



Evaluación de la Contaminación Ambiental causada por la Pequeña Minería y Minería Artesanal en la Zona Urbana del Distrito de Chala- Arequipa

INFORME FINAL



Arequipa, Noviembre del 2015

(HOJA DE CRÉDITOS)

Título del documento: Evaluación de la Contaminación Ambiental causada por la Pequeña Minería y Minería Artesanal en la Zona Urbana del Distrito de Chala-Arequipa.

Dirección del Proyecto: **Mag. rer. nat. Achim Constantin**
Especialista en sitios contaminados
Dirección General de Calidad Ambiental MINAM
Dr. Ronald Mayta Coaguila
Subgerente de Gestión de la Calidad Ambiental - ARMA

Elaboración del Informe: **Ing. Miriam Del Rosario Meza Ramírez**
Consultora Ambiental Externa
Dr. Oswald Eppers
Asesor Internacional GIZ

Trabajo de Campo Ejecutado por:
Mag. rer. nat. Achim Constantin
Dr. Oswald Eppers
Ing. Miriam Del Rosario Meza Ramírez
Ing. Franco Fernández Santa María
Especialista en Calidad Ambiental
Dirección General de Calidad Ambiental MINAM
Ing. Jhonatan Jaramillo Ortiz
Asistente Técnico - ONG Solidaridad

Agradecimientos Especiales por su cooperación y participación:
Bruno Salinas Álvarez
Alcalde de la Municipalidad de Chala
Rafael de la Torre
Coordinador de la sección Medio Ambiente de la
Municipalidad de Chala
Blacksmith Institute (Auspiciador del equipo XRF)
Oficina Técnica de Apoyo (OTA) – MINEM - Chala
Autoridad Regional del Medio Ambiente - Arequipa
SEDAPAR – CHALA
Puesto De Salud – CHALA
ONG Solidaridad

Lugar de elaboración: Ciudad de Arequipa
Fecha de entrega del documento: Noviembre del 2015

Índice de Contenidos

| | |
|--|----|
| RESUMEN EJECUTIVO | 6 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1.1 La pequeña minería y minería artesanal en Chala | 14 |
| 1.2 Descripción de los Procesos de Beneficio de Minerales realizados con mayor frecuencia en Chala | 15 |
| 1.2.1 Extracción de oro mediante Amalgamación (Quimbaletes) | 15 |
| 1.2.2 Extracción de oro mediante Cianuración..... | 16 |
| 1.3 Objetivos del Proyecto..... | 17 |
| 1.4 Marco Legal | 17 |
| 2. INFORMACIÓN RELEVANTE DEL AREA DE PROYECTO..... | 18 |
| 2.1 Descripción del Área de Proyecto | 18 |
| 2.2 Ambiente Socio Económico..... | 19 |
| 2.2.1 Distribución de la Población por Edades | 20 |
| 2.2.2 Salud Pública | 21 |
| 2.2.3 Descripción de las principales Actividades Económicas | 21 |
| 2.3 Geología..... | 23 |
| 2.3.1 Geología General | 23 |
| 2.3.2 Geología Local | 28 |
| 2.4 Suelos | 31 |
| 2.5 Mineralogía | 32 |
| 2.6 Meteorología | 34 |
| 2.6.1 Precipitación (mm)..... | 34 |
| 2.6.2 Temperatura..... | 34 |
| 2.6.3 Humedad Relativa | 35 |
| 2.6.4 Dirección y Velocidad del Viento | 35 |
| 2.7 Hidrología y Agua Potable | 36 |
| 2.7.1 Aguas Superficiales | 40 |
| 2.7.2 Aguas Subterráneas | 40 |
| 2.7.3 Agua potable | 41 |
| 2.7.4 Servicio de Alcantarillado | 42 |
| 2.8 Flora y Fauna | 43 |
| 2.8.1 Eco Región y Zonas de Vida | 43 |

| | |
|--|----|
| 2.8.2 Flora | 43 |
| 2.8.3 Fauna silvestre | 44 |
| 2.8.4 Áreas Naturales Protegidas | 45 |
| 2.9 Información químico-físico de Estudios anteriores | 45 |
| 3. Estándares de Calidad Ambiental para la Evaluación de Datos | 45 |
| 3.1 Estándares de Calidad Ambiental de Suelos | 45 |
| 3.2 Estándares de Calidad Ambiental de Sedimentos | 47 |
| 3.3 Estándares de Calidad Ambiental de Agua Subterránea y Agua Potable | 47 |
| 3.4 Estándares de Calidad Ambiental del Aire | 48 |
| 3.5 Estándares de Calidad para el Ensayo de TCLP | 49 |
| 4. METODOLOGÍA DEL TRABAJO | 50 |
| 4.1 Revisión de la documentación disponible | 50 |
| 4.2 Inspección del área de proyecto | 51 |
| 4.3 Muestreo de Suelos, Sedimentos, Agua y Polvo Sedimentable | 51 |
| 4.3.1 Suelos, Sedimentos y Polvo Sedimentable | 51 |
| 4.3.2 Agua Subterránea y Agua Potable | 52 |
| 4.4 Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (XRF) | 53 |
| 4.5 Análisis de Laboratorio | 54 |
| 4.5.1 Límite de Detección | 54 |
| 4.5.2 Ensayo TCLP | 54 |
| 4.5.3 Muestras de Control de Calidad | 55 |
| 5. RESULTADOS DEL TRABAJO DE GABINETE Y DE CAMPO | 57 |
| 5.1 Resultados de la Revisión de la Documentación Disponible | 57 |
| 5.1.1 Resultados de Monitoreo de Aire presentados en Instrumentos de Gestión Ambiental | 57 |
| 5.1.2 Resultados de Monitoreo de Agua | 58 |
| 5.2 Resultados del Muestreo del presente Estudio | 60 |
| 5.2.1 Resultados del Análisis de Suelos | 60 |
| 5.2.2 Resultados del Análisis de Sedimentos | 61 |
| 5.2.3 Resultados del Análisis de Polvo Sedimentable | 62 |
| 5.2.4 Resultados del Análisis de Aguas | 64 |
| 5.2.5 Resultados de los Ensayos TCLP | 65 |
| 5.3 Contaminantes de Potencial Preocupación y Áreas de Potencial Interés | 66 |
| 5.4 Catastro de Plantas de Beneficio y Áreas Contaminadas | 66 |
| 5.5 Aptitud de los Datos Analíticos | 67 |

| | |
|---|----|
| 5.5.1 Calidad de los Datos Analíticos obtenidos por el XRF | 67 |
| 5.5.2 Aptitud de los Datos Analíticos obtenidos por el Laboratorio..... | 69 |
| 5.5.3 Conclusión de la Calidad de los Datos Analíticos | 70 |
| 6. MODELO CONCEPTUAL DEL SITIO | 71 |
| 6.1 Fuente, liberación y transferencia de Contaminantes al medio ambiente | 72 |
| 6.2 Uso actual y futuro de la tierra..... | 74 |
| 6.3 Rutas de Exposición de contaminantes y población expuesta..... | 74 |
| 6.3.1 Contacto Dérmico | 75 |
| 6.3.2 Exposición por consumo de alimentos contaminados | 75 |
| 6.3.3 Impactos potenciales al ecosistema marino | 75 |
| 6.4 Población expuesta | 76 |
| 7. RESUMEN Y CONCLUSIONES | 76 |
| 8. USO DEL INFORME Y LIMITACIONES..... | 80 |

Índice de Figuras

| | |
|---|-------|
| <i>Figura 2.1- Sectores Poblados del Distrito de Chala.....</i> | ..... |
| <i>Figura 2.2 - Quebradas en la Zona del Proyecto.....</i> | ..... |
| <i>Figura 2.3 - Columna Estratigráfica Local.....</i> | ..... |
| <i>Figura 2.4 – Sistema Hidrológica de la Cuenca de Chala.....</i> | ..... |
| <i>Figura 6.1- Modelo Conceptual esquemático de las contaminaciones y potenciales impactos a la salud humana y el ambiente, causados por actividades mineras en Chala - Arequipa.....</i> | ..... |

Índice de Tablas

| | |
|--|-------|
| <i>Tabla 2.1 – Distribución Resumida de la Población en Chala por Edades</i> | |
| <i>Tabla 2.2 – Columna Estratigráfica Integrada del Área de Estudio.....</i> | ..... |
| <i>Tabla 2.3 – Temperatura (°C) máxima, mínima y media mensual en el distrito de Chala (SENAMHI 2010).....</i> | ..... |
| <i>Tabla 2.4 – Humedad relativa (%) en el distrito de Chala (SENAMHI 2010).....</i> | ..... |
| <i>Tabla 2.5 – Dirección y Velocidad del Viento Media Mensual (m/s) (SENAMHI 2011/2012).</i> | |
| <i>Tabla 2.6 – Parámetros Hidrográficos de la Cuenca Chala – Vertiente del Pacífico.....</i> | ..... |
| <i>Tabla 3.1 – Estándares de Calidad Ambiental de Suelos .....</i> | ..... |
| <i>Tabla 3.2 – Estándares de Calidad Ambiental de Sedimentos Marítimos (en mg/kg).....</i> | ..... |
| <i>Tabla 3.3 – Estándares de Calidad Ambiental de Agua Subterránea y Agua Potable.....</i> | ..... |
| <i>Tabla 3.4 – Estándares de Calidad Ambiental de Aire (en µg/m³) .....</i> | ..... |

| | |
|---|----|
| Tabla 4.1 – Elementos analizados en los suelos, sedimentos y polvo sedimentable con LDs..... | |
| Tabla 4.2. – Composición de patrones NIST (en mg/kg) según certificado analítico | |
| Tabla 4.3 - Muestras de Calidad de campo y criterios de aceptación..... | |
| Tabla 4.4 - Muestras de Calidad Intra-Laboratorio y criterios de aceptación..... | |
| Tabla 5.1 – Resumen de resultados de monitoreo de PM10 en plantas de beneficio en cercanía al poblado de Chala..... | |
| Tabla 5.2 – Resumen estadístico de las mediciones de PM10..... | |
| Tabla 5.3 – Parámetros analizados en agua potable del Centro de Salud y de SEDAPAR. . | |
| Tabla 5.4 – Resultados del agua subterránea tomada en el Pozo del Puente Chala | |
| Tabla 5.5 – Evaluación estadística de resultados analíticos de As, Cu, Hg y Pb en suelos. . | |
| Tabla 5.6 – Evaluación estadística de los resultados analíticos de muestras de sedimento. | |
| Tabla 5.7 – Resumen estadístico de resultados analíticos de polvo sedimentable..... | |
| Tabla 5.8 – Resumen de resultados de análisis de aguas subterráneas..... | |
| Tabla 5.9 – Resumen de resultados de la lixiviación de muestras de polvo sedimentable y suelo, en comparación con las concentraciones encontradas en las muestras analizadas... | |
| Tabla 5.10 – Evaluación estadística de las mediciones del patrón NIST 2702. | 67 |
| Tabla 5.11 – Evaluación estadística de las mediciones del patrón NIST 2781. | |
| Tabla 5.12 – Evaluación Estadística de la Diferencia Relativa en Por ciento entre muestras de suelos analizadas por XRF y ICP-OES..... | |
| Tabla 5.13 – Evaluación Estadística de la Diferencia Relativa en Por ciento entre muestras de polvo sedimentable analizadas por XRF e ICP-OES. | |
| Tabla 5.14 – Diferencia Relativa en Por ciento (DRP) entre los duplicados de suelos | |

RESUMEN EJECUTIVO

Se realizó un proyecto de investigación en el casco urbano de la población de Chala para identificar potenciales impactos ambientales y para la salud humana, causados por las actividades actuales e históricas de la pequeña minería y minería artesanal (PM y MA) que fueron realizados dentro y en zonas adyacentes a la población. El proyecto fue llevado a cabo en el marco de una cooperación entre el Ministerio de Ambiente (MINAM), la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa (ARMA), la Municipalidad Distrital de Chala, la ONG Solidaridad y con apoyo logístico y financiero de la Cooperación Alemana al Desarrollo, implementado por la GIZ en el Perú.

El presente informe resume los resultados de la investigación, incluyendo un catastro de las instalaciones de beneficio y de potenciales pasivos ambientales mineros identificadas en la población de Chala, basándose en resultados de un muestreo ambiental y de una Evaluación semi-cuantitativa de Riesgos para la Salud Humana y el Ambiente.

El trabajo de campo se realizó entre el 12 y 22 de mayo 2015 por medio de un equipo multidisciplinario, formado por expertos de la GIZ, del MINAM, de la municipalidad de Chala, de la ONG Solidaridad y con el apoyo de una especialista externa en evaluaciones ambientales y SIG. El trabajo incluyó el levantamiento de información disponible en distintas organizaciones regionales y locales de Chala y el muestreo ambiental de suelos, sedimentos, aguas y polvo sedimentable para realizar el análisis de metales pesados¹, cianuro y otros ensayos relevantes como la evaluación de la biodisponibilidad de los contaminantes. Un equipo de Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de la marca *Innov-X Systems Alpha Series*, auspiciado por la empresa “Blacksmith Institute” (ahora: Pure Earth) de los EEUU, fue utilizado para el análisis in-situ de metales pesados en muestras de suelos, sedimentos y polvo sedimentable como un método indicativo para la identificación rápida de potenciales focos de contaminación.

El objetivo general del proyecto fue la identificación de potenciales riesgos para la salud de los pobladores de Chala, causados por actividades mineras actuales e históricas en proximidad a la población de Chala. Mediante la evaluación de información histórica y de un muestreo ambiental en la población de Chala y alrededores, se identificaron los siguientes Contaminantes de Potencial Preocupación (CPP) por las excedencias de Estándares de Calidad Ambiental (ECA):

- Suelos : arsénico (As), cobre (Cu), mercurio (Hg) y plomo (Pb) (en área de quimbaletes)
- Sedimentos : As, Cd, Cu y Pb
- Polvo sedimentable : As

¹ En el presente informe se utiliza el término “metales pesados” para un grupo de contaminantes tóxicos conteniendo tanto metales (mercurio, plomo, cadmio, cobre, cromo, etc.), metaloides (arsénico, antimonio y boro) como no metales (selenio).

- Agua subterránea : Hg, Conductividad Eléctrica (Salinidad), cloruro, sulfato, Coliformes Termotolerantes (Fecales), E Coli., Enterococos, Silicatos

Las Áreas de Potencial Interés (API) como fuentes de una contaminación ambiental son el área industrial en el sector “La Aguadita” y “Chala Norte” donde se realizan actividades mineras utilizando quimbaletes para la amalgamación de minerales. Así también, existen varios laboratorios químicos, estaciones de servicio (grifos) y talleres mecánicos, particularmente en la zona llamada “La Aguadita” que ofrecen servicios a la industria minera y que por sus actividades y la falta de una implementación de medidas de prevención y mitigación ambiental también deberían ser considerados API.

Con la finalidad de comprobar o destacar una contaminación en el área de estudio se tomaron las siguientes muestras de campo:

- 49 muestras de suelos
- 7 muestras de sedimentos
- 1 muestras de agua potable
- 3 muestras de agua subterránea
- 33 muestras de polvo sedimentable
- 4 muestras de suelos y polvo sedimentable para el ensayo de biodisponibilidad (TCLP)

La mayor cantidad de excedencias de los valores ECA en suelos se encuentra en el área de quimbaletes en Chala Norte. Esta observación confirma que las actividades mineras realizadas dentro de zonas urbanas y semi-urbanas; potencialmente representan un riesgo para la salud de la población. En adelante, se presenta un resumen de los hallazgos.

Contaminación de suelos²

Una evaluación estadística de los resultados analíticos de As, Cu, Hg y Pb en suelos se presenta en la Tabla RE.01

Los valores UCL95 de los elementos **As, Cu y Hg** exceden los estándares de calidad ambiental y como consecuencia son considerados CPP en suelos; sin embargo, debido a que en 13.5% de las muestras, principalmente en la zona de quimbaletes, la concentración de **Pb** excedió el ECA suelo, este metal también será considerado como CPP en suelos. En forma general, la mayoría de las excedencias de los ECA se encuentra en las áreas de quimbaletes.

² Suelos naturales y suelo alterados por actividad humana, incluyendo sustratos sólidos de origen antropogénico que se encuentran en la superficie del terreno

Tabla RE.01 – Evaluación estadística de resultados analíticos de As, Cu, Hg y Pb en suelos.

| | As | Cu | Hg | Pb |
|------------------------------------|--------------|------------|-------------|-----------|
| ECA Suelo (uso residencial) | 50 | | 6.6 | 140 |
| SQG Canadá | | 63 | | |
| Nro. Observaciones | 52 | 52 | 52 | 52 |
| Min | 2.2 | 9.59 | 0.02 | 3.13 |
| Max | 1133.0 | 1094 | 58.6 | 306.6 |
| Promedio | 100.2 | 121.1 | 6.4 | 56.2 |
| Mediana | 19.0 | 43.5 | 5 | 21.5 |
| Desv. Est. | 208.3 | 239.8 | 9.4 | 76.2 |
| UCL95 | 227.3 | 266 | 12.1 | 102.3 |
| Nro. Excedencias del ECA | 11 | 12 | 10 | 7 |
| % Excedencias del ECA | 21.2 | 23.1 | 19.2 | 13.5 |

Contaminación Atmosférica

Con respecto a la contaminación atmosférica, se detectaron concentraciones de arsénico en el polvo sedimentable que exceden unas cuatro veces concentraciones consideradas seguras para este elemento tóxico, según el estándar ambiental establecido en la Unión Europea. En Perú aún no se ha establecido un ECA para la concentración de arsénico en aire. La Tabla RE.02 resume los resultados del monitoreo de partículas suspendidas.

Tabla RE.02 – Resumen estadístico de resultados analíticos de polvo sedimentable.

| | Concentraciones [mg/kg] | | | |
|--|--------------------------------|---------------|-------------|--------------|
| | As | Cu | Hg | Pb |
| C_{crítica} [mg/kg] | 90.7 | 755744 | 4534 | 22672 |
| Nro. Observaciones | 32 | 32 | 32 | 32 |
| Min | 35.3 | 68.03 | 0.02 | 31.69 |
| Max | 1715 | 1088 | 1.88 | 1552 |
| Promedio | 175.3 | 260.5 | 0.347 | 230.7 |
| Mediana | 114.1 | 240 | 0.193 | 134.5 |
| Desv. Est. | 289.4 | 185.2 | 0.447 | 331.5 |
| UCL95 | 398.3 | 312.2 | 0.69 | 306.5 |
| Nro. Excedencias del valor de referencia 90.7 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| % Excedencias | 62.5 | 0 | 0 | 0 |

En el 62.5% de las muestras, se encontraron concentraciones de arsénico por encima del valor de referencia de 90.7 mg/kg en el polvo sedimentable, correspondiendo a un estándar

ambiental de 0.006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de arsénico en el aire ambiente según lo establecido por la Unión Europea. Las concentraciones de los otros CPP encontrados en suelos están muy por debajo de sus ECA respectivos. Las concentraciones más elevadas fueron detectadas en los sectores La Aguadita y Chala Norte. Mientras en el sector de La Aguadita existen varias relaveras de plantas de cianuración que podrían ser la fuente de la contaminación atmosférica, en Chala Norte son las actividades de la minería artesanal con quimbaletes que pueden ser la causa de una redispersión de polvo contaminado por el viento.

Cabe afirmar que en los resultados obtenidos durante el monitoreo de material particulado por debajo de 10 micrones (PM10), el promedio de 54.9 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ está levemente por encima del ECA para la media aritmética anual que está definida como 50 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$. Ninguna de las concentraciones detectadas se encontró por encima de 150 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, establecido en el D.S. 074-2001 PCM como límite para mediciones puntuales realizadas durante un lapso de 24 horas. Lo que podría ser una tendencia en general, las concentraciones más elevadas detectadas durante la elaboración de los instrumentos ambientales fueron medidas en cercanía a relaveras.

Calidad de aguas subterráneas y agua potable

La Tabla RE.03 resume los puntos de muestreo y los parámetros que exceden los ECA para agua que puede ser potabilizada con desinfección.

Tabla RE.03 – Resumen de resultados de análisis de aguas subterráneas

| Numero de Muestra | Ubicación del muestreo | Excedencias del ECA para agua potable | Excedencias del ECA para agua marina |
|--------------------------|--|--|---|
| AST-1 | Pozo en 120 m distancia al mar | Conductividad Eléctrica (Salinidad), cloruro, sulfato, Coliformes Fecales, E Coli, Enterococos | Silicatos, Coliformes Fecales (termotolerantes) |
| AST-2 | Pozo en 210 m distancia al mar | Mercurio, Conductividad Eléctrica (Salinidad), cloruro, sulfato | Mercurio, Silicatos |
| AST-3 | Punto de toma de agua potable de SEDAPAR | Ninguna | No aplica |
| AST-4 | Pozo en Chala Viejo | Ninguna | No aplica |

Las muestras AST-1 y AST-2 corresponden a agua salubre, por ser una mezcla de agua dulce con agua del mar, debido a la relativa corta distancia al mar. La presencia de mercurio en la muestra de agua AST-2 tomada de un pozo ubicado en la quebrada Chala, indica un impacto por la minería en esta quebrada. El pozo está ubicado aproximadamente a 2000 m gradiente abajo de la planta hidrometalúrgica Titán y aproximadamente 900 m en dirección sur-este de la relavera de la Minera Paraíso.

Una muestra tomada en un pozo de agua subterránea en Chala Viejo, no contenía contaminantes por encima del ECA, lo que sugiere que la contaminación del agua subterránea encontrada gradiente abajo en la quebrada, proviene de la actividad minera en la zona. Un impacto al ecosistema marino no puede ser excluido por la infiltración de aguas

contaminadas con mercurio, silicatos y coliformes fecales por encima de los ECA para agua marina.

Calidad de Sedimentos

En los sedimentos analizados, no se detectó una concentración de metales pesados ni de cianuro en concentraciones por encima de niveles críticos, o sea niveles que probablemente tienen un efecto adverso al ecosistema marino.

Debido a que no existe un contacto permanente con el ecosistema marino y una muy reducida erosión hídrica, el riesgo de un daño de la flora y fauna marítima por la introducción de sedimentos contaminados mediante erosión hídrica es considerado muy bajo. Una discusión más detallada de una potencial contaminación del ecosistema marino se presenta en el Modelo Conceptual del Sitio (ver sección 6).

Ensayos de Lixiviación (TCLP)

Con la finalidad de evaluar la fracción lixiviable de los contaminantes como indicador de su biodisponibilidad, se realizaron 4 ensayos de lixiviación (TCLP) según el método EPA 1311, en tres muestras de polvo sedimentable y una muestra de suelo.

De los CPP identificados, solamente en una muestra de polvo sedimentable (PST-14) que contiene una concentración de 1715 mg/kg de arsénico se detectó en el lixiviado una concentración de 0.234 mg/l de este elemento. Las concentraciones de los otros elementos encontrados en el lixiviado se encuentran aún por debajo de los ECA establecidos para agua potable.

Considerando que se utilizó una relación de 1:20 entre la muestra de polvo y la solución de lixiviación, en una muestra de 50 g se encuentra 0.234 mg de arsénico, lo que corresponde a una concentración de arsénico lixiviable de 4.68 mg/kg, correspondiendo a un **0.27% del arsénico total** presente en la muestra.

Eso indica que solamente una mínima fracción del arsénico inhalada mediante material particulado suspendido en el aire debería ser fisiológicamente disponible y por lo tanto puede ser asimilado por el cuerpo, entrando al flujo sanguíneo. Por esta razón, el riesgo de un daño para la salud humana causada por la inhalación de partículas suspendidas conteniendo arsénico y otros metales pesados probablemente sea mínimo; sin embargo, para la confirmación de esta hipótesis se debería realizar un estudio más detallado de tipo epidemiológico, incluyendo el monitoreo de indicadores de salud como la concentración de arsénico (y otros metales pesados) en la orina y sangre de la población.

Fuentes Potenciales de Contaminación

En resumen, las siguientes fuentes de contaminación y actividades fueron identificadas como resultado de la actividad minera:

1. Un manejo y disposición inadecuada de los minerales auríferos procesados en la zona de Caravelí, causa un riesgo para la salud humana en la población de Chala por el contenido de metales pesados como As, Pb, Cu y Cd.
2. El uso de mercurio en el proceso de la amalgamación utilizando quimbaletes, causa por un lado una contaminación con relaves con este elemento tóxico y por otro lado resulta en una contaminación atmosférica por la emisión de vapores de mercurio.
3. En menor escala, existe una evidente contaminación de suelos (presencia de manchas de aceite) y una contaminación potencial de aguas subterráneas y superficiales (incluyendo el mar) y el aire por deficiencias en el manejo de efluentes, emisiones y residuos peligrosos en actividades de servicio como en laboratorios químicos, almacenes, estaciones de servicio (grifos) y talleres mecánicos.

Rutas de Contaminación

Inhalación de polvo contaminado: Como una de las principales rutas de exposición de la población a los contaminantes, se identificó la inhalación de material particulado conteniendo elementos tóxicos como As, Pb, Cd, Cu y otros.

Particularmente la concentración de arsénico excede una concentración crítica, resultando en una exposición superior al ECA establecido para este elemento; sin embargo, en un ensayo de biodisponibilidad (TCLP) se verificó que solamente una muy pequeña fracción del arsénico (0.23%) presente en el polvo sedimentable parece ser fisiológicamente activa. Esta observación es importante ya que el arsénico inhalado que fisiológicamente no es activo no puede ser reabsorbido y entrar al flujo sanguíneo, causando así daños a la salud.

Para corroborar esta interpretación, se recomienda realizar una investigación más detallada de tipo epidemiológico, incluyendo el monitoreo de indicadores de salud como la concentración de arsénico (y otros metales pesados como mercurio y plomo) en la orina y sangre de la población.

La vida media del arsénico inorgánico en los humanos es aproximadamente de 10 horas y la cuantificación del arsénico en la orina es el mejor de los indicadores, ya que aproximadamente el 70% del arsénico se excreta por esta vía. En comparación, para la exposición a otros metales como el mercurio y plomo se recomienda un control de la concentración en la sangre donde la mayor parte se concentra.

Inhalación de vapores de mercurio: Otra ruta de exposición importante a considerar se concentra a la zona donde se trabaja con amalgamación en quimbaletes. En un estudio realizado en la población de Mollehuaca³ (a unos 35 km de distancia a Chala, línea recta), se evidenció que:

- Los mineros que trabajan con mercurio tienen una exposición a este tóxico que excede en promedio unas tres veces la dosis considerada segura.

³ ARMA-GIZ (2014), Evaluación de Riesgos para la Salud Humana y el Ambiente en la Población de Mollehuaca; <http://bit.ly/1gMUqxl>

- Los relaves que contienen mercurio y que fueron depositados en proximidad a la población, emiten vapores de mercurio, cuya concentración excede hasta el doble de valores considerados seguros para la población.

Debido a las similitudes entre la composición química de los relaves dispuestos de forma incontrolada en Mollehuaca y los relaves depositados en el área de quimbaletes en Chala, se puede pronosticar una exposición parecida por encima de valores considerados seguros para los mineros, sus familiares y de la población local en el área de quimbaletes en Chala.

Contacto directo con suelo contaminado: Los resultados analíticos señalan que los suelos que se consideran autóctonos (“naturales”) no superan los ECA Suelos para un uso residencial. Sin embargo, en sustratos superficiales de origen antropogénico, como relaves y minerales dispuestos al aire libre, se detectaron contaminaciones por encima del ECA, y por lo tanto se determina un riesgo potencial para los trabajadores y la población por un contacto directo con estos materiales.

Exposición a alimentos contaminados: La presencia de agua subterránea conteniendo mercurio, hace que esta se infiltre al mar, hecho que podría resultar en una bioacumulación de este elemento en peces y mariscos, los mismos que podrían ser consumidos por la población junto con otros tóxicos. Los altos índices de la bioacumulación y biomagnificación de mercurio en el ambiente acuático fue comprobado en una variedad de estudios⁴.

De la misma manera, el hecho de que existan instalaciones porcinas y de cría de pollos en proximidad directa a las actividades mineras en el área de quimbaletes, abre la posibilidad de una carga sanitaria por el consumo de carne contaminada. Por lo tanto, se recomienda una investigación de la concentración de arsénico y otros metales pesados en peces, mariscos, pollo y chanco, en la cercanía al puerto o producidos en el Distrito de Chala.

Recomendaciones:

- Se recomienda realizar una investigación complementaria para obtener una base de datos más completa que permite determinar si se requiere llevar a cabo una Evaluación de Riesgos para la Salud Humana y el Ambiente (ERSA). Esta investigación debería considerar lo siguiente:
 - Hacer una evaluación de la concentración de arsénico, mercurio y plomo en la orina y sangre de la población de Chala, para determinar el peligro potencial que tienen estos elementos tóxicos para la salud humana.
 - Realizar un análisis de metales pesados en peces, mariscos y otros alimentos localmente producidos que son consumidos en Chala, para obtener datos más completos sobre la exposición de la población a estos contaminantes.

⁴ (a) 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>; (b) U.S. EPA (1997). Mercury Study Report to Congress: Fate and Transport of Mercury in the Environment. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development, Washington, DC. EPA-452/R-97-005.

- Complementar los datos, ejecutando acciones como la toma de muestras de relaveras activas y cerradas (incluyendo áreas con actividades con quimbaletes) para el análisis de metales pesados, cianuro, biodisponibilidad (ensayo TCLP), así como de parámetros geotécnicos como la granulometría y/o la caracterización mineralógica.
- Para evaluar un impacto potencial de la minería al ecosistema marítimo también se recomienda tomar muestras de sedimentos dentro del mar (y/o de sólidos suspendidos en el agua), en cercanía a las embocaduras de las quebradas Chala y Huanca, para su análisis por metales pesados.
- Para la mitigación de los impactos negativos causados por la actividad minera utilizando mercurio, se recomienda una reubicación de las instalaciones que trabajan con quimbaletes para la amalgamación de minerales a un sitio alejado del poblado de Chala (parque industrial minero).
- Después de la reubicación de los quimbaletes, se recomienda realizar una limpieza de las áreas contaminadas para reducir la concentración de arsénico y otros metales pesados en el suelo y consecuentemente en el material particulado, que es levantado y distribuido por el viento y que causa un peligro para la salud de la población. El primer paso en este proceso sería el desarrollo de un Plan de Descontaminación de Suelos (PDS) que debe ser aprobado por la ARMA como autoridad competente.
- Con respecto al análisis rutinario del agua potable realizado por el Centro de Salud y la empresa SEDAPAR, se recomienda incluir arsénico, mercurio y plomo en el programa analítico.
- Se recomienda al Gobierno Regional iniciar en cooperación con la Gerencia Regional de Energía y Minas (GREM) una capacitación a los mineros de la zona en tecnologías limpias y más eficientes en la extracción de oro de minerales, con el motivo de reducir los daños a la salud de los mineros, sus familiares y la población en general, causados por dicha actividad.
- Se recomienda para la municipalidad distrital, iniciar una campaña de sensibilización y concientización a la población que realiza actividades mineras, informando sobre los riesgos causados por las altas concentraciones de metales pesados presentes en muchos minerales auríferos que son procesados en de la zona, además de los riesgos asociados con el uso de mercurio en el proceso de la amalgamación.
- Se recomienda también, llevar a cabo un ordenamiento territorial, definiendo áreas exclusivamente urbanas, áreas industriales (inclusive un parque industrial minero), parques, áreas recreativas, etc.
- Se recomienda instalar un Comité de Vigilancia para la supervisión de instalaciones de la pequeña minería y minería artesanal, verificando el cumplimiento con las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la Pequeña Minería y Minería Artesanal de acuerdo a la Resolución Gerencial N° 006-2014 GRE/ARMA. Para que el Comité de Vigilancia tenga una adecuada representación ciudadana, se recomienda la participación de instituciones gubernamentales como el Municipio, OTA, Centro de Salud, Defensoría del Pueblo, como también no-gubernamentales como ONGs, asociaciones de profesionales o sectoriales, organizaciones sociales-sectoriales, etc.

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL CAUSADA POR LA PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHALA - AREQUIPA

1. INTRODUCCIÓN

Se realizó un proyecto de investigación en el casco urbano de la población de Chala para identificar el impacto ambiental y para la salud humana, causado por las actividades actuales e históricas de la pequeña minería y minería artesanal (PM y MA), que fueron realizados dentro y en zonas adyacentes a la población. El proyecto fue llevado a cabo en el marco de una cooperación entre el Ministerio de Ambiente (MINAM), la Autoridad Regional Ambiental de Arequipa (ARMA), la Municipalidad Distrital de Chala, la ONG Solidaridad y con apoyo logístico y financiero de la Cooperación Alemana al Desarrollo, implementado por la GIZ en el Perú. El presente informe resume los resultados de la investigación, incluyendo un catastro de las instalaciones de beneficio y de potenciales pasivos ambientales mineros identificados en la población de Chala, basándose en resultados de un muestreo ambiental y de una Evaluación semi-cuantitativa de Riesgos para la Salud Humana y el Ambiente.

El trabajo de campo se realizó entre el 12 y 22 de mayo 2015 por medio de un equipo interdisciplinario, formado por expertos de la GIZ, del MINAM, de la municipalidad de Chala, de la ONG Solidaridad y con el apoyo de una especialista externa en evaluaciones ambientales y SIG. El trabajo incluyó el levantamiento de información disponible en distintas organizaciones regionales y locales de Chala y el muestreo ambiental de suelos, sedimentos, aguas y polvo sedimentable para realizar el análisis de metales pesados⁵, cianuro y otros ensayos relevantes como la evaluación de la biodisponibilidad de los contaminantes. Un equipo de Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de la marca *Innov-X Systems Alpha Series*, auspiciado por la empresa “Blacksmith Institute” con sede en Lima, fue utilizado para el análisis in-situ de metales pesados en muestras de suelos, sedimentos y polvo sedimentable como un método indicativo para la identificación rápida de potenciales focos de contaminación.

1.1 La pequeña minería y minería artesanal en Chala

La minería informal en la provincia arequipeña de Caravelí tiene una larga trayectoria y es principalmente el negocio de la producción de oro que es alentado por las plantas concentradoras asentadas en proximidad al puerto de Chala, ubicado en el filo de la carretera Panamericana Sur, camino a Lima. Chala tiene una población de 5,194 habitantes según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), que se basan en el censo realizado en 2008. Por lo tanto, es una de las poblaciones más grandes en Arequipa directamente afectada por actividades de la pequeña minería.

⁵ En el presente informe se utiliza el término “metales pesados” para un grupo de contaminantes tóxicos conteniendo tanto metales (mercurio, plomo, cadmio, cobre, cromo, etc.), metaloides (arsénico, antimonio y boro) como no metales (selenio).

Las plantas en Chala operan como compradoras de oro o procesadoras del material bruto extraído de los socavones o el proceso de relave. De este material, los mineros artesanales solo sacan una fracción del oro aplicando el método de amalgamación con mercurio. El otro restante se recupera mediante cianuración que lo hacen las plantas hidrometalúrgicas que se han instalado para este fin en la zona.

A pesar de un número considerable de instalaciones que utilizan la cianuración para la extracción de oro, existen más de sesenta planas de beneficio, dentro o en directa proximidad a la población de Chala, que trabajan con mercurio para la extracción del oro mediante el proceso de la amalgamación en quimbaletes.

1.2 Descripción de los Procesos de Beneficio de Minerales realizados con mayor frecuencia en Chala

1.2.1 Extracción de oro mediante Amalgamación (Quimbaletes)

El quimbalete es una suerte de mortero de gran tamaño, compuesto por una piedra cincelada típicamente a pulso para darle una forma ligeramente ovalada en su base, que permita un movimiento de vaivén con un mínimo esfuerzo. En la parte superior del mortero se fija un tablón horizontal para sostener al operador y para facilitar el movimiento manual del mismo. La base del quimbalete o mesa es una roca plana en su parte superior. Utilizando cemento y rocas, se construye una pared perimétrica para formar la taza del quimbalete. Un tubo empotrado en la parte inferior de la pared frontal permitirá la descarga controlada de la pulpa al final de la operación. La pulpa se descarga a un depósito de relaves (relavera), muchas veces sin impermeabilización. Luego del secado del relave, el material se embolsa y se vende a plantas de cianuración para la recuperación del oro remanente que no fue extraído con el mercurio.

Cuando la ley es considerada baja (más de unos 15 gramos por m³) se muele en molinos de bolas discontinuos, generalmente de 7 a 15 latas de capacidad, correspondiendo aproximadamente de 200 hasta 400 kg. La molienda se hace por lo general en seco para facilitar su descarga y manipuleo. La extracción del oro mediante amalgamación con mercurio se realiza en los quimbaletes y no en los molinos de bola, debido a que tanto la recuperación del oro como del mercurio suele ser mejor en los quimbaletes. Las técnicas para una amalgamación en circuito cerrado (por ejemplo en un barril amalgamador) para minimizar la emisión de vapores de mercurio y para evitar la formación de “harina de mercurio” durante la amalgamación no fueron observados en Chala. Se denomina “Harina de mercurio” al mercurio distribuido microscópicamente en los relaves que no puede ser recuperado satisfactoriamente por métodos gravimétricos convencionales, ni con planchas amalgamadoras.

El resultado es una concentración alta de mercurio libre en los relaves que forma una fuente de contaminación por largo tiempo si este material no está depositado adecuadamente.

El riesgo potencial para la población proviene de la emisión de vapores de mercurio, y de la inhalación de polvo contaminado con mercurio adsorbido a las partículas.

Otro riesgo es una contaminación de aguas subterráneas por una infiltración de agua contaminada con mercurio en relaveras no adecuadamente impermeabilizadas.

1.2.2 Extracción de oro mediante Cianuración

Oro (y otros metales preciosos como plata, platino, etc.) puede ser extraído de los minerales por lixiviación, utilizando soluciones acuosas diluidas de cianuro de sodio, potasio o calcio, generalmente en una concentración entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 partes por millón). Las soluciones deben ser ajustadas con soda caustica o lechada de cal a un pH por encima de 10 para evitar la formación del peligroso gas ácido cianhídrico.

El cianuro, en condiciones ligeramente oxidantes (es decir, en contacto con el aire), disuelve el oro contenido en el mineral, formando un complejo soluble en agua. La solución resultante conteniendo oro, la denominada “solución cargada”, es generalmente filtrada en columnas de carbón activado donde el complejo soluble tetracianoaurato (2-) de oro y cianuro se adsorbe y el oro luego puede ser recuperado utilizando un proceso químico.

Por otra parte, en lugar de la adsorción con carbón activado también se aplica en algunas instalaciones un proceso llamado “cementación”, donde se agrega zinc para la reducción del oro que precipita y pueda ser aislado por sedimentación y filtración. La solución residual o “estéril” (es decir, carente de oro) aún contiene cianuro libre y puede ser recirculada luego del ajuste de la concentración de cianuro en el proceso de la extracción para obtener más oro.

Entre los diferentes enfoques para la lixiviación del oro de un mineral aurífero mediante el cianuro se puede destacar principalmente dos procesos: la lixiviación en tanques (“lixiviación por agitación”) y la lixiviación en pila (por “percolación”).

El sistema de lixiviación en tanques es el método preferido en la pequeña minería para el procesamiento de los relaves de quimbaletes. Estas plantas tienen una alimentación manual y aplican un proceso discontinuo de lotes. Para poder lixiviar un mineral en tanques, el mineral aurífero se tritura y se muele hasta reducirlo a menos de un milímetro de diámetro. Luego, el mineral finamente molido se lixivia directamente en tanques con la solución de cianuro para disolver el oro.

Los residuos sólidos del material extraído (relaves) en forma de lodo deben ser guardados en canchas impermeabilizadas en la base, para evitar una contaminación del subsuelo y del agua subterránea y/o superficial. La impermeabilización generalmente se realiza utilizando una geomembrana, en algunos casos también se observó el uso de concreto o de alquitrán.

La solución estéril del lodo puede ser separada, recargada con cianuro y reutilizada en el proceso de lixiviación; sin embargo, debido a la gradual acumulación de metales solubles como hierro, cobre o zinc en el lixiviado, la solución estéril pierde su actividad y debe ser bombeada a un sistema de tratamiento para su respectiva descontaminación – instalaciones que frecuentemente faltan en plantas artesanales de cianuración.

Plantas utilizando el método de la lixiviación por percolación no fueron observadas en proximidad a la población de Chala.

1.3 Objetivos del Proyecto

El objetivo general del proyecto es la identificación de potenciales riesgos para la salud de la población de Chala, causados por actividades mineras actuales e históricas en proximidad a la población de Chala. Con el conocimiento de los riesgos y de las fuentes principales de contaminación causadas por las actividades mineras en la zona; de ser necesario se podrán definir acciones correctivas para minimizar el riesgo para la población.

La presente evaluación de la contaminación ambiental causada por la actividad minera en el poblado de Chala representa la primera fase de este proyecto, el mismo que será complementado por un levantamiento de datos adicionales, si fuera considerado necesario.

Los objetivos específicos del proyecto son:

- Realización de un catastro de las plantas de beneficio de la PM y MA a una distancia aproximada de dos kilómetros desde el centro urbano de Chala.
- Identificación de áreas contaminadas por pasivos ambientales mineros que generan un riesgo potencial para la población.
- Identificación de procesos y prácticas potencialmente peligrosas o contaminantes de las industrias mineras de beneficio, trabajando con cianuro o mercurio o por formación de polvo conteniendo sustancias peligrosas en proximidad a la población de Chala.
- Realización de una evaluación preliminar y semi-cuantitativa de riesgos para la salud humana y el ambiente causados por actividades mineras.

1.4 Marco Legal

Las siguientes leyes, decretos y/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.
- RM N° 034-2015 MINAM: Aprobación de la “Guía para la Elaboración de Estudios de la Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) en Sitios Contaminados”.
- RG N° 006-2014 GRA-ARMA: Aprobación de las “Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la Pequeña Minería y Minería Artesanal” en Arequipa.

2. INFORMACIÓN RELEVANTE DEL AREA DE PROYECTO

2.1 Descripción del Área de Proyecto

El área de proyecto incluye el área poblada de la localidad de Chala y los alrededores hasta una distancia aproximada de dos kilómetros. El impacto de las instalaciones de beneficio más alejadas al poblado de Chala es considerado pequeño y por lo tanto no será tomado en cuenta en la presente investigación.

El pueblo de Chala es la capital del distrito del mismo nombre, que es uno de los trece distritos de la Provincia de Caravelí, ubicado en el Departamento de Arequipa, bajo la administración del Gobierno regional de Arequipa, en el sur del Perú. Limita por el norte con el distrito de Atiquipa, por el este con el distrito de Huanuhuanu, por el sur con el distrito de Chaparra y por el oeste con el Océano Pacífico. Saliendo de Arequipa, se parte a través de la variante de Uchumayo hasta el cruce de la Panamericana Sur, después hacia el Norte, pasando por las localidades de Vítor, Siguas, Camaná, Ocoña y Atico; hasta llegar a la Localidad del Puerto de Chala.

El área considerada en la investigación, incluye todas las zonas pobladas de Chala, segregadas según el Plan de Desarrollo Urbano de la Localidad de Chala 2009-2015 en los sectores de La Aguadita, Chala Norte y Chala Sur. El área de la zona investigada se extiende hasta una distancia aproximada de dos kilómetros del centro poblado.

La Figura 2.1 muestra el área del proyecto con las zonas mencionadas.

La zona de “La Aguadita” y el norte de la zona “Chala Norte” son las zonas potencialmente más afectadas por varias plantas de cianuración que se encuentran a poca distancia de estas zonas pobladas. “Chala Norte” es la zona más afectada por la presencia de más de sesenta plantas de beneficio, utilizando quimbaletes en medio de zonas urbanas y semi-urbanas.

Figura 2.1- Sectores Poblados del Distrito de Chala



Fuente: Plan de Desarrollo Urbano de la Localidad de Chala 2009-2015

2.2 Ambiente Socio Económico

Chala, de ser una pequeña “Caleta” en los años 40 del siglo pasado, luego puerto Mayor, seguido por un próspero puerto de pescadores, hoy se ha convertido en un centro estratégico de actividad minera, pesquera, servicios y comercial de la provincia de Caravelí, departamento de Arequipa. El poblado cuenta con los servicios básicos, incluyendo un colegio y una posta médica.

Existen actividades agrícolas a menor escala, incluyendo la crianza de cerdos y pollos, que aprovechan los desperdicios de los mercados y del puerto. En proximidad directa a la población de Chala no existen otras actividades agrícolas significantes por la escasez de agua.

Chala tiene una población de 5.194 habitantes según datos del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), que se basan en el censo realizado en el 2008. El Distrito de Chala es uno de los distritos con mayor población, ocupando el cuarto lugar entre los trece que corresponden a la provincia.

La tasa de crecimiento es de 3,2% anual debido a la explotación minera que propicia la migración de pobladores de los departamentos de la sierra especialmente de Ayacucho y Puno, así como también de pobladores de otras provincias de Arequipa.

Considerando una tasa de crecimiento constante de 3.2% anual durante los últimos 7 años, se puede estimar una población actual de 6500 personas en Chala. Según otras fuentes, se estima la cantidad de personas que se consideran como “Chalinos” en unas 15,000 personas⁶; sin embargo, en esta publicación no se especifica la cantidad de personas que viven permanentemente en Chala.

Por otra parte, según el censo realizado por el INEI en el 2007, el porcentaje de personas que viven permanentemente en el distrito de Chala es de 83.94%. Este número demuestra que la gran mayoría de personas viviendo en el centro poblado de Chala están expuestas de forma permanente a los impactos ambientales en esta zona, que pueden afectar negativamente a la salud causada por diferentes fuentes de contaminación, incluyendo las actividades mineras.

Otro componente del incremento de la tasa de crecimiento anual del distrito es la alta tasa de fecundidad de la población. La Tasa Global de Fecundidad (TGF) en Chala es reportada como 2,8, algo por encima del promedio de la TGF de 2,6 en centros urbanos según estadísticas publicadas por ENDES 2012 (considerando estadísticas en el período 2009-2012)⁷. En comparación, la TGF en zonas rurales en Perú es de 3,6.

Según el INEI⁸, en la población en Chala hay levemente más hombres que mujeres, tanto en el ámbito urbano como rural. Mientras en el área urbana los hombres representan el 53.5% de la población, este número desciende a 51,7% en el área rural.

La densidad poblacional general en Chala es de 13,72 habitantes por km².

2.2.1 Distribución de la Población por Edades

Según el *Plan de desarrollo urbano de la localidad de Chala 2009-2015*⁹, el porcentaje de niños menores a 14 años representa el 30.48% de la población, seguido del 10.30% de jóvenes entre 25 y 29 años, con 10.26% el grupo comprendido por niños de 0 y 4 años y 10.20% lo comprenden jóvenes entre 20 y 24 años.

La distribución particularmente juvenil de la población se demuestra en el porcentaje de solamente 3,64% de adultos por encima de 65 años. La Tabla 2.1 resume la distribución de la población de Chala por edades.

⁶ Puerto de Chala, Revista de Opinión de Chalinos residentes en Lima, N°14, Mayo 2012.

⁷ Encuesta Nacional Demográfica y de Salud Familiar; <http://proyectos.inei.gob.pe/endes/2012/cap03.pdf>

⁸ <http://censos.inei.gob.pe/cenec2008/tabulados/>

⁹ <http://es.scribd.com/doc/258934072/BOLETIN-14-Puerto-de-Chala`33#scribd>

Tabla 2.1 – Distribución Resumida de la Población en Chala por Edades

| Categorías | Casos | % |
|------------------------|--------------|------------|
| De 0 a 14 años | 1583 | 30,48 |
| De 14 a 25 años | 950 | 18.29 |
| De 25 a 65 años | 2472 | 47.59 |
| Mayor a 65 años | 189 | 3,64 |
| TOTAL | 5194 | 100 |

El alto porcentaje de niños en el poblado de Chala exige una consideración especial en el análisis de riesgos para la salud humana, ya que son los niños que requieren de una protección particular por ser la fracción de la población más vulnerable a la contaminación ambiental.

2.2.2 Salud Pública

De acuerdo a información obtenida en el Puesto de Salud de Chala, se indica que las enfermedades más frecuentes son las de tipo respiratorias (IRAS), gastrointestinales (EDAS), entre otros. Así también, son elevados los índices de natalidad y mortalidad. Las emergencias médicas y atenciones complejas son derivadas a los hospitales de Camaná, Ica, Arequipa o Lima; estas atenciones por emergencia se ven limitadas debido a que el puesto de salud cuenta con limitados equipos de laboratorio y cirugía.

Debido a que enfermedades más complejas no son tratadas en Chala sino que son transferidas a otros centros médicos de mayor categoría en ciudades cercanas, no existen estadísticas confiables sobre la tasa de mortalidad como resultado de enfermedades crónicas como cáncer, enfermedades respiratorias crónicas (enfermedad pulmonar obstructiva crónica y el asma), diabetes o enfermedades cardiovasculares – todas ellas que podrían ser resultado de un ambiente contaminado por actividades de la pequeña minería.

2.2.3 Descripción de las principales Actividades Económicas

A. Pesca

En el Puerto de Chala, desarrollan actividades pesqueras 99 pescadores artesanales debidamente registrados, de los cuales 48 se dedican a la extracción de mariscos.

Las embarcaciones son de carácter artesanal y de diferentes características con un promedio de 2 toneladas métricas. Los pescadores artesanales utilizan aparejos de pesca, redes de cortina, chinchorros, esteras trampa, boliches y compresoras para la extracción de mariscos, las cuales son utilizadas y adecuadas según la especie a capturar.

Por las características de su infraestructura, la actividad pesquera tiene limitaciones para elevar sus niveles de productividad; una de las limitaciones principales es la falta de apoyo crediticio y organización empresarial, que le permitiría al pescador obtener adecuados márgenes de utilidad.

Las especies extraídas más importantes son: el pejerrey, corvina, lenguado, jurel, tollo, tolinas, pez volador, cojinova, erizos y lapas. La extracción pesquera destinada al consumo fresco es comercializada en Chala y la sierra de Caravelí, y en menor cantidad es llevada a mercados externos (incluyendo Lima, Chincha, Ica, Nazca y Arequipa).

Actualmente por manifestaciones recogidas de los pobladores del Distrito de Chala, la pesca se encuentra en crisis debido a la depredación sufrida por las diversas especies marinas en años anteriores, principalmente de erizos y huevos de pejerrey por empresas pesqueras extranjeras y nacionales sin control alguno por parte del Ministerio de Pesquería o IMARPE y/o licencias de extracción ambiguas. Tal situación ha hecho que la pesca sea ahora esencialmente para autoconsumo y una menor parte para la comercialización.

B. Minería

En el área del proyecto se registra la existencia de 13 plantas de beneficio utilizando cianuro para la extracción de oro y 62 plantas de beneficio utilizando el proceso de amalgamación con quimbaletes. No se observó la presencia de minas activas o históricas de extracción de mineral en proximidad inmediata a la población de Chala. (Ver Anexo 1)

En el lecho de las quebradas presentes en la cercanía al poblado de Chala (principalmente en la quebrada de Chala) existen actividades de la minería no metálica, particularmente para la explotación de agregados para la construcción.

Los principales yacimientos de minerales alrededor de Chala son: Minera Perla de Acarí, Amauta, Germania, Mendoza, Carca Mara, Atajo, Del Castillo, Pachimayo, Agua Salada, San Francisco, Carmencita, Varado, Chilina, Marcahui, Maraisaca, Copora y Milagrosa. Sin embargo, todas estas actividades de explotación se desarrollan en una distancia mayor a dos kilómetros del poblado de Chala.

El aprovechamiento de los recursos minerales, tiene en Chala oficinas principales, las que se encargan de viabilizar y optimizar el acceso, la comunicación y las facilidades operativas.

Es por causa de las actividades de la extracción de oro de minerales en Chala que este poblado se ha establecido como un corredor económico; además de ser uno de los distritos que concentra mayor población de la provincia. Ha logrado importancia en función a su ubicación geográfica o al desarrollo de esta actividad productiva por ser nexo entre los comerciantes de productos de primera necesidad, insumos para la minería y transporte que abastece a las diversas minas de la zona.

Cabe mencionar que la actividad minera artesanal data de los años 80 del siglo pasado cuando se produjo un súbito incremento del precio internacional del oro de niveles por debajo de 270 US\$/onza en los años 90 a 1826 US\$/onza en agosto del año 2011. Desde entonces esta actividad se ha incrementado progresivamente porque no obstante sus limitaciones tecnológicas y riesgos de seguridad y medio ambientales, constituye una fuente casi inmediata de trabajo para pobladores de escasos recursos.

A partir de 2011 se está observando una consolidación gradual del precio de oro a un valor actual de 1130 US\$/onza en septiembre 2015. Esta bajada en el precio de oro ha causado una disminución en la actividad de la pequeña minería de oro que cada vez se siente con mayor intensidad en la economía local de Chala.

En los últimos años se ha observado un creciente grado de formalización de los mineros de la pequeña minería y minería artesanal, gracias a instituciones como la Oficina Técnica de Apoyo (OTA) del Ministerio de Energía y Minas o la participación de ONGs locales como Solidaridad, que propician esta opción y brindan un soporte técnico y económico para este objetivo.

C. Comercio

La actividad comercial se encuentra concentrada en el distrito de Chala, que actúa como un centro intermediario de las ciudades de Ica, Lima y Arequipa. Esta actividad es más acentuada y de mayor flujo comercial en el distrito por su ubicación estratégica que constituye el punto neurálgico de toda la provincia.

En los últimos 10 años la actividad comercial se ha intensificado en Chala; la zona conocida como Chala Norte ha crecido urbanísticamente y ha concentrado una población de migrantes de los departamentos de Ica, Lima, Puno y de la ciudad de Arequipa, así también se han constituido empresas de servicios como laboratorios químicos y otros pequeños negocios comerciales como ferreterías, tiendas de abarrotes, restaurantes y hasta hoteles que albergan generalmente a trabajadores de las diferentes minas de esta provincia.

Otra conexión con las provincias de Ayacucho es la carretera de penetración Chala – Chaparra la altura del Km. 630 de la Panamericana Sur.

2.3 Geología

2.3.1 Geología General

El área del proyecto, regionalmente está emplazado en los tablazos marinos material cuaternario a reciente. Como basamento se identifica al complejo basal de la costa de edad Precámbrica.

Regionalmente se encuentran afloramientos de rocas de edad precámbrica (complejo basal de la costa), rocas de edad Jurasica (Fm chocolate), cretácica (Fm Guaneros), Terciaria (Volcánicos Sencca), Tablazos y material reciente de cobertura.

A. Rocas encontradas en la Zona de Chala

La secuencia estratigráfica en el cuadrángulo de Chala comprende edades desde el Precámbrico hasta el Cuaternario reciente. Las rocas Pre-cámbricas reconocidas como basamento cristalino afloran en Pampa Redonda y al sur de Puerto Viejo, constituida por gneises y milonitas.

i. Grupo Ambo

En la caleta Puerto Viejo (30 Km. al SE de Chala) se presenta un afloramiento de roca sedimentaria con flora de edad misisipiana, cuya litología está formada por areniscas gris-oscuro a negra de grano fino, intercalados con lutitas negras pizarrosas y limonitas gris oscuras.

Esta secuencia forma el grupo Ambo, que descansa con discordancia angular sobre la roca del complejo basal, marcando la discordancia Eoherciniana que separa el Carbonífero Inferior de las rocas más antiguas.

ii. Grupo Tarma

Se encuentra al sur de Pampa redonda, consiste en una intercalación de Limonitas de color gris verdoso, que descansa en discordancia sobre los gneises del Complejo Basal e infrayaciendo a la formación Chocolate y Millo. Esta secuencia es reconocida como del Carbonífero Superior.

iii. Formación Volcánico Chocolate

Los estratos que comprenden esta unidad descansan con clara discordancia sobre el grupo Tarma o los del complejo Basal e infrayace, concordantemente con los estratos del Jurásico medio.

iv. Formación Guanero

Descansa en discordancia erosional sobre el volcánico Chocolate e infrayace con discordancia erosional al grupo Yura. En el área del Cerro Casposo, los estratos que rigen a esta formación están fragmentados por fallas, su litología está compuesta por brechas volcánicas de color verde o marrón con fragmentos de composición andesítica, andesitas porfiríticas, intercaladas con areniscas verdes de grano fino. El Jurásico superior está representado por esta formación.

v. Grupo Yura

Se ubica en el cretácico inferior y está constituida por dos secuencias muy determinadas: una inferior, la Formación Yauca y otra superior denominada Formación Hualhuani, no observada en el área de estudio.

vi. Formación Yauca

Su afloramiento se encuentra en la Quebrada Flor del Desierto, donde desaparece el facie volcánico, encontrando una litología compuesta por bancos de areniscas blancas, intercaladas con limonita gris oscura. En el Cerro Cormac las secuencias de limonita están levemente plegadas y falladas.

vii. Formación Pisco

Se han reconocido afloramiento de pequeña extensión en el área de estudio, las que descansan en discordancia angular sobre rocas mesozoicas e infrayacen con pequeña angularidad al volcánico Sencca como a las terrazas marinas.

El afloramiento de mayor extensión se presenta en el Cerro Josefina, cuya litología está compuesta por intercalaciones de arcillas, limonitas y delgadas capas de yeso.

En el corte realizado a la Quebrada Chala para dar paso a la carretera Panamericana se aprecia el afloramiento de esta formación, que tiene por litologías arcillitas y areniscas de grano fino y color blanco amarillento. Esta formación es reconocida como rocas terciarias.

viii. Formación Millo

La litología está dada por aglomerados, areniscas conglomerádicas, tobas y cenizas volcánicas.

Los conglomerados están formados por rodados de cuarcita y calizas en una matriz arena- tobáceas.

En los cerros Blanco y Frente de Jaqui sobreyacen a una monzonita cuarcífera y al Complejo Unión en los Cerros Caranga y la Yesera. Se le asigna una edad sobre la formación Millo.

ix. Formación Volcánico Sencca

Es una secuencia pinooclástica constituida por tobas dacíticos-riolíticas, descansando en discordancia erosional sobre la Formación Millo.

En Chala Viejo, sobreyace con aparente discordancia angular a la formación Pisco, en roca alterada de color rojizo a naranja. En muestra fresca varía entre gris claro a blanco amarillento. A esta formación se le da una edad del Plioceno Medio.

x. Terrazas Marinas

Los mares ocupaban áreas más allá de los límites actuales, habiéndose levantado la costa en forma de terrazas escalonadas, creándose pampas costaneras tales como la Aguada, Cápac y Huangarume, y que son disectadas por las quebradas Chala, Huanta, Totoral, Higuierón y Chaparra.

Las que han servido de canales de aporte de los sedimentos que se encuentran consolidados y que están constituidos por conglomerados gruesos y finos, arenas sueltas o poco consolidadas que incluyen abundantes restos de valvas. Se ha determinado una edad del Pleistoceno.

xi. Depósitos Recientes

Dentro de los depósitos recientes se han observado los coluviales correspondientes a agregados de fragmentos angulosos que se acumulan regularmente en los taludes adyacentes a los macizos rocosos, con tamaño y forma variables dependiendo de la roca que la origina. También se incluye los depósitos fluviales acumulados por los cursos de agua a lo largo de los lechos por donde discurre.

Los depósitos aluviales tienen una notable variación en tamaño y en la mezcla de fracciones clásticas que depende de la roca madre, de la pendiente y a la intensidad del medio energético que interviene en su acumulación y obviamente en la característica de la meteorización.

En los lechos y quebradas se encuentran grandes bloques redondeados a sub-redondeados, mezclados con arenas gruesas y limos resultantes de la meteorización granular de las rocas.

B. Geomorfología

El área del proyecto se encuentra ubicada en la unidad geomorfológica Faja Litoral, la cual se extiende entre la línea de costa y la planicie costera y que se caracteriza por ser una franja que comprende varias superficies sub-horizontales extendiéndose desde el nivel del mar hasta los 300 m.s.n.m. Esta unidad morfológica sugiere procesos de erosión y acumulación marina, que luego fue levantada y posteriormente ha recibido el aporte de materiales fluviales y eólicos que rellenaron anteriores depresiones, configurando extensas pampas.

En esta área se puede distinguir tres geoformas:

i. Terrazas

La geología local en el poblado de Chala se encuentra conformada por terrazas marinas. Dichas terrazas son componente de un sistema de cuatro terrazas de deposición que van desde el nivel del mar hasta una altitud de aproximadamente 300 metros. Se caracterizan por ser superficies sub horizontales a horizontales abarcando una extensa área, fue formado en las regresiones ya que se puede observar material de alta energía, así como restos de conchas marinas lo que confirma su origen marino cubierto por capas más recientes de material eólico fluvial, este último acumulado por las avenidas del valle de Tocota – Huanuhuanu en épocas anteriores.

Las terrazas conocidas por los nombres de pampas de Chala, Terrazas de Chala, Pampa Checo y Pampa Buena Vista se encuentran disectadas por quebradas secundarias de poca profundidad. Los sedimentos se encuentran poco consolidados y está constituido por conglomerados gruesos y finos, arenas sueltas o poco consolidadas que incluyen abundantes restos valvas y bancos de coquinas.

ii. Quebradas

Existen cuatro quebradas de poca profundidad en la proximidad a Chala que cortan a las terrazas y afloramientos rocosos intrusivos y sedimentarios; dichas terrazas son conocidas con los nombres de quebradas Chala, Totoral, La Huanca y Caleta (en este orden de sur a norte), cuyas nacientes son cercanas al mar, y van encañonándose en las cercanías del mar exponiendo la secuencia estratigráfica de las terrazas.

La Figura 2.2 demuestra las quebradas presentes en la zona de proyecto.

Figura 2.2 - Quebradas en la Zona del Proyecto



Fuente: Google Earth

iii. Colinas.

Entre las pampas citadas y el litoral marino, se extienden pequeñas colinas, que vienen a ser remanentes de antiguos cerros achatados por la erosión marina. Están conformados por afloramientos de la Formación Pisco, con delgadas coberturas de material fluvial eólico.

C. Estratigrafía

La estratigrafía está constituida por secuencias volcánicas del Jurásico inferior (Volcánicos Chocolate), las cuales fueron instruidas por el batolito de la costa, depositándose posteriormente los sedimentos de la Formación Pisco (TS-vse). Finalmente se produjeron aportes de materiales fluviales y eólicos recientes.

i. Formación Pisco

La litología predominantemente está compuesta por areniscas tobaceas, limolitas amarillenta a blanco grisáceas, la estratificación es paralela sesgada, en general lo podemos dividir de base a techo en una secuencia grano creciente positiva.

Las observaciones en esta formación indican un ambiente de deposición de playa, de alta energía a una zona de mediana energía, esto por la presencia de fósiles o restos de valvas. Se le asigna una edad Mío Pliocénica.

ii. Depósitos recientes

Está compuesta por terrazas marinas dispuestas de manera escalonada, desde el nivel del mar hasta los 200 mts.

La secuencia de estratificación está conformada por capas de material grueso, conglomerados al piso gradando afino en la parte superior, suelto (arcillas y arenas), con presencia de valvas y coquinas, cubiertas por material aluvial (Q-al).

iii. **Rocas Intrusivas**

Al Nor Este del área de investigación, aflora Gneis pertenecientes al complejo basal de la costa; de la misma manera en los acantilados al Sur Oeste aflora las mismas rocas, lo que nos indica que estas rocas conforman el basamento en la zona y son las rocas donde descansaría las terrazas marinas, de la misma manera al NE se tiene el Volcánico Chocolate infra yaciendo a las tobas Sencca.

D. Geología Estructural

Como rasgo estructural regional importante, se tiene hacia el NW, la presencia de un sistema de fallamiento regional en bloques, el mismo que afecta a formaciones del mesozoico y el complejo basal de la costa. Se puede distinguir en las zonas de interés, por la presencia de un alineamiento de pequeñas cumbres que limita los Volcánicos Chocolate y los depósitos recientes.

Figura 2.3 - Columna Estratigráfica Local



2.3.2 Geología Local

A. Estratigrafía Local

El área de estudio se encuentra ubicada desde la playa de Chala subiendo los depósitos de terrazas marinas hasta una altura de aproximadamente 200 msnm. La estratigrafía local comprende a partir del Cenozoico, con la formación Pisco (Mioceno), donde la posición de sus estratos es sub- horizontal, con una litología compuesta por areniscas, limonitas, limolitas, arcillas e infrayaciendo con pequeña angularidad a las terrazas marinas del Pleistoceno.

Estas terrazas marinas se formaron cuando los mares ocupaban áreas más allá de los límites actuales, las constantes transgresiones y regresiones y luego el levantamiento de la costa ha ocasionado que se formara escalonadamente estos tipos de depósitos, cuya composición litológica es de grava, arena, limos poco consolidados, intercalados con láminas de yeso y abundante resto de valvas.

Depósitos recientes corresponden al Holoceno (cuaternario reciente), donde la acción erosiva de las avenidas traídas por la Quebrada Chala disectó las terrazas marinas, acumulando depósitos fluvio-aluviales a lo largo de sus márgenes y cuya composición litológica está compuesta por arcillas, en menos porcentaje arenas, gravas de diferentes dimensiones, mal distribuidas y no consolidadas.

Otro tipo de depósito formado son los coluviales, que se han acumulado en las laderas del Cerro Chorrillo como producto de la acción de la gravedad, es un material suelto, compuesto por arcillas, arenas y gravas.

En la siguiente Tabla 2.2 se presenta un resumen de la columna estratigráfica integrada esperada en el área de estudio¹⁰. Un mapa geológico del cuadrángulo de Chala, publicado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú, se adjunta en el Anexo 7.

Tabla 2.2 – Columna Estratigráfica Integrada del Área de Estudio

| Era | Edad | | Unidades Lito – Estratigráficas | |
|-----------|-------------|----------------------|--|---|
| | Sistema | Serie | Identificación | Litología |
| Cenozoico | Cuaternario | Holoceno | Depósito glacial, aluvial, eólico | Cantos rodados gravas y arena |
| | | Pleistoceno | Volcánico Sara Sara Depósitos glaciales y marinos Formación Changuillo | Aglomerados, lavas y piroclásticos re depositados |
| | Terciario | Plioceno Pleistoceno | Grupo Barroso | Lava andesítica y dacítica |
| | | Plioceno | Formación Capillune Volcánica Senca Formación Millo | Limolitas, areniscas tobáceas, microconglomerados Todas riolíticas, dacíticas Conglomerados |
| | | Mioceno | Grupo Nasca (Formación Huaylillas) Formación Alfabamba Formación Pisco | Conglomerado en la parte inferior y todas en la parte superior (tobas dacíticas y riolíticas) Tobas riolíticas Areniscas tobáceas, limolitas y lutitas diatomíticas y betoníticas |
| | | Oligoceno Mioceno | Grupo Tacaza Formación Camaná | Areniscas tobáceas y lutitas en la parte inferior. Lavas andecíticas, riolíticas, dacitas y tufo en la parte superior. Areniscas calcáreas, conglomerado y piroclásticos |
| | | Eoceno Oligoceno | Formación Paracas Formación Huanca | Limolitas, lutitas y areniscas Areniscas tobáceas, lutitas, andesitas y tobas Arenisca, brechas y conglomerado de color rojo |

¹⁰ Enrique Olchanski Lomparte 1980, Geología de los Cuadrangulos de Jaqui, Coracora, Chala y Chaparra, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín N°34, Serie A, Carta Geológica Nacional. <http://es.calameo.com/read/000820129064e6ca61e15>

| Era | Edad Sistema | Serie | Unidades Lito – Estratigráficas | | |
|-------------|--------------------------------|-----------------|--|---|--|
| | | | Identificación | Litología | |
| Cenozoico | Terciario | Pale-Eoceno | Formación Caravelí | | Conglomerado |
| | | Paleoceno | Formación San José | | Areniscas con limolitas de color rojo ladrillo en la base y areniscas, lutitas, limolitas, yeso, sal en el techo |
| Mesozoico | Cretáceo | Inferior | Formación Arcurquina (Portchuelo) Formación Murco | | Calizas grises a blanquesinas con areniscas calcáreas. Andesita intercalada con areniscas y calizas. Areniscas gris verdosas a marrón violáceo |
| | | | Grupo Yura | Fm. Hualhuani | Cuarcitas |
| | | | | Fm. Yauca | Areniscas, limolitas y andesitas |
| | | | Formación Guaneros (Río Grande) Formación Yuncachaca (Socosani) Formación Monte Grande | | Andesitas, lutitas, calizas Andesitas intercaladas con lutitas y areniscas verdosas Lutitas, areniscasm caliza con derrames andesíticos |
| | Jurásico | | Vol. Chocolate | Areniscas, conglomerados y brechas en la base y andesitas en la parte superior | |
| Paleozoico | Pérmico Carbonífero Pre-Ordov. | Pensyl. Missip. | GrupoMitu Grupo Tarma Grupo Ambo Formación Marcona (San Juan) | Arenisca gris rojizo Limolitas gris oscura, areniscas, lutitas pizarrosas Areniscas gris oscura y lutitas negras. Calizas silicificadas, mármoles, esquistos | |
| Precámbrico | | | Complejo Basal de la Costa | Gnesis, esquistos, filitas, cuarcitas, volcánicos metaformizados, granito, etc | |

B. Geomorfología

El panorama morfológico del área local es el resultado de un proceso morfotectónico desarrollado durante el Eoceno superior y Pleistoceno; donde los elementos activos predominantes que dieron origen al modelado geomórfico fue el levantamiento de los Andes que se manifiesta en un delta de sedimentación sujeta a sucesivos levantamientos.

Este delta tiene una extensión superficial actualmente determinable. El proceso morfotectónico originó procesos erosivos y geodinámicos, dando lugar a las Terrazas Marinas de una extensión determinable.

Estas terrazas son superficies de abrasión, que se desarrollaron por sucesivos levantamientos del área costera. Debido a las reducidas extensiones de las terrazas que se tienen, es preferible no denominarlas como Tablazos que en otros sectores de la costa actual tienen grandes extensiones.

i. **Zona Litoral**

Comprende una franja de costa que ha sido desarrollada por diferentes procesos. La existencia de una superficie de abrasión a la línea de costa, que está relacionada principalmente al oleaje y al nivel de mareas que actúan intermitentemente y con intensidad variable sobre las rocas formándose unas terrazas con suave pendiente hacia el mar.

Una segunda geoforma es la acumulación marina durante el Pleistoceno que coincide con el período de desglaciación, durante la cual los ríos transportaron y depositaron gran cantidad de gravas, arenas, arcillas, así como también la de erosión marina, cuando se acumularon en pequeñas bahías sedimentos marinos y luego los sucesivos levantamientos de la costa han originado terrazas actuales de acumulación marina.

ii. **Cerros Costeros**

Los cerros o elevaciones costeras se encuentran separados por valles y quebradas, son unidades rocosas resistentes a los procesos exógenos. Estas elevaciones forman cadenas que coinciden con la línea litoral, su topografía es más accidentada.

iii. **Planicies Sub – Andina**

Son superficies que se formaron posiblemente en el terciario medio por la acción erosiva del mar alcanzando las rocas del batolito que han quedado al descubierto por dicha acción.

2.4 Suelos

El suelo es clasificado basándose en su morfología y génesis, es decir, por sus características físico-químicas, biológicas, así como por la presencia de horizontes en el perfil. Aquellas superficies que presentan poco o nada de suelo, son considerados como áreas misceláneas.

La descripción de los suelos para el presente proyecto, se realizó teniendo en cuenta las clasificaciones de estudios anteriores y de observaciones en cortes naturales y quebradas.

La clasificación de tierras por capacidad de uso mayor toma en consideración los aspectos edafoclimáticos, para realizar una interpretación práctica de los estudios de suelos. Con tal fin se ha utilizado el Reglamento de Clasificación de las Tierras del Perú, del Ministerio de Agricultura (1975), con las ampliaciones sugeridas por la ONERN, hoy INRENA.

De acuerdo a la clasificación FAO, estos suelos se ubican en la asociación de suelo Solonchak háplico – leptosol éutrico que se caracteriza por suelos con un alto contenido en sales solubles y por ser suelos de baja evolución, muy delgados (espesor < 25 cm.) y sobre una roca dura (capa cementada ó material mayor a 40% carbonato de calcio (CaCO₃), material muy gravoso).

Los suelos de la zona del proyecto presentan las siguientes características:

- Suelos con textura arenosa con contenidos variados de limo.
- Presencia de acumulaciones con material fluvial eólico con textura limo arenoso de granulometría fina a muy fina.
- Presentan régimen de humedad arídico (existe poca o ninguna lixiviación en este régimen de humedad y las sales solubles se acumulan en estos suelos, si existe una fuente de ellas).
- En cuanto a los horizontes diagnóstico, el epipedon en la mayoría de los casos es ócrico, con muy bajo contenido de materia orgánica y muy bajos índices de saturación de poros con agua; y de los sub superficiales aparecen ya horizontes evolucionados como el argílico, nátrico y frecuentemente presentan horizontes producidos por la acumulación de sales (cálcico, yésico, sálico).
- Son de colores claros, con bajos a muy bajos contenidos en materia orgánica, de espesores delgados a medios, reacción alcalina a neutra, suelos saturados, de texturas gruesas y con baja actividad biológica.
- Presentan malas condiciones para el desarrollo de las plantas, ya sea por la falta prolongada de agua, la falta de materia orgánica, nutrientes o ya sea por la presencia de exceso de sales. Para el presente estudio, se considera como “suelos” tanto los suelos autóctonos (naturales) como los suelos alterados por la actividad humana, incluyendo sustratos sólidos y no consolidados de origen antropogénico que se encuentran en la superficie del terreno.

2.5 Mineralogía

En el segmento Arequipa del batolito de la costa sur media del Perú, se encuentra la franja Nazca-Ocoña que se caracteriza por una mineralización oro-cobre-hierro (INGEMMET 2008)¹¹. 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, el cuadrángulo de Nazca 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.

¹¹ 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.

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 (calverita, 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 algunas 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 ($(\text{Cu, Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$) y pirrotita ($\text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$). Los menos frecuentes son: bornita (Cu_5FeS_4), chalcocita (Cu_2S), molibdenita (MoS_2), polibasita ($(\text{Ag, Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$), proustita (Ag_3AsS_3), estefanita (Ag_5SbS_4), estibinita (Sb_2S_3) y tenantita ($(\text{Cu, Fe, Ag})_{12}(\text{SbAs})_4\text{S}_{13}$).

En minerales oxidados, el 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 (CaCO_3), sericita (filosilicato con Al, Si, K, Fe, Mg), fluorita (CaF_2), rodocrosita (MnCO_3), siderita (FeCO_3), feldspatos ($(\text{K, Na, Ca, Ba, NH}_4)(\text{Si, Al})_4\text{O}_8$) y minerales de arcilla (tipo $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

2.6 Meteorología

En el ámbito de la zona donde se localiza la Planta de Beneficio “CONFIANZA”, el clima es cálido a semi-cálido (13,0 a 29,3 °C), característico del sector costa de la cuenca y varía a clima frígido en la parte alta (5 °C) cercana a las estribaciones andinas. Los datos climáticos más importantes que se describen, provienen de información recopilada de los estudios en la zona, realizados por SENAMHI.

La Estación Meteorológica CO Chala ubicada en la latitud Sur 15° 51´ 51”, longitud Oeste 74° 14´ 14”y altitud de 94 m.s.n.m. es considerada como la referencia climática más cercana de la zona del Proyecto.

2.6.1 Precipitación (mm)

La precipitación es mínima o nula, de acuerdo a los reportes que se tiene de la Estación Chala, Tipo Convencional - Meteorológica, donde la precipitación entre el periodo 2011 - 2012 es cero. Como un único evento de ocurrencia se presenta en el mes de junio del 2011 con una precipitación total mensual de 8,5 mm.

2.6.2 Temperatura

La temperatura es el parámetro que está ligado a las variaciones altitudinales. Este parámetro tiene una variación inversa con la altitud, es decir, a mayor altitud se presentan temperaturas menores.

La temperatura de la zona es cálida a semi-cálida, siendo la temperatura promedio anual de 18.2 °C; en general la temperatura promedio máxima es de 24,4 °C y la mínima de 16,0 °C.

El régimen de temperatura mensual es relativamente constante a lo largo del año, con tendencia a presentarse las temperaturas mensuales medias relativamente altas durante los meses de diciembre a abril (ver Tabla 2.3).

Tabla 2.3 – Temperatura (°C) máxima, mínima y media mensual en el distrito de Chala (SENAMHI 2010)

| Temperatura | | Estación Meteorológica CO Chala | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|---------------------------------|-----------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|-----------------|------|------|-----|
| | | Año | LAT.: 16°51'54" | | | | LAT.: 74°14'43" | | | | ALT.:30m.s.n.m. | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
| Maxima | 2010 | 26.9 | 28.4 | 27.5 | 26.7 | 23.6 | 20.9 | 18.7 | 18.7 | 19.9 | 22.1 | 23.1 | 25.3 | |
| Mínima | | 19.3 | 20.0 | 18.8 | 17.6 | 16.1 | 13.6 | 12.2 | 12.7 | 13.3 | 14.2 | 15.7 | 16.2 | |
| Media Mensual | | 23.1 | 24.2 | 23.2 | 22.1 | 19.7 | 17.3 | 15.5 | 15.7 | 16.6 | 18.0 | 20.1 | 21.2 | |

Fuente: SENAMHI

2.6.3 Humedad Relativa

La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.

Los registros más altos de humedad relativa se presentan en los meses de enero y febrero, siendo el promedio (mensual) de 87.3% (ver Tabla 2.4). El conocimiento de la humedad relativa es importante para evaluar la velocidad de la descomposición de minerales sulfurosos y la formación de aguas ácidas. En el caso del distrito de Chala con una humedad promedio relativamente alta de unos 81%, se puede pronosticar una descomposición relativamente rápida de sulfuros como pirita por oxidación, si estos minerales tienen contacto con el aire.

Tabla 2.4 – Humedad relativa (%) en el distrito de Chala (SENAMHI 2010)

| | | Estación Meteorológica CO Chala | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| | | LAT.: 16°51'54" | | | | LAT.: 74°14'43" | | | | ALT.:30m.s.n.m. | | | | |
| Humedad Relativa | | Año | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
| Maxima | 2010 | 91 | 92 | 85 | 86 | 87 | 83 | 86 | 87 | 93 | 87 | 84 | 80 | |
| Mínima | | 79 | 79 | 75 | 73 | 76 | 78 | 77 | 78 | 75 | 75 | 72 | 72 | |
| Media Mensual | | 85 | 83 | 79 | 80 | 84 | 82 | 82 | 83 | 82 | 80 | 77 | 76 | |

Fuente: SENAMHI

2.6.4 Dirección y Velocidad del Viento

La velocidad del viento oscila entre 3,2 m/s y 4,2 m/s y la dirección predominante del viento es de Sureste.

Tabla 2.5 – Dirección y Velocidad del Viento Media Mensual (m/s) (SENAMHI 2011/2012)

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2011 | 4.5 | 3.6 | 4 | 4 | 3.8 | 4.1 | 4.2 | 3.7 | 3.7 | 3.6 | 3.8 | 3.5 |
| | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE |
| 2012 | 3.4 | 3.2 | 3.6 | 3.9 | 3,8 | 3,8 | 4,0 | 4,2 | 3,9 | 3,8 | 3,7 | 3,6 |
| | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE | SE |

Fuente: SENAMHI

A pesar de que la dirección medida con la estación de SENAMHI es exclusivamente hacia el SE, las mediciones de la dirección del viento realizadas en la elaboración de los diferentes instrumentos ambientales en la zona demuestran que la dirección local puede variar considerablemente y/o revertir la dirección (ver Sección 5.1.1).

Una posible explicación de este hallazgo es la formación de remolinos por la topografía del terreno, efectos térmicos por el calentamiento del aire en la tierra y la canalización del flujo de aire por quebradas y edificios.

2.7 Hidrología y Agua Potable

La provincia de Caravelí es atravesada transversalmente por seis cuencas, todas ellas vertientes del océano Pacífico. En torno de estas cuencas se asienta un importante porcentaje de la población y se ubican las principales áreas agrícolas y ganaderas.

Estas cuencas, de Norte a Sur, son: Acarí, Yauca, Chala, Cháparra, Atico y Caravelí – Pescadores. Solo las cuencas de los ríos Acarí y Yauca cuentan con caudales permanentes que llegan a desembocar al mar. En las demás, los recorridos de agua son esporádicos (casi nulos) y condicionados a las temporadas de lluvias en la sierra, aunque permanecen afloramientos y manantiales que permiten la actividad agrícola.

En general, las cuencas presentan un relieve accidentado, con una hoya hidrográfica escarpada, alargada y profunda y de quebradas con fuertes pendientes. Los ríos Acarí y Yauca cuentan con estaciones de aforo con una media anual de descarga —para el periodo comprendido entre 1960 y 1986— de 9.578 m³/s y 13 metros m³/s, respectivamente (INEI 1998). Los promedios anuales de aforo para las otras cuencas son poco importantes: Chala con 0,7 m³; Chaparra con 1,1 m³/s; Atico con 0,6 m³/s y Caravelí con 1,4 m³/s (ONERN 1975)¹².

Parámetros de Cuenca

Parámetros de Forma: La forma de una cuenca es determinante de su comportamiento hidrológico, de ahí que algunos parámetros traten de cuantificar las características morfológicas por medio de índices o coeficientes. Los parámetros de forma principales son: Coeficiente de Compacidad y Rectángulo Equivalente.

Coeficiente de Compacidad: Este coeficiente relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de una cuenca teórica circular de igual área; estima por tanto la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca (longitud que abarca desde la salida hasta el punto topográficamente más alejado de ésta). Toma siempre un valor mayor a la unidad, creciendo con la irregularidad de la cuenca.

Rectángulo Equivalente: Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l).

Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución altitudinal de la cuenca original.

¹² <http://www.desco.org.pe/sites/default/files/publicaciones/files/caraveliVFT.pdf>

No se tiene conocimiento de un estudio hidrológico detallado que incluya específicamente el área de proyecto del puerto de Chala; por otra parte existe información limitada sobre la cuenca de Chala de algunos estudios realizados en el marco de la formalización de plantas de cianuración.

Todos estos estudios tienen en común que, se aplicaron diferentes modelos para la estimación de caudales de aguas subterráneas, profundidad de la napa freática, conductividad hidráulica, cuota de recarga, etc. pero no se realizaron estudios en campo para la verificación de estos resultados. Como una conclusión común, según el Índice de Precipitación (IP) del (SENAMHI, 2002) existe en el área de proyecto, por la escasez de precipitaciones, una deficiencia hídrica extrema con un IP cerca a cero.

De las cuatro quebradas principales en el área de proyecto, Quebrada Chala, Totoral, Huanca y Caleta, las quebradas Chala y Huanca son las más importantes en el presente estudio por tener un impacto directo por la presencia de plantas metalúrgicas.

Quebrada de Chala

El recurso hídrico de la cuenca de Chala proviene principalmente de la precipitación de esta cuenca en su parte alta. El área total de drenaje hasta su desembocadura es de aproximadamente 1341 km longitud máxima de recorrido, desde sus nacientes, de 70 km geográficamente está comprendida entre las coordenadas 15° 00' 30" y 15°21' 00" de latitud sur y 73°51' 00" y 74°15' 00" de Longitud Oeste. Políticamente está ubicado en el distrito de Chala, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.

Para los fines de la evaluación hidrológica, el área limita por el norte con las cuencas del río Yauca, por el sur con la cuenca del Chaparra, por el este el océano Pacífico. Estando fijado su límite por la cota de los 2800 m.s.n.m. en consecuencia, el 34% del área total de la cuenca contribuye al escurrimiento superficial.

Las condiciones hidrogeológicas de aquellas referentes a la zona de la costa, tienen subsuelos constituidos por estratos sedimentarios con capacidad de constituir acuíferos. Estos acuíferos son horizontes de rocas con capacidad de almacenar agua subterránea en condiciones estables.

En áreas muy próximas al mar se tienen interfaces entre el agua salada que también constituyen acuíferos salobres y las aguas continentales que por lo común son aguas sin sal, que guardan entre ellos una delimitación natural sin llegar a entremezclarse.

Las alturas piezométricas de los acuíferos son niveles de agua subterránea, que se mantienen por la naturaleza de las rocas del acuífero y por las recargas y descargas de las mismas.

La quebrada Chala está potencialmente afectada por actividades mineras, principalmente por la planta de beneficio Titan.

Quebrada Huanca

La cuenca Hidráulica de la quebrada Huanca, hace su recorrido por los lugares como la Boca de Huanca, Cerro Buenavista, Pampa Buenavista, Pampa la Aguada y Aguadita; extendiéndose hasta desembocar en las playas de Chala.

La superficie que comprende la zona de estudio, se encuentra en el litoral de la costa, el paisaje es aluvial del cuaternario reciente, es un valle angosto seco y eriazo con laderas y fondos de valle formado por la quebrada Chala, que en época de avenidas discurre volúmenes de agua superficial en caudales mínimos.

La quebrada tiene un impacto potencial directo o indirecto por varias plantas de cianuración, incluyendo La Españolita, Buena Vista II, Analítica, Don Felix, Confianza y Paraíso.

Con respecto a la profundidad de la napa freática en la quebrada, existe por ejemplo información más detallada de un pozo de producción de agua en la planta de beneficio La Españolita. Las coordenadas UTM WGS 84 del pozo son:

Norte: 8249747

Este: 577473

Geológicamente, el acuífero está conformado por depósitos inconsolidados fluvio aluvial y material eólico que han cubierto antiguas depresiones y cauces.

La cota del nivel estático del pozo se encuentra 17 metros por debajo de la cota de la superficie de 74 msnm. Con respecto a las especificaciones hidrogeológicas del acuífero en el área de proyecto, se determinó mediante sondeos eléctricos verticales (SEV) que el acuífero presenta dos horizontes saturados (superior e inferior), aunque en ciertos sectores se observaron tres horizontes (horizonte medio).

Horizonte Superior. Horizonte de espesor reducido mayormente varía entre 7 y 39 m (en algunos lugares hasta 60 m) de permeabilidad media, con resistividades eléctricas que varían entre 30 y 123 Ohm-m (en ciertos sectores fluctúa entre 270 y 408 Ohm-m). El primero indicaría que este horizonte estaría conformado por clastos medios a gruesos de buenas condiciones para la prospección de aguas subterráneas, mientras que las segundas no son adecuadas.

Horizonte Medio: Horizonte que no se observa en todos los sectores del valle, en promedio es de mayor espesor que el anterior (10-40 m), con permeabilidades de media a alta (resistividades eléctricas entre 60 y 115 Ohm-m) que indicaría que está conformado principalmente por clastos gruesos a medios. En ciertos sectores presenta buenas condiciones para la exploración y explotación de aguas subterráneas.

Horizonte Inferior: Horizonte de gran espesor (hasta 150 m) y en ciertos sectores con resistividades que fluctúan entre 40 y 120 Ohm-m que indicaría que está conformado por clastos medios a gruesos de buena permeabilidad.

La recarga principal del acuífero lo constituye la quebrada Huanca; así también en menor porcentaje la infiltración de riego que viaja a través de los estratos inconsolidados para llegar a niveles medios y profundos. Como reservas totales de la cuenca en el punto del pozo, se calculó un total de 15 869,024 m³. En el estudio no se determinó mediante ensayos de campo con más exactitud la cuota de recarga del acuífero.

2.7.1 Aguas Superficiales

Las cuencas encontradas en el área de proyecto presentan un recurso hídrico muy limitado y escurrimiento escasamente esporádico que nunca o muy pocas veces llega al mar.

En la época de lluvias se puede encontrar agua superficial en la quebrada de Chala, a la altura de Chala Viejo, ubicada a unos 10 km río arriba en dirección NE al poblado de Chala. Durante la visita de campo realizado en el mes de mayo, aún se encontró agua superficial en la quebrada; sin embargo, no se tiene conocimiento de que esta agua logra llegar a alturas del puerto de Chala sin evaporarse o infiltrarse en el subsuelo durante su recorrido.

El acuífero de aguas superficiales más importante en la zona es el mar, que es tanto la base de la industria pesquera como del turismo. Hasta la fecha se desconoce la magnitud del impacto de las actividades mineras a este recurso hídrico y en particular a la vida acuática.

2.7.2 Aguas Subterráneas

Las cuencas en el área de proyecto presentan la forma general de cuerpos alargados cuyo patrón de drenaje es de tipo dendrítica. Dentro de este paisaje se encuentran los suelos ubicados en la llanura aluvial en el cauce actual de las quebradas. En la Región existen formaciones permeables de características regionales, producto de la acumulación pluvial en las cubetas sedimentarias.

Existe una variedad de pozos de producción en el lecho de la quebrada Chala que se utilizan para aprovecharse de agua potable, para la agricultura (altura de Chala Viejo) y para la minería. La sección 5.2.4 presenta detalles sobre la ubicación, tipo, propietario, sector, uso y otras características de los pozos registrados en la zona; sin embargo, de la mayoría de los pozos se desconoce detalles importantes como la profundidad y la cuota de recarga durante las diferentes épocas del año.

Según información recibida por la población, existen pozos a diferentes profundidades, que varían entre 5 y 50 metros aproximadamente. Los pozos de menor profundidad y particularmente en cercanía al mar tienen agua no potable con alto contenido de sales (ver Sección 5.2.4).

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 en la quebrada de Chala:

- a. La dirección del flujo más probable es hacia el lado Sur-Oeste, es decir con una descarga a las aguas del Océano Pacífico.
- b. Basándose en la topografía, el gradiente hidráulico dentro del área de proyecto es alrededor de 3.6%.
- c. Por la composición de los sedimentos encontrados en el lecho de la quebrada, la conductividad hidráulica se espera en el orden de 10^{-4} a 10^{-2} cm/s.

Tanto el gradiente como la conductividad hidráulica indican un potencial de buena recarga del acuífero superior por debajo del lecho del río, que depende significativamente de las precipitaciones río arriba con las fluctuaciones estacionales.

2.7.3 Agua potable

El sistema de abastecimiento de agua potable es administrado y gestionado por la empresa de SEDAPAR. La situación de agua potable en el puerto de Chala sigue siendo un problema principal que requiere la atención de las autoridades municipales. 48% de la población no cuenta con el Servicio de Agua Potable de SEDAPAR y el restante 52% cuenta con el servicio solamente tres veces por semana y con una continuidad menor a una hora diaria. Ante esta situación, la municipalidad implementó cisternas para la distribución de agua de aproximadamente 18 mil usuarios y a un precio accesible.

Fuentes de captación de agua:

La principal captación de agua potable es a través de las Galerías filtrantes de la Josefita (0.19 l/s-litros por segundo) y de Joruro (8.0 l/ss). La primera, ubicada en el lecho seco del Río Chala a 6200m de la ciudad en el lugar denominado la Josefita, tiene una antigüedad de 40 años y su estado de conservación es considerada regular a deficiente por arenamiento de las tuberías. La otra galería está ubicada en el lugar denominado Joruro, a 9500m de la ciudad, con una antigüedad de 7 años. El estado de conservación de esta galería es considerada buena.

En la actualidad, la captación, en promedio, es de 4,05 l/s; con lo cual se cubre la demanda actual de la población conectada a la red del servicio de agua potable. Sin embargo, dado un crecimiento de la demanda por el servicio de agua potable, se ha proyectado la Perforación y el Equipamiento de Pozos (San Andrés y Cruz de Bejarano), que permitirá incrementar la oferta en 15 l/s. La oferta total del sistema de almacenamiento actual es de 570 l/s, la cual se mantiene estable durante el quinquenio¹³.

¹³ Información SEDAPAR,
http://www.sedapar.com.pe/componentes/recursos/data/indicadores/pmo/sedapar_estudioTvf_dic2014.pdf

Para asegurar la potabilidad del agua no se aplica ningún sistema de filtración, únicamente se aplica cloro para eliminar bacterias. Los análisis Físico – químicos y bacteriológicos se realizan periódicamente en las ciudades de Camaná y Arequipa. Resultados de los análisis se presentan en la Sección 5.2.4.

Sistema de Almacenamiento y Distribución:

Existen tres reservorios en el distrito de Chala:

- El Reservorio R1, tiene una antigüedad de 40 años y una capacidad de 200 m³. El reservorio era alimentado directamente por las tuberías que parten de las galerías subterráneas; actualmente se le ha desactivado, pasándose al reservorio R2.
- El Reservorio R2 tiene una capacidad de 380 m³, este alimenta parte de la población de Chala Norte y al R3
- El Reservorio R3, tiene una antigüedad de 40 años, su estado físico es malo, y cuenta con una capacidad de 200 m³. Alimenta parte de la ciudad y Chala Sur.

Hace años atrás, se presentó un proyecto SNIP nominado “Ampliación, Renovación y Mejoramiento del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Chala, Distrito de Chala, Provincia de Caravelí, Región Arequipa”, que tiene como código SNIP N° 112210 que está en un estudio de pre inversión desde el año 2010 y en espera de la aprobación final por parte del SNIP.

El proyecto consiste en la puesta en marcha de un Sistema de suministro de Agua Potable con la construcción de un reservorio de 500 m³ y un mejoramiento actual de 380 m³; además de la descarga de alcantarillado, mediante la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. La viabilidad del proyecto fue asignada a la empresa SEDAPAR S.A. (Servicio de Agua y Alcantarillado de Arequipa S.A.).

2.7.4 Servicio de Alcantarillado

La localidad de Chala cuenta con un único sistema de alcantarillado, conformado por 677 conexiones domiciliarias de alcantarillado.⁷

Existe déficit del servicio de alcantarillado y desagües es notable sobre todo en la zona de “Chala Norte” en su extremo norte y “La Aguadita”, puesto que sólo el 4.2% de la población cuenta con este servicio.

La red de colectores está constituida por 1016 m de colectores primarios con tuberías de CSN de DN 200 mm y una red de colectores secundarios de 5078 m de tuberías de CSN de DN 200 mm que descargan sus aguas al mar mediante un emisor de 800 m de tuberías de CSN de DN 250 mm, sin tratamiento alguno.

La localidad no cuenta con una planta de tratamiento de aguas servidas; el total de aguas servidas descargadas al mar es mayor a 3 l/s. Durante la inspección del sitio se observó que varias empresas y laboratorios químicos tienen un sistema de descarga directa al mar, sin evidencia de realizar un tratamiento previo.

2.8 Flora y Fauna

A continuación se presenta el resultado de observaciones propias en el área del puerto de Chala como de observaciones encontradas en instrumentos ambientales realizados en la zona. Debido a que no se realizó una evaluación sistemática de la flora y fauna, el listado presentado es indicativo pero no puede ser considerado exhaustivo.

2.8.1 Eco Región y Zonas de Vida

Según la clasificación de Ecorregiones de Brack, la zona de influencia está considerada dentro de Desierto del Pacífico. El relieve desértico es mayormente plano, con extensas pampas, zonas de dunas y colinas que raramente superan los 700 metros de altura. La vida animal y vegetal en esta región es escasa.

De acuerdo al Mapa Ecológico Holdridge, la zona de vida del área de influencia es clasificada como **Desierto Desecado – Subtropical (dd-S)**, lo que corresponde a las planicies y partes bajas de los valles costeros, desde el nivel del mar hasta 1 800 m.s.n.m. El relieve topográfico es plano y ligeramente ondulado, variando a abrupto en los cerros aislados. En esta Zona de Vida no existe vegetación o es muy escasa.

2.8.2 Flora

Lo característico de la zona es la falta de una cobertura vegetal y la casi ausencia de flora. Una excepción son las quebradas donde existe una muy rala vegetación dentro del lecho de las quebradas.

La vegetación encontrada se circunscribe a hierbas anuales de vida efímera, dominando las gramíneas así como arbustos, subarbustos y cactáceas.

De los géneros mencionados en instrumentos de gestión ambiental realizados en la zona se encuentran especies incluyendo (no exhaustivo): Heliotropium (*Heliotropium curassavicum* y *Heliotropium krauseanum*), Portulaca (*Portulaca* sp.), Alternanthera (*Alternanthera pubiflora*), Tetragonia (*Tetragonia* sp.), Phyla (*Phyla nodiflora* Green), Passiflora (*Passiflora foetida* L.), Sonchus (*Sonchus oleraceus* L.), Cucumis (*Cucumis dipsaceus* Ehrenb.), Nolana (*Nolana tarapacana*), Brassica (*Brassica silvestris*), Chenopodium (*Chenopodium murale*), Haageocereus (*Haageocereus australis*), Trixis (*Trixis cacalioides*), Nolana (*Nolana tarapacana*), Eriogyne (*Eriogyne islayensis*), Hoffmannseggia (*Hoffmannseggia* sp.), Grama Salada (*Distichlis spicata*), Huarango (*Acacia Macracantha*) y Baccharis (*Baccharis* sp.).

De las especies registradas, ninguna está considerada dentro del D.S.043-2006, ni en el CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora), ni en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Así mismo ninguna especie es considerada endémica para la región.

En algunas zonas se observaron especies transportadas y revegetadas en la zona, incluyendo Eucalipto (*Eucalyptus* sp.), Sábila (aloe vera) y Geranio (*Geranium* sp.).

2.8.3 Fauna silvestre

A. Aves

De acuerdo a las observaciones reportadas en los instrumentos ambientales de la zona, se evidencia la presencia de las siguientes aves en el puerto de Chala:

- Geositta marítima (Minero Gris) de la familia Furnariidae,
- Cathartes aura el (Gallinazo Cabeza Roja) de la familia Cathartidae y
- Athene cunicularia (lechuza costera) de la familia Strigidae;
- Falco sparverius “cernícalo americano” perteneciente a la familia Falconidae; Caragyps atratus de la familia Cathartidae.

Además de estas especies, se observaron durante los trabajos de campo las siguientes aves marinas:

- gaviota peruana (*Larus belcheri*)
- cormorán guanay (*Leucocarbo bougainvillii*)
- pelícano peruano (*Pelecanus thagus*)
- pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*)

Según el Atlas de las Aves Playeras del Perú – Sitios importantes para su conservación¹⁴, se ha registrado 13 especies de aves playeras en las playas de Arequipa. Sin embargo, la región de Chala no es reconocida como un área de alta diversidad en aves playeras. Entre las aves playeras observadas con más frecuencia en Arequipa y por lo tanto con presencia probable también en Chala se puede mencionar:

- Ostero Americano (*Haematopus paliatus*)
- Playero Coleador (*Actitis macularius*)
- Playero Pata Amarilla Mayor (*Tringa melanoleuca*)
- Vuelve Piedras Rojiso (*Arenaria interpres*)

B. Reptiles:

No se encontró información sobre la presencia de reptiles en el área de proyecto ni se observaron especies de esta familia durante el trabajo de campo. Sin embargo, de acuerdo a las observaciones encontradas en estudios de gestión ambiental, existe evidencia de la presencia de algunos reptiles, incluyendo la Lagartija peruana (*Microlophus peruvianus*).

C. Mamíferos:

Según información recibida de habitantes del puerto, no existen mamíferos en el área de proyecto con excepción de la presencia esporádica del zorro costero y algunos roedores.

¹⁴ Nathan Senner y Fernando Angulo Pratalongo (2014), Atlas de las Aves Playeras del Perú – Sitios importantes para su conservación, Ministerio de Ambiente de Perú, Dirección General de Diversidad Biológica, CORBIDI Lima.

En el ámbito marino se puede observar esporádicamente la presencia de lobos marinos en el área del puerto.

D. Vida acuática

Posiblemente la mayor amenaza por las actividades mineras existen a la industria pesquera, por la extracción en la zona marina costera de especies como mariscos y peces de tipo pejerrey, corvina, lenguado, jurel, tollo, tolinas, pez volador, cojinova, erizos o lapas, las mismas que pueden bioacumular metales pesados y pueden llegar al ecosistema acuático por la infiltración de aguas subterráneas contaminados y por introducción de polvo conteniendo metales pesados por erosión eólica.

Por otra parte, ninguna de las especies señaladas está incluida dentro del D.S. 034-2004-AG, CITES, UICN, ni es endémico de la región.

2.8.4 Áreas Naturales Protegidas

El proyecto no atraviesa ni limita ningún Área Natural Protegida por el Estado, de acuerdo al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE).

2.9 Información químico-físico de Estudios anteriores

De los estudios realizados en el marco de los instrumentos ambientales (IGACs, EIAAs, DIAs), existe información químico-físico sobre las concentraciones de contaminantes como metales pesados o cianuro en aguas subterráneas, material particulado (PM10) en el aire y de suelos dentro o en cercanía de instalaciones de beneficio.

Un resumen de los resultados encontrados se presenta en el Anexo 2.

3. Estándares de Calidad Ambiental para la Evaluación de Datos

Para identificar un potencial de riesgo para la salud o para el medio ambiente se compara los resultados analíticos con los siguientes valores de calidad ambiental.

- El D.S. N° 002-2013-MINAM para suelos
- El D.S. N° 002-2008-MINAM para cuerpos de agua
- El D.S. N° 074-2001-PCM y N° 003-2008-MINAM para la calidad de aire
- Valores de calidad ambiental internacionales, en caso de no existencia de estándares nacionales (UE, Canadá, EE.UU. y Australia).

3.1 Estándares de Calidad Ambiental de Suelos

En primer lugar, las concentraciones de los suelos son comparadas 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 evaluar específicamente el riesgo para la salud humana (NEPM 2013).

La Tabla 3.1 resume los estándares de calidad ambiental adaptados para la evaluación de los resultados analíticos de suelos.

Tabla 3.1 – Estándares de Calidad Ambiental de Suelos

| Parámetro | ECA Perú (D.S. N° 002-2013-MINAM) | | | SQG ¹⁵ Canadá (CCME 2002) | | HIL ¹⁶ 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 |
| Cianuro libre | 0.9 | 0.9 | 8 | | | |
| Cianuro inorgánico (“total”) | | | | 0.9 | 0.9 | |

Como se puede apreciar, los ECA de Perú y las SQGs de Canadá son considerablemente más bajos 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.

¹⁵ Guía de Calidad Ambiental para la protección de la Salud Humana y Ecosistema (soil quality guidelines); CCME (2002), Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian soil quality guidelines for the protection of environmental and human health; <http://st-ts.ccme.ca/>

¹⁶ Nivel de Investigación para protección de Salud Humana (human health investigation level); para alta densidad poblacional; 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>

Una excedencia de los HILs generalmente significa una amenaza seria para la salud humana y particularmente en centros poblados como Chala debe ser investigada cuidadosamente.

3.2 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 el presente trabajo se adaptan estándares canadienses para evaluar un impacto potencial al ecosistema acuático por sedimentos contaminados (CCME 2002)¹⁷.

A pesar de que las quebradas en el área de proyecto están secas durante casi todo el año, se aplicará los estándares de calidad ambiental para sedimentos marítimos como indicamos en la Tabla 3.2 en las muestras tomadas en el lecho de las quebradas, para evaluar un potencial daño al ecosistema marítimo en caso de una erosión hídrica del material durante la época de lluvia.

Tabla 3.2 – Estándares de Calidad Ambiental de Sedimentos Marítimos (en mg/kg)

| Parámetro | Lineamiento de calidad preliminar de sedimento marítimo (ISQG) | Nivel probable de efecto (PEL) |
|-----------|--|--------------------------------|
| As | 7.24 | 41.6 |
| Cd | 0.7 | 4.2 |
| Cr | 52.3 | 160 |
| Cu | 18.7 | 108 |
| Pb | 30.2 | 112 |
| Hg | 0.13 | 0.70 |
| Zn | 124 | 271 |

En un enfoque conservador, se utilizarán los *Lineamientos de calidad preliminar de sedimentos marítimos* (valores ISQG) para la evaluación de potenciales impactos al ecosistema acuático por el transporte de sedimentos impactados por metales pesados al mar.

3.3 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° 002-2008-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). El agua tomada en los pozos en cercanía al mar es evaluada con el ECA para agua de mar – subcategoría 2 (extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas).

¹⁷ CCME (2002a), Canadian Council of Ministers of the Environment, *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life*; <http://st-ts.ccme.ca/>

Tabla 3.3 – Estándares de Calidad Ambiental de Agua Subterránea y Agua Potable

| Parámetro | Unidad | Agua que puede ser potabilizada con desinfección | Agua de Mar – Sub Categoría 2 |
|-----------------------------------|---------------|---|---|
| Ag | mg/l | 0.01 | |
| Al | mg/l | 0.2 | |
| As | mg/l | 0.01 | 0.05 |
| Ba | mg/l | 0.7 | |
| Be | mg/l | 0.004 | |
| B | mg/l | 0.5 | |
| Cd | mg/l | 0.003 | 0.0093 |
| Cr VI | mg/l | 0.05 | 0.05 |
| Cr total | mg/l | 0.05 | |
| Cu | mg/l | 2 | 0.05 |
| Hg | mg/l | 0.001 | 0.0001 |
| Mn | mg/l | 0.1 | |
| Ni | mg/l | 0.02 | 0.1 |
| Pb | mg/l | 0.01 | 0.0081 |
| Se | mg/l | 0.01 | |
| Sb | mg/l | 0.006 | |
| U | mg/l | 0.02 | |
| V | mg/l | 0.1 | |
| Zn | mg/l | 3 | 0.081 |
| SiO2 (silicatos) | mg/l | | 0.14-0.7 |
| Conductividad | µS/cm | 1500 | |
| Sólidos Suspendidos | mg/l | 1000 | |
| Cloruro | mg/l | 250 | |
| Sulfato | mg/l | 250 | |
| Turbidez | NTU | 5 | |
| Sulfuro | mg/l | 0.05 | 0.06 |
| pH | | 6.5-8.5 | 6.5-8.5 |
| E Coli | NMP/ 100 ml | 0 | |
| Coliformes termotolerantes | NMP/ 100 ml | 0 | ≤14 (área aprobada) ≤88 (área restringida) |
| CN libre | mg/l | 0.005 | |
| CN WAD | mg/l | 0.08 | |

3.4 Estándares de Calidad Ambiental del Aire

En un enfoque conservador, se utilizarán los estándares ambientales de fuentes externas más estrictas (pintados en negrilla). En el caso de plomo, se aplicará el ECA de Perú, según D.S. N° 074-2001-PCM y N° 003-2008-MINAM.

Tabla 3.4– Estándares de Calidad Ambiental de Aire (en µg/m³)

| Contaminantes | Periodo | Valor del Estándar | Fuente |
|-------------------------|----------------|-------------------------------------|--|
| PM10 | 24 h | 150 | D.S. N° 074-2001-PCM |
| | Anual | 50 | |
| PM2.5 | 24 h | 25 | D.S. N° 003-2008-MINAM |
| Pb | Mensual | 1.5 | D.S. N° 074-2001-PCM |
| As | Anual | 0.006 | Directiva 2008/50/EC (Unión Europea) ¹⁸ |
| Cd | Anual | 0.005 | |
| Ni | anual | 0.02 | |
| As | 24 h | 0.3 | ECA del Ministerio de Medio Ambiente de Ontario, Canadá (MOE 2004) ¹⁹ |
| Ag | 24 h | 1 | |
| Cd | 24 h | 0.025 | |
| | Anual | 0.005 | |
| Co | 24 h | 0.1 | |
| Cr | 24 h | 0.5 (trivalente y divalente) | |
| Cu | 24 h | 50 | |
| Hg (inorgánico) | 24 h | 2 | |
| Mn | 24 h | 0.4 (en TSP) | |
| | 24 h | 0.2 (en PM10) | |
| Ni | Anual | 0.04 (en TSP) | |
| | Anual | 0.02 (en PM10) | |
| | 24 h | 0.2 (en TSP) | |
| | 24 h | 0.1 (en PM10) | |
| Pb | Mensual | 0.2 | |
| Sb | 24 h | 25 | |
| Sn | 24 h | 10 | |
| V | 24 h | 2 | |
| Zn | 24 h | 120 | |
| Hg (elemental) | Anual | 0.3 | US EPA (IRIS) ²⁰ |
| CN (sales y HCN) | Anual | 0.8 | |

3.5 Estándares de Calidad para el Ensayo de TCLP

La determinación de los contenidos totales de metales pesados en suelos 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 solubles y por lo tanto biodisponibles 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 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.

¹⁸ Directiva 2008/50/CE del parlamento Europeo y del consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa; <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

¹⁹ MOE (2012). 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 #6570e01; <http://www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf>

²⁰ <http://www.epa.gov/iris/>

El ensayo de lixiviación característica de toxicidad de lixiviación (TCLP) es considerado adecuado para evaluar la biodisponibilidad y por tanto la toxicidad de un contaminante en suelos.

Para evaluar la biodisponibilidad de los contaminantes, se realizó el ensayo TCLP de tres muestras de polvo sedimentable y una muestra de suelo, con elevadas concentraciones de arsénico y/o plomo en los ensayos de XRF. Para la evaluación de los resultados de lixiviación, se comparan los datos con los límites de concentraciones en el lixiviado para la caracterización de la toxicidad de residuos.²¹

4. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El proyecto de Evaluación Preliminar comprendió tres pasos:

- Revisión de la documentación disponible e identificación de potenciales focos de contaminación.
- Inspección del área de Proyecto.
- Muestreo de Suelos, Sedimentos, Agua y Polvo Sedimentable
- Evaluación preliminar de potenciales riesgos para la Salud Humana proveniente de la contaminación ambiental

4.1 Revisión de la documentación disponible

Tanto durante la fase de la preparación del trabajo de campo como durante el trabajo de campo se realizaron entrevistas y una revisión de la documentación sobre la línea base de las siguientes organizaciones:

- Autoridad Regional Ambiental de Arequipa (ARMA)
- Municipalidad de Chala
- Servicio de agua potable y alcantarillado de Chala (SEDAPAR)
- ONG Solidaridad
- Oficina Técnica de Apoyo (OTA) del Ministerio de Energía y Minas
- Puesto de Salud en Chala

Para la preparación del trabajo de campo se realizó una pre-selección de áreas potencialmente contaminadas con pasivos ambientales mineros (PAM) mediante el uso de fotos satelitales (Google Earth). Durante esta evaluación se revisaron manchas con coloraciones sospechosas en el suelo que podrían indicar la deposición de minerales u otros residuos.

²¹ Resolución Gerencial 006-2014 GRE/ARMA (Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la Pequeña Minería y Minería Artesanal)

Se identificaron más que setenta manchas sospechosas en las fotos satelitales que durante la inspección en campo fueron evaluadas sistemáticamente, tomando muestras de suelos y polvo sedimentable para la identificación de PAMs potenciales.

La siguiente documentación fue evaluada como información secundaria y complementaria:

- IGACs de las siguientes plantas: Bendición de Dios, La Española, Chala One, Orion Analytica, Paraíso, Minera LAB, Buena Vista, Medelsur S.A. (Secocha), Jerusalén y Confianza;
- Documentación de la OTA sobre plantas de beneficio utilizando quimbaletes dentro del casco urbano de Chala;
- Datos analíticos de la calidad de agua potable del Puesto de Salud y de SEDAPAR del distrito de Chala;
- Base de datos de plantas de beneficio en Chala de la ONG Solidaridad.

4.2 Inspección del área de proyecto

Durante la inspección del área del proyecto se realizó un recorrido sistemático con el objetivo de verificar la ubicación de las plantas de beneficio, identificadas en la revisión de la documentación disponible, así como también se registraron instalaciones que aún no fueron documentadas. Además, se registraron los datos de georreferenciación (GPS) de las áreas identificados como PAMs potenciales y se llevó a cabo una documentación fotográfica del sitio y de la toma de muestras ambientales; donde se consideró pertinente, se elaboró un croquis del sitio para complementar la documentación.

4.3 Muestreo de Suelos, Sedimentos, Agua y Polvo Sedimentable

Con la finalidad de comprobar o destacar una contaminación en el área de estudio se tomaron las siguientes muestras de campo:

- 49 muestras de suelos
- 7 muestras de sedimentos
- 1 muestras de agua potable
- 3 muestras de agua subterránea
- 33 muestras de polvo sedimentable

4.3.1 Suelos, Sedimentos y Polvo Sedimentable

De cada lugar de muestreo se tomaron las coordenadas UTM, se apuntaron las características del sitio y se realizó una documentación fotográfica. Donde se consideró pertinente, se realizó un croquis del sitio para aclarar detalles como presencia y distancia a potenciales receptores, instalaciones presentes, etc.

Para la identificación de las muestras se utilizó el siguiente código:

PP: Pasivo Potencial, S: Suelo, SED: Sedimento, PST: Polvo Sedimentable

Como ejemplo, una muestra de suelo tomada en un área identificada como posible pasivo ambiental potencial recibió el código: *PP-S-01*

Una segunda muestra tomada en la misma área recibió el código *PP-S-02*

Las bolsas de polietileno tipo Zip-Lock con las muestras de suelo, sedimentos y polvo sedimentable fueron herméticamente cerradas y selladas con cinta adhesiva, luego de expulsar el aire lo máximo posible. A continuación fueron analizados in-situ y/o en el mismo día utilizando un equipo de Fluorescencia de Rayos X (XRF) de la marca *Innov-X Systems Alpha Series*. Una descripción más detallada de esta técnica se encuentra en la Sección 4.4.

Para evitar un potencial impacto negativo por la radiación solar y para asegurar un transporte seguro al laboratorio, las muestras tomadas fueron almacenadas en un conservador (caja térmica) y las muestras seleccionadas para el análisis químico fueron transportadas lo más antes posible al laboratorio con sus debidas cadenas de custodia.

Muestreo de Suelos y Sedimentos:

Para el muestreo de suelos y sedimentos, los primeros 3 cm aproximadamente fueron removidos y utilizando una pequeña pala de acero inoxidable se tomaron muestras hasta unos 15 cm de profundidad. Las muestras fueron tamizadas con una malla 18 aproximadamente (diámetro 1 mm) para eliminar piedras o restos de materiales no deseados como raíces de plantas, basura, etc. y posteriormente almacenados con exclusión de aire en bolsas zip-lock.

Para la determinación de la biodisponibilidad de los metales pesados, se realizó un ensayo TCLP (test de lixiviación – ver Sección 5.2.5) con cuatro muestras de suelos conteniendo elevadas concentraciones de contaminantes. La biodisponibilidad es un indicador tanto para la ecotoxicidad como para la toxicidad humana de los contaminantes.

Muestreo de Polvo Sedimentable

Para evaluar la concentración de contaminantes en partículas suspendidas en el aire, se tomaron muestras de polvo depositado en techos de casas en distintos puntos de la población de Chala. Las muestras fueron tomadas con una escobilla de mano y un cogedor de plástico, cuidadosamente limpios antes de cada muestreo. El polvo fue transportado en bolsas zip-lock herméticamente cerradas con cinta adhesiva para su respectivo análisis por XRF, para luego ser transportado al laboratorio.

4.3.2 Agua Subterránea y Agua Potable

Se tomaron tres muestras de agua subterránea de pozos en diferentes sitios de la quebrada de Chala, para obtener información sobre el impacto de las plantas de beneficio a la calidad del agua. Una muestra de agua utilizada para agua potable fue tomada en la salida de un tanque de SEDAPAR donde se acopia el agua de diferentes pozos de la zona para luego realizar una desinfección mediante cloración y luego la distribución en la red de agua potable de Chala. Una muestra adicional de agua bidestilada fue enviado al laboratorio

como blanco de campo por razones de control de calidad. Más detalles sobre los puntos de muestreo y los resultados del análisis se encuentran en la Sección 5.2.4.

4.4 Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (XRF)

La fluorescencia de rayos X (XRF, sigla en inglés) consiste en la emisión de una fluorescencia o de rayos X secundarios previa excitación de átomos presentes en minerales u otros materiales con rayos X de alta energía (rayos gamma). La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo; los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones, radiación X fluorescente o secundaria, con una longitud de onda característica que depende del gradiente energético entre los orbitales electrónicos implicados y una intensidad directamente relacionada con la concentración del elemento en la muestra. De esta forma se puede realizar un análisis cuantitativo no destructivo de muchos elementos de la tabla periódica que emiten una fluorescencia en un solo ensayo, luego de “bombardear” la muestra por rayos gamma y medir la respuesta energética del material.

El XRF utilizando equipos portátiles, es un método ideal para el análisis de muestras geoquímicas como suelos, minerales, sedimentos o también polvo sedimentable en el campo, ya que el análisis solamente demora pocos minutos y no se requiere mandar las muestras a un laboratorio para obtener datos sobre su composición química.

La precisión y exactitud del análisis depende de varios factores, principalmente de la humedad y de la granulometría del material. Para obtener resultados con menor incertidumbre analítica, frecuentemente en análisis de laboratorio, se realiza un pre-tratamiento de las muestras mediante un proceso de secado y luego la fusión con agentes como metaborato de litio y/o la formación de pelets comprimidos mediante prensa hidráulica.

El uso de XRF en el campo en primer lugar es como un método indicativo y no referencial; por tal fin, en forma general no se requiere invertir tantos esfuerzos en la estandarización de las muestras.

En el presente proyecto, se tamizó y mezcló las muestras de suelos y sedimentos para obtener un material lo más homogéneo posible. Para el análisis por XRF se tomó tres mediciones durante un minuto de diferentes fracciones de la muestra y se calculó el resultado tomando el promedio de las mediciones. No fue necesario secar las muestras debido a que todo el material muestreado se encontró en un estado seco, sin evidencia de humedad. La excepción fue una muestra tomada en el lecho del río Chala en la localidad Chala Viejo que estaba húmeda y que fue secada a temperatura ambiente antes de la medición por XRF. Información sobre la calidad de las mediciones se presenta en la Sección 5.5.1.

La calibración del equipo fue verificado diariamente utilizando patrones certificados del Instituto Nacional de Calibración y Estandarización (NIST) de los EE.UU (ver Sección 4.5.3).

4.5 Análisis de Laboratorio

Las muestras de suelos, sedimentos, polvo sedimentable y agua fueron analizadas por 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 en suelos y aguas (registro de acreditación: LE – 050).

4.5.1 Límite de Detección

La Tabla 4.1 presenta los límites de detección (LD) de metales pesados, metales mayores y elementos traza en suelos (polvo), sedimentos y aguas.

Tabla 4.1 – Elementos analizados en los suelos, sedimentos y polvo sedimentable con LDs.

| 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 |
| CN libre | | | | | |

4.5.2 Ensayo TCLP²²

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.

²² TCLP: “Toxicity Characteristic Leaching Procedure”, Características de toxicidad por procedimiento de 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.

El ensayo TCLP determina la movilidad de los contaminantes inorgánicos presentes en una muestra y si los filtrados generados dan lugar a clasificar el material como “peligroso”; el lixiviante se determina basándose en la capacidad de neutralización ácida del material de la muestra. El lixiviante seleccionado se añade a la muestra a una razón de líquido a sólidos de 20:1 con un pH levemente ácido (4.93 ± 0.05), y el contenedor de la muestra se rota de punta a punta durante 18 horas. El compuesto resultante se filtra a continuación a través de un filtro de fibra de vidrio de $0,7 \mu\text{m}$ y se analiza para obtener los metales totales.

4.5.3 Muestras de Control de Calidad

A. Verificación de Calibración del equipo de XRF

Para verificar el buen funcionamiento del equipo, se realizó diariamente la medición de patrones con certificado del Instituto Nacional de Calibración y Estandarización (NIST) de los EE.UU. Los estándares utilizados fueron los siguientes:

- NIST 2781 (lodo de planta de tratamiento de agua), y
- NIST 2702 (sedimento marino).

Los certificados de los patrones son presentados en el Anexo 5, así como los resultados de estas mediciones. Así también se presenta una evaluación de la calidad de las mediciones por XRF, utilizando tanto los resultados obtenidos en muestras analizadas en el laboratorio como con los patrones utilizados en campo (ver Sección 5.5.1).

En la Tabla 4.2 se resume las concentraciones de elementos de interés presentes en los patrones NIST.

Tabla 4.2. – Composición de patrones NIST (en mg/kg) según certificado analítico

| | NIST 2781 | NIST 2702 |
|-----------|------------|---------------|
| As | 7.82±0.28 | 45.3±1.8 |
| Cd | 12.78±0.72 | 0.817±0.011 |
| Co | | 27.76±0.58 |
| Cu | 627.4±13.5 | 117.7±5.6 |
| Cr | | 352±22 |
| Pb | 202.1±6.5 | 132.8±1.1 |
| Hg | 3.64±0.25 | 0.4474±0.0069 |
| Mn | | 1757±58 |
| Ni | 80.2±2.3 | 75.4±1.5 |
| Se | 16±1.6 | 4.95±0.46 |
| Zn | 1273±53 | 485.3±4.2 |

Además de la verificación con patrones certificados, se seleccionaron duplicados de suelos, sedimentos y polvo sedimentable que fueron enviados al laboratorio para obtener

datos complementarios y para poder determinar con más detalle la incertidumbre de las mediciones realizadas por el XRF en campo.

B. Validación de Resultados de Muestras analizadas en Laboratorio

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.
- 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 el Anexo 5.

Tabla 4.3 - Muestras de Calidad de campo y criterios de aceptación

| Muestra de Calidad | Criterio de aceptación | Condición de criterio |
|--------------------|------------------------|--|
| Duplicado de campo | DRP < ±30% | muestras con concentraciones >10 x LD |
| | DRP < ±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.

$$DRP = \frac{|x - y|}{\left(\frac{|x + y|}{2} \right)} \times 100$$

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

- 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 hacen 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 sometidos 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 4.4 - 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 |

5. RESULTADOS DEL TRABAJO DE GABINETE Y DE CAMPO

5.1 Resultados de la Revisión de la Documentación Disponible

5.1.1 Resultados de Monitoreo de Aire presentados en Instrumentos de Gestión Ambiental

Las siguientes Tablas 5.1 y 5.2 resumen los resultados y los datos estadísticos de 17 eventos de monitoreo de PM10, realizado en 7 plantas de beneficio en cercanía al poblado de Chala.

Tabla 5.1 – Resumen de resultados de monitoreo de PM10 en plantas de beneficio en cercanía al poblado de Chala

| Planta | Fecha de Monitoreo | Coordenadas UTM | | PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] |
|-------------------|--------------------|-----------------|----------|-----------------------------------|
| | | Este | Norte | |
| Bendición de Dios | 30-31/11/2013 | 576527 | 8250676 | 92.77 |
| | | 576565 | 8250380 | 69.73 |
| La Españolita | nov-11 | 576607 | 8249862 | 10.9 |
| | | 576399 | 8250249 | 16.2 |
| Chala One | ago-13 | 578552 | 8251479 | 24.54 |
| | | 578463 | 8251029 | 54.93 |
| Orion Analytica | 06-08/03/14 | 578907 | 8275431 | 26.62 |
| | | 576976 | 8252665 | 18.25 |
| | | 576741 | 8252305 | 74.68 |
| Paraiso | 6-7/03/11 | 578392 | 8 249008 | 79.8 |
| | | 578432 | 8249687 | 73.8 |
| Minera LAB SAC | 11/05/2013 | 577715 | 8249036 | 80 |
| | | 577704 | 8249007 | 80 |
| Confianza | 15-18/02/14 | 577331 | 8249956 | 44.6 |
| | | 577496 | 8250255 | 63.02 |
| | | 577416 | 8250507 | 71.9 |
| | | 577473 | 8250918 | 52.19 |

Tabla 5.2 – Resumen estadístico de las mediciones de PM10

| PM10 [micro-g/m3] | |
|-------------------|-------|
| Promedio | 54.9 |
| Desv. Est. | 26,5 |
| Mediana | 63.0 |
| Mínimo | 10.9 |
| Máximo | 92.8 |
| UCL95 | 66.16 |

Los resultados del monitoreo de aire encontrados en instrumentos ambientales así como los resultados del cálculo del UCL95 se encuentran en el Anexo 4. Tanto el promedio como el UCL95 están por encima del ECA para la media aritmética anual que está definido como 50 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

Ninguna de las concentraciones detectadas estaba por encima de 150 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, establecido en el D.S. 074-2001 PCM como límite para mediciones puntuales realizadas durante un lapso de 24 horas. Lo que podría ser una tendencia en general, las concentraciones más elevadas detectadas durante la elaboración de los instrumentos ambientales fueron medidos en cercanía a relaveras.

5.1.2 Resultados de Monitoreo de Agua

A. Resultados presentados en Estudios de Instrumentos Ambientales

En el Anexo 2 se encuentra un resumen de resultados analíticos de aguas subterráneas y superficiales (de proceso), presentados en informes de instrumentos ambientales de cinco diferentes plantas de beneficio.

En ninguna de las muestras de aguas subterráneas, utilizadas para agua potable o para agua industrial, se encontraron concentraciones de cianuro, metales pesados por encima de los ECAs establecidos en el D.S. N° 002-2008-MINAM (ver Sección 3.3).

Sin embargo, elevadas concentraciones de Coliformes Totales y de sales (indicados por la alta conductividad del agua) hacen que las aguas de algunos pozos no son aptas para el consumo humano. Como era de esperar, la concentración de sales se incrementa con la proximidad de los pozos al mar.

B. Resultados de análisis de agua del Centro de Salud y de SEDAPAR de Chala

En el Anexo 3 se muestran resultados de monitoreos de agua potable realizados por el Centro de Salud y de la empresa SEDAPAR en Chala. La siguiente Tabla 5.3 resume los parámetros analizados en estos estudios.

Tabla 5.3 – Parámetros analizados en agua potable del Centro de Salud y de SEDAPAR.

| Parámetros analizados | Centro de Salud | SEDAPAR |
|---|-----------------|---------|
| Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales (NMP/100 ml) | X | |
| Bacterias Heterotróficas (ucf/ml) | X | |
| Huevos de Helmintos (N/100 ml) | X | |
| Dureza Total (mg/l) | X | X |
| Cianuro (mg CN/l) | X | |
| Mercurio (mg Hg/l) | X | |
| pH | | X |
| Turbiedad NTU | | X |
| Conductividad (uS/cm) | | X |
| STD (mg/l) | | X |
| Temperatura | | X |
| Cloruros | | X |
| Sulfatos (mg/l) | | X |
| Calcio (mg/l) | | X |
| Magnesio (mg/l) | | X |
| Alcalinidad T. (mg/l) | | X |
| Alcalinidad F. (mg/l) | | X |
| Hidróxidos (mg/l) | | X |
| Bicarbonatos (mg/l) | | X |
| Carbonatos (mg/l) | | X |
| Índice de Langelier | | X |

En las muestras de agua subterránea analizadas por el Centro de Salud de Chala, con frecuencia se detectaron concentraciones de bacterias heterotróficas por encima del valor umbral de 500 ufc/ml. La mayoría de las bacterias son heterótrofas, incluyendo a los patógenos humanos y a la mayoría de las bacterias encontradas en los sistemas de agua potable. Muchas variedades de bacterias heterótrofas se encuentran en la naturaleza y no causan problemas mayores de salud.

Debido a que una desinfección del agua mediante tratamiento térmico o química destruye estas bacterias, un tratamiento adecuado por ejemplo con cloro puede eliminar este contaminante por completo en el agua potable.

En dos muestras de agua subterránea tomadas en mayo 2014 del pozo del puente de Chala ubicado a unos 200m distancia al mar, se encontraron elevadas concentraciones de contaminantes como el cianuro y mercurio.

Tabla 5.4 – Resultados del agua subterránea tomada en el Pozo del Puente Chala

| Concentración de Mercurio [mg/l] | Concentración de Cianuro [mg/l] |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 0.1224 | 0.166 |
| 0.0173 | 0.021 |

SEDAPAR presentó resultados de análisis de muestras de agua no desinfectada proveniente de diferentes pozos, incluyendo: Cruz Bejarano, San Andrés, Fte. Subterránea Mochica Yauca (Salida R-1) y Salida de Fte. Chala. Se analizaron parámetros físico-

químicos como metales y aniones mayores, sin presentar información sobre la concentración de metales pesados ni cianuro.

Con respecto a la salinidad, el agua tomada en la Fuente Subterránea Mochica Yauca tiene concentraciones de sales por encima de valores aceptables para agua potable.

Como resumen, los resultados analíticos verifican que el agua potable distribuida por SEDAPAR, generalmente es apta para el consumo humano previa desinfección. Se tiene excepciones como son los pozos gradiente debajo de las plantas de beneficio y en cercanía al mar.

El agua de estos pozos en su mayoría contienen una salinidad que los hacen inutilizable para el consumo humano. Además, se detectaron contaminantes tóxicos como el mercurio y cianuro por encima de los ECA correspondientes que son resultado de la actividad minera en la zona.

C. Análisis de Suelos

El Anexo 2 resume los resultados de análisis de suelos, realizados dentro o en proximidad a plantas de beneficio, presentados en los instrumentos ambientales de siete plantas de beneficio en proximidad inmediata al poblado de Chala. Ninguna concentración de metales pesados reportado excede el ECA suelo según D.S. 002-2013.

5.2 Resultados del Muestreo del presente Estudio

Tablas con los resultados analíticos de se presenta en el Anexo 4 y los certificados del laboratorio con cadenas de custodia en el Anexo 6. En adelante, se presenta evaluaciones estadísticas de los resultados con interpretaciones de los resultados.

5.2.1 Resultados del Análisis de Suelos²³

Una comparación de los resultados analíticos de los suelos analizados manifiesta una excedencia de los ECA suelo y/o de los SQG de Canadá (ver Tabla 3.1) para áreas residenciales y parques en los siguientes contaminantes:

- Arsénico,
- Cobre,
- Mercurio, y
- Plomo

Excedencias detectadas en suelos mediante XRF para los parámetros **plata, cadmio, cromo, cobalto y antimonio** no fueron consideradas, debido a que una comparación de los resultados analíticos de XRF con resultados obtenidos en laboratorio bajo el método de referencia mediante ICP-OES demostró un desfase considerable entre estos métodos en muestras de suelos (ver discusión en la Sección 5.5.1).

²³ Suelos naturales y suelo alterados por actividad humana, incluyendo sustratos sólidos de origen antropogénico que se encuentran en la superficie del terreno

Debido que en ninguna muestra analizada por ICP-OES se detectaron concentraciones de estos elementos por encima de los valores de referencia respectivos, no son considerados como **Contaminantes de Preocupación Potencial, CPP**.

Una visualización de la distribución de las concentraciones de los CPP se encuentra en los mapas elaborados (ver Anexo 7). Una evaluación estadística de los resultados analíticos de As, Cu, Hg y Pb en suelos se presenta en la Tabla 5.5

Tabla 5.5 – Evaluación estadística de resultados analíticos de As, Cu, Hg y Pb en suelos.

| | As | Cu | Hg | Pb |
|-----------------------------|--------------|------------|-------------|-------|
| ECA Suelo (uso residencial) | 50 | | 6.6 | 140 |
| SQG Canadá | | 63 | | |
| Nro. Observaciones | 52 | 52 | 52 | 52 |
| Min | 2.2 | 9.59 | 0.02 | 3.13 |
| Max | 1133.0 | 1094 | 58.6 | 306.6 |
| Promedio | 100.2 | 121.1 | 6.4 | 56.2 |
| Mediana | 19.0 | 43.5 | 5 | 21.5 |
| Desv. Est. | 208.3 | 239.8 | 9.4 | 76.2 |
| UCL95 | 227.3 | 266 | 12.1 | 102.3 |
| Nro. Excedencias del ECA | 11 | 12 | 10 | 7 |
| % Excedencias del ECA | 21.2 | 23.1 | 19.2 | 13.5 |

Los valores UCL95 de los elementos **As, Cu y Hg** exceden los estándares de calidad ambiental y como consecuencia son considerados CPP en suelos; sin embargo, debido a que en 13.5% de las muestras, principalmente en la zona de quimbaletes, la concentración de **Pb** excedió el ECA suelo, este metal también será considerado como CPP en suelos en zonas donde existe una actividad minera utilizando quimbaletes (ver Anexo 7, mapeo de la distribución de concentraciones de plomo). En forma general, la mayoría de las excedencias de los ECA se encuentra en las áreas de quimbaletes. Una distribución espacial de las concentraciones de As, Hg y Pb en los suelos se presenta en el Anexo 7.

5.2.2 Resultados del Análisis de Sedimentos

Un resumen de los resultados analíticos de las muestras de sedimentos se presenta en el Anexo 4 y una visualización de la distribución de los puntos de muestreo en el anexo 7.

En ninguna muestra de sedimento analizada se encontraron concentraciones por encima del PEL, el nivel probable de un efecto adverso al ecosistema marino; sin embargo, se detectaron excedencias de concentraciones de **arsénico, cadmio, cobre y plomo** por encima de los *Lineamientos de Calidad Preliminar de Sedimento Marítimo* (ISQG) del

gobierno Canadiense. Una evaluación estadística de los resultados se presenta en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 – Evaluación estadística de los resultados analíticos de muestras de sedimento.

| | As | Cd | Cu | Pb |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ISQG | 7.24 | 0.7 | 18.7 | 30.2 |
| PEL | 41.6 | 4.2 | 108 | 112 |
| Nro. Observaciones | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Min | 10.7 | 0.815 | 24.27 | 5.43 |
| Max | 19.2 | 1.257 | 32.37 | 40.76 |
| Promedio | 15.46 | 0.99 | 27.7 | 13.8 |
| Mediana | 14.7 | 0.946 | 27.37 | 9.74 |
| Desv. Est. | 4.58 | 0.15 | 3.0 | 12.3 |
| UCL95 | 18.82 | 1.1 | 29.9 | 25.4 |
| Nro. Excedencias | 7 | 7 | 7 | 1 |
| % Excedencias | 71.4 | 100 | 100 | 14.3 |

Como conclusión, no se puede excluir un impacto negativo al ecosistema marítimo, pero ningún contaminante analizado en los sedimentos detectó concentraciones por encima de los niveles realmente críticos, o sea niveles que muy probablemente tienen un efecto adverso al ecosistema marino.

Debido a que no existe un contacto permanente con el ecosistema marino y una muy reducida erosión hídrica, el riesgo de un daño de la flora y fauna marítima por la introducción de sedimentos contaminados mediante erosión hídrica es considerado muy bajo. Una discusión más detallada de una potencial contaminación del ecosistema marino se presenta en el Modelo Conceptual del Sitio (ver sección 6).

5.2.3 Resultados del Análisis de Polvo Sedimentable

Un resumen de los resultados analíticos de las muestras de polvo sedimentable se presentan en las tablas del Anexo 6. Los resultados de una muestra de fondo tomada en la población de Chala Viejo (alejado de la actividad minera), se encuentra en el Anexo 5.

Una distribución de los puntos de muestreo con resultados de la concentración de arsénico se presenta en los mapas elaborados en el Anexo 7. Como se puede apreciar, las muestras con mayores concentraciones de arsénico se encontraron en el área de quimbaletes.

Para la evaluación de los datos se utilizó el UCL95 de la concentración de material particulado PM10 en el aire, el mismo que fue calculado de datos históricos (ver sección 5.1.1).

Basándose en los ECA aire, definidos en la Tabla 3.4, mediante el uso del UCL95 de PM10, se puede calcular concentraciones umbrales para identificar contaminantes por encima de valores críticos en el polvo sedimentable, utilizando la siguiente fórmula:

$$C_{crítica} = (C_{ECA} / C_{PM10}) \times 10^6 [mg / kg]$$

Dónde:

$C_{crítica}$ = Concentración crítica del contaminante en polvo sedimentable (mg/kg)

C_{ECA} = Estándar de calidad ambiental ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_{PM10} = Concentración de PM10 en el aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Los resultados analíticos de las muestras de polvo sedimentable con el cálculo de $C_{crítico}$ son presentados en el Anexo 4.

De los parámetros analizados de metales pesados y cianuro libre, como única sustancia se encontraron excedencias de arsénico. La Tabla 5.7 presenta un resumen estadístico de los resultados analíticos de As, Cu, Hg y Pb en polvo sedimentable.

Tabla 5.7 – Resumen estadístico de resultados analíticos de polvo sedimentable.

| | Concentraciones [mg/kg] | | | |
|--|-------------------------|---------------|-------------|--------------|
| | As | Cu | Hg | Pb |
| $C_{crítica}$ [mg/kg] | 90.7 | 755744 | 4534 | 22672 |
| Nro. Observaciones | 32 | 32 | 32 | 32 |
| Min | 35.3 | 68.03 | 0.02 | 31.69 |
| Max | 1715 | 1088 | 1.88 | 1552 |
| Promedio | 175.3 | 260.5 | 0.347 | 230.7 |
| Mediana | 114.1 | 240 | 0.193 | 134.5 |
| Desv. Est. | 289.4 | 185.2 | 0.447 | 331.5 |
| UCL95 | 398.3 | 312.2 | 0.69 | 306.5 |
| Nro. Excedencias del valor de referencia 90.7 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| % Excedencias | 62.5 | 0 | 0 | 0 |

En 62.5% de las muestras se encontraron concentraciones de arsénico por encima del valor de referencia de 90.7 mg/kg, correspondiendo a un ECA de 0.006 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de arsénico en el aire ambiente según lo establecido por la Unión Europea (ver Tabla 3.4). Las concentraciones de los otros CPP encontrados en suelos están muy por debajo de sus ECA respectivos. Las concentraciones más elevadas fueron detectadas en los sectores La Aguadita y Chala Norte. Mientras en el sector de La Aguadita existen varias relaveras de plantas de cianuración que podrían ser la fuente de la contaminación atmosférica, en Chala Norte son las actividades de la minería artesanal con quimbaletes que pueden ser la causa de una redispersión de polvo contaminado por el viento.

La concentración de arsénico encontrado en la muestra de fondo es de 44.4 mg/kg, lo que significa que está por encima de la concentración promedio de 17 mg/kg de arsénico encontrado en suelos superficiales no impactados por minerales (ver Sección 5.2.1). Por lo tanto, se puede concluir que el impacto de la minería llega en forma de material particulado suspendido en el aire hasta Chala Viejo. El material particulado está resuspendido por el viento sobre una distancia de varios kilómetros desde los potenciales focos de contaminación, como son por ejemplo las relaveras de varias plantas de beneficio ubicadas entre Chala y Chala Viejo.

En la evaluación de los datos se estima que solamente partículas PM10 son retenidas en el pulmón y los contaminantes parcialmente resorbidos por el cuerpo, entrando al flujo sanguíneo; sin embargo, esta suposición es una aproximación ya que partículas más grandes son expulsados del pulmón y parcialmente entran al tracto intestinal donde los contaminantes también pueden ser reabsorbidos.

Como se puede apreciar en la Sección 5.2.5, solamente una muy pequeña fracción de los contaminantes es considerada fisiológicamente disponible, lo que reduce considerablemente el riesgo por la inhalación de partículas contaminadas con arsénico por encima de $C_{\text{crítico}}$. Este aspecto debería ser investigado en más detalle, como se sugiere en la Sección 7.

5.2.4 Resultados del Análisis de Aguas

Los resultados del análisis de cuatro muestras de agua subterránea, más un blanco de campo como muestra de control de calidad son presentados en los Anexos 4 y 5.

La Tabla 5.8 resume los puntos de muestreo y los parámetros que exceden los ECA para agua que puede ser potabilizada con desinfección (ver Tabla 3.3).

Tabla 5.8 – Resumen de resultados de análisis de aguas subterráneas

| Numero de Muestra | Ubicación del muestreo | Excedencias del ECA para agua potable | Excedencias del ECA para agua marina |
|-------------------|--|--|---|
| AST-1 | Pozo en 120 m distancia al mar | Conductividad Eléctrica (Salinidad), cloruro, sulfato, Coliformes Fecales, E Coli, Enterococos, Boro | Silicatos, Coliformes Fecales (termotolerantes) |
| AST-2 | Pozo en 210 m distancia al mar | Mercurio, Conductividad Eléctrica (Salinidad), cloruro, sulfato, Boro | Mercurio, Silicatos |
| AST-3 | Punto de toma de agua potable de SEDAPAR | Ninguna | No aplica |
| AST-4 | Pozo en Chala Viejo | Ninguna | No aplica |

Las muestras AST-1 y AST-2 corresponden a agua salubre, por ser una mezcla de agua dulce con agua del mar, debido a la relativa corta distancia al mar. La presencia de mercurio en la muestra de agua AST-2 tomada de un pozo ubicado en la quebrada Chala, demuestra un impacto por la minería en esta quebrada. El pozo aproximadamente está ubicado a 2000m gradiente bajo de la planta hidrometalúrgica Titán y aprox. 900 m en dirección sur-este de la relavera de la Minera Paraíso.

Una muestra tomada en un pozo de agua subterránea en Chala Viejo no contiene contaminantes por encima del ECA, lo que sugiere que la contaminación del agua subterránea encontrada gradiente abajo en la quebrada, proviene de la actividad minera en la zona. Un impacto al ecosistema marino no puede ser excluido debido a la infiltración de aguas contaminadas con mercurio, silicatos y coliformes fecales por encima de los ECA para agua marina.

5.2.5 Resultados de los Ensayos TCLP

La Tabla 5.9 resume los resultados de la lixiviación de tres muestras de polvo sedimentable y una muestra de suelo. Ningún contaminante en el lixiviado excede el valor crítico por lo que cumple con el criterio de un residuo no peligroso.

De los CPP identificados, solamente en una muestra de polvo sedimentable (PST-14) que contiene una concentración de 1715 mg/kg de arsénico se detectó en el lixiviado una concentración de 0.234 mg/l de este elemento. Las concentraciones de los otros elementos encontradas en el lixiviado se encuentran aún por debajo de los ECA establecidos para agua potable. Considerando que se utilizó una relación de 1:20 entre la muestra de polvo y la solución de lixiviación, en una muestra de 50 g se encuentra 0.234 mg de arsénico. Esta cantidad corresponde a una concentración de arsénico lixiviable de 4.68 mg/kg, representando a un **0.27% del arsénico total** presente en la muestra.

Eso indica que solamente una pequeña fracción del arsénico inhalada mediante material particulado suspendido en el aire debería ser fisiológicamente disponible y por lo tanto probablemente puede ser asimilado por el cuerpo, entrando al flujo sanguíneo. Por esta razón, el riesgo de un daño para la salud humana causada por la inhalación de partículas suspendidas conteniendo arsénico y otros metales pesados probablemente sea mínimo; sin embargo, para la confirmación de esta hipótesis se debería realizar un estudio más detallado de tipo epidemiológico, incluyendo el monitoreo de indicadores de salud como la concentración de arsénico (y otros metales pesados) en la orina y sangre de la población.

Tabla 5.9 – Resumen de resultados de la lixiviación de muestras de polvo sedimentable y suelo, en comparación con las concentraciones encontradas en las muestras analizadas.

| | As | | Cd | | Hg | | Pb | | Sb | |
|----------------------|-------------|-------|-------------|-------|---------------|---------|-------------|----------|-------------|-------|
| | TCLP [mg/l] | mg/kg | TCLP [mg/l] | mg/kg | TCLP [mg/l] | mg/kg | TCLP [mg/l] | mg/kg | TCLP [mg/l] | mg/kg |
| TCLP límites* | 5 | | 1 | | 0.2 | | 5 | | | |
| PST -14 | 0.234 | 1715 | a<0,0001 | 10.31 | a<0,0004 1 | 1.67 | a<0,0026 | 1552.000 | 0.01696 | 32.81 |
| PST -26 | 0.0234 | 306.6 | aa<0,0001 | 4.20 | a<0,0004 1 | 0.61 | a<0,0026 | 256.300 | 0.0133 | 12.84 |
| PST -29 | 0.0661 | 210.1 | a<0,0001 | 3.40 | a<0,0004 1 | a<0,041 | a<0,0026 | 154.900 | 0.01298 | 6.45 |
| PP31-S-01 | 0.015 | 290.1 | a<0,0001 | 3.56 | 0.0010 | 24.67 | a<0,0026 | 236.100 | 0.011 | 13.14 |

* ver Sección 3.5

5.3 Contaminantes de Potencial Preocupación y Áreas de Potencial Interés

En resumen, los contaminantes de potencial preocupación, CPP identificados en suelos, sedimentos, polvo sedimentable y agua subterránea son los siguientes:

- Suelos : As, Cu, Hg y Pb (en área de quimbaletes)
- Sedimentos : As, Cd, Cu y Pb
- Polvo sedimentable: As
- Agua : Hg, Conductividad Eléctrica (Salinidad), cloruro, sulfato, Coliformes Termotolerantes (Fecales), E Coli, Enterococos, silicatos

Las Áreas de Potencial interés (API) como fuentes de una contaminación ambiental son el área industrial en el sector “La Aguadita” y el sector “Chala Norte” donde existen actividades mineras utilizando quimbaletes para la amalgamación de minerales. Existen varios laboratorios químicos y talleres mecánicos, particularmente en la zona llamada “La Aguadita” que ofrecen servicios a la industria minera y que por sus actividades y la falta de una implementación de medidas de prevención y mitigación ambiental también deberían ser considerados API.

5.4 Catastro de Plantas de Beneficio y Áreas Contaminadas

Un catastro de plantas de beneficio utilizando cianuro y mercurio dentro o en proximidad al poblado de Chala es presentado en el Anexos 1 y una visualización de la distribución de las plantas en el Anexo 7.

En resumen, a una distancia aproximada de dos kilómetros o menos al centro poblado, existen **13 plantas de beneficio utilizando cianuro** para la lixiviación de minerales y **62 instalaciones trabajando con mercurio** para la amalgamación en quimbaletes.

Zonas con áreas contaminadas con metales pesados se encontraron particularmente en las áreas donde existen actividades con quimbaletes para el procesamiento de minerales. Generalmente, suelos donde se encontraron concentraciones elevadas fueron aquellos mezcladas con minerales y depositados sin cuidado en estas áreas. Con muy pocas excepciones, no se tomaron muestras dentro de predios con actividades mineros para evitar conflictos con este sector informal/ilegal.

Por esta razón, existe información muy limitada sobre el real grado de contaminación de suelos en proximidad directa a las actividades con quimbaletes. El hecho de que las muestras encontradas en áreas accesibles en plantas abandonadas donde trabajaban con quimbaletes tenían las concentraciones más elevadas en mercurio y otros metales pesados, demuestra que los focos más importantes de contaminación se ubican en proximidad directa a estas plantas de beneficio.

5.5 Aptitud de los Datos Analíticos

5.5.1 Calidad de los Datos Analíticos obtenidos por el XRF

A. Verificación de la calibración con Patrones NIST

Se realizaron verificaciones cada vez que se utilizó el equipo XRF para verificar la calibración y el buen funcionamiento del mismo. Los resultados de ocho mediciones de los patrones NIST (ver Tabla 4.2), son presentados en el Anexo 5.

En las Tablas 5.10 y 5.11 se presenta una evaluación estadística de los resultados de la verificación de la calibración con patrones NIST.

Tabla 5.10 – Evaluación estadística de las mediciones del patrón NIST 2702.

| | As | Cr | Mn | Co | Cu | Zn | Se | Pb |
|---|-------|-------|-------|--------|-------|-------|------|-------|
| Valor certificado [mg/kg] | 45.3 | 352 | 1757 | 27.76 | 117.7 | 485.3 | 4.95 | 132.8 |
| Estadística de la Diferencia Relativa al Valor certificado | | | | | | | | |
| Promedio | 1.2 | 2.5 | -2.1 | 3529 | -14.0 | -13.5 | 33.8 | -3.5 |
| Mediana | -2.9 | 5.3 | -2.2 | 3433 | -13.3 | -12.5 | 21.2 | -1.0 |
| Min | -29.4 | -18.8 | -12.4 | 2594.5 | -26.1 | -20.9 | 1.0 | -12.7 |
| Max | 21.4 | 16.8 | 5.5 | 5058.5 | 1.1 | -11.6 | 81.8 | 5.4 |
| Desv. Est. | 18.9 | 12.9 | 5.8 | 722.1 | 7.6 | 3.1 | 35.7 | 7.1 |

Tabla 5.11 – Evaluación estadística de las mediciones del patrón NIST 2781.

| | Cu | Zn | Se | Pb |
|---|-------|------|-------|-------|
| Valor certificado [mg/kg] | 627.4 | 1273 | 16 | 202.1 |
| Estadística de la Diferencia Relativa al Valor certificado | | | | |
| Promedio | -9.1 | -0.7 | 1.0 | -0.4 |
| Mediana | -8.7 | 0.3 | -5.7 | 0.0 |
| Min | -16.5 | -8.3 | -16.7 | -8.2 |
| Max | -4.5 | 6.6 | 20.0 | 7.8 |
| Desv. Est. | 3.7 | 5.1 | 15.8 | 5.8 |

De los resultados de comparación de las lecturas del equipo XRF con los valores certificados de los patrones NIST, se puede concluir lo siguiente:

- La diferencia relativa en por ciento (DRP) entre lectura y valor certificado de los elementos As, Cr, Cu, Zn y Pb se encuentra entre -13.5% y +1.2%.
- La DRP en la medición de Se tiene un valor promedio de 33.5% debido a que la concentración de este elemento se encuentra cerca al límite de detección del equipo, donde el error de lectura generalmente es más elevado.

- Existe un desfase muy grande de 3529% en la lectura de Co, indicando una interferencia o un problema en la calibración para este elemento.
- Otros elementos como el Hg, Cd o el Ni no fueron detectados por el equipo de XRF, debido a que su concentración fue por debajo del límite de detección.

Como conclusión, se comprobó tanto la calibración del equipo como la robustez de las mediciones durante el funcionamiento diario, indicado por la desviación estándar de las lecturas y la estabilidad de los resultados durante varios días. Únicamente las lecturas de cobalto no cumplen con la calidad necesaria; por lo tanto, los valores de este elemento detectado por XRF no son considerados en el presente estudio.

B. Comparación de Lecturas de XRF y mediciones por ICP-OES en el laboratorio

Los resultados de la comparación de suelos analizados por XRF e ICP-OES son presentados en el Anexo 5.

Mientras las lecturas de los patrones NIST tenían una DRP aceptable (con excepción del cobalto), la comparación de los resultados de las muestras de suelo analizadas por XRF y el método de referencia ICP-OES manifiesta grandes desfases que culminan en un 2671% en el caso de cromo (ver Tabla 5.12).

Tabla 5.12 – Evaluación Estadística de la Diferencia Relativa en Porcentaje entre muestras de suelos analizadas por XRF y ICP-OES.

| | Diferencia Relativa [%], DRP | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | As | Cd | Cr | Cu | Hg | Mn | Pb | Zn |
| Promedio | 97 | 2195 | 2671 | 84 | 154 | 229 | 121 | 160 |
| Mediana | 87 | | 2584 | 78 | 141 | 222 | 78 | 166 |
| Min | -37 | 850 | 837 | -38 | 82 | 31 | 5 | 45 |
| Max | 444 | 3540 | 6465 | 245 | 254 | 719 | 411 | 360 |
| Desv. Est. | 110 | | 1291 | 68 | 72 | 150 | 129 | 81 |
| Nro. de Observaciones | 16 | 2 | 17 | 17 | 4 | 17 | 17 | 17 |

Entre las razones para la baja calidad de los resultados analíticos obtenidos en muestras de suelo por el equipo XRF se puede mencionar:

1. El método analítico utilizado por el laboratorio utiliza una digestión con agua regia (una mezcla 1:3 de ácido nítrico y ácido clorhídrico). Mientras agua regia es un ácido muy fuerte y capaz de disolver casi la totalidad de los metales, no es suficientemente fuerte para disolver muchos minerales en su totalidad²⁴. Entre los minerales que no son solubles o que son poco solubles en agua regia se encuentran:

²⁴ <http://www.mindat.org/article.php/553/Solubility+Data+on+646+Common+and+Not+So+Common+Minerals>

- a. Silicatos (incluyendo metales pesados incorporados en la estructura molecular del cristal),
 - b. Muchos minerales duros opacos (que frecuentemente contienen hierro) como los limonitas, magnetita o hematitas
 - c. Minerales como casiterita, tuntstato, comita o franclinita,
 - d. Óxidos de cromo (III) calcinados y fosfato de cromo, y
 - e. Óxidos de cobalto y níquel
2. En muestras no pulverizadas existen interferencias en las lecturas por la presencia de partículas de diferentes tamaños. A pesar de que las muestras fueron tamizadas antes de realizar las lecturas, las interferencias por la inhomogeneidad en la granulometría puede jugar un rol importante para la incertidumbre de las lecturas.

Una comparación de resultados analíticos entre XRF e ICP-OES de muestras de polvo sedimentable corrobora esta afirmación. Como se puede apreciar en la Tabla 5.13, las DRP son muy inferiores a las determinadas en las muestras de suelos. Únicamente el mercurio tiene un promedio de la DRP elevada de 93.6% debido a que las lecturas por XRF estuvieron en el rango del límite de detección del equipo.

Mientras en las muestras de suelos se encuentra una gran inhomogeneidad de la granulometría, en las muestras de polvo sedimentable solamente existen partículas muy finas; por lo tanto, se puede concluir que es necesario una pulverización y homogeneización de muestras de suelos, sedimentos, minerales etc. antes de su medición por XRF para obtener resultados más confiables.

Tabla 5.13 – Evaluación Estadística de la Diferencia Relativa en Por ciento entre muestras de polvo sedimentable analizadas por XRF e ICP-OES.

| | Diferencia Relativa [%], DRP | | | | |
|-----------------------|------------------------------|--------|-------|---------|---------|
| | As | Cu | Hg | Pb | Zn |
| Promedio | 8.53 | -5.29 | 93.60 | -14.78 | 0.17 |
| Mediana | 9.26 | -8.50 | 94.34 | 8.91 | 8.50 |
| Min | -14.95 | -32.73 | 83.65 | -747.06 | -321.12 |
| Max | 26.96 | 22.76 | 97.86 | 26.87 | 66.94 |
| Desviación Estándar | 10.6 | 14.8 | 4.6 | 134.1 | 62.2 |
| Nro. de Observaciones | 32 | 32 | 8 | 32 | 32 |

El desfase más elevado en el caso de Hg se explica por las bajas concentraciones cerca del límite de detección de este elemento en el sedimento.

5.5.2 Aptitud de los Datos Analíticos obtenidos por el Laboratorio

A. Controles intra-laboratorial

Los resultados de las muestras de control intra-laboratorial son presentados en el Anexo 5. Como se puede apreciar, las muestras de control analizadas para los ensayos de suelos,

sedimentos, polvo y agua fueron dentro de las especificaciones establecidas en el sistema de gestión de calidad; por lo tanto, se puede concluir que los procesos analíticos fueron realizados bajo condiciones estandarizadas y controladas, por lo que los resultados analíticos son considerados aptos para su uso en el presente estudio.

B. Duplicados de Campo de Suelos

Para evaluar la precisión de los ensayos que depende tanto de la exactitud del método analítico como de la homogeneidad de las muestras, se tomaron dos duplicados de campo de suelos:

- PP203-S-01 y su duplicado PP221-S-01
- PP205-S-01 y su duplicado PP222-S-01

La Tabla 5.14 demuestra las Diferencias Relativas en por ciento, calculadas entre los duplicados y su cumplimiento con las especificaciones definidas en la Tabla 4.4.

Tabla 5.14 – Diferencia Relativa en Por ciento (DRP) entre los duplicados de suelos

| | Ag | As | Be | Cd | Co | Cr | Cu | Hg | Mn | Ni | Pb | Sb | Se | Zn | CN Libre |
|--|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|----|------|----------|
| DRP [%] entre PP203-S-01 y PP221-S-01 | -3.0 | 0.2 | 2.2 | 8.0 | 4.4 | 5.1 | -0.1 | 12.3 | -1.2 | 11.0 | -1.8 | 12.4 | NA | 3.9 | -23.0 |
| Cumplimiento | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si |
| DRP [%] entre PP205-S-01 y PP222-S-01 | >43 | 2.2 | 5.7 | 9.3 | 8.6 | 15.4 | 18.6 | NA | 11.9 | 13.6 | 0.6 | 24.4 | NA | 15.6 | -14.2 |
| Cumplimiento | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si |

Todos las DRP cumplen con las especificaciones correspondientes, lo que demuestra una calidad adecuada de la precisión de los resultados analíticos.

C. Blanco de Campo de Agua

Agua bidestilada fue enviada al laboratorio como muestra de blanco de campo (AST-05) para el análisis de metales pesados. Todos los resultados analíticos fueron por debajo del límite de detección del método analítico y muy por debajo de sus respectivos ECA.

5.5.3 Conclusión de la Calidad de los Datos Analíticos

El enfoque de esta sección, de evaluación de la calidad de datos analíticos, es la de identificar y considerar potenciales problemas con la calidad de los resultados analíticos. El resultado de la evaluación de datos analíticos llegó a la conclusión que los resultados obtenidos tienen una incertidumbre aceptable y son aptos para cumplir con los objetivos del presente estudio.

La evaluación de la calidad de resultados del equipo XRF para el análisis de suelos (y sedimentos) en el campo, demostró sus limitaciones.

Se puede concluir que para obtener datos con menor incertidumbre se requiere una pulverización y homogeneización de este tipo de muestras; sin embargo, el uso del equipo XRF fue de gran ayuda en el campo para identificar fuentes de contaminación con suelos contaminados con minerales u otras sustancias. Particularmente para el análisis de polvo sedimentable, el método demostró una incertidumbre aceptable para un método de detección rápida (screening).

6. MODELO CONCEPTUAL DEL SITIO

El modelo conceptual del sitio es la herramienta de planificación que organiza la información que ya se conoce sobre el sitio; el modelo ayuda a identificar información adicional que debe obtenerse para realizar la evaluación.

El proceso de planificación sistemática ata las metas del proyecto a actividades individuales necesarias para alcanzar esas metas, mediante la identificación de deficiencias de datos en el modelo. Luego se utiliza el modelo para dirigir la recolección de la información necesaria y permite que el modelo conceptual del sitio evolucione y madure; a medida que progresa el Estudio de Riesgos para la Salud Humana y al Ambiente (ERSA), en el caso de que este sea requerido.

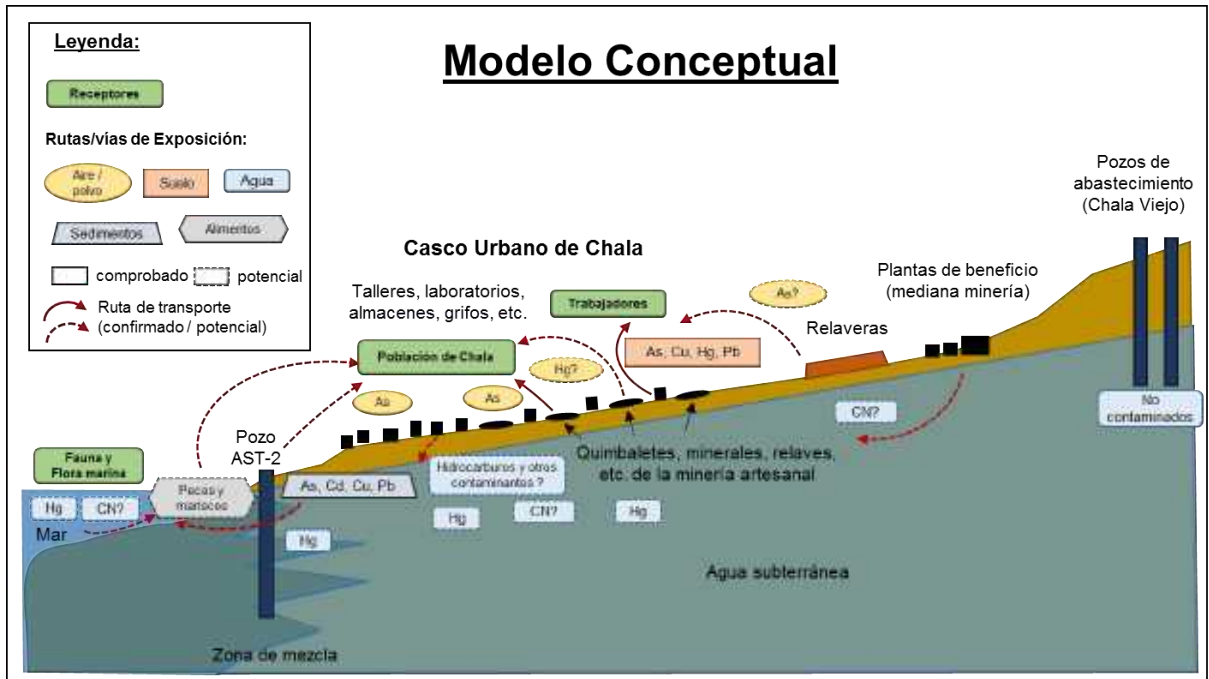
La Figura 6.1 señala de manera esquemática y resumida el modelo conceptual de las contaminaciones, así como los potenciales impactos a la salud y el ambiente, causados por actividades mineras en Chala – Arequipa, en base de los resultados obtenidos durante el presente estudio (ver también Anexo 10).

En el presente trabajo, de una evaluación preliminar de los impactos causados por las actividades mineras dentro o en proximidad a la población de Chala, se presenta un Modelo Conceptual del Sitio básico que se basa en la información disponible hasta la fecha. Para la identificación de las fuentes potenciales de contaminación se desarrolló un catastro de plantas de beneficio (ver Sección 5.4) y se intentó identificar otros potenciales focos de contaminación por la presencia de pasivos ambientales, laboratorios de servicio, talleres mecánicos, etc.

Basándose en la información recopilada in-situ, se realizó un muestreo de suelos, sedimentos, polvo sedimentable y agua subterránea para identificar sustancias tóxicas en estas matrices.

En base a los potenciales usos actuales y futuros de la tierra, se identificaron rutas completas de exposición, tomando en cuenta factores como meteorología, geología, hidrología, ambiente socio-económico, etc.

Figura 6.1- Modelo Conceptual esquemático de las contaminaciones y potenciales impactos a la salud humana y el ambiente, causados por actividades mineras en Chala - Arequipa



En forma general, para que una ruta de exposición sea completa se requiere cuatro elementos:

- Una fuente de sustancias químicas.
- Un medio de retención o transporte (por ejemplo, suelo – material particulado en el aire).
- Un punto potencial de contacto humano con el contaminante y
- Un mecanismo de exposición (por ejemplo, inhalación, ingesta o contacto dérmico).

Si cualquiera de estos elementos enumerados está ausente, no habrá exposición al contaminante y la ruta de exposición se considera incompleta. De acuerdo al procedimiento para la elaboración del ERSA²⁵, solamente existe un riesgo para contaminantes que presentan rutas de exposición completas.

6.1 Fuente, liberación y transferencia de Contaminantes al medio ambiente

Se identificaron dos principales actividades de contaminación en Chala por la actividad minera:

1. Plantas de beneficio trabajando con el método de cianuración para la extracción de oro.

²⁵ MINAM (2015), Guía sobre estudios de la Evaluación de Riesgos para la Salud Humana y al Ambiente.

2. Plantas de beneficio trabajando con el método de amalgamación con quimbaletes utilizando mercurio.

Existen otras actividades secundarias de la actividad minera que potencialmente también causan una contaminación ambiental:

- Varios laboratorios químicos que aparentemente emiten efluentes y emisiones gaseosas sin tratamiento alguno al medio ambiente en el sector “La Aguadita”.
- Talleres mecánicos que ofrecen sus servicios a la industria minera en la zona, que frecuentemente no tiene un manejo adecuado de residuos peligrosos como es el aceite usado o baterías, resultando en una contaminación de suelos.

Las siguientes fuentes de contaminación fueron identificadas como resultado de la actividad minera:

1. Un manejo y disposición inadecuado de los minerales auríferos procesados en la zona de Caravelí causa un riesgo para la salud humana en la población de Chala, por el contenido de metales pesados como As, Pb, Cu y Cd (en ninguna muestra se encontró cianuro por encima del ECA).
2. El uso de mercurio en el proceso de la amalgamación utilizando quimbaletes, causa por un lado una contaminación de los relaves con este elemento tóxico y por otro lado resulta en una contaminación atmosférica por la emisión de vapores de mercurio.
3. En menor escala, existe una evidente contaminación de suelos, aguas superficiales (incluyendo el mar) y el aire por deficiencias en el manejo de efluentes, emisiones y residuos peligrosos, en actividades de servicio como laboratorios químicos y talleres mecánicos.

El arsénico fue encontrado por encima del estándar de calidad ambiental tanto en suelos como en polvo sedimentable, en proximidad a actividades realizadas con quimbaletes y también en cercanía a relaveras de plantas de cianuración. El hecho de que también fuera encontrado en concentraciones elevadas en muestras de polvo sedimentable, tomadas de techos distribuidos en el poblado de Chala, indica que existe una resuspensión de partículas finas de minerales finamente molidas por el viento que afecta a toda la población de Chala.

Adicionalmente, por parte de los mineros, existe una significativa exposición al mercurio y otros metales pesados presentes en los minerales durante su trabajo rutinario de extracción y beneficio. En un estudio realizado en la población de Mollehuaca²⁶ (a unos 35 km de distancia a Chala, línea recta), se evidenció que:

- Los mineros que trabajan con mercurio tienen una exposición a este tóxico que excede unas tres veces la dosis considerada segura.

²⁶ ARMA-GIZ (2014), Evaluación de Riesgos para la Salud Humana y el Ambiente en la Población de Mollehuaca; <http://bit.ly/1gMUqxl>

- Los relaves que contienen mercurio y que fueron depositados en proximidad a la población, emiten vapores de mercurio cuya concentración excede hasta el doble de valores considerados seguros para la población.

Debido a las similitudes entre la composición química de los relaves dispuestos de forma incontrolada en Mollehuaca y relaves depositados en el área de quimbaletes en Chala, se puede aproximar una exposición parecida de los mineros y de la población local de Chala en el área de quimbaletes, que se encuentra por encima de valores considerados seguros. Es por esta razón que un simple traslado de las instalaciones (incluyendo los quimbaletes) a un sitio más remoto al poblado de Chala, no reduciría el riesgo de salud para los mineros, si no que se considera al mismo tiempo una modificación de la tecnología aplicada así como la aplicación de medidas de protección personal más adecuadas.

Debido a que en el agua potable no se detectaron concentraciones de contaminantes por encima de los ECA para agua de consumo humano, la exposición a contaminantes provenientes de actividades mineras por el consumo de agua potable es considerada una ruta de exposición incompleta.

6.2 Uso actual y futuro de la tierra

El área de la investigación fue definida como el casco urbano del distrito de Chala, incluyendo las actividades mineras realizadas dentro de una franja aproximadamente a una distancia menor a dos kilómetros al centro poblado. A pesar de que aún no se ha realizado un claro orden territorial en Chala definiendo sectores específicos para los distintos usos del suelo, se puede diferenciar entre los sectores de Chala Sur y Chala Norte como la parte principalmente urbana y el sector de La Aguadita como zona con más carácter industrial; sin embargo, debido a que existen viviendas en las tres zonas urbanas donde se realizan actividades mineras, se está considerando en la evaluación de riesgo un uso actual y futuro como “residencial”, con viviendas encima o en inmediata proximidad a potenciales fuentes de contaminación.

6.3 Rutas de Exposición de contaminantes y población expuesta

Las siguientes rutas de exposición de la población a contaminantes provenientes de las actividades mineras son consideradas completas:

- Contacto directo con tierra contaminada de la superficie.
- Inhalación de polvo contaminado.
- Inhalación de vapores de mercurio en proximidad a actividades de amalgamación y relaves conteniendo mercurio.
- Ingestión de partículas de suelo y polvo por actividades deportivas, consumo de alimentos sucios, tragar partículas de polvo atrapados por la mucosa de nariz o expulsados por el pulmón, etc.

6.3.1 Contacto Dérmico

El contacto dérmico es considerado una ruta de exposición no completa ya que para ningún CPP evaluado existe un riesgo significativo de una absorción por la piel. Por esta razón, no se considera necesario tomar en cuenta esta ruta potencial de exposición en el cálculo de la dosis recibida en una evaluación de riesgos; sin embargo, este aspecto debería ser discutido y evaluado en detalle en un análisis de riesgos para la Salud Humana.

6.3.2 Exposición por consumo de alimentos contaminados

Existe una potencial exposición por el consumo de alimentos contaminados con polvo conteniendo arsénico y otros contaminantes. La exposición por consumo de alimentos depende mucho de las condiciones higiénicas en la cocina y de la preparación de los alimentos. Esta ruta de exposición puede ser cortada lavando con agua limpia las frutas y verduras antes de su consumo.

Debido a que no existe una producción de verduras, frutas o forraje en Chala, la asimilación de contaminantes en alimentos por una producción en suelos contaminados no es considerada una ruta de exposición completa. Una potencial excepción son las instalaciones porcinas y de cría de pollos que se encontraron en proximidad directa a las actividades mineras en el área de quimbaletes. Una contaminación del forraje con metales pesados podría resultar en una carga sanitaria por el consumo de carne contaminada.

Además, el consumo de peces y mariscos provenientes de la bahía de Chala se considera como una ruta de exposición potencial, puesto que existe la posibilidad de una contaminación de estos alimentos por mercurio y otros metales (ver también ítem 6.3.3).

El aspecto de una exposición a tóxicos por alimentos contaminados no fue evaluado en el presente estudio preliminar.

6.3.3 Impactos potenciales al ecosistema marino

A pesar de que no se detectaron concentraciones críticas en el sedimento de las quebradas, la presencia de mercurio en el agua subterránea demuestra una migración de contaminantes hacia el ecosistema marino.

Debido a que el mercurio es considerado como un elemento que se bioacumula en especies acuáticas y marinas, una contaminación de peces y mariscos captados en la cercanía a la costa no puede ser excluida. Una fuente de contaminación del agua que se debería considerar, es la introducción de polvo contaminado por una resuspensión de material particulado por el viento y su respectiva deposición en el mar; a pesar de que el viento predominantemente sopla del lado sur-oeste o sea hacia el continente, existen corrientes locales donde esta dirección es revertida y así transporta polvo hacia el mar (ver Sección 2.6).

6.4 Población expuesta

La totalidad de las personas que viven en Chala fueron identificadas como potenciales receptores de la contaminación ambiental (niños y mayores). Existe una exposición adicional de los trabajadores involucrados directamente en actividades mineras.

El grado de exposición varía considerablemente, dependiendo del tipo de actividad, el uso de EPP adecuado y en particular el tiempo de exposición a un contaminante. Por otra parte, existe una exposición importante de los mineros trabajando con el proceso de amalgamación a vapores de mercurio y polvo contaminado (ver discusión en Sección 6.1).

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El objetivo general del proyecto es la identificación de potenciales riesgos para la salud de los pobladores de Chala, causados por actividades mineras actuales e históricas en proximidad a la población de Chala. Mediante la evaluación de información histórica y de un muestreo de suelos, sedimentos, aguas subterráneas y polvo sedimentable en la población de Chala y alrededores, se identificaron los siguientes Contaminantes de Preocupación Potencial (CPP) por las excedencias de Estándares de Calidad Ambiental (ECA):

- Suelos: As, Cu, Hg y Pb (en área de quimbaletes)
- Sedimentos: As, Cd, Cu y Pb
- Polvo sedimentable: As
- Agua: Hg, Conductividad Eléctrica (Salinidad), cloruro, sulfato, Coliformes Termotolerantes (Fecales), E Coli, Enterococos, silicatos

Con respecto a la contaminación atmosférica, se detectaron concentraciones de arsénico en el polvo sedimentable que exceden unas cuatro veces concentraciones considerados seguros para este elemento tóxico según el ECA establecido en la Unión Europea (ver Tabla 3.4).

Cabe afirmar que en los resultados obtenidos durante el monitoreo de material particulado por debajo de 10 micrones (PM10), que fueron publicados en los instrumentos ambientales revisados, ninguna observación fue superior al ECA de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver Tabla 5.1).

Las Áreas de Potencial interés (API) como fuentes de una contaminación ambiental son el área industrial en el sector “La Aguadita” y el sector de “Chala Norte” con actividades mineras utilizando quimbaletes para la amalgamación de minerales. Así también, existen varios laboratorios químicos y talleres mecánicos, particularmente en la zona llamada “La Aguadita” que ofrecen servicios a la industria minera y que por sus actividades y la falta de una implementación de medidas de prevención y mitigación ambiental también deberían ser considerados API.

La mayor cantidad de excedencias de los valores ECA en suelos se encuentra en el área de quimbaletes en Chala Norte. Esta observación confirma que las actividades mineras

realizadas dentro del centro urbano, potencialmente representan un riesgo para la salud de la población.

Fuentes Potenciales de Contaminación

En resumen, las siguientes fuentes de contaminación y actividades fueron identificadas como resultado de la actividad minera:

4. Un manejo y disposición inadecuada de los minerales auríferos procesados en la zona de Caravelí, causa un riesgo para la salud humana en Chala por el contenido de metaloides y metales pesados como As, Pb, Cu y Cd.
5. El uso de mercurio en el proceso de la amalgamación utilizando quimbaletes, causa por un lado una contaminación con relaves con este un elemento tóxico y por otro lado resulta en una contaminación atmosférica por la emisión de vapores de mercurio.
6. En menor escala, existe una evidente contaminación de suelos (presencia de manchas de aceite) y una contaminación potencial de aguas subterráneas y superficiales (incluyendo el mar) y el aire por deficiencias en el manejo de efluentes, emisiones y residuos peligrosos en actividades de servicio como en laboratorios químicos, almacenes, estaciones de servicio (grifos) y talleres mecánicos.

Rutas de Contaminación

Inhalación de polvo contaminado: Como una de las principales rutas de exposición de la población a los contaminantes se identificó la inhalación de material particulado conteniendo elementos tóxicos como As, Pb, Cd, Cu y otros.

Particularmente la concentración de arsénico excede una concentración crítica, resultando en una exposición superior al ECA establecido para este elemento; sin embargo, en un ensayo de biodisponibilidad (TCLP) se verificó que solamente una muy pequeña fracción del arsénico (0.23%) presente en el polvo sedimentable parece ser fisiológicamente activa. Esta observación es importante ya que el arsénico inhalado que fisiológicamente no es activo no puede ser reabsorbido y entrar al flujo sanguíneo, causando así daños a la salud.

Para corroborar esta interpretación se recomienda realizar una investigación más detallada de tipo epidemiológico, incluyendo el monitoreo de indicadores de salud como la concentración de arsénico (y otros metales pesados como mercurio y plomo) en la orina y sangre de la población.

En comparación, para la exposición a otros metales como el mercurio y plomo se recomienda un control de la concentración de estos metales en la sangre donde la mayor parte se concentra.

La vida media del arsénico inorgánico en los humanos es aproximadamente de 10 horas y la cuantificación del arsénico en la orina es el mejor de los indicadores ya que aproximadamente el 70% del arsénico se excreta por esta vía.

Inhalación de vapores de mercurio: Otra ruta de exposición importante a considerar, se concentra a la zona donde se trabaja con amalgamación en quimbaletes. En un estudio realizado en la población de Mollehuaca²⁷ (a unos 35 km de distancia a Chala, línea recta), se evidenció que:

- Los mineros que trabajan con mercurio tienen una exposición promedio a este tóxico que excede unas tres veces la dosis considerada segura.
- Los relaves que contienen mercurio y que fueron depositados en proximidad a la población, emiten vapores de mercurio cuya concentración excede hasta el doble de valores considerados seguros para la población.

Debido a las similitudes entre la composición química de los relaves dispuestos de forma incontrolada en Mollehuaca y los relaves depositados en el área de quimbaletes en Chala, se puede pronosticar una exposición parecida por encima de valores considerados seguros para los mineros, sus familiares y de la población local en el área de quimbaletes en Chala.

Contacto directo con suelo contaminado: Los resultados analíticos señalan que los suelos que se consideran autóctonos (“naturales”) no superan los ECA Suelos para un uso residencial. Sin embargo, en sustratos superficiales de origen antropogénico, como relaves y minerales dispuestos al aire libre, se detectaron contaminaciones por encima del ECA, y por lo tanto se determina un riesgo potencial para los trabajadores y la población por un contacto directo con estos materiales.

Exposición a alimentos contaminados: La presencia de agua subterránea conteniendo mercurio, hace que esta se infiltre al mar, hecho que podría resultar en una bioacumulación de este elemento en peces y mariscos, los mismos que podrían ser consumidos por la población junto con otros tóxicos.

De la misma manera, el hecho de que existan instalaciones porcinas y de cría de pollos en proximidad directa a las actividades mineras en el área de quimbaletes, abre la posibilidad de una carga sanitaria por el consumo de carne contaminada. Por lo tanto, se recomienda una investigación de la concentración de arsénico y otros metales pesados en peces, mariscos, pollos, chanchos y pescados en la cercanía al puerto o producidos en el Distrito de Chala.

Recomendaciones:

- Se recomienda realizar una investigación complementaria para obtener una base de datos más completa que permita determinar si se requiere llevar a cabo una

²⁷ ARMA-GIZ (2014), Evaluación de Riesgos para la Salud Humana y el Ambiente en la Población de Mollehuaca; <http://bit.ly/1gMUqxl>

Evaluación de Riesgos para la Salud Humana y el Ambiente (ERSA). Esta investigación debería considerar lo siguiente:

- Hacer una evaluación de la concentración de arsénico, mercurio y plomo en la orina y sangre de la población de Chala, para determinar el peligro potencial que tiene la salud proveniente de estos elementos tóxicos.
- Realizar un análisis de metales pesados en peces, mariscos y otros alimentos localmente producidos que son consumidos en Chala, para obtener datos más completos sobre la exposición de la población a estos contaminantes.
- Complementar los datos para un análisis de riesgos para la salud humana y el ambiente, ejecutando acciones como la toma de muestras de relaveras activas y cerradas (incluyendo áreas con actividades con quimbaletes) para el análisis de metales pesados, cianuro, biodisponibilidad (ensayo TCLP), así como de parámetros geotécnicos como la granulometría y/o la caracterización mineralógica.
- Para evaluar un impacto potencial de la minería al ecosistema marítimo también se recomienda tomar muestras de sedimentos dentro del mar (y/o de sólidos suspendidos en el agua), en cercanía a las embocaduras de las quebradas Chala y Huanca, para su análisis por metales pesados. .
- Para la mitigación de los impactos negativos causados por la actividad minera utilizando mercurio, se recomienda una reubicación de las instalaciones que trabajan con quimbaletes para la amalgamación de minerales a un sitio alejado del poblado de Chala.
- Después de la reubicación de los quimbaletes, se recomienda realizar una limpieza de las áreas contaminadas con minerales para reducir la concentración de arsénico y otros metales pesados en el suelo y consecuentemente en el material particulado, que es levantado y distribuido por el viento y que causa un peligro para la salud de la población. El primer paso en este proceso sería el desarrollo de un Plan de Descontaminación de Suelos (PDS) que debe ser aprobado por la ARMA como autoridad competente.
- Con respecto al análisis rutinario del agua potable realizado por el Centro de Salud y la empresa SEDAPAR, se recomienda incluir arsénico, mercurio y plomo en el programa analítico.
- Se recomienda al Gobierno Regional en cooperación con la Gerencia Regional de Energía y Minas (GREM) iniciar una capacitación a los mineros de la zona en tecnologías limpias y más eficientes en la extracción de oro de minerales, con el motivo de reducir los daños a la salud de los mineros, sus familiares y la población en general, causados por dicha actividad.
- Se recomienda para la municipalidad distrital, iniciar una campaña de sensibilización y concientización a la población que realiza actividades mineras, informando sobre los riesgos causados por las altas concentraciones de arsénico, plomo, cobre y cadmio en muchos minerales auríferos procesados en de la zona, además de los riesgos asociados con el uso de mercurio en el proceso de la amalgamación.

- Se recomienda también, llevar a cabo un ordenamiento territorial, definiendo áreas exclusivamente urbanas, áreas industriales, parques, áreas recreativas, etc.
- Se recomienda instalar un Comité de Vigilancia para la supervisión de instalaciones de la pequeña minería y minería artesanal, verificando el cumplimiento con las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la Pequeña Minería y Minería Artesanal de acuerdo a la Resolución Gerencial N° 006-2014 GRE/ARMA. Para que el Comité de Vigilancia tenga una adecuada representación ciudadana, se recomienda la participación de instituciones gubernamentales como el Municipio, OTA, Centro de Salud, Defensoría del Pueblo, como también no-gubernamentales como ONGs, asociaciones de profesionales o sectoriales, organizaciones sociales-sectoriales, etc.

8. USO DEL INFORME Y LIMITACIONES

Las instituciones MINAM, ARMA, Municipalidad Distrital de Chala y la Cooperación Alemana implementada por la GIZ (GIZ), realizó el presente proyecto de investigación ambiental en el distrito de Chala. Los evaluadores y técnicos involucrados en la preparación del informe han realizado el trabajo con todo el rigor necesario para obtener los resultados esperados en esta primera etapa del proyecto. El trabajo se basa en prácticas y estándares aceptados generalmente 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, acordada entre las instituciones participantes. La metodología adaptada y fuentes de información usadas son descritas en el informe. No se realizó ninguna verificación independiente de esta información más allá del alcance del trabajo y no se asume ninguna responsabilidad por cualquier error u omisión. No hay indicaciones de que la información proporcionada durante la evaluación de campo fuera falsa.

El análisis de las muestras ambientales fue realizado en un laboratorio acreditado y las instituciones participantes no se responsabilizan por los errores potenciales ocurridos durante el proceso analítico. El uso del equipo XRF, duplicados y blancos de campo ayudó en la evaluación de la calidad de los resultados analíticos. Este informe fue preparado durante los meses de mayo a noviembre del 2015 y se basa en las condiciones encontradas y la información proporcionada durante el trabajo de campo y la información revisada durante la preparación del informe. Se excluye cualquier responsabilidad para cambios ocurridos después del trabajo de campo y de la elaboración del informe. El informe fue preparado para el MINAM, ARMA y la Municipalidad de Chala y debe ser leído en forma completa. No se acepta ninguna responsabilidad si terceros utilizan partes del informe en otro contexto o propósito.