_2), esfalerita (o blenda, ZnS),

tetraedrita ((Cu,Fe)₁₂Sb₄S₁₃) y pirrotita (Fe₁₁S₁₂). Los menos frecuentes son: bornita (Cu₅FeS₄), chalcocita (Cu₂S), molibdenita (MoS₂), polibasita ((Ag,Cu)₁₆Sb₂S₁₁), proustita (Ag₃AsS₃), estefanita (Ag₅SbS₄), estibinita (Sb₂S₃) y tenantita((Cu,Fe,Ag)₁₂(SbAs)₄S₁₃).

En minerales oxidados, oro se encuentra asociado con productos comunes de descomposición metálica, como los óxidos de hierro y manganeso, los carbonatos y los silicatos de cobre.

Los minerales que forman la roca de ganga, acompañados por cuarzo, son: calcita (CaCO₃), sericita (filosilicato con Al, Si, K, Fe, Mg), fluorita (CaF₂), rodocrosita (MnCO₃), siderita (FeCO₃), feldspatos ((K,Na,Ca,Ba,NH₄)(Si,Al)₄O₈) y minerales de arcilla (tipo Al₂O₃ · 2SiO₂ · H₂O) (INGEMMET 2008).

2.4 Meteorología

La zona del proyecto presenta características de la región natural Yunga en el flanco occidental del Batolito de la costa, en la que se presenta temperaturas moderadas, bastante regulares y estables que se caracterizan como semi-cálida. Asimismo es una zona en la cual las precipitaciones son muy escasas con consecuentemente muy poca vegetación. Según información obtenida del “Mapa Ecológico del Perú¹”, la zona de Mollehuaca puede ser clasificada como “Desierto Desecado Montano Bajo Subtropical” (dd-MBS), con una precipitación promedio anual de unos 31 mm y una temperatura promedio anual de aproximadamente entre 12 y 18°C. El promedio de evapotranspiración potencial total por año varía entre 16 y 32 veces la precipitación, clasificando el área como “Superarido”.

No existen estaciones pluviométricas ni climáticas en los alrededores de Mollehuaca y el presente trabajo tampoco incluyó un monitoreo de parámetros meteorológicos. Sin embargo, existe información de diferentes proyectos realizados en la zona como datos de la estación meteorológica de Cháparra, la más cercana de la zona del proyecto (CGT 2012).

Según los datos de esta estación registrados entre los años 2009 - 2011, la temperatura media mensual es:

- De Enero a Marzo : entre 20.3 a 21.1 °C
- De Abril a Junio : entre 15.5 a 19.8 °C
- De Julio a Setiembre : entre 14.3 a 17.4 °C
- De Octubre a Diciembre : entre 16.9 a 19.6 °C

La precipitación total mensual promedio asciende a sólo unos 0.5 mm, siendo la máxima registrada sólo de 3.1 mm en el mes de enero del 2009; gran parte del año la precipitación es cero. Los vientos predominantes soplan del sur-oeste con una velocidad promedio de 2.3 m/s.

¹ <http://mapasplanosperu.blogspot.com/2011/02/mapa-ecologico-del-peru-onern-1976.html>

Dirección y velocidad del viento observados en un estudio ambiental (Magma SAC 2012) realizado en la proximidad inmediata a Mollehuaca son presentados en Tabla 2.2.

Tabla 2.2 – Dirección y velocidad de viento en Mollehuaca

Parámetro	Resultado de monitoreo	Coordenadas UTM de ubicación del monitoreo	Fecha de Monitoreo
Dirección principal de viento	Oeste	E: 8271487 N: 601195	14-15.08.2009
Velocidad promedio de viento [m/s]	2.17 (Min. 0.89 Max. 4.47)		

2.5 Hidrología

Mollehuaca se ubica en la sub cuenca Huanuhuanu que forma parte de la cuenca Chala que nace en la parte baja de la cordillera y se caracteriza por presentar lluvias irregulares y torrenciales. La quebrada desemboca después de unos 3.5 km a la quebrada Tocota río abajo y llega al mar recién de un recorrido de unos 37 km cerca de la población de Chala.

La quebrada generalmente es seca y solamente tiene un flujo esporádico durante pocos días en época de lluvias, cuando corre agua cargada con altas cantidades de sedimento, grava e inclusive rocas. Existe agua subterránea en el lecho de la quebrada durante todo el año con profundidades típicamente variando entre unos 3 y 10 metros. En Mollehuaca existe una variedad de pozos dentro o cerca de la quebrada que fueron utilizados en el pasado para el procesamiento del mineral. Hoy en día, el agua solamente es utilizada por algunas familias para lavar ropa, riego, bebida de animales e inclusive para consumo humano.

De todos los pozos encontrados en el área industrial histórica, se tomaron las coordenadas de los siguientes:

Pozos de agua potable en el área:		
	Este	Norte
Pozo 01	8272384	604007
Pozo 02	8272360	603965
Pozo 03	8272279	603761

No existe información detallada en la literatura sobre las características del acuífero UTM por debajo del lecho del río, incluyendo la dirección del flujo de agua subterránea o el caudal y cuota de recarga del acuífero. Considerando la topografía del terreno y el emplazamiento del acuífero en sedimentos de gravas con matriz arena-limosa, se puede concluir lo siguiente basándose en consideraciones genéricas:

- a. La dirección del flujo más probable es de nor-este hacia el sur-oeste.
- b. Basándose en la topografía, el gradiente hidráulico en el área industrial histórica es alrededor de 3.5%
- c. La conductividad hidráulica de los sedimentos en el lecho del río se espera en el orden de 10^{-4} a 10^{-2} cm/s.

De acuerdo a información recibida por la población, en época de lluvia (entre diciembre y febrero) el acuífero tiene una buena recarga que aproximadamente 0.5 - 1.3 l/s. En época seca, tanto el nivel de la napa freática como la cuota de recarga disminuyen significativamente.

2.6 Flora

El área de estudio es desértica y solamente existe una rala vegetación dentro del lecho del río. La vegetación encontrada se circunscribe a hierbas anuales de vida efímera, dominando las gramíneas así como arbustos, subarbustos y cactáceas de los géneros *Cereus* y *Opuntia*.

La siguiente información sobre la presencia de flora y fauna proviene del “Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Tambojasa”, realizado por EQUAS S.A. para la Compañía Minera Caravelí S.A.C. en el año 2004. Según este estudio, en el sector de Mollehuaca, la flora está representada por las especies indicadas en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 – Especies de Flora presentes en la zona de Mollehuaca

Nombre Común	Nombre Científico
Huarango	<i>Acacia macracantha</i>
Molle	<i>Schinus molle</i>
Carrizos	<i>Lasiacis ligulata pilger</i>
Nogal	<i>Juglans regia</i>
Pino	<i>Pinus sp.</i>
Olivos	<i>Olea europea</i>
Gramas	<i>Stenotaphrum secundatum</i>
Toñuz	<i>Pluchea chingoyo</i>

De la evaluación realizada sobre la flora silvestre, EQUAS concluyó que el área no presenta especies que se encuentran protegidas por los convenios internacionales como son: Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES).

Del mismo modo, no se registraron especies de flora amenazadas según la lista de especies de flora silvestre registrada en el D.S. N° 004-2014-MINAGRI.

Cultivos

En forma general, en la zona hay muy poca actividad agrícola. En la quebrada principal, en Tocota, se observan algunos árboles frutales, verduras y legumbres en un área

determinada. En Mollehuaca, tanto río abajo como río arriba de la población se encontraron pequeños campos de cultivos en la orilla del río, básicamente de maíz.

2.7 Fauna

Dado el medio geográfico en que se encuentra Mollehuaca, la fauna de animales silvestres es muy escasa y no se observó señales de vida silvestre durante los días de trabajos de campo. Solo se ha podido observar aves en tránsito. Sin embargo, según información de la población, en el lecho del río existen varios tipos de lagartijas. Ninguna de las personas entrevistadas ha visto otros reptiles como culebras en el área de Mollehuaca. De acuerdo a una investigación publicado por Péfaur (Péfaur et al. 1978), ciertas especies de lagartos y culebras son capaces de vivir en condiciones de aridez encontradas en las zonas desérticas de Arequipa. Al menos cuatro especies de lagartos pertenecientes a dos familias (Gekkonidae e Iguanidae), así como cinco especies de culebras, perteneciendo a dos familias (Colubridae y Viperidae), se encuentran en el Departamento de Arequipa. De estas especies, en la zona geográfica de Mollehuaca se podría esperar las siguientes especies de reptiles:

Culebras:

Dromicus augustilineatus (culebra)
Dromicus tachymenoides
Phylodryas elegans
Bothrops pictus

Lagartijas:

Phyllodactylus gerrhopygus (salamanqueja)
Tropidurus peruvianus

Con respecto a los aves que pueden ser presentes en la zona, existen los gallinazos (*Coragys atratus*) y palomas (*Leptotila verreauxi*), Cuculí (*Zenaida metoda*) y tórtola (*Streptopelia turtur*) (Magma 2012).

Para las instituciones internacionales como el CITES y la UICN no se registró ninguna especie de fauna silvestre en la categoría de protección.

De la lista de especies de fauna silvestre registrada se procedió a la categorización según D.S. N° 004-2014-MINAGRI, de la cual se determinó que en el área del proyecto, la *Bothrus pictus* está en la lista como “especie vulnerable”.

Animales Domésticos

En la localidad de Mollehuaca los animales domésticos más encontrados son burros y mulas, usados para el transporte de mineral. Según información recibida de la población, también existen familias con crianza de chanchos y aves.

3. Investigaciones Previas

3.1 Investigaciones de ARMA-GIZ

La ARMA en cooperación con la GIZ realizó en el pasado dos rondas preliminares de muestreo en Mollehuaca con un muestreo de suelos y polvo sedimentable. La primera investigación fue realizada en el mes de Octubre 2013 y la segunda en Noviembre 2013. Copias de los informes de las investigaciones preliminares se presentan en el Anexo F.

3.1.1 Muestreo del 11 de Octubre 2013

En la primera visita de campo realizada el 11 de Octubre 2013, se realizó una inspección preliminar del sitio con la toma de 4 muestras de suelos en el área histórica de quimbaletes. El análisis de las muestras tenía los siguientes resultados:

- a. Se confirmó una contaminación de los suelos con mercurio en el área histórica de quimbaletes por encima de niveles considerados seguros para la salud humana y el ecosistema. Entre los potenciales receptores más vulnerables de la contaminación, se identificaron niños que frecuentemente están jugando en el área impactada. En forma general, toda la población de Mollehuaca que vive adyacente a las áreas contaminadas es receptor potencial de una contaminación ambiental.
- b. La concentración de mercurio encontrada estaba entre 4 y 7 veces por encima del ECA establecido para suelos en áreas agrícolas, residenciales o parques, o sea en áreas con un potencial contacto frecuente y directo de la población al suelo. En relación al ECA establecido para áreas comerciales, industriales o extractivos, las concentraciones de mercurio sobrepasaban hasta el doble la concentración de 24 mg/kg que es considerada segura en áreas de este uso.
- c. La concentración del mercurio en el suelo potencialmente afectado por inundación durante la época de lluvias está unas 100 veces por encima de niveles considerados seguros para la fauna acuática de agua dulce (CCME 2002a). Se desconoce la magnitud del impacto en la zona agrícola río abajo.
- d. La granulometría muy fina del suelo en el área de las actividades mineras históricas, indica la presencia de desechos de la pulverización y amalgamación de minerales. Y es esta fracción del suelo donde se encuentra el mercurio microdisperso y al mismo tiempo la fracción más susceptible a la erosión eólica e hidrológica.

3.1.2 Muestreo del 29 de Noviembre 2013

Basándose en los resultados de la primera investigación, se realizó una segunda visita de campo donde se llevó a cabo el muestreo de suelos y polvo sedimentable, tanto del área industrial, el parque industrial como de centro poblado de Mollehuaca para realizar un análisis de metales pesados y elementos traza. La Tabla 3.1 describe el punto de muestreo y la Tabla 3.2 los resultados de análisis de parámetros que excedieron los ECA según D.S. 002 2008-MINAM.

Tabla 3.1 – Descripción de puntos de muestreo

Suelo 01	Relave del molino chileno, parque industrial
Suelo 02	Suelo en área histórica de quimbaletes
Suelo 03	Polvo sedimentable, tomado en el techo de una casa ubicada en la zona urbana de Mollehuaca
Suelo 04	Suelo de la acera de una casa ubicada en la zona urbana de Mollehuaca

Tabla 3.2 – Resultados de los análisis de metales pesados y arsénico en mg/kg

Parámetro	Suelo 1	Suelo 2	Suelo 3	Suelo 4	ECA Perú suelo
As	11246	424,2	786,6	348,9	50*/50**/140**
Cd	42,8	ND	5,9	1,3	1,4*/10**/22**
Pb	6233	312,3	940,6	332,2	70*/140**/1200***
Hg	36,8	81,3	27,3	18,0	6,6*/24**

* suelos agrícolas,** áreas residenciales y parques; **suelos comerciales, industriales y extractivos

Análisis de la composición mineralógica de un mineral de la zona

El relave de un mineral típico de zona, proveniente de un proceso de amalgamación realizado en un Molino Chileno, fue analizado para determinar metales pesados, metales mayores y elementos trazas. Los resultados de contaminantes potenciales con las concentraciones más elevadas se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 – Resultado de un análisis químico de un mineral de la zona de Mollehuaca (en mg/kg)

Parámetro	Concentración	ECA*	Parámetro	Concentración	ECA*
Antimonio	24.8	20**	Hierro	53191	
Arsénico	11246	50	Manganeso	701.5	
Boro	226.4		Mercurio	36.8	6.6
Cadmio	42.8	10	Plata	36.3	
Cobre	810.7	63**	Plomo	6233	140
Cromo	30.6	64	Vanadio	60.2	130**
Estroncio	138.3		Zinc	475.7	200**

*para suelos en áreas residenciales y parques

**SQG Canadá (CCME 2002b) (lineamiento de calidad de suelos en áreas residenciales y parques)

En el relave analizado, se detectó concentraciones de mercurio, arsénico, plomo y cadmio por encima de los ECA Peruanos para áreas residenciales y parques. Además, las concentraciones de antimonio, cobre y zinc exceden el lineamiento de calidad establecido para suelos en áreas residenciales y parques por el Ministerio de Medio Ambiente de Canadá (CCME 2002b).

Las elevadas concentraciones de hierro, arsénico, cobre, plomo, zinc y cadmio indican la presencia de minerales sulfurosos como pirita (FeS_2), arsenopirita (FeAsS), galena (PbS), calcopirita (CuFeS_2), esfalerita (o blenad, ZnS), tetraedrita ($(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) o pirrotita ($\text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$), lo que son típicos componentes mineralógicos de la zona (ver Sección 2.3).

Debido a que existe una disposición incontrolada de relaves con características similares en el área industrial histórica, se debe tomar en cuenta la potencial contaminación ambiental con estos metales pesados y metaloides encontrados por encima de estándares ambientales nacionales y/o internacionales.

3.2. Otras Investigaciones anteriores realizadas en la zona

3.2.1 Estudio Epidemiológico de Mollehuaca

El Instituto de Salud y Trabajo (ISAT) realizó en el año 2001 un estudio epidemiológico en Mollehuaca investigando el estado de salud y niveles de exposición ambiental y ocupacional que tienen los niños que viven en esta Comunidad (ISAT 2001). Se realizaron análisis de orina para la evaluación de la exposición a mercurio y se aplicó una encuesta para valorar la exposición ambiental y ocupacional. Los resultados encontrados mostraron un alarmante porcentaje de niños con desnutrición crónica, seguido de porcentajes importantes de niños con niveles de maduración y capacidad intelectual por debajo del promedio esperado. No se encontraron resultados significativos de alteraciones en el sistema nervioso, de síntomas osteomusculares. La determinación de niveles de exposición ambiental y ocupacional, ubica a la mayoría de niños, se encontraron en niveles medio a alto.

3.2.2 Estudios de Impacto Ambiental realizadas en la zona

Existen varios Estudios de Impacto Ambiental que fueron realizados en la provincia de Caravelí y en cercanía al poblado de Mollehuaca. Los datos relevantes para el presente trabajo son particularmente los resultados de monitoreo de la calidad de aire y algunos datos sobre la calidad de suelo y agua subterránea.

Los resultados del monitoreo de las partículas suspendidas en el aire por debajo de 10 micrones (PM10) presentados en diferentes estudios se resume en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 – Resultados de Monitoreo de PM10 en el área de estudio

Coordenadas UTM de Ubicación de Monitoreo	Descripción del Punto de Monitoreo	Concentración de PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fuente (año de medición)
8 271,487 Norte 601,195 Este	Barlovento del Proyecto	57	Magma SAC (2012)
8 271,490 Norte 601,315 Este	Sotavento del Proyecto	94	
8 270 353.01 Norte 598,926 Este	Área Plante de Beneficio Chacchuille	124 (Marzo) 146 (Diciembre)	CGT (2012)
8 274000 Norte 595000 Este	U.E.A. "San Andrés", Mina "San Juan"	40	Palomino Delgado (2004)
8 272 022 Norte 603167 Este	U.E.A. "Capitana" (Esperanza), Mina "Chino"	81	
8 266 000 Norte 8 279 000 Este	Planta de Beneficio	87	
8 253 908 Norte 580 793 Este	Barlovento del Proyecto	10	ACOMISA (2011)
8 253 137 Norte 580 251 Este	Sotavento del Proyecto	42	

La concentración de PM10 encontrada en estas investigaciones está en el rango de 10 a

146 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un promedio de 76.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95 % de la media aritmética (UCL95)² de 102.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En comparación con el promedio aritmético, el UCL95 es considerado un valor más relevante para describir concentraciones en evaluaciones ambientales por ser una medida de la “exposición máxima razonable” (US EPA 1989).

En el proyecto de la modificación del Estudio de Impacto Ambiental “Planta de Beneficio Chacchuille” realizado para la Compañía Minera Caravelí S.A.C. (Informe N° 1486-2012-MEM-AAM) (CGT 2012), se realizó un análisis químico de las partículas PM10 acumuladas y de gases de combustión (Tabla 3.4).

Tabla 3.4 – Resultados de monitoreo de aire realizados 2011 en el área de la Planta de Beneficio Chacchuille, Compañía Minera Caravelí (CGT 2012) (resultados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Parámetro	Marzo	Diciembre
SO ₂	0.35	1.5
H ₂ S	0.17	0.08
NO ₂	1.14	3.28
CO	2209	1406
Pb	0.035	0.055
As	0.1696	0.0219

4. Selección de Áreas de Preocupación Potencial (APPs) y Contaminantes de Preocupación Potencial (CPPs)

4.1 Selección de APPs

Basándose en los resultados analíticos, informes históricos e información proporcionada por la AMIM, las siguientes áreas fueron identificadas como “Áreas de Potencial Preocupación” (APP):

1. Área de actividad histórica minera (área de quimbaletes)
El área fue dividida en 7 sub-áreas (I, IIA, IIB, IIC, IIIA, IIIB, IV) y tiene una superficie total de aproximadamente 1.8 ha.
2. Área agrícola (actividades agrícolas históricas y potencialmente futuras)
El área fue dividida en 2 sub-áreas VA y VB con un superficie total de 12.5 ha aproximadamente.
3. Área urbana de Mollehuaca

La Tabla 3.5 contiene las coordenadas UTM y superficie de las APPs definidas para una investigación más detallada. Las APPs son presentadas en la Figura 2 (Anexo C).

² Calculado con el programa estadístico PROUCL de la US EPA.

Tabla 3.5 – Coordenadas UTM de las APP en el norte, sur, este, oeste y centro de cada APP

Área	N	S	E	OE	Centro	Superficie en m ²
I	603461 8272178	603464 8272138	603537 8272171	603349 8272128	603457 8272153	5400
IIA	603654 8272240	603657 8272217	603709 8272227	603609 8272209	603654 8272228	2000
IIB	603722 8272267	603725 8272246	603746 8272264	603686 8272247	603720 8272257	1200
IIC	603820 8272296	603804 8272269	603842 8272295	603767 8272267	603802 8272280	1750
IIIA	603946 8272364	603948 8272344	604000 8272358	603900 8272342	603949 8272354	1500
IIIB	604054 8272406	604059 8272364	604125 8272391	604001 8272383	604058 8272386	4050
IV	604646 8272584	604648 8272559	604680 8272594	604616 8272545	604652 8272576	1900
VA	602862 8272097	602860 272038	603132 272116	602556 8272033	602854 8272066	41.000
VB	601836 8271909	601836 8271800	602207 8271931	601498 271803	601848 8271855	83.500

4.2 Selección de CPPs

Basándose en los resultados analíticos de las investigaciones históricas y la información obtenida durante las visitas de campo, se identificaron los siguientes CPPs:

mercurio (Hg)	antimonio (Sb)
arsénico (As)	cobre (Cu)
plomo (Pb)	zinc (Zn)
cadmio (Cd)	

Sin embargo, en vez de buscar solamente estos siete elementos, en el presente estudio se incluyeron un total de 30 metales pesados, metaloides y otros elementos trazas en el análisis de las muestras de suelos, sedimentos y polvo sedimentable para cubrir un espectro más amplio de potenciales contaminantes presentes en los diferentes minerales procesados.

5. Estándares de Calidad Ambiental para la Evaluación de Datos

El artículo 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 al ambiente. Consecuentemente, para identificar un potencial riesgo para la salud o para el medio ambiente se inicia con una comparación de los resultados

analíticos con los ECA establecidos en el D.S. N° 002-2013-MINAM (para suelo) y el D.S. N° 002-2008-MINAM (para cuerpos de agua). Para contaminantes sin ECA nacionales se adaptan estándares ambientales internacionalmente aceptados (NEPM 2013, CCME 2002).

5.1 Estándares de Calidad Ambiental de Suelos

En primer lugar, las concentraciones de los suelos son comparados con los ECA según D.S. N° 002-2013-MINAM. CPPs y otros elementos que no son definidos en la legislación peruana son comparadas con las Guías de Calidad Ambiental para la protección de la Salud Humana y del Ecosistema de Canadá (SQGs; CCME 2002). Además, se utilizan los Niveles de Investigación para la protección de Salud Humana (HILs) establecidos por las autoridades Australianas para específicamente evaluar el riesgo para la salud humana (NEPM 2013).

La Tabla 5.1 resume los estándares de calidad ambiental adaptados para la evaluación de los resultados analíticos de suelos.

Tabla 5.1 – Estándares de Calidad Ambiental de Suelos

Parámetro	ECA Perú (D.S. N° 002-2013-MINAM)			SQG ³ Canadá (CCME 2002)		HIL ⁴ Australia (NEPM 2013)
	Suelos agrícolas	Áreas residenciales y parques	Suelos comerciales, industriales y extractivos	Suelos agrícolas	Áreas residenciales y parques	Áreas residenciales y parques
Ag				20	20	
As	50	50	140	12	12	500
Ba	750	500	2000	750	500	
Be				4	4	90
Cd	1.4	10	22	1.4	10	150
Co				40	50	600
Cr				64	64	
Cu				63	63	30 000
Hg	6.6	6.6	24	6.6	24	120
Mo				5	10	
Ni				50	50	1200
Pb	70	140	1200	70	140	1200
Se				1	1	1400
Sb				20	20	
Sn				5	50	
Th				1	1	
U				23	23	
V				130	130	
Zn				200	200	60 000

Se nota que los ECA de Perú y las SQGs de Canadá son considerablemente más bajos

³ Guía de Calidad Ambiental para la protección de la Salud Humana y Ecosistema (soil quality guidelines)

⁴ Nivel de Investigación para protección de Salud Humana (human health investigation level); para alta densidad poblacional

que los Niveles de Investigación Australianas para la protección de Salud Humana. La principal diferencia en el cálculo de estos estándares es la definición de los organismos receptores de una potencial exposición. Mientras el estándar Australiano se basa únicamente en el riesgo para la salud humana, los estándares de Perú y Canadá tienen un enfoque más amplio, considerando también receptores ecológicos que frecuentemente son más sensibles a una exposición que el cuerpo humano mismo. Una excedencia de los HILs generalmente significa una amenaza seria para la salud humana y particularmente en centros poblados como Mollehuaca debe ser investigada cuidadosamente.

5.2 Estándares de Calidad Ambiental de Sedimentos

En Perú no se ha definido estándares ambientales para sedimentos de cuerpos de agua dulce o del ecosistema marino. Por lo tanto, en general se adaptan estándares internacionales para evaluar un impacto potencial al ecosistema acuático por sedimentos contaminados (ver por ejemplo US EPA 2013, CCME 2002).

Debido a que la zona contaminada en la quebrada Huanuhuanu tiene una distancia de unos 37 km de la desembocadura al mar en Chala y que con excepción a unos pocos días en el año es completamente seca, se considera improbable que el sedimento contaminado de la quebrada tenga un impacto significativo al ecosistema marítimo. Por lo tanto, se evalúa la concentración de contaminantes en los sedimentos de la quebrada utilizando los estándares de calidad ambiental de suelos como indicados en la Tabla 5.1.

5.3 Estándares de Calidad Ambiental de Agua Subterránea y Agua Potable

Los resultados analíticos del agua subterránea son comparados con la categoría 3 del D.S. N° 002-2013-MINAM (agua para el riego de vegetales y bebida de animales). La calidad del agua usada para consumo humano es evaluada utilizando los estándares de la categoría 1 del mismo decreto (el agua que puede ser potabilizada con desinfección).

Tabla 5.2 – Estándares de Calidad Ambiental de Agua Subterránea y Agua Potable

Parámetro	Unidad	Agua que puede ser potabilizada con desinfección	Riego de vegetales y bebida de animales
Ag	mg/L	0.01	
Al	mg/L	0.2	5
As	mg/L	0.01	0.05
Ba	mg/L	0.7	0.7
Be	mg/L	0.004	
B	mg/L	0.5	0.5-6
Cd	mg/L	0.003	0.005
Cr VI	mg/L	0.05	0.1
Cr total	mg/L	0.05	
Cu	mg/L	2	0.2
Hg	mg/L	0.001	0.001
Mn	mg/L	0.1	0.2
Ni	mg/L	0.02	0.2
Pb	mg/L	0.01	0.05
Se	mg/L	0.01	0.05

Parámetro	Unidad	Agua que puede ser potabilizada con desinfección	Riego de vegetales y bebida de animales
Sb	mg/L	0.006	
U	mg/L	0.02	
V	mg/L	0.1	
Zn	mg/L	3	2
Conductividad	μS/cm	1500	<2000
Sólidos Suspendidos	mg/L	1000	
Cloruro	mg/L	250	100-700
Sulfato	mg/L	250	300
Turbidez	NTU	5	
Sulfuro	mg/L	0.05	0.05
pH		6.5-8.5	6.5-8.5
E Coli	NMP/ 100 ml	0	100
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 ml	0	1000

6. Trabajo de Campo

La visita de campo y las actividades de muestreo fueron realizadas entre el 10 y 12 de febrero 2014. Un resumen con las coordenadas de los puntos de muestreo y códigos de muestras se encuentra en la Tabla A1 en el Anexo 1.

6.1 Muestreo de Suelos, Sedimentos y Polvo Sedimentable

Para el muestreo de suelos y sedimentos se tomaron muestras en una profundidad entre unos 5 a 20 cm para muestras superficiales y unos 30 a 50 cm para muestras profundas. El muestreo fue realizado con una pala de acero inoxidable, luego las muestras liberadas de piedras y otros materiales como basura o raíces fueron inmediatamente guardadas en frascos de plástico herméticamente cerrados para evitar una evaporación de mercurio elemental. Los frascos fueron etiquetados y guardados en un conservador, protegidos del sol. De cada punto se registraron las coordenadas UTM y las características físicas del suelo (ver Tabla A1).

Para evaluar la concentración de contaminantes en partículas suspendidas en el aire, se tomaron muestras de polvo acumulado en techos de casas en distintos puntos de la población Mollehuaca. Las muestras fueron manejadas de la misma manera que las muestras de suelos y sedimentos.

6.2 Muestreo de Agua Potable y Subterránea

Las muestras de agua potable y agua subterránea fueron tomadas de acuerdo a procedimientos internacionalmente aceptados (UN ECE 2000).

Las muestras de agua subterránea fueron tomadas de pozos activos y por lo tanto el agua recolectada puede ser considerada representativa para el acuífero. No se realizó ninguna preparación específica como la purga del pozo antes de la toma de muestras. Las muestras de agua de pozos subterráneos fueron extraídas con un bailer (tubo

muestreador) de polietileno.

El transporte de las muestras fue realizado bajo una estricta cadena de custodia para asegurar la calidad de las muestras entre muestreo y análisis en el laboratorio. La cadena de custodia permitió asegurar las características originales de las muestras desde la recolección (toma), embalaje, transporte y análisis. Las cadenas de custodia son presentadas en el Anexo D, junto con los informes del laboratorio.

6.3 Análisis de Laboratorio

Las muestras de suelos, sedimentos, polvo sedimentable y aguas fueron analizadas en el laboratorio Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R. Ltda. (LAS) de Arequipa. Dicho laboratorio tiene una acreditación emitida por INDECOPI de acuerdo a la norma NTP-ISO/IEC 17025.2006 que incluye el análisis de metales pesados y metaloides en suelos y aguas (registro de acreditación: LE – 050).

La Tabla 6.1 presenta los límites de detección (LD) de metales, metaloides, metales mayores y elementos traza en suelos (polvo), sedimentos y aguas.

Tabla 6.1 – Elementos analizados en los suelos, sedimentos y polvo sedimentable con LDs típicos.

Elemento	LD en suelos/ sedimentos (mg/kg)	LD en aguas (mg/L)	Elemento	LD en suelos/ sedimentos (mg/kg)	LD en aguas (mg/L)
Ag	0.24		Mg	0.51	
Al	2.9		Mn	0.03	
As	0.12	0.0012	Mo	0.038	
B	0.53		Na	5.3	
Ba	0.066		Ni	0.051	
Be	0.0079		P	0.54	
Ca	1.6		Pb	0.26	0.0026
Cd	0.011	0.00011	Sb	0.049	0.00049
Co	0.0094		Se	0.2	
Cr	0.039	0.00039	Sn	0.085	
Cu	0.19	0.002	Sr	0.13	
Fe	1.6	0.016	Ti	0.068	
Hg	0.041	0.00041	Tl	0.13	
K	3.6		V	0.014	
Li	0.021		Zn	0.31	0.0031

Ensayo TCLP⁵

Para la determinación de la característica de toxicidad por lixiviación se realizó el ensayo TCLP según el estándar EPA 1311 de la U.S. EPA. Este procedimiento ha sido diseñado para determinar la característica de toxicidad por lixiviación. En definitiva, el procedimiento consiste en determinar la movilidad de un determinado contaminante en el residuo y por lo tanto representa una medida de la biodisponibilidad del contaminante que tiene una directa relación con su toxicidad.

En el caso de los suelos y polvos sedimentables, la lixiviación fue realizada con una solución lixiviante de un pH de 2.88 ± 0.05 .

6.4 Muestras de Control de Calidad

Para evaluar la incertidumbre del muestreo y proceso analítico, se tomaron muestras duplicadas y muestras blanco de campo, tal como se describe a continuación:

- Muestra blanco de campo, cuyo propósito es confirmar que no se introdujo ningún contaminante inadvertidamente durante el muestreo de aguas o mientras los frascos de muestreo estaban sobre el terreno. Esta muestra consistió en un envase de agua destilada que se dejó abierto durante un lapso de unos 5 minutos en el campo y fue analizada para metales pesados y metaloides.
- Muestras Duplicados, las cuales fueron tomadas para verificar la precisión combinada entre el muestreo de campo y el análisis de laboratorio. La ubicación y código de los duplicados de campo están presentados en la Tabla A1 del Anexo 1.

Tabla 6.2 - Muestras de Calidad de campo y criterios de aceptación

Muestra de Calidad	Criterio de aceptación	Condición de criterio
Duplicado de campo	DRP < $\pm 30\%$	muestras con concentraciones >10 x LD
	DRP < $\pm 50\%$	muestras con concentraciones 3-10 x LD
	Sin criterio	muestras con concentraciones <3 x LD
Blanco de campo	<3 x LD	

DRP: diferencia relativa en porcentaje; LD: límite de detección

La DRP se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula de los resultados analíticos x, y.

$$DRP = \frac{|x - y|}{\left(\frac{|x + y|}{2}\right)}$$

Dentro del laboratorio (intra-laboratorial) existe un plan de control de calidad de los resultados analíticos que incluye las siguientes medidas:

⁵ TCLP: "Toxicity Characteristic Leaching Procedure", Características de toxicidad por procedimiento de lixiviación

- Cada lote de muestras a analizar, incluye blancos de proceso, estándares de referencia internos y duplicados de muestra. El control de calidad de los análisis químicos se hace a través de un monitoreo de la precisión, exactitud y veracidad.
- La veracidad se controla mediante la inserción de muestras estándares hechos en casa, que fueron sometidas a una ronda inter-laboratorios, con el objeto de determinar el valor aceptado y los intervalos de confianza, dentro de los cuales deberán moverse los resultados en el tiempo. Adicionalmente a estos estándares, se incluyen Estándares Certificados para chequear procedimientos analíticos y monitorear la reproducibilidad y exactitud de los resultados.

Tabla 6.3 - Muestras de Calidad Intra-Laboratorio y criterios de aceptación

Muestra de Calidad Intra-Laboratorio	Criterio de Aceptación
Blanco reactivo del laboratorio	< LD
Chequeo de control instrumental	90 -110% de recuperación del analito
Blanco Fortalecido de laboratorio	85 -115% de recuperación del analito
Matriz Fortalecida de laboratorio (estándar interno; "spike")	70 -130% de recuperación del analito

Los detalles de la calificación de los resultados analíticos se presentan en la Tabla A9 del Anexo 1. En resumen, se puede concluir que:

- Las muestras fueron tomadas de acuerdo a procedimientos internacionalmente aceptados.
- Las cadenas de custodia demuestran que existía una documentación y custodia ininterrumpida desde la toma hasta la entrega al laboratorio.
- Los resultados de las muestras de calidad de campo están dentro de las especificaciones. Excepción es un resultado de magnesio que estaba fuera de la especificación pero que no tiene una influencia para la interpretación de los datos.
- El laboratorio realizó el programa de control de calidad de acuerdo a su reglamento interno aprobado por INDECOPI. Según el informe de análisis, todas las muestras de control estaban dentro de sus especificaciones correspondientes.

Como conclusión, los datos analíticos están considerados aptos para su uso de evaluación de la contaminación ambiental del sitio.

7. Análisis e Interpretación de Resultados

Un resumen de los resultados analíticos se presenta en el Anexo 1 (Tablas A3 a A8). Los informes del laboratorio se adjuntan en el Anexo D.

7.1 Suelos y Sedimentos

7.1.1 Concentraciones de Fondo

La Tabla 7.1 demuestra las concentraciones de fondo de los CPPs y su localización relativa al área histórica industrial de Mollehuaca.

Tabla 7.1 – Concentraciones de fondo de los CPPs

Concentración en mg/kg							
Localización	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Sb	Zn
1.7 km río abajo	14.3	0.58	19.2	1.24	19.7	0.661	27.8
1.3 km río arriba	6.78	0.70	27.8	<0.041	10.9	0.53	27.9
Promedio	10.5	0.6	23.5	0.6	15.3	0.6	27.9
Desv. Estándar	5.3	0.09	6.1	0.9	6.2	0.1	0.1
Rango de concentración típica en el ambiente	0.2 – 40 (OMS 1981)	0.01– 0.7 (Lindsay 2001)	2-50 (B.Alloway 2012)	0.02-0.63 (ATSDR 1999)	2-200 (Lindsay 2001)	0.5-1.5 (USEPA 2010)	3-264 (Holmgreen 1993)

Ambas muestras de suelos tomadas a distancias entre 1.4 y 1.7 del área histórica industrial de Mollehuaca tienen concentraciones de los CPPs dentro del rango típico para suelos no impactados por actividades industriales o de minería. Las bajas concentraciones de CPPs en la muestra tomada 1.7 km río abajo indican que el impacto de contaminantes distribuidos por erosión eólica provenientes de la Compañía Minera Caravelí no parece ser significativo para la población de Mollehuaca.

7.1.2 Suelos en la zona agrícola

Todas las concentraciones de CPPs como de otros elementos analizados en la zona agrícola histórica están por debajo de las ECA Peruanos y/o SQGs Canadienses (ver Tabla 7.2). Por lo tanto, no hay evidencia de una contaminación por metales pesados o metaloides en esta zona, ubicada río abajo de Mollehuaca. Considerando las concentraciones de elementos analizados, los suelos son aptos para la agricultura.

Las bajas concentraciones de metales pesados río abajo de Mollehuaca no soportan la discutida hipótesis de que la contaminación de suelos en Mollehuaca podría tener el origen en actividades de la Compañía Minera Caravelí, ubicada a unos 5 km río más abajo del área industrial histórico de Mollehuaca.

Tabla 7.2 – Concentraciones de CPPs en la zona agrícola histórica.

Punto	Coordenadas UTM de la Ubicación	Concentración en mg/kg						
		As	Cd	Cu	Hg	Pb	Sb	Zn
		ECA/SQG						
		50	1.4	63	6.6	70	20	200
I - 1	N:0601499 - E:8271827	14.3	0.578	19.2	1.24	19.7	0.661	27.8
I - 2	N:0601979 - E:8271905	21.1	0.877	21.1	0.351	15	1.12	32.8
I - 3	N:0602792 - E:8272000	26.2	1.02	21.5	0.798	18.1	1.27	37.3
I - 4	N:0602792 - E:8272000	23.5	0.969	18.1	0.836	13	1.35	35.5
I - 5	N:0603065 - E:8272102	31.2	1.04	23.1	1.38	15.4	1.94	37
	Promedio	23.3	0.9	20.6	0.9	16.2	1.3	34.1
	Desv. Estándar	6.3	0.2	2.0	0.4	2.7	0.5	3.9

7.1.3 Suelos en el área industrial histórica de Mollehuaca

Los resultados de análisis de los suelos tomados en el área industrial histórica de Mollehuaca son presentados en las Tablas A4 y A5 del Anexo 1. Un resumen con una evaluación estadística se presenta en la Tabla 7.3.

Como concentración representativa asignada al medio fuente se considera el Límite Superior del Intervalo de Confianza Unilateral del 95 % de la media aritmética (95% Upper Confidence Limit o UCL95) de los datos de concentración determinados. En otras palabras, más de 95% de muestras tomadas en cualquier punto del área estadísticamente tienen concentraciones por debajo del valor UCL95 calculado. Tomando en cuenta los valores UCL95 de los CPPs en el área, se nota que los UCL95 de los elementos As, Cu, Hg y Pb, tanto en muestras profundas como en superficiales, están muy por encima de los estándares ambientales adaptados. Los otros CPPs, Cd, Sb y Zn, tienen valores UCL95 por debajo de los estándares ambientales adaptados (ver Tabla 7.3). El Sb no excede en ninguna muestra el estándar adaptado.

Del total de las 28 muestras superficiales, el Hg y el As son los elementos con la mayor cantidad de excedencias del ECA (75% cada uno), seguido por el Cu (67.9%) y el Pb (64.3%). En las muestras tomadas en profundidades entre unos 0.3 y 0.5 m, el Hg es el elemento con más excedencias del ECA (71.4%), seguido por As (57.1%), Cu (57.1) y Pb (42.9%).

Tabla 7.3 – Resumen estadístico de resultados analíticos de CPPs en el área industrial histórico de Mollehuaca

Área	Elemento	# muestras	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar	UCL95	Estándar Ambiental*	# muestras excediendo Estándares	% excedencias
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			
Suelo superficial área quimbaletes (0.05 – 0.2m)	As	28	12	1840	353.2	440.7	534.4	50	21	75
	Cd	28	<1	13.3	3.885	3.638	5.51	10	2	7.1
	Cu	28	16.7	1868	212.9	307.3	316.2	63	19	67.9
	Hg	28	0.873	408	60.4	82.94	88.43	6.6	21	75
	Pb	28	16.5	1890	430.5	474.7	637.4	140	18	64.3
	Sb	28	0.452	14	3.266	3.434	4.40	20	0	0
	Zn	28	18.9	368	103.9	86.36	135.0	200	5	17.9
Suelo profundo área quimbaletes (0.3 – 0.5m)	As	7	20.4	635	260.2	274.2	461.6	50	4	57.1
	Cd	7	0.569	10.5	3.389	3.543	5.99	10	0	0
	Cu	7	18.3	639	199.1	235.9	372.4	63	4	57.1
	Hg	7	1.38	409	89.92	145.7	388.7	6.6	5	71.4
	Pb	7	27.3	1680	387.6	594.9	1361	140	3	42.9
	Sb	7	0.556	8.32	3.14	3.23	7.81	20	0	0
	Zn	7	22.9	328	97.26	107.2	219.8	200	1	14.3

*Estándar ambiental adaptado para áreas residenciales y parques

7.1.4 Sedimentos en el lecho del río Huanuhuanu

En la Tabla 7.4 se presenta un resumen de los resultados analíticos de sedimentos tomados en el lecho del río Huanuhuanu. Los puntos de muestreo y los resultados analíticos se presentan en el Anexo 1 (Tabla A6).

Tabla 7.4 - Resumen estadístico de resultados analíticos de sedimentos del río Huanuhuanu

Elemento	# muestras	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar	UCL95	Estándar Ambiental*	# muestras excediendo Estándares	% excedencias
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			
As	4	9.30	44.30	19.65	16.60	¹⁾	50	0	0.0
Cd	4	0.29	1.14	0.70	0.46	¹⁾	10	0	0.0
Cu	4	11.60	67.60	31.53	25.80	¹⁾	63	1	25.0
Hg	4	0.13	1.57	0.89	0.69	¹⁾	6.6	0	0.0
Pb	4	8.78	23.80	14.85	7.10	¹⁾	140	0	0.0
Sb	4	0.78	1.34	1.11	0.25	¹⁾	20	0	0.0
Zn	4	13.6	42.9	30.23	12.94	¹⁾	200	0	0.0

¹⁾ número de muestras insuficiente para realizar el cálculo de UCL95

Ninguna concentración promedio de los CPPs excede los estándares ambientales adaptados. Solamente una muestra tenía una concentración de Cu levemente encima de su estándar ambiental adaptado.

Los resultados analíticos de los sedimentos tomados en el área industrial histórica demuestran que por la erosión hídrica ocurrida en época de lluvia existe una atenuación natural de la contaminación resultando en una significativa reducción de la concentración de los CPPs.

Aparte del efecto de la atenuación natural de la contaminación, se evidenció una significativa inestabilidad de la infraestructura existente por causa de la erosión hídrica que a corto o mediano plazo podría resultar en deslizamientos o derrumbes importantes que podrían amenazar casas construidas en la cercanía del río (ver Fotos 1 y 3, Anexo E).

7.1.5 Suelos en el área urbana de Mollehuaca

La Tabla 7.5 presenta un resumen estadístico de los resultados analíticos de suelos tomados en el área urbana de Mollehuaca. Los resultados en detalle se presentan en la Tabla A5 del Anexo 1.

Tabla 7.5 – Resumen estadístico de resultados analíticos de CPPs en suelos en el área urbana de Mollehuaca

Elemento	# muestras	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar	UCL95	Estándar Ambiental*	# muestras excediendo Estándares	% excedencias
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			
As	22	9.72	348.9	46.28	71.74	68.15	50	5	22.7
Cd	22	0.418	1.75	0.78	0.315	0.90	10	0	0
Cu	22	16.8	161.3	44.73	29.77	54.62	63	1	4.5
Hg	22	<0.04	19.4	3.06	5.43	14.58	6.6	2	9.1
Pb	22	6.18	332.2	37.62	71.72	104.3	140	1	4.5
Sb	22	0.423	3.67	1.439	0.79	1.78	20	0	0
Zn	22	12.5	215	47.1	53.01	96.37	200	1	4.5

Los resultados demuestran que los suelos dentro de la población de Mollehuaca son impactados por la contaminación ambiental de la actividad minera, aunque en menor grado comparado con los suelos del área industrial histórica. El arsénico es el elemento detectado con mayor frecuencia encima del ECA (22.7% de las muestras), seguido por el mercurio con una excedencia del ECA en 9.1% de las muestras. De los otros CPPs, el Cd y Sb no fueron detectados en ninguna muestra por encima de su estándar ambiental adaptado y el Cu, Pb y Zn se detectaron en una sola muestra tomada al costado de la calle (S04) que por su composición química parece ser resultado de un derrame de relave. En general, la mayor parte de las muestras encontradas con excedencias de ECA fueron encontradas en o en proximidad inmediata a calles (trochas).

7.1.6 Ensayos de TCLP

La determinación de los contenidos totales de metales pesados y metaloides en el suelo y sedimentos no es suficiente para evaluar el grado de Impacto Ambiental de una fuente contaminante, por lo que se hace necesario cuantificar y caracterizar las especies iónicas presentes. Dentro de las fases identificadas se tienen las fases biodisponibles de cada elemento, dimensionando así el real impacto que causa sobre los seres vivos. Para que los metales pesados y metaloides puedan ejercer su toxicidad sobre un ser vivo, éstos deben encontrarse disponibles para ser captados por éste, es decir que el elemento debe estar biodisponible. El ensayo de lixiviación TCLP es considerado adecuado para evaluar la biodisponibilidad y por tanto la toxicidad de un contaminante en suelos.

La Tabla 7.6 resume los resultados de los ensayos de TCLP realizados con suelos y polvo sedimentable impactados, comparando los resultados con valores de referencia considerados seguro para el ecosistema (NSW EPA 2009).

Tabla 7.6 – Resumen de resultados de ensayo de TCLP

Ubicación	As		Cd		Hg		Pb	
	Conc. Suelo	TCLP	Conc. Suelo	TCLP	Conc. Suelo	TCLP	Conc. Suelo	TCLP
	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/L	mg/kg	mg/L
TCLP límites; NSW EPA Clasificación de residuos		5		1		0.2		5
I - 14 Zona reforestada	808	1.036	13.3	0.29336	207	0.825	1890	1.079
I - 28 Zona verde (ex quimbalete)	600	0.3497	10.5	0.04199	409	0.178	1680	0.0469
I - 35 zona ex quimbalete	1840	4.221	3.32	0.21742	36.9	0.835	214	0.0048
M - 54 Polvo techo casa.Mz.B-Lt.2	204	0.0583	2.81	0.00723	7.47	<0.012	361	0.0142
S01; relave de chileno molino					36.8	0.0085		
S02; Área IIA; suelo zona ex quimbaletes					81.3	0.38		
S03; polvo de techo					27.3	0.0227		
S04; suelo del lado de calle					18	0.052		

Las concentraciones de As, Cd y Pb encontradas en el lixiviado están por debajo del límite adaptado. En comparación, el Hg tenía concentraciones en 3 muestras por encima del límite de 0.2 mg/L. Probablemente por la compleja química del mercurio que se encuentra en forma elemental, amalgamado y posiblemente también en forma inorgánica por la reacción con sulfuros presentes en los minerales, no existe una clara correlación entre la concentración de Hg en el suelo y/o en el polvo sedimentable y en el lixiviado. Debido a que las condiciones en el área afectada por la contaminación no son favorables para la formación de metilmercurio, la probabilidad de la formación de este compuesto es considerada baja. En forma general, una concentración de mercurio promedio de 102 mg/kg resultó en una concentración promedio en el lixiviado de 0.29 mg/L. Como consecuencia, se puede estimar una concentración crítica de mercurio de aproximadamente 70 mg/kg en el suelo para obtener un máximo de 0.2 mg/L de mercurio en el lixiviado.

7.2 Delineación horizontal y vertical de la contaminación

La comparación de los resultados obtenidos de las muestras superficiales con las muestras profundas demuestra que la contaminación en el área histórica industrial tiene una profundidad de mínimamente 50 cm.

La Tabla 7.7 resume las concentraciones promedio⁶ de As, Hg, Pb y Cu en los diferentes APPs del área industrial histórica con el objetivo de realizar una delimitación horizontal de la contaminación y priorizar los sectores con respecto a su grado de contaminación (ver coordenadas en Tabla 3.5).

Tabla 7.7 – Distribución de la contaminación horizontal en el área industrial histórico

APP	Concentración promedio [mg/kg]			
	As	Hg	Pb	Cu
I	227.9	44.7	145.8	140.2
IIA	215.5	36.6	196.1	375.2
IIB	304.0	58.0	327.5	273
IIC	88.6	37.4	129.2	65.3
IIIA	374.1	162.4	650.7	315.3
IIIB	47.4	17.4	82.4	150.7
IV	704.3	183.2	657.0	179.5

De los cuatro contaminantes, el As y el Hg parecen ser los dos impulsores de riesgo por sus altas excedencias de los estándares de calidad ambiental. Basándose en estas referencias, las áreas IV, IIIA y IIB representan el mayor grado de peligro por la contaminación de suelos. En conclusión, el orden de la peligrosidad de los sectores en el área industrial histórica (cualitativamente) es el siguiente:

$$IV > IIIA > IIB > I > IIA > IIC > IIIB$$

La necesidad de una remediación activa para reducir la contaminación a niveles aceptables para la población como el ecosistema en general debe ser definida en un análisis de riesgo específico para el sitio.

7.3 Polvo Sedimentable en el área urbana de Mollehuaca

La Tabla 7.8 presenta un resumen estadístico de los resultados analíticos de polvo sedimentable tomado de diferentes techos en la población de Mollehuaca.

⁶ La cantidad de muestras en cada APP no permitió el cálculo de los valores UCL95.

Tabla 7.8 – Resumen estadístico de resultados analíticos de polvo sedimentable

Elemento	# muestras	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar	UCL95	Estándar Ambiental*	# muestras excediendo Estándares	% excedencias
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			
As	6	16.1	786.6	337	277.3	565.1	50	5	83.3
Cd	6	0.696	5.9	2.686	1.772	4.144	10	0	0.0
Cu	6	30.5	358.2	166.1	112.4	258.5	63	5	83.3
Hg	6	<0.04	27.3	7.109	10.28	88.92	6.6	2	33.3
Pb	6	10.2	940.6	363.8	321.4	628.2	140	2	33.3
Sb	6	0.919	20.4	5.475	7.531	18.38	20	1	16.7

Como se puede apreciar por los resultados, As, Cu, Hg y Pb tienen concentraciones promedio y valores UCL95 muy por encima de los estándares ambientales adaptados. Debido a que se tomaron las muestras de techos cubiertos con calaminas de zinc, las concentraciones de este metal eran muy elevadas en todas las muestras. Por lo tanto, no se incluye los resultados analíticos de zinc en la evaluación del polvo sedimentable.

Se evidencia una buena correlación entre los resultados analíticos de los polvos sedimentables y de los suelos superficiales encontrados en el área industrial histórica. Esta correlación es demostrada en la Tabla 7.9 donde se comparan los valores UCL95 del polvo sedimentable con los suelos contaminados del área industrial.

Tabla 7.9 – Comparación de los valores UCL95 de polvo sedimentable con suelos contaminados (en mg/kg).

CPP	UCL95 de suelos superficiales del área industrial histórico	UCL95 de polvo sedimentable en la población de Mollehuaca
As	534.4	565.1
Cd	5.51	4.1
Cu	316.2	258.5
Hg	88.4	88.9
Pb	637.4	628.0
Sb	4.4	18.4

La buena correlación de los principales contaminantes entre los suelos superficiales contaminados y el polvo sedimentable encontrado en la población de Mollehuaca confirma la dispersión de los contaminantes por erosión eólica (partículas en resuspensión). Debido a que los relaves tienen una menor granulometría que el suelo natural de la zona, la erosión eólica primordialmente causa la dispersión de las partículas finas de los relaves depositados en la superficie del suelo. El peligro principal de esta dispersión eólica es la inhalación de material particulado con elevadas concentraciones de metales pesados y

metaloides causando un potencial riesgo para la salud de la población.

7.4 Agua potable y Agua Subterránea

Los resultados de las dos muestras de agua potable tomadas en viviendas dentro de la población de Mollehuaca (A-1 y A-2) y de las muestras de agua subterránea tomadas de pozos instalados dentro o próximo al lecho del río Huanuhuanu se presentan en el Anexo 1 (Tabla A8).

En ninguna de las muestras analizadas, se encontraron concentraciones de mercurio u otros CPPs por encima de los ECA correspondientes.

En las dos muestras de agua subterránea (A-3 y A-4) se detectaron concentraciones de sulfato por encima del ECA para agua potable. Además, en la muestra A-4, tomada de un pozo ubicado en el lecho del río, se encontraron bacterias de tipo Coliformes Fecales (termotolerantes) y E.Coli que significan un riesgo para la salud humana en caso de un consumo sin desinfección.

Las concentraciones de sulfato encontradas en las muestras A-3 y A-4 no significan un riesgo alarmante para la salud humana en caso de un consumo del agua. Sulfato es una sustancia que naturalmente ocurre en agua potable y que en general tiene una baja toxicidad. Una preocupación para la salud humana proviene de informes que elevadas concentraciones de sulfato pueden causar diarrea, particularmente en niños y personas que no están acostumbradas a agua con elevadas concentraciones de sulfato. Además, altas concentraciones de sulfato en agua potable no son deseables por su capacidad de cambiar las características organolépticas del agua, particularmente por una adulteración del sabor.

7.5 Conclusiones

Se confirmó la contaminación de suelos en el área industrial histórica de Mollehuaca como resultado de actividades realizadas con minerales conteniendo metales pesados y metaloides y por la amalgamación utilizando mercurio. De los siete CPPs identificados en el área de proyecto, solamente Hg, As, Pb y Cu fueron encontrados con concentraciones promedio muy por encima de niveles considerados seguros para la salud humana y el ecosistema. De los cuatro contaminantes, el As y el Hg parecen ser los dos impulsores de riesgo por sus altas excedencias de los estándares de calidad ambiental. De las APPs identificadas, las áreas IV, IIIA y IIB representan el mayor grado de peligro por la contaminación de suelos. En conclusión, el orden de la peligrosidad de los sectores en el área industrial histórica (cualitativamente) es el siguiente:

IV > IIIA > IIB > I > IIA > IIC > IIIB

Dentro del casco urbano de Mollehuaca, los resultados demuestran que los suelos en la población de Mollehuaca son impactados por la contaminación ambiental de la actividad minera, aunque en menor grado comparado con los suelos del área industrial histórica. El 22.7% de las muestras de suelos analizados contenían concentraciones de arsénico por

encima del ECA para áreas residenciales. El mercurio excedió el ECA correspondiente en un 9.1%. De los otros CPPs, el Cd y Sb no fueron detectados dentro de la población en ninguna muestra por encima de su estándar ambiental adaptado y el Cu, Pb y Zn se detectaron en una sola muestra tomada al costado de la calle que por su composición química parecía ser resultado de un derrame de relave.

Para evaluar la exposición a los CPPs por la inhalación de polvo, se analizaron muestras de polvo sedimentable tomados de techos de casas. As, Cu, Hg y Pb fueron encontrados con concentraciones promedio muy por encima de los estándares ambientales adaptados. Existe una buena correlación entre los resultados analíticos de los polvos sedimentables y de los suelos superficiales encontrados en el área industrial histórica. Esta correlación prueba la dispersión de los contaminantes por erosión eólica. Debido a que los relaves tienen una menor granulometría que el suelo natural de la zona, la erosión eólica primordialmente causa la dispersión de las partículas finas de los relaves depositados en la superficie del suelo. El peligro de esta dispersión eólica es la inhalación de material particulado con elevadas concentraciones de contaminantes causando un potencial riesgo para la salud de la población.

Dos muestras de agua potable tomadas en viviendas dentro de la población de Mollehuaca y dos muestras de pozos instalados dentro o en proximidad al lecho del río Huanuhuanu fueron analizadas para evaluar la exposición de la población a los CPPs por el consumo de agua. En ninguna muestra se detectaron valores de CPPs por encima de los ECAs. En las dos muestras de agua subterránea se detectaron concentraciones de sulfato por encima del ECA para agua potable. Además, en la muestra A-4, tomada de un pozo ubicado dentro del lecho del río, se encontraron bacterias de tipo Coliformes Fecales (termotolerantes) y E.Coli que significan un riesgo agudo para la salud humana en caso de un consumo sin desinfección previa.

En síntesis, se confirmó que la contaminación ambiental encontrada en el área industrial histórica más probable es resultado de las actividades mineras. Las bajas concentraciones de CPPs en la muestra tomadas en el área agrícola río abajo indican que el impacto de la Compañía Minera Caravelí no parece ser significativo para la población de Mollehuaca. Las bajas concentraciones de CPPs en muestras de fondo tampoco respaldan la teoría de una contaminación natural en el área por estos elementos.

La contaminación encontrada en el área industrial histórico potencialmente es una amenaza para la salud de la población de Mollehuaca como para el ecosistema en general. La necesidad de una remediación activa para reducir la contaminación a niveles aceptables para la salud humana debe ser definida en un análisis de riesgo específico para el sitio.

8. Uso del Informe y Limitaciones

La ARMA en cooperación con la cooperación Alemana implementada por la GIZ (ARMA-GIZ), y la ONG Solidaridad preparó este informe para el municipio de Huanuhuanu y la Asociación de Mineros Artesanales de Mollehuaca.

Los evaluadores y técnicos involucrados en la preparación del informe han realizado el trabajo con cuidado y todo el rigor necesario para la realización de consultorías ambientales. El trabajo se basa en prácticas y estándares generalmente aceptados para investigaciones ambientales de sitios contaminados.

A pesar de las recomendaciones profesionales expresadas en el informe, no se hace ninguna otra garantía, expresada o implícita. El informe fue preparado de acuerdo a los alcances y objetivos del trabajo como definidos en la propuesta técnica de Enero 2014, presentado y aceptado por la AMIM y la municipalidad de Huanuhuanu.

La metodología adaptada y fuentes de información usados son descritos en el informe. La ARMA no realizó ninguna verificación independiente de esta información más allá del alcance de trabajo y la ARMA no asume ninguna responsabilidad por cualquier error u omisión. No hay indicaciones de que la información proporcionada durante la evaluación de campo fue falsa.

El análisis de las muestras ambientales fue realizado en un laboratorio acreditado y la ARMA no se responsabiliza por los errores potenciales ocurridos durante el proceso analítico. El uso de duplicados y blancos de campo ayudó en la evaluación de la calidad de los resultados analíticos.

Este informe fue preparado en los meses marzo y abril 2014 y se basa en las condiciones encontradas y la información proporcionada durante las visitas de campo realizadas entre octubre 2013 y febrero 2014 y la información revisada durante la preparación del informe. La ARMA excluye cualquier responsabilidad para cambios ocurridos después de las visitas de campo y de la elaboración del informe.

El informe fue preparado para la AMIM y la municipalidad de Huanuhuanu y debe ser leído en forma completa. No se acepta ninguna responsabilidad si terceros utilizan partes del informe en otro contexto o propósito.

9. Bibliografía

- [1] ACOMISA (2011), *Estudio de Impacto Ambiental del proyecto “Planta de Beneficio Veta Dorada Minera Veta Dorada S.A.C.”* (Escrito de Presentación del EIA : 2144158).
- [2] Aguilar Gonzáles, Luis Abdón (2008), *Plan Cierre de Mina en U.E.A. San Andrés – Mina San Juan de la Compañía Minera Caravelli S.A.C.*, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minería y Metalúrgica.
- [3] ATSDR (1999). *Toxicological Profile for Mercury*. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta, Georgia. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=115&tid=24>
- [4] Brian J. Alloway (2012). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, Springer, 3rd edition. ISBN 978-94-007-4470-7
- [5] CCME (2002a), Canadian Council of Ministers of the Environment, *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life*; <http://st-ts.ccme.ca/>
- [6] CCME (2002b), Canadian Council of Ministers of the Environment, *Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health*; <http://st-ts.ccme.ca/>
- [7] CGT (2012), *Modificación del Estudio de Impacto Ambiental “Planta de Beneficio Chacchulle”*, Compañía Minera Caravelí SAC (Informe N° 1486-2012-MEM-AAM).
- [8] EQUAS S.A. (2004), *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Tambojasa, Compañía Minera Caravelí S.A.C.*
- [9] Holmgren, G. G. S., Meyer, M. W., Daniels, R. B., Kubota, J. and Chaney. R.L. (1986). Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils in the United States. *J. Environ. Quality*, 16.
- [10] INGEMMET (2008), Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, *Mineralización y Explotación, Minera Artesanal en la Costa Sur Media del Perú*, Boletín No. 4 Serie E, Minería.
- [11] ISAT (2001), *Niveles de exposición ambiental, ocupacional y estado de salud de los niños de la comunidad minera artesanal de oro Mollehuaca*, Instituto de Salud y Trabajo, Organización Internacional de Trabajo (OIT).
- [12] Lindsay, Willard L. (2001). *Chemical Equilibria in Soils*, The Blackburn Press, ISBN-13: 978-1930665118.
- [13] Magma SAC (2012), *Estudio de Impacto Ambiental Semi-detallado, “Proyecto Planta Metalúrgica Mollehuaca”*.

- [14] MOE (2008). Ontario's Ambient Air Quality Criteria. Summary of Standards and Guidelines to support Ontario Regulation 419: Air Pollution – Local Air Quality (including Schedule 6 of O. Reg. 419 on UPPER RISK THRESHOLDS). PIBS #6569e.
- [15] NEPM (2013), National Environmental Protection Measure, Ministerio Ambiental de Australia, Schedule B 1 - Guideline on Investigation Levels for Soil and Groundwater; <http://www.scew.gov.au/node/941#hils>
- [16] Nielsen, D. 1991. *Practical Handbook of Groundwater Monitoring*. Lewis Publishers. Chelsea (Michigan), USA.
- [17] NSW EPA (1995), *Sampling Design Guidelines*; <http://www.epa.nsw.gov.au/clm/guidelines.htm>
- [18] NSW EPA (2009), New South Wales Environmental Protection Agency, *Waste Classification Guidelines Part 1: Classifying Waste*, Australia, ISBN 978 1 74232 507 1; www.environment.nsw.gov.au
- [19] OMS (1981), *Arsenic*. Geneva, World Health Organization, (Environmental Health Criteria, No. 18).
- [20] Palomino Delgado, Nestor Jacinto (2004), *Optimización de los Procesos y operaciones Metalúrgicos en Compañía Minera Caravelí S.A.C.*, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Metalurgista, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minería y Metalúrgica
- [21] Péfaur, J.E., Dávila, J., López, E. y Núñez A. (1978), *Reptiles del Departamento de Arequipa*, Bull. Inst. Fr. Et. And. VII, No. 1-2, pp. 129-139.
- [22] UN-ECE (2000), Task Force on Groundwater Monitoring & Assessment. *Guidelines on Monitoring and Assessment of Transboundary Groundwater*. RIZA Publication, Lelystad, The Netherlands.
- [23] USAID (1995), Convenio USAID-Gobierno Peruano, *Estudio sobre Minería Informal y Medio Ambiente en los Departamentos de Ica y Arequipa*, Proyecto de Análisis, Planeamiento y Ejecución de Políticas (PAPI).
- [24] U.S. EPA (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I; Human Health Evaluation Manual, EPA/540/1-89/002. Office of Solid Waste and Emergency Response. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- [25] U.S. EPA (2010). *Ecological Soil Screening Levels*; <http://www.epa.gov/ecotox/ecossil/>
- [26] U.S. EPA IRIS (2012). U.S. Environmental Protection Agency Integrated Risk Information System. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC. www.epa.gov/iris.
- [27] U.S. EPA (2013), Regional Screening Level (RSL) Summary Table; <http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/>

[28] U.S. EPA (2013), *Freshwater Sediment Screening Benchmarks*; <http://www.epa.gov/reg3hscd/risk/eco/btag/sbv/fwsed/screenbench.htm>

ANEXO A – Tablas con resumen de resultados analíticos

ANEXO B – Tablas con resumen de resultados estadísticos de UCL95

ANEXO C – Figuras

ANEXO D – Informes de Laboratorio

ANEXO E – Documentación Fotográfica

ANEXO F – INVESTIGACIONES PRELIMINARES
