



## Resolución Gerencial Regional

N° 006 -2014-GRA/ARMA

**VISTO**, el Informe N° 045-2014-GRA/ARMA/SG de fecha 13 de octubre del 2014, la Sub Gerencia presenta a la Gerencia de la Autoridad Regional Ambiental el Instrumento de las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA) para la aplicación en la actividad minera que realizan los Pequeños Productores Mineros y los Mineros Artesanales en la Región Arequipa.

### CONSIDERANDO:

Que, conforme lo establece el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú, es deber del Estado garantizar que toda persona goce de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 7° que todos tienen derecho a la protección de su salud, la del medio familiar y de la comunidad así como es deber de contribuir a su protección;

Que, el artículo 191° de la Constitución Política del Perú de 1993, codificada por la Ley de Reforma Constitucional del Capítulo XIV del Título IV sobre Descentralización, Ley N° 27680, establece que los Gobiernos Regionales tiene autonomía política, económica y administrativa en los asuntos de su competencia;

Que, el literal c) del numeral 10.2 del artículo 10° de la Ley N° 27867, Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales, menciona que una de las competencias compartidas de los gobiernos regionales es la promoción, gestión y regulación de las actividades económicas y productivas en su ámbito y nivel, correspondiente a los sectores de agricultura, pesquería, industria, comercio, turismo, energía, hidrocarburos, minas, transportes, comunicaciones y medio ambiente;

Que, el literal a) del artículo 49° de la Ley antes citada, señala que es función de los Gobiernos Regionales en materia de salud, formular aprobar, ejecutar, evaluar, dirigir controlar y administrar las políticas de salud de la región en concordancia con las políticas nacionales y los planes sectoriales. Asimismo que el literal a) del artículo 59° señala como función de los Gobiernos Regionales en materia de energía, minas e hidrocarburos, formular, aprobar, ejecutar, evaluar, fiscalizar dirigir, controlar y administrar los planes y políticas en materia d energía, minas e hidrocarburos de la región; así como el literal c) del mismo artículo precisa como función fomentar y supervisar las actividades de la pequeña y la minería artesanal y la explotación y exploración de los recursos mineros de la Región con arreglo a la Ley.

Qué, el inciso 1 del artículo 59° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente , señala que los Gobiernos regionales ejercen sus funciones y atribuciones de conformidad con lo que establecen sus respectivas leyes orgánicas; señalando en el inciso siguiente que para el diseño y aplicación de políticas, normas e instrumentos de gestión ambiental a nivel regional y local, se tienen en cuenta los principios, derechos, deberes, mandatos



y responsabilidades establecidos en la referida Ley y las normas que regulan el Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

Que, el D.L. N° 1040 modifica el artículo 14° de la Ley 27651, Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal, estableciendo que los Gobiernos Regionales tienen a su cargo la fiscalización, sanción y demás facultades que le han transferidas en el marco del proceso de descentralización.

El artículo 93° de la Ordenanza Regional N° 010-AREQUIPA, de fecha 22 de abril del 2007, aprueba la estructura orgánica y su Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Gobierno Regional de Arequipa, señala que la Autoridad Regional Ambiental es un órgano desconcentrado con autonomía administrativa, dependiente de la Presidencia del Gobierno Regional, el cual se encargará de las funciones específicas en materia ambiental y áreas protegidas.

Que, mediante Ordenanza Regional N° 033-AREQUIPA, de fecha 15 de enero del 2008 se define como funciones de la Autoridad Ambiental Regional (k) realizar evaluaciones periódicas sobre la calidad del aire, suelo y agua, en ámbitos que se programe y/o solicitud a otras personas naturales y/o jurídicas así como en su literal; (q) desarrollar, ejecutar, supervisar y evaluar la aplicación de medidas de prevención, control y mitigación de los impactos ambientales en coordinación con las autoridades, promoviendo el uso de tecnologías limpias, como parte de la gestión ambiental regional y de la fiscalización de las actividades económicas en curso.

Que, en octubre del 2013 se instaló un equipo técnico denominado "Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la Pequeña Minería y Minería Artesanal", encargado de elaborar Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA), con la finalidad de elaborar la propuesta de buenas prácticas de prevención y mitigación ambiental en la que se reduzcan el impacto negativo ambiental y el peligro para la población y los mineros.

Que, todo ello configuran acciones que coinciden con la política y objetivos primordiales del Gobierno Regional, lo que coincide con los principios rectores de las políticas y la gestión regional señalados en la Ley N° 27867, Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales, la que en su principio de sostenibilidad señala que: "La gestión regional se caracteriza por la búsqueda del equilibrio intergeneracional en el uso racional de los recursos naturales para lograr objetivos de desarrollo, la defensa del medio ambiente y la protección de la biodiversidad".

Que, mediante Informe N° 045-2014-GRA/ARMA/SG de fecha 13 de octubre del 2014, la Sub Gerencia presenta a la Gerencia de la Autoridad Regional Ambiental el Instrumento de las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA) para la aplicación en la actividad minera que realizan los Pequeños Productores Mineros y los Mineros Artesanales en la Región Arequipa.

Que, mediante Oficio N° 340-2014-GRA/ARMA de fecha 13 de octubre del 2014, se solicita la opinión técnica del Instrumento de las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA) al Consejo Regional del Gobierno Regional de Arequipa.

Que, mediante escrito de Registro N° 2219-2014-ARMA de fecha 03 de noviembre del 2014, el Consejo Regional del Gobierno Regional de Arequipa remite el Oficio N° 107-2014-GRA/CR-CRNEA, adjuntando el Informe Técnico N° 041-2014-GRA/CR-ASESOR-MSOC, a través del cual se concluye que el Instrumento de las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA) es un documento de gestión que debe ser aprobado por la Autoridad Regional Ambiental mediante Resolución Gerencial Regional.



Handwritten signature or initials in blue ink.



## Resolución Gerencial Regional

N° 006 -2014-GRA/ARMA

Que, por las consideraciones antes citadas, y de conformidad con la Ley N° 27783, de Bases de la Descentralización; Ley N° 27867, Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales; Ley N° 28611; Ley N° 25977; Ley N° 28326 y 27460; Decreto Supremo N° 012-2001-PE; Ordenanza Regional N° 010- Arequipa, Ordenanza Regional N° 033- Arequipa, y demás normas vigentes.

### SE RESUELVE:

**ARTÍCULO 1°.- APROBAR** el Instrumento de las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA) para su aplicación obligatoria en la actividad minera que realizan los Pequeños Productores Mineros y los Mineros Artesanales en la Región Arequipa, cuyo texto forma parte integrante de la presente Resolución Gerencial Regional:

- Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la Pequeña Minería (PM) y Minería Artesanal (MA)
- Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas de la Pequeña Minería y Minería Artesanal que utilizan Cianuro.
- Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la Pequeña Minería y Minería Artesanal que trabajan con Mercurio.



### **ARTÍCULO 2°.- Ámbito de Aplicación.-**

El ámbito de aplicación de la presente Resolución es la Región Arequipa donde el Gobierno Regional de Arequipa ejerce jurisdicción.

### **ARTÍCULO 3°.- Desarrollo, dirección, supervisión y ejecución.-**

Encárguese a las Áreas de Evaluación y Fiscalización de la Autoridad Regional Ambiental el cumplimiento de los criterios de las BPGA en las actividades de la Pequeña Minería y Minería Artesanal de la Región Arequipa, en las funciones de evaluación, supervisión y fiscalización en el marco de las competencias transferidas.

### **ARTÍCULO 4°.- Sanciones.-**

Encárguese al Área de Fiscalización de la Autoridad Regional Ambiental para que en un plazo no mayor de 180 días elabore el procedimiento sancionador y el cuadro de sanciones e infracciones de los compromisos ambientales en concordancia con el Instrumento de las Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA).

### **ARTÍCULO 5°.- Adecuación.-**

Los Administrados que posean un instrumento de gestión ambiental aprobada y vigente anterior a la presente norma tienen un plazo de 180 días para adecuarse a la presente Resolución. Las medidas de adecuación deberán ser presentadas en un informe a la Autoridad Ambiental Competente, documento que será puesto a conocimiento de los

administrados mediante la página web de la ARMA, acompañado de una Declaración Jurada de implementación de las medidas.

Los instrumentos de Gestión Ambiental que se encuentren en proceso de evaluación técnica deberán adecuarse a la presente Resolución Gerencial Regional.

**ARTICULO 6º.- Publicación.-**

**DISPONER** la publicación de la presente Resolución Gerencial Regional y sus anexos de las BPGA en la página web del Sistema de Información Ambiental de Arequipa -SIAR.

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS.-**

**PRIMERA.-** En caso, el administrado no pueda implementar uno o más criterios de las BPGA, sean estos por razones técnicas, logísticas o económicas, el Área de Evaluación Ambiental previa solicitud del administrado evaluará técnica- y legalmente la propuesta alternativa presentada en el marco de la legislación ambiental.

**SEGUNDA.-** Encargar al Área de Evaluación incorporar en el TUPA el procedimiento correspondiente a la adecuación de los criterios en su Instrumento ambiental aprobado.

Dada en la sede de la Autoridad Regional Ambiental a los **CINCO (05)** días del mes de **NOVIEMBRE** del año Dos Mil Catorce.

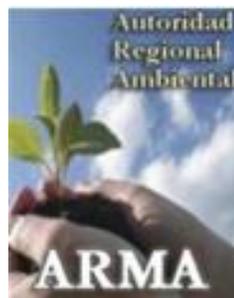
**REGISTRESE, COMUNIQUESE Y PUBLIQUESE**





# Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal

Junio 2014



**Preparado para:**

**Autoridad Regional Ambiental de Arequipa**

**Elaboración del documento:**

**Dr. Oswald Eppers**

Asesor Internacional de la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ)  
Programa ProAmbiente

**Equipo de Revisión y Corrección:**

**Dra. Gladys Márquez Chaname**

Jefa del Área de Fiscalización, ARMA

**Ing. Percy Ponce Medina**

Consultor del Ministerio de Energía y Minas

**Ing. Jorge Antonio Delgado Pacheco**

Especialista en Evaluación Ambiental, ARMA

**Blgo. Rubén Hernán Apaza Toro**

Especialista en Evaluación Ambiental, ARMA

**Arequipa, Junio 2014**

## Contenido

Lista de Abreviaturas.....	v
1. Introducción.....	1
1.1 Objetivo .....	2
1.2 Alcance.....	3
1.3 Marco Legal.....	3
1.3.1 Leyes, reglamentos y decretos .....	3
1.3.2 Distribución de Competencias de Autoridades.....	3
2. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para el Manejo de Aguas Industriales Mineras en la PM y MA.....	5
2.1 Límites Máximos Permisibles .....	5
2.2 Buenas Prácticas de Gestión Ambiental de Efluentes Industriales Mineros.....	5
2.3 Monitoreo Ambiental Obligatorio de Efluentes en la PM y MA .....	7
2.4 Monitoreo Ambiental Rutinario de Efluentes en la PM y MA .....	7
2.4.1 Monitoreo de Turbidez .....	8
2.4.2 Monitoreo de pH.....	8
3. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para el Manejo de Aguas Servidas Domésticas y Excretas Humanas en la PM y MA.....	9
3.1 Situación Legal .....	9
3.2 Definición de Buenas Prácticas de Prevención y Mitigación .....	10
4. Buenas Prácticas de gestión ambiental para el manejo de residuos sólidos domésticos en la PM y MA.....	11
4.1 Situación Legal .....	11
4.2 Definición de Buenas Prácticas para la gestión ambiental de residuos sólidos domésticos en la PM y MA .....	12
5. Buenas Prácticas para el almacenamiento de combustibles, lubricantes u otras sustancias peligrosas.....	14
5.1 Marco Legal.....	14
5.2 Definición de Buenas Prácticas de Prevención y Mitigación.....	14
6. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la disposición temporal y final de relaves u otros residuos peligrosos mineros.....	16
6.1 Objetivos en el Manejo Ambiental adecuado de Relaves .....	16
6.2 Buenas Prácticas en el Manejo Ambiental de Relaves.....	17
6.2.1 Almacenamiento temporal.....	17
6.2.2 Disposición final de relaves.....	17
6.3 Caracterización de la Peligrosidad de Residuos Mineros .....	18
6.3.1 Clasificación como residuo normal o residuo peligroso o muy peligroso .....	18

6.3.2	Muestreo de Relaves o acopios de residuos.....	19
6.3.3	Estabilización de Relaves u otros residuos .....	19
6.3.4	Encapsulamiento de residuos contaminados .....	20
7.	Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la disposición de desmontes .....	24
7.1	Impactos Ambientales causados por la disposición de desmontes .....	24
7.2	Buenas Prácticas de Prevención y Mitigación en el manejo de escombros y desmontes ... .....	25
8.	Buenas Prácticas para la Prevención y Mitigación de Emisión de Polvo .....	26
8.1	PM10 y PM2.5 como indicadores de contaminación atmosférica en la Minería .....	26
8.2	Marco Legal.....	27
8.3	Monitoreo de partículas suspendidas .....	27
8.3.1	Equipos de Monitoreo .....	27
8.3.2	Selección de puntos de monitoreo .....	28
8.3.3	Distancia a carreteras .....	28
8.4	Buenas Prácticas de Prevención y Mitigación Ambiental para el Control de Polvo.....	28
9.	Bibliografía .....	30
	ANEXO 1 – Manuales y Guías para Medidas de Prevención y Mitigación.....	32
	ANEXO 2 - Leyes, Reglamentos y Decretos relacionados a la gestión ambiental en la minería ...	34
	ANEXO 3 – Clasificación de Residuos.....	37
	ANEXO 4 – Reporte Generación y Manejo de Residuos Contaminados en PM y MA.....	39

## Lista de Abreviaturas

ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales)
ANA	Autoridad Nacional del Agua
ARMA	Autoridad Regional Ambiental de Arequipa
DESA	Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental
ECA	Estándar de Control Ambiental
EPP	Equipo de Protección Personal
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperación Alemana)
BPGA	Buenas Prácticas de gestión ambiental
GREM	Gerencia Regional de Energía y Minas
HDPE	polietileno de alta densidad
LMP	Límite Máximo Permisible
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio de Ambiente
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
OMS	Organización Mundial de Salud
PA	Poliamida
PCM	Presidencia del Consejo de Ministros
PE	Polietileno
PET	Poliéster
PM y MA	Pequeña Minería y Minería Artesanal
PM	Material particulado
PP	Polipropileno
PVC	Polivinil cloruro
SEDAPAR	Servicio de agua potable y alcantarillado
STS	Sólidos Totales Suspendidos
TCLP	Toxicity characteristic leaching procedure (ensayo de lixiviación)
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los EEUU

## 1. Introducción

Una de las características más resaltantes de la pequeña minería (PM) y minería artesanal (MA) en el Perú es el uso de técnicas de excavación, extracción, arranque y beneficio que no son compatibles con la salud de los mineros y sus familias, ni con la protección del medio ambiente. Otra característica también son los bajos márgenes de rentabilidad con que operan, ganando muchas veces solamente lo suficiente para su subsistencia.

Como consecuencia de esta presión económica y también de una desinformación y falta de capacitación general sobre salud y ambiente, no existe una conciencia muy desarrollada para la protección del medio ambiente, ni para la protección de su propia salud.

La gestión de cada proyecto minero requiere tener claridad y conocimiento de los impactos ambientales y del conjunto de medidas destinadas a evitar, mitigar o controlar los impactos ambientales negativos al ecosistema y a la salud humana, generados durante la construcción, operación y cierre del proyecto.

La gestión ambiental de todo proyecto de la PM y MA se apoyará en algunos principios, entre los que se destacan la optimización del uso de los recursos, la previsión y mitigación de impactos ambientales así como del ordenamiento territorial. A pesar de que cada proyecto minero tiene características e impactos determinados que requieren de una planificación específica de las medidas de mitigación y prevención, existen impactos ambientales considerados impactos genéricos ya que se encuentran mayormente en zonas mineras. Entre los más importantes se encuentran:

- Contaminación de suelos y cuerpos de agua, además de la transmisión de enfermedades contagiosas por una inadecuada estructura sanitaria y mal manejo de aguas negras domésticas.
- Contaminación ambiental por un inadecuado manejo de aguas industriales de mina.
- Contaminación de cuerpos de agua y suelos, además de la pérdida de suelos y paisaje natural por un inadecuado manejo de residuos sólidos y falta de la implementación de un plan de cierre progresivo.
- Contaminación de suelos y cuerpos de agua por un inadecuado almacenamiento de sustancias peligrosas como combustibles, lubricantes, etc.
- Impacto negativo ambiental, al paisaje y potencial turístico por un inadecuado manejo de escombros y desmontes.
- Contaminación atmosférica por la emisión incontrolada de partículas suspendidas al aire.

Existe un conjunto de guías de buenas prácticas de gestión ambiental para la minería elaborado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) que forman la base para la incorporación de medidas preventivas y de mitigación en la gestión ambiental de una empresa minera. Prioritariamente, las guías fueron desarrollados para actividades realizadas en empresas mineras de la gran o mediana escala. Un listado de guías y manuales se encuentra en el Anexo 1. El presente documento establece Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (BPGA) complementarias a estas guías, considerando la problemática ambiental específica relacionada con la PM y MA. De esta manera, ayudarán a empresas de la PM y MA en la implementación de una gestión ambiental preventiva que responda a los impactos ambientales más significativo de este sector minera.

De la misma manera, las BPGA ayudarán a las autoridades ambientales en la realización de sus funciones. La práctica de la supervisión y fiscalización ambiental de la PM y MA en la región de Arequipa demostró que el solo monitoreo de parámetros físico-químicos de emisiones no asegura una evaluación objetiva y fundamentada de los impactos ambientales; además requieren muchos recursos económicos y humanos porque demandan equipos costosos y personal altamente capacitado. Con las BPGA para la PM y MA se obtendrá una herramienta adicional que será utilizada para la evaluación del empeño de la gestión ambiental de una empresa y de potenciales impactos ambientales negativos generados por esta.

En el siguiente documento se presentan BPGA para las siguientes actividades:

- a) Manejo de Aguas Industriales Mineras
- b) Manejo de Aguas Servidas y Excretas Humanas
- c) Manejo de residuos sólidos domésticos
- d) Almacenamiento de combustibles, lubricantes u otras sustancias peligrosas
- e) Disposición temporal y final de relaves u otros residuos peligrosos mineros
- f) Disposición de escombros y desmontes
- g) Control de Polvo

Además a las buenas prácticas presentadas en el presente documento, se ha definido las siguientes BPGA específicas:

- h) BPGA para Plantas Hidrometalúrgicas de la PM y MA que utilizan Cianuro
- i) BPGA para PM y MA que trabajan con Mercurio

Los proyectos de la PM y MA que generen impactos no previstos en el presente documento, deberán definir medidas de prevención y mitigación e implementarlas a su proyecto.

Una primera versión de las BPGA fue presentada en el mes de mayo 2014 a entidades públicas y a la población para remitir sus aportes y comentarios. El presente documento considera tanto las observaciones del público como de las entidades públicas (incluyendo las observaciones del Ministerio de Ambiente, emitido mediante Oficio N° 201-2014-MINAM-VMGA/DGPNIGA).

## **1.1 Objetivo**

El presente documento establece las BPGA para fortalecer las políticas y estrategias ambientales a través de medidas de prevención y mitigación que permitan proteger la salud de la población y el ecosistema.

### **Objetivos específicos**

- Establecer Buenas Prácticas de prevención y mitigación ambientales para la PM y MA a través de herramientas de control, operación y seguimiento;
- Facilitar la implementación de una gestión ambiental en empresas de la PM y MA que responda adecuadamente a impactos ambientales de este sector minera;
- Fortalecer la evaluación, supervisión y fiscalización de la PM y MA realizada por la Autoridad Regional Ambiental (ARMA), en coordinación con los Gobiernos Municipales, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA), Gerencia Regional de Energía y Minas (GREM), Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), entre otros.

## 1.2 Alcance

Las BPGA definidos en el presente documento se dirigen a:

- a) Toda persona natural o jurídica que realiza en las diferentes etapas de las actividades de minería metálica, no metálica, beneficio y actividades conexas de un proyecto minero y que se encuentran inmersos en el estrato de la PM y MA;
- b) La ARMA, tanto en el área de evaluación como en el área de supervisión y fiscalización de actividades relacionados con la PM y MA.

## 1.3 Marco Legal

### 1.3.1 Leyes, reglamentos y decretos

En el Anexo 2 se presenta una lista no exhaustiva de leyes, reglamentos y decretos importantes relacionados a la gestión ambiental en la minería. Una presentación más exhaustiva del marco legal se puede encontrar por ejemplo en la página web del MEM<sup>1</sup>.

### 1.3.2 Distribución de Competencias de Autoridades

Tabla 1.1 resume la distribución de las competencias de las autoridades regionales y locales para la certificación ambiental, la supervisión y fiscalización de proyectos de la PM y MA, dependiendo de la fuente de impacto.

**Tabla 1.1 – Competencias de Autoridades nacionales, regionales y locales relacionadas a la PM y MA.**

Competencias de Autoridades				
Fuentes de Impacto	Actividad/Alcance	Certificación/ Permiso	Supervisión	Fiscalización
<b>Aguas Industriales Mineras</b>	Descargas a suelos o cuerpos de aguas naturales	ANA	ARMA/ANA	ARMA/ANA
	Infraestructura (plantas de tratamiento, etc.)	ARMA <sup>2</sup>	GREM	GREM
	Seguridad y Salud Ocupacional	GREM <sup>3</sup>	GREM	GREM
	Calidad de agua en cuerpos receptores	ANA	ANA	ANA
	Impactos Ambientales	ARMA	ARMA	ARMA
<b>Aguas servidas y Excretas humanas</b>	Descargas a suelos o cuerpos de agua naturales <sup>4</sup>	ARMA/ANA <sup>2</sup>	ARMA	ARMA
	Descargas a la red alcantarillado municipal	SEDAPAR (o quién haga sus veces)	SEDAPAR (o quién haga sus veces)	SEDAPAR (o quién haga sus veces)

<sup>1</sup> <http://www.minem.gob.pe/>

<sup>2</sup> La ARMA evaluará los potenciales impactos ambientales, la GREM evaluará y dará opinión técnica al diseño final de la instalación.

<sup>3</sup> Plan de Minado (evaluación que será concordada con el instrumento ambiental aprobado)

<sup>4</sup> Dentro de las concesiones mineras y de beneficio

	Saneamiento Básico (letrinas, pozos sépticos, etc.) <sup>5</sup>	ARMA	ARMA	ARMA
<b>Residuos sólidos domésticos</b>	Disposición dentro de concesiones de extracción o aprovechamiento de recursos	ARMA/ DIGESA	ARMA/ DIGESA	ARMA/DIGESA
<b>Almacenamiento de combustible, lubricantes u otras sustancias peligrosas como cianuro, mercurio, etc.</b>	Infraestructura	GREM <sup>4</sup>	GREM	GREM
	Seguridad y Salud Ocupacional	GREM <sup>4</sup>	GREM	GREM
	Impactos Ambientales	ARMA	ARMA	ARMA
<b>Manejo y disposición de relaves u otros residuos mineros</b>	Infraestructura	GREM <sup>4</sup>	GREM	GREM
	Seguridad y Salud Ocupacional	GREM <sup>4</sup>	GREM	GREM
	Impactos Ambientales	ARMA	ARMA	ARMA
<b>Disposición de escombros y desmontes</b>	Infraestructura	GREM <sup>4</sup>	GREM	GREM
	Seguridad y Salud Ocupacional	GREM <sup>4</sup>	GREM	GREM
	Impactos Ambientales	ARMA	ARMA	ARMA
<b>Uso de Cianuro</b>	Impactos Ambientales/ Seguridad y Salud Ocupacional	ARMA/MEM (autorización del uso de cianuro)	ARMA	ARMA

La ARMA como autoridad competente ambiental, supervisará y fiscalizará en el marco de sus competencias con especial atención al cumplimiento de los estándares ambientales legalmente establecidos. Respecto al cumplimiento de las medidas de salud y seguridad como las deficiencias de infraestructura detectadas durante las inspecciones de supervisión, serán reportadas a las autoridades competentes correspondientes que realizarán el seguimiento para tomar las acciones necesarias al respecto.

## 2. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para el Manejo de Aguas Industriales Mineras en la PM y MA

En las actividades mineras se generan efluentes potencialmente contaminados que deben ser controlados y tratados antes de su descarga al suelo o cuerpos de agua y así cumplir con los estándares ambientales legalmente establecidos.

Frecuentemente existen efluentes de boca de mina que son descargadas en aguas superficiales o al suelo sin previo tratamiento. Otros efluentes potencialmente contaminantes provienen de los procesos de beneficio, incluyendo procesos de concentración gravimétrica, lixiviación o amalgamación. Un problema particular son los lixiviados provenientes de desmontes y canchas de relaves, a menudo contaminados con cianuro, metales pesados, metaloides, sulfuros, ácidos, etc.

BPGA específicos para el manejo de aguas industriales en instalaciones hidrometalúrgicas de cianuración son definidos en el documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas la PM y MA que utilizan Cianuro*.

### 2.1 Límites Máximos Permisibles

Tabla 2.1 presenta los límites máximos permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicos, establecidos en el D.S. Nº 010-2010-MINAM.

**Tabla 2.1 - LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicos**

		Limite en cualquier momento	Límite para promedio anual
<b>pH</b>		6-9	6-9
<b>sólidos totales en suspensión</b>	mg/l	50	25
<b>aceites y grasas</b>	mg/l	20	16
<b>cianuro total</b>	mg/l	1	0.8
<b>arsénico total</b>	mg/l	0.1	0.08
<b>cadmio total</b>	mg/l	0.05	0.04
<b>cromo hexavalente (*)</b>	mg/l	0.1	0.08
<b>cobre total</b>	mg/l	0.5	0.4
<b>hierro disuelto</b>	mg/l	2	1.6
<b>plomo total</b>	mg/l	0.1	0.16
<b>mercurio total</b>	mg/l	0.002	0.0016
<b>zinc total</b>	mg/l	1.5	1.2

\*en muestra no filtrada

### 2.2 Buenas Prácticas de Gestión Ambiental de Efluentes Industriales Mineros

- Siempre y cuando exista una descarga directa de un efluente minero al suelo o a cuerpos de aguas naturales, se debe monitorear la calidad de la descarga para verificar el cumplimiento de los LMP (ver Tabla 2.1).
- Los efluentes provenientes de drenajes de bocaminas o de plantas de beneficio deben ser recolectados en pozas de sedimentación (o tecnología equivalente) para reducir la concentración de sólidos suspendidos y de otros contaminantes por debajo de los LMP establecidos en el D.S. 010-2010 MINAM (ver Tabla 2.1).
- Efluentes de minas con pH menor a 6 deben ser neutralizados. La técnica más utilizada y recomendada para este fin es la adición de cal, por su bajo costo y alta eficiencia.

- d) Las bocaminas y chimeneas, grietas por subsidencia u otras vías de contacto de agua y aire con los yacimientos que contienen sulfuros (típicamente con concentraciones por encima de un 0,3%), tienen el potencial de originar aguas ácidas. En áreas con precipitaciones frecuentes o infiltraciones de agua subterránea, las labores abandonadas deben ser cubiertas y selladas para minimizar la formación y salida de aguas ácidas de mina y el riesgo de accidentes, utilizando sellos o coberturas adecuadas que tienen una baja permeabilidad, utilizando por ejemplo suelos de textura fina (arcillas o limos) o aplicando otras medidas de ingeniería (por ejemplo utilizando concreto o geomembranas).
- e) En el caso de efluentes contaminados con cianuro u otras sustancias peligrosas, las lagunas, estanques o pozos conteniendo estos efluentes deben ser impermeabilizados con materiales como concreto, alquitrán o una geomembrana sintética adecuada de un espesor no menor a 1 mm<sup>(5)</sup>. Requerimientos específicos para el monitoreo ambiental de efluentes en plantas hidrometalúrgicas utilizando cianuro son definidos en el documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas la PM y MA que utilizan Cianuro*.

#### Recomendaciones:

- a) Reusar las descargas líquidas para minimizar el gasto de agua y reducir la cantidad de efluentes que deben ser tratados antes de su descarga al suelo o cuerpos de aguas naturales.
- b) Realizar una caracterización geológica y geoquímica previa del yacimiento y de los componentes para predecir la posible formación de aguas ácidas.
- c) Para la reducción de la carga de sólidos suspendidos en el drenaje minero, se recomienda una separación por gravedad, utilizar lagunas, pozos o tanques de sedimentación mediante el almacenamiento temporal del agua. La condición principal de estas instalaciones es que el agua debe tener una baja velocidad de flujo para facilitar una sedimentación de los sólidos en suspensión.
- d) En caso de concentraciones de metales pesados o metaloides por encima de los LMP, se logra una reducción de los sólidos disueltos y una estabilización del pH mediante una aireación del drenaje minero en cascadas naturales o artificiales, con lechos de roca de diferentes tamaños y con la agregación de piedra caliza. En algunos casos puede ser necesario buscar el apoyo de un especialista en el campo para definir las medidas adecuadas de un tratamiento. Existe una variedad de métodos para la reducción de concentraciones de metales pesados y metaloides en agua, incluyendo la precipitación por ajuste de pH y la adición de floculantes, fitoremediación, osmosis inversa, etc<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Ver especificaciones de geomembranas en el documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas de la PM y MA que utilizan Cianuro*.

<sup>6</sup> Ver por ej. la *Guía Ambiental de Manejo de Agua en Operaciones Minero-Metalúrgicas*, publicado por el MEM (<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manejoagua.pdf>)

### 2.3 Monitoreo Ambiental Obligatorio de Efluentes en la PM y MA

- a) La calidad de agua descargada al suelo o acuíferos superficiales debe ser monitoreada en el punto de descarga para verificar el cumplimiento de los LMP y/o de los parámetros básicos (ver Sección 2.4).
- b) Los resultados del control de efluentes deben ser registrados y presentados a la ARMA en el informe de Monitoreo Ambiental con carácter de declaración jurada.

En la región de Arequipa, la mayoría de los centros mineros de la PM y MA se encuentran alejados de laboratorios analíticos acreditados, lo que dificulta el monitoreo rutinario de la calidad de efluentes y otros parámetros ambientales para verificar el cumplimiento con la legislación vigente. Es por esta razón que un monitoreo de la calidad de los efluentes es costoso y muchas veces obstaculizado por largos viajes lo que dificulta o hace imposible el transporte de las muestras a un laboratorio dentro de los tiempos de almacenaje aceptables (24 horas para parámetros como el pH, análisis bacteriológico, sólidos suspendidos, sulfuro o el cromo-6). A continuación se establece parámetros básicos para un monitoreo rutinario en zonas alejadas que puede ser realizado sin la necesidad de analizar las muestras en un laboratorio.

### 2.4 Monitoreo Ambiental Rutinario de Efluentes en la PM y MA

La tabla 2.2 presenta una selección de parámetros básicos para el monitoreo de rutina en el campo, con sus respectivas acciones correctivas en el caso de una excedencia de los criterios establecidos. Los parámetros no serán utilizados por la ARMA para la fiscalización por no formar parte de los LMP legalmente establecidos nacionalmente. Sin embargo, forman una herramienta importante para el control rutinario de la calidad de efluentes que puede ser realizada en lugares alejados sin tener acceso a la infraestructura de laboratorios analíticos. Se recomienda registrar los parámetros básicos como mínimo una vez por mes.

**Tabla 2.2 – Parámetros básicos recomendados de monitoreo ambiental básico de efluentes industriales**

Parámetro a monitorear	Límite	Acción correctiva en caso de excedencia del Límite
<b>pH</b>	6 – 9	Neutralizar el agua; en el caso de un pH menor a 6, agregar cal para ajustar el pH a un rango 6-9.
<b>Aceites y Grasas (A&amp;G)</b>	ausencia de película	En el caso de la presencia de aceites y grasas flotantes, se requiere la instalación de una cámara separadora de A&G (trampa de grasas) en la entrada a la piscina de sedimentación. Debe impedirse un contacto directo del agua con combustibles y lubricantes.
<b>Turbidez</b>	60 NTU	Si la turbidez excede repetitivamente el valor referencial, se deberá realizar el análisis de la concentración de los STS en un laboratorio acreditado para verificar si se requiere aumentar la permanencia del agua en la piscina de sedimentación, asegurando una mejor sedimentación (por ejemplo aumentando las dimensiones de la piscina o instalar una piscina adicional).
<b>Integridad estructural del sistema de tratamiento de aguas</b>		Deficiencias observadas en la integridad estructural, por ejemplo la presencia de fugas o deficiencias en el sistema de canales o geomembrana, deben ser reportadas junto con las acciones correctivas adoptadas.

El monitoreo de la calidad de efluentes mineros debe considerar lo estipulado en el Plan de Monitoreo Ambiental del instrumento ambiental aprobado, tomando en cuenta los impactos ambientales identificados y en particular las fluctuaciones en cantidad y calidad de los efluentes. Como mínimo se debe monitorear los parámetros especificados en D.S. 010-2010 MINAM

anualmente (ver Tabla 5.1) y el análisis debe ser realizado en laboratorios acreditados ante INDECOPI.

Se recomienda incluir los resultados rutinarios de monitoreo según Tabla 2.2 en el informe de Monitoreo Ambiental con carácter de declaración jurada. Los resultados son indicadores importantes para evaluar fluctuaciones y tendencias en la calidad de los efluentes.

#### **2.4.1 Monitoreo de Turbidez**

En contraste a la medición de Sólidos Totales Suspendidos (STS) que solamente puede ser realizado en un laboratorio bajo condiciones estandarizadas, la turbidez puede ser monitoreada fácilmente en el campo. A pesar de que la correlación entre turbidez y la concentración de sólidos totales depende del tipo y tamaño de los partículas en suspensión (Warner et al. 2002; Low Hui et al. 2011; Hannouche et al. 2011), se puede concluir que una concentración de sólidos totales suspendidos de 50 mg/L genera típicamente una turbidez en un rango de 40 y 80 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) con un promedio de aproximadamente 60 NTU.

Se debe enfatizar que el monitoreo de la turbidez solamente es una estimación de la concentración de los STS y no puede reemplazar por completo el LMP de STS, parámetro de cumplimiento obligatorio que debe ser monitoreado de acuerdo al Plan de Monitoreo definido en el instrumento ambiental. Sin embargo, el monitoreo de la turbidez es útil para un control rutinario de la calidad de los efluentes, antes de su descarga a un cuerpo de agua superficial natural o al suelo. La turbidez en el campo se mide usando un turbidímetro que mide la luz dispersa en un ángulo de 90° o alternativamente un con un simple tubo de turbidez que en su forma básica consiste en un tubo de metacrilato transparente graduado con un punto negro dibujado en el fondo.

#### **2.4.2 Monitoreo de pH**

La medición del pH puede ser realizado con un pH-metro electrónico. Sin embargo, debido a la frecuente ausencia de estándares o buffers en el campo que son requeridos para la verificación de la calibración del equipo, se recomienda el uso de tiras para medir el pH entre pH 1 y 14 con una resolución de  $\pm 0.5$  a 1 unidades de pH.

Debe enfatizarse que el uso de equipos electrónicos para la medición de la turbidez o del pH requiere un control de la calibración por medio de estándares adecuados (de preferencia certificados) con fecha de vencimiento vigente, antes de la realización de cada medición.

### **3. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para el Manejo de Aguas Servidas Domésticas y Excretas Humanas en la PM y MA**

En los centros mineros de la PM y MA, la contaminación ambiental y de salud por la no existencia o inadecuadas instalaciones sanitarias, además de la descarga incontrolada de aguas servidas domésticas y de excretas humanas, es un problema común.

Las aguas servidas domésticas contienen una variedad de potenciales contaminantes, incluido organismos patógenos contagiosos excretados por individuos enfermos o de portadores sanos, aceites y grasa, detergentes y otros restos de productos químicos domésticos como solventes, medicamentos, etc. La mayoría de los centros mineros de la PM y MA fueron diseñados como campamentos temporales, sin una estructura adecuada de saneamiento básico o tratamiento de aguas servidas.

El objetivo general de establecer BPGA para el manejo de aguas servidas y excretas humanas es la protección de la salud de la población y del medio ambiente en centros mineros de la PM y MA.

#### **3.1 Situación Legal**

Tanto el D.S. 023-2005-Vivienda, como la Ley 28870 priorizan los sistemas de saneamiento referidos a tratamiento de las aguas servidas. Sin embargo, en la práctica se presentan problemas de diseño adecuado y de disponibilidad de recursos para un tratamiento de aguas servidas domésticas en los centros mineros.

A nivel nacional, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), conduce, norma, orienta y promueve el desarrollo planificado de las estructuras urbanas en forma equilibrada, para contribuir al crecimiento de la infraestructura para vivienda y del equipamiento y sostenibilidad de los servicios urbanos, protegiendo y mejorando la calidad del ambiente.

La Ley Orgánica de Municipalidades (Ley N° 27972 de 2003) establece una serie de competencias ambientales o de relevancia ambiental para los municipios. Según su Artículo 80, las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen las siguientes funciones:

“Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales:

- Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial.
- Regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente.

Según el Artículo 16, los municipios coordinan con los otros organismos del sector público la mejor prestación de los servicios de interés local. Los organismos centrales y regionales del Sector Público prestan a las municipalidades la asistencia técnica necesaria para el cumplimiento de sus fines y supervisan tales servicios de manera que cumplan con las normas técnicas respectivas. El Instituto Nacional de Fomento Municipal es parte esencial de dichos servicios.

En los aspectos relacionados con la gestión ambiental de la PM y MA, la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales (Ley No 27867) establece que “en materia de energía, minas e hidrocarburos (los gobiernos regionales) tienen la función de fomentar y supervisar las actividades de la PM y MA en sus etapas de la exploración y explotación de los recursos mineros de la región con arreglo a Ley”. Asimismo, el artículo 14° de la Ley No 27651, Ley de Formalización y

Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal, modificado por el Decreto Legislativo No 1100, establece “los gobiernos regionales tienen a su cargo la fiscalización, sanción y demás facultades que les han sido transferidos en el marco del proceso de descentralización”.

Por lo tanto, en el marco de una gestión mancomunada coordinada y concertada con los municipios, la ARMA como autoridad ambiental competente de la región Arequipa supervisará y fiscalizará el cumplimiento con las BPGA respecto a un manejo adecuado de aguas servidas domésticas y excretas humanas dentro de las concesiones mineras de la PM y MA. Fuera de las concesiones, las municipalidades correspondientes están obligadas a realizar las acciones que correspondan para la protección de la calidad ambiental dentro de su jurisdicción.

### **3.2 Definición de Buenas Prácticas de Prevención y Mitigación**

- a) Queda prohibido la disposición de excretas o aguas servidas al suelo o cuerpos de agua natural sin previo tratamiento en centros mineros, sean temporales o permanentes.
- b) Debe instalarse una infraestructura que cumpla su cometido al momento de crear barreras sanitarias ante la disposición de desechos líquidos, disposición de excretas y demás prácticas higiénicas.
- c) Para la disposición final de excretas en seco deben instalarse como mínimo letrinas sanitarias.
- d) Las letrinas deben cumplir con las siguientes Buenas Prácticas:
  - i. No deben contaminar las aguas subterráneas o superficiales que puedan servir de fuente de agua potable para uso doméstico o riego de plantas de tallo corto. No se permite la instalación de letrinas donde la base del hoyo llega al nivel de la napa freática, en cualquier momento del año.
  - ii. Deben tener una distancia mínima de 15 metros a pozos de agua, usados para consumo humano o animal.
  - iii. Deben tener una distancia mínima de 5 metros a viviendas.
- e) Instalaciones diseñadas para más de 50 personas deben contar con un tanque séptico con una capacidad suficientemente grande para recibir los efluentes de baños, duchas, cocina, etc.
- f) Los tanques sépticos deben cumplir con las siguientes Buenas Prácticas:
  - i. Deben tener un mínimo de 1.50 m distancia a construcciones, límites de terrenos, sumideros o campos de infiltración.
  - ii. Deben ser mínimamente 15.0 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza.
  - iii. Deben ser construidos de hormigón u otro material suficientemente impermeable para evitar la infiltración al subsuelo y la contaminación de cuerpos de agua.
  - iv. Deben ser limpiados y mantenidos frecuentemente, antes de una colmatación con peligro de rebalse de excrementos.

Para el diseño y la construcción de letrinas y tanques sépticos se recomienda considerar estándares generalmente aceptados, incluyendo por ejemplo:

- Norma Técnica Peruana I.S. 010 (instalaciones sanitarias)
- Norma Técnica Peruana I.S. 020 (tanques sépticos)
- Especificaciones técnicas para el diseño de letrinas ventiladas de hoyo seco de la Organización Panamericana de Salud (CEPIS 2003)

## **4. Buenas Prácticas de gestión ambiental para el manejo de residuos sólidos domésticos en la PM y MA**

Un problema común en centros mineros de la PM y MA es la contaminación de suelos y cuerpos de agua por un mal manejo de residuos sólidos domésticos. Aparte de la contaminación de suelos y cuerpos de agua, un mal manejo de residuos sólidos causa un riesgo para la salud de la población por la proliferación de vectores y roedores. Además afecta negativamente al paisaje por la degradación estética y por ende daña el potencial turístico de la región.

El objetivo general de establecer BPGA de residuos sólidos domésticos en la PM y MA es la protección de la salud de la población y del medio ambiente en los centros mineros.

### **4.1 Situación Legal**

Las competencias para la supervisión y fiscalización de la gestión de residuos sólidos domésticos en forma general y específicamente en la PM y MA se encuentran definidos en:

- Ley N° 27314 (Ley de Residuos Sólidos) de 2000
- Decreto Legislativo N° 1065 de 2008
- Ley N° 27972 (Ley Orgánica de Municipalidades) de 2003

El artículo 12 de la Ley de Residuos Sólidos (Ley N° 27314 del año 2000) fue modificado por el Artículo 1 del Decreto Legislativo N° 1065, publicado el 28 de junio 2008, cuyo texto es el siguiente:

“Artículo 12.- Coordinación y concertación - La gestión de los residuos sólidos de responsabilidad municipal en el país debe ser coordinada y concertada, especialmente en las zonas conurbadas, en armonía con las acciones de las autoridades sectoriales y las políticas de desarrollo regional. Las municipalidades provinciales están obligadas a realizar las acciones que correspondan para la debida implementación de esta disposición, adoptando medidas de gestión mancomunada, convenios de cooperación interinstitucional, la suscripción de contratos de concesión y cualquier otra modalidad legalmente permitida para la prestación eficiente de los servicios de residuos sólidos, promoviendo su mayor cobertura y la mejora continua de los mismos.”

El Artículo 34 del mismo Decreto Legislativo define para las competencias de la fiscalización que “el manejo de residuos sólidos y de las infraestructuras de residuos sólidos son fiscalizados de conformidad con las normas establecidas por los sectores, organismos reguladores, gobiernos regionales y municipalidades provinciales, correspondientes, los cuales están facultados para emitir normas complementarias o para el efectivo cumplimiento de sus funciones, en el marco de lo establecido por la presente Ley. Los generadores, operadores, EPS-RS y EC-RS deben facilitar el ingreso a sus instalaciones y el acceso a sus documentos técnicos y administrativos pertinentes, al personal acreditado para cumplir dicha función.”

La Ley N° 27972 establece una serie de competencias ambientales o de relevancia ambiental para los municipios. Según el Artículo N° 80, las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen las siguientes funciones:

“Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales:

- Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial.

- Regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente.

Según el Artículo 6º del D.S. N° 057-2004-PCM, DIGESA aprueba el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) de los proyectos de infraestructura de transferencia, tratamiento y disposición final de residuos con excepción de aquéllas que se construyan al interior de las instalaciones productivas, concesiones de extracción o aprovechamiento de recursos naturales de responsabilidad del generador, en cuyo caso serán aprobados por las autoridades sectoriales competentes debiendo contar con la opinión favorable de la DIGESA en la parte relativa a la infraestructura de residuos sólidos.

En centros mineros fuera de concesiones de extracción o aprovechamiento de recursos naturales, la recolección y disposición final de residuos sólidos es responsabilidad de los municipios. Durante las visitas de supervisión, la ARMA verificará las buenas prácticas del manejo de residuos sólidos y reportará las deficiencias a los gobiernos municipales correspondientes para iniciar las acciones correctivas.

#### **4.2 Definición de Buenas Prácticas para la gestión ambiental de residuos sólidos domésticos en la PM y MA**

- a) El manejo de residuos sólidos domésticos debe estar incorporado en el instrumento ambiental y forma parte del proceso de la certificación ambiental. Cada instalación de disposición final de residuos sólidos dentro de una concesión de extracción o aprovechamiento de recursos naturales requiere la aprobación por la ARMA con opinión favorable de la GREM y DIGESA en la parte relativa a la infraestructura.
- b) En cumplimiento con el artículo 17 del D.S. N° 057-2004-PCM, queda prohibida la quema artesanal o improvisada de residuos sólidos.
- c) Debido a que la producción de residuos sólidos en centros mineros de la PM y MA generalmente es baja, y que estos se encuentran alejados de municipios que prestan un servicio de recolección de residuos domésticos, el titular del proyecto tiene la obligación de implementar una disposición adecuada, utilizando por ejemplo el denominado "enterramiento cubierto" o "micro-relleno sanitario".
- d) Está prohibido la disposición de residuos sólidos domésticos de forma incontrolada en el suelo, mucho menos dentro o en proximidad de cuerpos de aguas naturales.
- e) El enterramiento cubierto puede realizarse en depresiones naturales, socavones de minas abandonados, trincheras o zanjas, hechas para el propósito. El área elegida no debe representar ningún riesgo evidente para la contaminación de un cuerpo de agua natural o para la población.
- f) Antes de la disposición final de residuos sólidos domésticos, debe realizarse una segregación de los residuos, separando residuos peligrosos (baterías, solventes, trapos con aceites y grasas, restos de medicamentos, etc.) para su entrega a una EPS (empresa privada de servicios) o alternativamente disponerlos en un sitio adecuado con autorización ambiental. Además, se recomienda segregar residuos que pueden ser reciclados (plásticos, vidrio, metales, papel).
- g) La poza artesanal de enterramiento cubierto debe cumplir con las siguientes características mínimas:
  - i. Debe ser localizada en un área geológicamente estable (sin riesgo evidente de deslizamientos o derrumbes), seca, no inundable y a una distancia no menor a 100 metros de cuerpos de agua (considerando la faja marginal), poblaciones, áreas agrícolas, áreas protegidas, u otras áreas sensibles.

- ii. El terreno no debe presentar filtraciones ni debe estar dentro de quebradas o zonas de inundación. La base debe ser cubierta por tierra de tipo arcilla y la napa freática debe estar más bajo que el punto más bajo de la poza en cualquier momento del año.
  - iii. Luego de la colmatación debe ser compactado y cubierto con un mínimo de 30 cm de tierra.
  - iv. Se recomienda cerrar la poza una vez que la basura se acumule aproximadamente 0.50 metros respecto a la superficie del suelo de la poza.
- h) La responsabilidad de ejecución física de estas actividades dentro de una concesión de extracción o aprovechamiento de recursos naturales está a cargo del operador o titular del instrumento de gestión ambiental.

## **5. Buenas Prácticas para el almacenamiento de combustibles, lubricantes u otras sustancias peligrosas**

El inadecuado almacenamiento de combustibles y lubricantes es una de las causas más importantes de la contaminación de suelos y cuerpos de agua en la PM y MA. Por lo tanto, es importante que estos productos y otras sustancias peligrosas sean almacenadas en áreas, lugares y ambientes que reúnan condiciones y garanticen su seguridad, evitando una contaminación del medio ambiente en caso de derrame o accidente.

### **5.1 Marco Legal**

- D.S. N° 043-2007-EM: Reglamento de Seguridad para las Actividades de los Hidrocarburos
- D.S. N° 015-2006-EM: Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos combustible, lubricantes u otras sustancias peligrosas
- D.S. N° 052-93-EM: Reglamento de Seguridad para Almacenamiento de Hidrocarburos
- D.S. N° 026-94-EM: Reglamento de Seguridad para el Transporte de Hidrocarburos
- Norma Técnica A.130 – Requisitos de Seguridad
- D.S. N° 055-2010-EM: Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería

### **5.2 Definición de Buenas Prácticas de Prevención y Mitigación**

En forma general, combustible, lubricantes u otras sustancias peligrosas deben ser almacenados de tal manera que evite una contaminación del suelo o cuerpos de agua naturales en caso de un derrame.

El almacenamiento de cantidades mayores requiere de medidas preventivas especiales. Cantidades de combustibles y/o lubricantes por encima de 200 litros (aproximadamente 50 galones) deben ser almacenadas considerando los siguientes criterios mínimos:

- a) El almacenamiento debe estar ubicado en una zona que reduzca el riesgo por posibles emisiones, fugas e incendios. No se permite establecer un almacén en zonas de inundación o en una distancia menor a 100 metros de un cuerpo de agua superficial o fuente de agua potable.
- b) El almacenamiento de sustancias peligrosas debe ser físicamente separado de las viviendas para evitar accidentes por acceso incontrolado.
- c) El almacenamiento debe tener una debida señalización (letreros, carteles, etc.), indicando la peligrosidad del lugar y las medidas de precaución que deben seguirse.
- d) El almacenamiento debe estar construido bajo los siguientes criterios:
  - i. debe tener un piso impermeabilizado (losa de concreto o geomembrana de PVC);
  - ii. debe contener una contención secundaria con canaletas y fosas de retención para captar los residuos y posibles derrames que fluyan al exterior del almacenamiento;
  - iii. la contención debe tener una capacidad de 110% del volumen del contenedor más grande del depósito;
  - iv. debe estar construido con materiales no inflamables y resistentes a las sustancias que se van a almacenar;
  - v. debe estar bien ventilado;
  - vi. debe tener un techo en zonas con altas precipitaciones para proteger el contenido por las lluvias.

- e) Los contenedores o recipientes de sustancias peligrosas deben ser debidamente identificados, respecto al etiquetado u otro medio normalizado con el nombre comercial, científico y/o fórmula y características y grado de peligrosidad de la(s) sustancia(s).
- f) Debe existir un control de acceso al almacenamiento de sustancias peligrosas (por ej. puerta asegurada con candado).
- g) Se debe contar con “Hojas de Seguridad” de las sustancias almacenadas, incluyendo información sobre la peligrosidad, adecuada manipulación, medidas a tomar en contingencias y su adecuada disposición final.
- h) El almacén debe tener un sistema para la lucha contra incendios (como mínimo un extintor tipo ABC).
- i) Para el almacenamiento de mercurio y cianuro, se debe considerar las características especificadas en los documentos específicos para el manejo de estas sustancias en la PM y MA<sup>7</sup>.

***Imagen Nº 1: Ejemplo de un almacén de combustible y lubricantes***



---

<sup>7</sup> Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas de la PM y MA que utilizan Cianuro. y Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal que trabajan con Mercurio.

## **6. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la disposición temporal y final de relaves u otros residuos peligrosos mineros**

Las BPGA para la disposición temporal y final de relaves u otros residuos peligrosos mineros presentados a continuación no son exhaustivos pero cubren una gran parte de los impactos negativos causados por la PM y MA.

Los relaves se definen como los desechos minerales sólidos o líquidos (pulpa) con partículas de granulometría entre arena y limo, provenientes de procesos como la concentración gravimétrica, cianuración o amalgamación. Los relaves en forma de pulpa son los que tienen el potencial más alto para contaminar el medio ambiente por su gran inestabilidad y la presencia de lixiviados tóxicos.

Debido a que el manejo de los relaves y colas dependen de las características del lugar y del material depositado, los impactos no previstos en los presentes Buenas Prácticas deben ser mitigados de acuerdo a procedimientos aceptados por las autoridades competentes. Entre las guías referenciales para el manejo de relaves se tiene:

- *Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros*, MEM (1995), aprobado por: R.D. N°035-95-EM/DGAA.
- *Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Residuos Sólidos provenientes de Actividades Mineras*, MEM (1998), aprobado por: R.D. No. 034-98-EM/DGAA.
- *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal trabajando con Mercurio*; Anexo 1 - Caracterización de materiales contaminados con mercurio.
- *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas usando Cianuro en la PM y MA (Sección 6 de esta guía)*.

### **6.1 Objetivos en el Manejo Ambiental adecuado de Relaves**

En forma general, en el manejo de los relaves existen dos criterios importantes a considerar: la seguridad (i.e. estabilidad física de los depósitos de relaves) y la protección del medio ambiente. Mientras la seguridad y la protección de los trabajadores son un problema común y de alta importancia, el presente documento en primera instancia define buenas prácticas de prevención y mitigación para la protección del medio ambiente. La meta principal es mantener los relaves y el agua de proceso fuera de las quebradas, ríos, lagos o bofedales, no sólo durante la operación de la mina sino por un período indefinido de tiempo posterior a su cierre.

Los objetivos de un manejo adecuado de relaves son los siguientes:

- a) La estabilidad física de los depósitos de relaves debe estar asegurada durante la operación, cierre y a lo largo del período de post-cierre.
- b) La seguridad de las poblaciones potencialmente afectadas tiene prioridad. A pesar de que ciertas medidas de mitigación ambiental pueden entrar a menudo en conflicto con requerimientos de estabilidad física, este objetivo no puede ser comprometido.
- c) La migración de contaminantes a través del aire, agua superficial o subterránea debe ser minimizada. Durante el período de operación podrían requerirse medidas estructurales (por ejemplo recubrimientos para reducir la infiltración) a fin de cumplir con este objetivo.
- d) Los depósitos de relaves deben alcanzar una calidad que asegure la estabilidad de los mismos luego de la etapa de beneficio, sin la necesidad anticipada o pronosticada de

mantenimiento, reparación o intervención en la etapa de cierre y abandono. La sismicidad de la zona es un parámetro de riesgo que debe ser considerado en el estudio y construcción de pozas relaveras.

- e) En el caso de uso de sustancias peligrosas como el mercurio o cianuro, será importante conocer las características eco-toxicológicas del material depositado para evitar daños mayores en el futuro. Una clasificación de residuos contaminados se encuentra en el Anexo 3.

## **6.2 Buenas Prácticas en el Manejo Ambiental de Relaves**

Se establece los siguientes BPGA para el manejo de relaves u otros residuos peligrosos mineros, dependiendo si el almacenamiento es temporal o permanente (o sea una disposición de hecho final de relaves). Se considera una disposición como temporal si en un promedio la disposición del material no excede unos 3 meses y además se puede verificar que el depósito está diseñado para un almacenamiento temporal.

### **6.2.1 Almacenamiento temporal**

- a) Los relaves deben ser almacenados en condiciones que garanticen que no haya una contaminación del medio ambiente o alguno de sus componentes. Para tal efecto, deben tener una contención adecuada que garantice la impermeabilidad y protección del suelo.
- b) En áreas con frecuentes precipitaciones en la época de lluvia (alrededor de 200 mm/m<sup>2</sup> precipitación promedio anual) o en pendientes con peligro de escorrentías en época de lluvias, debe contar con sistemas de canales de coronación de agua para evitar pérdidas de material e infiltraciones de lixiviados en el suelo.
- c) Los depósitos de relave deben considerar las medidas técnicas necesarias para minimizar la emisión de material particulado por la erosión eólica, recomendándose mantener húmedo los relaves y/o usar materiales geosintéticos u otros de características similares para la cobertura.
- d) Debe reportarse el manejo de relaves en el informe del monitoreo anual, utilizando el formulario adjunto en el Anexo 4.

### **6.2.2 Disposición final de relaves**

- e) Queda terminantemente prohibida la disposición final de relaves sin contar con la certificación ambiental.
- f) La relavera debe cumplir con los Buenas Prácticas de seguridad para garantizar la estabilidad física del depósito (ver R.D. N° 440-96-EM/DDGM y R.D. N° 224-97-EM/DDGM).
- g) Queda terminantemente prohibido la descarga de relaves u otros desechos mineros en una distancia menor a 100 metros a zonas urbanas u otras áreas sensibles como cuerpos de agua, incluyendo lechos de ríos o arroyos llevando agua esporádicamente.
- h) En el caso de la disposición final de relaves, debe realizarse un análisis químico para evaluar la concentración de potenciales contaminantes como metales pesados, metaloides y/o cianuro en el material como en el lixiviado. Basándose en los resultados del análisis, debe caracterizarse el material de acuerdo a los lineamientos establecidos en el Anexo 3 para definir los requerimientos de la disposición final:
  - Los relaves clasificados como “*residuos no peligrosos*” (ver Sección 6.3) en general no requieren de un control de la infiltración como un recubrimiento sintético utilizando una geomembrana. Sin embargo, en caso de condiciones geológicas no

favorables, la presencia de acuíferos importantes u otros factores sensibles ambientales, la ARMA puede exigir la implementación de un control de infiltraciones.

- Los relaves clasificados como “*residuos peligrosos*” solamente pueden ser dispuestos en relaveras con un recubrimiento impermeable, de acuerdo a especificaciones establecidas<sup>8</sup>. La Autoridad Ambiental competente solicitará un estudio hidrogeológico en áreas donde exista un potencial riesgo de contaminación de acuíferos.
  - Para la disposición final de relaves clasificados como “*residuos muy peligrosos*” por su muy elevada concentración de contaminantes en el material y/o lixiviado, debe realizarse un estudio de ingeniería para evaluar las posibilidades de estabilización físico-química del material. Ningún relave clasificado como residuo muy peligroso debe ser dispuesto sin previa estabilización, cuya eficiencia debe ser verificado en ensayos de lixiviación y aprobada por la ARMA (ver Sección 6.3).
  - Materiales conteniendo minerales sulfurosos tienen el potencial de la formación de aguas ácidas. En zonas climáticas con frecuentes precipitaciones y la sospecha de una presencia de minerales sulfurosos con un contenido de azufre por encima de 0,3%, se debe determinar el potencial de la formación de aguas ácidas (en un laboratorio acreditado) para establecer los requerimientos de una estabilización del material utilizando cal o equivalente<sup>9</sup>, previa disposición final.
- i) El agua descargada en un cuerpo de agua natural o al suelo debe cumplir como mínimo con los LMP establecidos en el D.S. N° 010-2010-MINAM (ver Capítulo 5). Queda prohibida la descarga directa de las aguas de proceso (lixiviado) de un dique de relaves sin previo tratamiento.
  - j) Se debe implementar un plan de cierre de la relavera que típicamente incluye la construcción de una cobertura adecuada, considerando parámetros como la composición química y toxicidad del relave, condiciones climatológicas de la zona, posibilidades de una revegetación, control de la infiltración de aguas pluviales, entre otros. El plan de cierre debe ser aprobado por la ARMA.

### **6.3 Caracterización de la Peligrosidad de Residuos Mineros**

#### **6.3.1 Clasificación como residuo normal o residuo peligroso o muy peligroso**

Un material con concentraciones de uno o más contaminantes por encima de niveles críticos en el material y/o lixiviado debe ser manejado de tal forma que evite un riesgo no aceptable para la vida humana y/o el ecosistema en general.

Aparte de los ECA establecidos para la calidad de suelos en el D.S. 002-2013 MINAM, no existe en el Perú una caracterización explícita de un residuo minero respecto a su peligrosidad. Debido a que los ECA para suelos son definidos de acuerdo al uso del suelo y no para la caracterización de un residuo minero, no son aplicables para la clasificación de la toxicidad de relaves. Por lo tanto, en el presente documento se toma como referencia la experiencia en la caracterización de residuos del Ministerio del Medio Ambiente de Australia (NSW EPA 2009). Esta institución realizó

---

<sup>8</sup> Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas de la PM y MA que utilizan Cianuro (Sección 6.2, Uso de Geomembranas).

<sup>9</sup> Realizando por ejemplo un análisis ABA (recuento ácido-base) para evaluar su efectivo potencial de la generación de aguas ácidas

una de las caracterizaciones más avanzadas de un material peligroso respecto a su manejo y disposición, basándose en estudios recientes de la ecotoxicología y toxicología humana.

Según la normativa Australiana, un material impactado por contaminantes es clasificado de acuerdo a la concentración del contaminante, tanto en el material mismo como en el lixiviado. La concentración del contaminante en el lixiviado determina la biodisponibilidad y por ende la toxicidad. La clasificación de un residuo con metales pesados y cianuro basándose en la concentración promedio en el material y la concentración en el lixiviado según el ensayo TCLP está presentada en las Tablas A1 y A2 en el Anexo 3.

### 6.3.2 Muestreo de Relaves o acopios de residuos

El muestreo de relaves debe ser realizado por personal capacitado, debido a que la distribución de los contaminantes en los relaves generalmente no es homogénea. Para realizar un muestreo lo más representativo posible, se recomienda dividir el relave en sectores. Luego se toma muestras de diferentes profundidades que pueden ser unidas para la preparación de muestras compuestas de dos a tres sub-muestras. Debido a que generalmente los contaminantes se encuentran en la fracción de las partículas finas, es recomendable eliminar piedras y otro material grueso. Las muestras potencialmente conteniendo mercurio o cianuro deben ser transportadas en contenedores de vidrio o plástico herméticamente cerrados. Para minimizar una evaporación del contaminante, se recomienda mantener las muestras a una temperatura baja durante todo el transporte hasta el laboratorio, usando preferiblemente hielo en bolsas de plástico cerradas.

En la Tabla 6.1 se presenta el número mínimo de muestras que se debería tomar de un relave, basándose en consideraciones estadísticas [EPA Victoria 2009].

**Tabla 6.1 Número mínimo de muestras para un acopio de residuos o relave**

Volumen [m <sup>3</sup> ]	Número de muestras
<75	3
75-100	4
100-150	6
150-2 000	8
>2 000	1 muestra cada 250 m <sup>3</sup> [10]

### 6.3.3 Estabilización de Relaves u otros residuos

Los materiales caracterizados como muy peligroso por su alto contenido de contaminantes deben ser tratados antes de su disposición final. Existen diferentes posibilidades de tratamiento para reducir la cantidad del residuo que debe ser estabilizado antes de su disposición final en un relleno de seguridad o encapsulados en una celda de confinamiento. Una concentración gravimétrica muchas veces es capaz de reducir la cantidad del residuo y los costos de su estabilización antes de su disposición final. La estabilización es necesaria para minimizar el impacto ambiental después de la vida útil de una primera barrera, típicamente una geomembrana. El fin de la estabilización es

---

<sup>10</sup> El número propuesto de muestras en relaves con volúmenes por encima de 200 m<sup>3</sup> se base en el cálculo del UCL95 (límite de confianza superior de 95% del promedio, o sea donde con una probabilidad de 95% la concentración es menor que el valor calculado de UCL95).

disminuir la movilidad y por lo tanto la biodisponibilidad y consecuentemente la toxicidad del contaminante. Una estabilización es considerada exitosa si se logra reducir la concentración en el lixiviado del ensayo TCLP (ensayo de lixiviación) por debajo de niveles aceptables. Existe una variedad de técnicas para la estabilización de residuos peligrosos, incluyendo el uso de productos químicos como la aplicación de barreras físicas que son capaces de reducir la toxicidad del material en forma definitiva.

Las relaveras muchas veces pueden ser estabilizadas utilizando una cobertura adecuada de baja permeabilidad (arcilla u otros materiales), con el uso de equipo de construcción convencional, colocando y compactando el material. La cobertura convenientemente inclinada y nivelada, previene la acumulación de las escorrentías y reduce la infiltración en condiciones de post-clausura, a la vez que restringe simultáneamente el ingreso de oxígeno a los relaves controlando de esta manera la formación de aguas ácidas de mina. Más detalles sobre la estabilización de relaveras se encuentran en la *Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros* (R.D. No. 035-95-EM/DGAA).

Cada método de estabilización debe ser aprobado por la ARMA previa aplicación.

#### **6.3.4 Encapsulamiento de residuos contaminados**

Suelos en sitios que según el D.S. 002-2014 MINAM requieren una remediación para bajar el riesgo para la salud humana o el ecosistema a niveles aceptables, deben ser descontaminados o dispuestos en un sitio seguro.

Para su disposición final, la opción de un encapsulamiento bajo tierra es una opción que siempre debería ser considerada debido a la escasez de rellenos de seguridad y de otros métodos de tratamiento de residuos contaminados en la región de Arequipa.

Para un encapsulamiento, el material de impermeabilización preferible es una geomembrana [Ulises Ruíz Saucedo 2003]. Las geomembranas son láminas homogéneas aislantes constituidas por un material sintético con un espesor entre 1.0 y 2.5 mm. Se utilizan en la construcción de celdas de confinamiento y rellenos sanitarios debido a su resistencia contra ataques químicos, resistencia física y su flexibilidad. Por lo común están constituidos por polietileno de alta densidad (HDPE), Polipropileno (PP), Polietileno (PE), Poliéster (PET), Cloruro de Polivinilo (PVC) o Poliamida (PA). En general, una geomembrana de PVC es reconocida como la más durable y segura debido a su alta resistencia y durabilidad. La vida útil de una geomembrana aproximadamente es entre 15 y 50 años, dependiendo del material, espesor, tipo de residuos, exposición a la luz y clima, estabilidad geológica del terreno, etc. Luego de este tiempo, el segundo nivel de barreras, la barrera geológica, debe ser capaz de mantener el contenido del depósito sin causar un riesgo para el medio ambiente y la salud de la población.

Está fuera del alcance del presente documento describir en detalle la construcción de una celda de encapsulamiento con una geomembrana en el presente documento. Detalles técnicos se encuentran en el D.S. N° 057-2004-PCM y en guías internacionales, por ejemplo en la publicación de la GIZ México, editado por Ulises Ruíz Saucedo [Ulises Ruíz Saucedo 2003]. En la región de Arequipa, hasta la fecha no se conoce ningún sitio donde esta técnica de encapsulamiento haya sido aplicada. Sin embargo, por la ausencia de rellenos de seguridad establecidos, un encapsulamiento en la cercanía del lugar de generación del residuo es una opción que puede ser considerada bajo ciertas condiciones que son resumidas a continuación.

En forma general, para que la opción de un encapsulamiento de residuos mineros bajo tierra sea factible, se debe considerar los siguientes criterios:

1. Debe realizarse un estudio de los residuos, explicitando el origen, tipo, volumen, características físicas, químicas, tóxicas entre otras; sustentados con ensayos de un laboratorio acreditado.
2. La localización de un relleno de seguridad para residuos peligrosos deberá estar en un área geológicamente estable y de fácil acceso. No se permite la instalación en áreas con pendientes pronunciadas con peligro de derrumbes y/o deslizamientos.
3. No esté dentro o cerca de áreas naturales protegidos, zonas urbanas, comerciales, turísticas, recreacionales u otras áreas sensibles. Según Artículo 69° del D.S. N° 057-2004-PCM, deberán ubicarse a una distancia no menor de mil (1000) metros de poblaciones así como de granjas porcinas, avícola, entre otras.
4. No esté ubicada a una distancia inferior de 150 m de carreteras troncales.
5. La celda de confinamiento debe estar en una distancia mayor a 150 metros de un cuerpo de agua superficial (lagos, lechos de ríos, quebradas, etc.), zonas de inundación frecuentes, zona de captación de pozos, fuentes de agua potable, o zonas donde se recarguen acuíferos.
6. La profundidad de la napa freática debe estar un mínimo de 2 metros por debajo del punto más bajo de la celda, en cualquier momento del año.
7. Se debe usar un diseño considerando los lineamientos internacionalmente aceptados, considerando criterios importantes como la selección de la geomembrana, drenaje de aguas infiltrados, capa de drenado, etc.
8. Lodos húmedos deben ser secados antes de ser encapsulados.
9. Relaves o residuos que requieren una estabilización, deben ser tratados previa encapsulación; cada tratamiento debe ser aprobado por la ARMA.
10. Debe realizarse una impermeabilización de la base y los taludes del relleno para evitar la contaminación ambiental por lixiviados. Por lo tanto, el subsuelo deberá demostrar una permeabilidad de  $K_f \leq 10^{-9}$  m/s y una profundidad mínima de 0.50 m, salvo que se cuente con una barrera geológica natural para dichos fines, lo cual estará sustentado técnicamente. El grado de compactación de la superficie de soporte para la celda deberá de tener una densidad  $\geq 95\%$  como densidad Proctor [Ulises Ruíz Saucedo 2003]. El material de fundamento deberá contener por lo menos 10 % en peso de minerales de arcilla altamente adsortiva. Los suelos con las siguientes texturas son adecuados para soportar una celda de confinamiento: Arcillas, arcillas limosas, arcillas migajosas, migajon-limosos y suelos semejantes. La textura del suelo debe de ser homogénea en el área total a ocupar por la celda.
11. La geomembrana debe tener un espesor mínimo de 2.0 mm y se debe proteger la geomembrana con un geotextil adecuado.
12. Para el abandono, la celda de confinamiento deberá ser cubierta mínimamente con 0.5 m de suelo limpio y se debe instalar una cerca para controlar el acceso al predio. También se deberá instalar un letrero indicando que es prohibido realizar excavaciones en el sitio por la presencia de residuos peligrosos.
13. No se permite construir este tipo de celdas de confinamiento en sitios con subsuelos ricos en grietas o con estratos rocosos porosos y agrietados.
14. No deben existir especies vegetales o animales en peligro de extinción en el área si existe un riesgo que pueden ser dañados por la presencia del relleno.

15. Debe considerarse la instalación de dispositivos de control y monitoreo ambiental, como, impermeabilización, pozos de monitoreo, drenes y sistemas de tratamiento de lixiviados.
16. Deben existir sistemas contra incendios y dispositivos de seguridad de acuerdo a las características del sitio.
17. Otros requisitos establecidos por Ley (D.S. N° 057-2004-PCM u otros si correspondan).

Es obligatorio obtener un permiso de la autoridad competente (DIGESA) para la construcción de una celda de confinamiento, antes de la construcción de la misma. Se deberá presentar como mínimo la siguiente información:

1. Ubicación geográfica con coordenadas UTM y datum WGS84 o PSAD56
2. Plano de ubicación de la celda de confinamiento con una visualización de los componentes del proyecto, centros poblados cercanos, vías de accesos, hidrografía y otros a una escala no mayor a 1:10000.
3. Cantidad de residuos a disponer
4. Características físicas y químicas de los residuos,
5. Nombre y distancia de poblaciones en radio menor a 1 km,
6. Detalles sobre la geología e hidrología de la ubicación,
7. Riesgos geológicos y sísmicos en la zona,
8. Profundidad y uso actual del agua subterránea,
9. Distancia a cuerpos de agua superficial,
10. Uso actual de la tierra,
11. Información sobre la flora y fauna del área (incluyendo proximidad de áreas protegidas),
12. Seguridad/protección del depósito,
13. Planos de construcción, incluyendo las características del material de impermeabilización del encapsulamiento, drenaje de agua, etc.,
14. Potenciales impactos negativos para el medio ambiente y medidas de prevención y mitigación,
15. Plan de contingencias.

Detalles del proceso de autorización por DIGESA son establecidos en el D.S. N° 057-2004-PCM.

El uso de terrenos de propiedad privada, concesiones u otros derechos adquiridos para la instalación de una infraestructura de residuos, debe contar previamente con el consentimiento expreso del titular o poseedor de los derechos de usufructo del predio, o en su defecto con una declaración expresa de necesidad pública, de acuerdo a Ley (Artículo 70° del D.S. N° 057-2004-PCM).

Artículo 72° del D.S. N° 057-2004-PCM establece que todo proyecto nuevo o de ampliación de infraestructura de residuos, debe contar con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) aprobado por la DIGESA, como requisito previo a su aprobación. Para estos efectos, se deberá contar con la constancia de no afectación de áreas naturales protegidas por el Estado, otorgada por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA); de no afectación de restos arqueológicos otorgada por el Instituto Nacional de Cultura (INC) y; de no encontrarse en un área vulnerable a desastres naturales otorgada por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

Artículo 68° del mismo decreto define que las municipalidades provinciales coordinarán con las municipalidades distritales, la Autoridad de Salud de la jurisdicción correspondiente y otras

autoridades sectoriales competentes, la evaluación e identificación de los espacios geográficos en su jurisdicción que puedan ser utilizados para la ubicación de infraestructuras de residuos. Las municipalidades provinciales, una vez definido el destino del área para infraestructura de residuos sólidos no deberán habilitar esta área para otros fines; debiendo, así mismo, respetar la intangibilidad de la zona de influencia que se establece en su contorno.

Debe existir una inspección del sitio de confinamiento mínimamente una vez por año, realizado por el concesionario. La DIGESA podrá exigir un monitoreo de la calidad de agua subterránea, suelos, estabilidad geotécnica, erosión, etc., dependiendo de las características del residuo, incluyendo los aspectos hidrogeológicos y geológicos del sitio.

## **7. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la disposición de desmontes**

Los desmontes son los desechos que se generan como producto de los trabajos de exploración, desarrollo y preparación de un yacimiento y por lo general no poseen un valor económico.

En relación con la morfología del terreno, los depósitos de desmontes suelen ubicarse en hondonadas, laderas, quebradas, llanuras, plataformas o combinaciones de algunas de estas formas. Para el diseño existen varios tipos de conformación, incluyendo vertido libre, fases adosadas, dique de pie y fases superpuestas. En la PM y MA, el vertido libre es el más usado por su bajo costo pero al mismo tiempo es la forma geotécnicamente más desfavorable por el riesgo de arrastre de material pendiente abajo.

### **7.1 Impactos Ambientales causados por la disposición de desmontes**

En muchas minas en el Perú y en la región de Arequipa, escombros y desmontes son acumulados en una ubicación “conveniente”, usualmente sobre el curso más cercano de agua, a fin de que sean arrastradas por él.

Los desmontes o descargas de mina pueden ser una amenaza ambiental bajo las siguientes circunstancias:

1. Los desmontes de mina pueden contener arcillas u otro material fino que genera un riesgo para la contaminación de aguas superficiales (si depositado en la cercanía a ríos, riachuelos o quebradas) con partículas suspendidas y de aire por la emisión de polvo fino.
2. La colmatación de quebradas, ríos o arroyos puede generar un cambio del cauce y de la velocidad del agua superficial en época de lluvias, causando problemas de erosión hídrica, deslizamientos, inundaciones, etc.
3. Si el material aún contiene concentraciones de minerales sulfurosos, una vez en contacto con el aire comienza un proceso de oxidación con la formación de aguas ácidas en el lixiviado (drenaje de aguas ácidas). Estas aguas ácidas pueden disolver notables concentraciones de metales pesados presentes en el material, contaminando gradualmente los suelos, aguas subterráneas y superficiales.
4. Los desmontes pueden contener metales pesados y/o metaloides en cantidades por encima de niveles críticos para el medio ambiente (ver Sección 6).
5. La modificación del paisaje causa problemas socio-económicos por el daño del potencial turístico de la región. Por la falta de una estrategia y/o el cumplimiento con un plan de cierre progresivo de la zona de actividad, los desmontes de mina muchas veces tienen un impacto grande en la topografía natural del terreno y forman parte principal de la devastación del terreno trabajado.

La definición de Buenas Prácticas de prevención y mitigación ambiental tienen los siguientes objetivos principales:

- Adecuar los taludes y pendientes de las desmonteras, para realizar todas las labores de restauración y revegetación (de acuerdo a la ubicación geográfica del sitio).
- Integrar la desmontera al paisaje natural del área y evitar la colmatación incontrolada de quebradas.

- Evitar una contaminación ambiental por la formación de aguas ácidas de minas o un aumento de los sólidos suspendidos en cuerpos de agua superficiales.

## **7.2 Buenas Prácticas de Prevención y Mitigación en el manejo de escombros y desmontes**

Para el manejo de escombros y desmontes, se establecen las siguientes Buenas Prácticas de prevención y mitigación ambiental:

1. En proyectos donde se depositaron desmontes inadecuadamente deben implementarse medidas de ingeniería correctiva (drenajes, muros de contención, etc.) para mitigar impactos ambientales y/o de seguridad. En el caso de la disposición de escombros y desmontes en la cercanía de ríos o quebradas donde existe el peligro de que sean arrastradas por el curso del agua, debe presentarse un estudio de ingeniería y definir medidas de mitigación y/o de contingencias para su implementación. Detalles geotécnicos para el manejo de desmontes se encuentra por ejemplo en el documento *Protocolos de la Evaluación Ambiental para Proyectos de la PM y MA* (ARMA 2013).
2. Los desmontes dispuestos en áreas con precipitaciones estacionales (por encima de unos 200 mm promedio por año) y en particular en la minería de minerales sulfurados, deben contar con un sistema de red de canales perimetrales en torno a su corona y pie para la recolección de las aguas pluviales de escorrentía y su tratamiento en un pozo de tratamiento y sedimentación previa descarga a cuerpos de agua naturales (ver Sección 2).
3. En el marco de un manejo adecuado durante la etapa de explotación, debe realizarse una restauración progresiva del terreno de acuerdo a los requerimientos establecidos en la Ley 28090 y su correspondiente reglamento, promulgado mediante D.S. 033-2005-EM. Para tal efecto, paralelo al avance de las actividades de desarrollo y explotación, deben establecerse medidas de ingeniería y/o una revegetación adecuada que permitan minimizar el impacto visual y la contaminación del aire por emisión de partículas en suspensión originadas por la erosión eólica.
4. Se debe mitigar la contaminación atmosférica por polvo generado durante el transporte de desmontes (ver Sección 8).

Cada operación debe asegurar la estabilidad de los taludes para evitar accidentes por deslizamientos o derrumbes, aplicando medidas de manejo como por ejemplo los definidos en la *Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Residuos Sólidos provenientes de Actividades Mineras* (Referencia de aprobación: R.D. No. 034-98-EM/DGAA).

## **8. Buenas Prácticas para la Prevención y Mitigación de Emisión de Polvo**

El polvo es un componente natural de la atmósfera que particularmente en zonas áridas puede llegar a altos niveles durante días ventosos. La composición de partículas suspendidas en el aire representa una mezcla compleja de sustancias inorgánicas, orgánicas, polen, esporas de hongos, bacterias y virus. El impacto potencial para la salud depende de varios parámetros, incluida la concentración (número de partículas por unidad de volumen), el tamaño y distribución de las partículas y también la naturaleza mineralógica y composición química de las partículas. Los indicadores generalmente utilizados para monitorear y evaluar el riesgo para la salud humana es la concentración másica de las partículas con un diámetro por debajo de 10 micrones (PM10) y 2.5 micrones (PM2.5). Como regla general, se puede concluir que el riesgo para la salud humana es más alto si las partículas son más pequeñas. La fracción de partículas que respiramos ingresa al tracto respiratorio, pasa a través de la tráquea y se deposita en los pulmones. Dependiendo de la composición y tamaño se puede causar enfermedades como alergias, enfermedades cardiovasculares, bronquitis, enfisema, asma o en caso extremo cáncer de pulmón. Determinados asbestos pueden producir asbestosis y la sílice silicosis. Por esta razón, las actividades industriales que generan polvo con partículas muy finas – incluyendo la actividad minera – generan un riesgo para la salud humana como para el ambiente entero.

### **8.1 PM10 y PM2.5 como indicadores de contaminación atmosférica en la Minería**

Las emisiones de polvo fugitivo en la minería son generados por actividades de extracción y beneficio, depósitos de relaves y desmontes, tráfico en trochas, producción de agregados, plantas de energía eléctrica y procesos de fabricación diversos. La minería genera una serie de emisiones a la atmósfera, incluyendo polvo (fundamentalmente durante la carga y el transporte y voladuras) y gases (pirometalurgia, escapes de vehículos). Aparte de la formación de ruido y vibraciones, la emisión de polvo fugitivo tiene el mayor impacto al ambiente como a la salud de los trabajadores como de población en general. Una amenaza particular para la salud de los mineros existe en espacios cerrados o confinados en la actividad subterránea.

El polvo generado en la minería por lo general es un conjunto de pequeñas partículas de 1 a 100 micrones de diámetro, capaces de permanecer temporalmente en suspensión en el aire. Las partículas con un diámetro entre 0.1 y 1 micron tienen un tiempo de permanencia en el aire que puede variar entre días a semanas y las partículas en el rango de 1 a 10 micrones generalmente permanecen entre horas y días antes de precipitarse (OMS 2013). Existen varias investigaciones de la composición química de las fracciones de partículas PM10 y PM2.5, tanto en el ámbito urbano como en áreas con actividades mineras (Clark 1992; Quijano Parra et al. 2011; Chow et al. 1993; New Minerals Council 2013).

Las partículas PM2.5 típicamente contienen los aerosoles formados secundariamente por medio de una aglomeración gas – partícula, partículas de combustión (particularmente hollín formado por la combustión de hidrocarburos), vapores de compuestos orgánicos, vapores de óxidos de metales (por ejemplo en operaciones de fundiciones metálicas) y emisiones como resultado de voladuras (New Minerals Council 2013). Las partículas entre PM2.5 y PM10 típicamente contienen polvo inorgánico generado por erosión eólica en zonas áridas o polvo fugitivo emitido durante el uso de trochas, procesamiento de minerales, voladuras, etc. En el ambiente de la minería, la fracción entre PM2.5 y PM10 usualmente tiene el impacto más importante para la salud humana (New Minerals Council 2013).

Basándose en la información disponible sobre la correlación entre las partículas suspendidas y los efectos adversos a la salud, por lo menos en centros urbanos el monitoreo de PM2.5 demuestra ser un mejor indicador que el monitoreo de PM10. La razón es principalmente la alta toxicidad de partículas orgánicas en la fracción de PM2.5, conteniendo compuestos tóxicos como compuestos policíclicos aromáticos (PAH) que principalmente provienen del hollín que es producto de la combustión de hidrocarburos (particularmente diésel).

## 8.2 Marco Legal

Los Estándares de Calidad de Aire están definidos en el D.S. 074-2001 PCM y D.S. 003-2008 MINAM (Tabla 8.1).

**Tabla 8.1 – Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para material particulado**

	Promedio aritmético durante 24 horas	Fuente
<b>PM10 (ECA)</b>	0.150 mg/m <sup>3</sup>	D.S. 074-2001 PCM
<b>PM2.5 (ECA)</b>	0.025 mg/m <sup>3</sup>	D.S. 003-2008 MINAM

Para la selección de los puntos de monitoreo de partículas suspendidas en el aire y la interpretación de los resultados, se debe diferenciar entre las ECA y Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en el Lugar de Trabajo como establecidos en el D.S. N° 015-2005-SA.

Mientras los ECA están definidos para la protección ambiental y la salud de la población en general, los Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en el Lugar de Trabajo son definidos para la protección de los trabajadores mineras. Como consecuencia, el monitoreo de los ECA debe realizarse en el entorno a la operación, prioritariamente donde existen receptores humanos o ambientales (por ejemplo viviendas u otras áreas sensibles). Las mediciones para definir medidas de seguridad ocupacional en el lugar de trabajo hay que realizarlas en las áreas con mayor formación de polvo. Particularmente en operaciones en espacios confinados como en la minería subterránea o en instalaciones encapsulados, el control de polvo y el uso de EPP son de gran importancia para la protección de la salud de los trabajadores.

## 8.3 Monitoreo de partículas suspendidas

En el entorno de operaciones mineras de la PM y MA con formación de polvo debe monitorearse la calidad de aire, midiendo la concentración de PM10 y/o PM2.5 de acuerdo a los establecido en el instrumento de gestión ambiental aprobado.

El monitoreo debe ser realizado con equipo debidamente calibrado y por personal capacitado, de acuerdo a procedimientos internacionalmente aceptados (por ejemplo Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones del MEM)<sup>11</sup>.

### 8.3.1 Equipos de Monitoreo

Para el monitoreo de partículas suspendidas en el aire se recomienda el uso de muestreadores de alto volumen, conocido comúnmente como Hi-Vol (High Volumen). Un muestreo debe realizarse

<sup>11</sup> <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/procaliaire.pdf>

en forma continua durante 24 horas, succionando a través de un filtro de cuarzo una cantidad determinada de aire (1 a 1.2 m<sup>3</sup>/min) a condiciones reales. El proceso de medición es no destructivo y la muestra puede someterse a análisis físicos y químicos posteriores.

Para el muestreo de PM10, se utiliza el mismo Hi-Vol con un cabezal de entrada de gases que excluye un alto porcentaje de las partículas mayores de 10 micrones y admite primordialmente el material particulado respirable. El PM10 permite muestreos más representativos de la calidad de aire por ser menos sensible a los cambios de velocidad y dirección de los vientos.

El método de referencia para la medición de PM2.5 (US EPA 1998) permite medir la concentración de PM2.5 por medio de un muestreador de bajo volumen que tiene un separador de partículas que separa partículas finas con un diámetro aerodinámico de 2.5 micrones. El equipo succiona una cantidad determinada de aire a través de un filtro de fibra de teflón durante un periodo de muestreo de 24 horas.

### **8.3.2 Selección de puntos de monitoreo**

El equipo de monitoreo debe instalarse preferiblemente en una altura que coincide con la zona de respiración media de los seres humanos. Como quiera que las partículas suspendidas también se depositan sobre las hojas de los árboles, el equipo de monitoreo deberá instalarse a por lo menos veinte metros de distancia de éstos.

Debe estar alejado de cualquier tipo de flujo proveniente de chimeneas o incineradores, en particular si dichos flujos son el resultado de la combustión de petróleo, carbón o residuos sólidos. Como regla general, para eliminar los efectos de obstáculos tales como edificaciones, la distancia entre el obstáculo y el muestreador debe estar como mínimo dos veces la altura de excedencia entre ellos. Además, hay que asegurar que exista un flujo de aire en un arco no inferior a 270° alrededor del muestreador.

### **8.3.3 Distancia a carreteras**

La proximidad de los monitores a vías de alto tráfico vehicular influye de manera directa en el registro de altas concentraciones de material particulado. Se recomienda evaluar en detalle las distancias óptimas para la ubicación de monitores con relación a las vías, teniendo presente que, en ningún caso, es aconsejable la ubicación de muestreadores en proximidad a trochas.

## **8.4 Buenas Prácticas de Prevención y Mitigación Ambiental para el Control de Polvo**

1. En toda operación minera de extracción y beneficio deberá minimizarse la formación y dispersión de polvo fugitivo, utilizando regado con agua u otras medidas de ingeniería como encapsulamiento de las fuentes emisoras de polvo, instalación de filtros, etc. Debe minimizarse el polvo fugitivo emitido por el tráfico vehicular en la cercanía a áreas sensibles como poblaciones, cuerpos de agua superficiales, áreas protegidas, zonas agrícolas, etc. Las posibilidades de control de emisión de polvo consisten en el riego frecuente de trocha o un revestimiento de carreteras con asfalto u otro material adecuado para minimizar la formación de polvo. Dependiendo de la granulometría del suelo de las carreteras, un estricto control de la velocidad puede lograr una eficiente reducción de la generación de polvo. Entre las medidas más destacadas se tienen una adecuada señalización (preventiva, reguladora e informativa) y sobre todo reductores de velocidad como rompemuelles.

2. Debe realizarse un monitoreo de PM10 y/o PM2.5 en el caso de que exista una fuente de emisión de polvo fugitivo con potencial de generación de contaminación ambiental, incluyendo:
  - i. Plantas de beneficio con emisiones de polvo (chancadoras, molinos, etc.).
  - ii. Depósitos abiertos de materiales de granulometría fina (por ejemplo relaves, molinos de minerales metálicos y no metálicos, etc.).
  - iii. Trochas transitadas frecuentemente cerca de receptores sensibles (como poblaciones, áreas protegidas, cultivos agrícolas o áreas con ganadería, etc.).
  - iv. En la minería no-metálica.
3. El monitoreo de calidad de aire debe demostrar que la actividad no tiene un impacto significativo sobre los receptores adyacentes, humanos y/o ecológicos. Las actividades mineras con un impacto potencial sobre centros poblados, zonas agrícolas, cuerpos de agua superficiales u otros ecosistemas sensibles deben realizar un mínimo de 2 monitoreos por año o de acuerdo a las exigencias definidas por la autoridad ambiental competente en concordancia con las características del proyecto.
4. Para el monitoreo de la calidad de aire, se debe considerar como mínimo los aspectos técnicos especificados en la Sección 8.3. Debe realizarse un monitoreo tanto cerca de la fuente de emisión como de los receptores más cercanos a las operaciones.

En concordancia con el D.S.055-2010-EM, el personal en el ambiente de trabajo expuesto a partículas suspendidas en el aire por encima de los límites establecidos en el D.S. N° 015-2005-SA debería utilizar una protección adecuada contra polvo para prevenir enfermedades causadas por la inhalación de partículas fino.

## 9. Bibliografía

- [1] Bradshaw, A. D. (1980). *Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería*;  
[http://www.igme.es/internet/sidPDF%5C065000%5C106%5C65106\\_0001.pdf](http://www.igme.es/internet/sidPDF%5C065000%5C106%5C65106_0001.pdf)
- [2] CEPIS (2003), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Especificaciones técnicas para el diseño de letrinas ventiladas de hoyo seco, OMS OPS/CEPIS/01.42UNATSABAR; [http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnologia/documentos/sanea/etLetrina\\_ventiladas.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnologia/documentos/sanea/etLetrina_ventiladas.pdf)
- [3] Chow, J.C., Watson, J.G., Lowenthal, D.H., Solomon, P.A., Magliano, K.L., Ziman, S.D. y Richards, L.W. (1993). *PM10 and PM2.5 compositions in California's San Joaquin Valley*, *Aerosol Science and Technology*, 18: 105–128.
- [4] Clark, A.G. (1992). *Sources of atmospheric acidity*. Radojevic, M. & Harrison, R.M., eds. *Atmospheric acidity, sources, consequences and abatement*. Barking, pp. 39–72.
- [5] EPA Victoria (2009). *Industrial Waste Resource Guidelines: Soil Sampling*, Publication IWRG702; <http://www.epa.vic.gov.au/~media/publications/iwrg702.pdf>
- [6] Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., Lemaire, B.J. y Joannis, C. (2011). *Relationship between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system*, *Water Science and Technology* 64, 12, pp. 2445-52.
- [7] Low Hui Xiang Daphne, Handojo Djati Utomo, Lim Zhi Hao Kenneth (2011). *Correlation between Turbidity and Total Suspended Solids in Singapore Rivers*, *Journal of Water Sustainability*, Volume 1, Issue 3, pp- 313–322.
- [8] MEM (1995). Ministerio de Energía y Minas, *Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras*, <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/perforacion.pdf>
- [9] New Minerals Council (2013). *Federal Senate Inquiry into the Impacts on Health of air Quality in Australia*; [http://www.nswmining.com.au/NSWMining/media/NSW-Mining/Publications/130313\\_EC\\_Fed-Senate-Inquiry-into-Air-Quality-NSWMC-Submission-FINAL.pdf](http://www.nswmining.com.au/NSWMining/media/NSW-Mining/Publications/130313_EC_Fed-Senate-Inquiry-into-Air-Quality-NSWMC-Submission-FINAL.pdf)
- [11] Norma Técnica Peruana I.S. 010, *Instalaciones Sanitarias para Edificaciones*;  
[http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/IS.010.pdf](http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/IS.010.pdf)
- [12] NSW EPA (2009), New South Wales Environmental Protection Agency, *Waste Classification Guidelines Part 1: Classifying Waste*, Australia, ISBN 978 1 74232 507 1;  
[www.environment.nsw.gov.au](http://www.environment.nsw.gov.au)
- [13] OMS (2013), Organización Mundial de Salud, *Health effects of particulate matter, Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*.
- [14] Quijano Parra, A., Quijano Vargas, M.J., Henao Martínez, J.A. (2010). *Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia Bistua*, *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 8, núm. 1, enero-junio, 2010, pp. 1-20, Universidad de Pamplona Colombia.
- [15] Ruíz Saucedo, U. (2003). *Recomendaciones técnicas general es para el diseño y construcción de celdas de confinamiento y rellenos sanitarios*, GIZ México, Proyecto Desarrollo Institucional y Gestión de Sitios Contaminados, PN: 99.21.34.3;

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/GTZ/L-Recomendaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20dise%C3%B1o%20de%20confinamientos%20de%20RP.pdf>

[16] US EPA (1996). *Air quality criteria for particulate matter*, vol. I. Washington, DC, US Environmental Protection Agency (EPA/600/P-95/001aF).

[17] Warner, R. y Sturm, T. (2002). *Turbidity as a surrogate to estimate the effluent suspended sediment concentration of sediment control at a construction site in the southeastern United States*, Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV.

## ANEXO 1 – Manuales y Guías para Medidas de Prevención y Mitigación

- Mejía G.S., Rodríguez Villanueva C. y Mucho Mamani R. (2005), *Guía para Uso y Manejo de Mercurio, Ministro de Energía y Minas.*
- Ministro de Energía y Minas (2005), *Orientaciones para hacer Minería, Tomo 5, Pequeña Minería y Minería Artesanal, Uso adecuado del mercurio.*
- Tovar Jumpa O., Sánchez WE, Alvarez C.G. (2005), *Guías Mineras, Implementación y Uso de Retorta en el Proceso de Refogado, Ministerio de Energía y Minas.*
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2008), *Technical Guidelines on Mercury Management in Artisanal and Small-Scale Gold Mining.*
- Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro, Subsector Minería, Volumen XIII, Referencia de aprobación: R.D. No. 025-96-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Proyecto de Lixiviación en Pilas, Referencia de aprobación: R.D. No. 002-96-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (sin año), *Uso y Manejo de Cianuro en la Pequeña Minería, Orientaciones para hacer minería, Tomo 4.*
- Ministerio de Energía y Minas (1994), *Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, Referencia de aprobación: R.D. No. 044-94-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje de Acido de Minas, Referencia de aprobación: R.D. No. 035-96-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1994), *Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones, Referencia de aprobación: R.D. No. 044-94-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1995), *Guía Ambiental para el Manejo de Agua en operaciones Minero-Metalúrgicas, Referencia de aprobación: R.D. No. 035-95-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1995), *Guía Ambiental para Elaborar Estudios de Impacto Ambiental, Referencia de aprobación: R.D. No. 015-95-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1995), *Guía Ambiental para Elaborar Programas de Adecuación y Manejo Ambiental, Referencia de aprobación: R.D. No. 015-95-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1995), *Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros, Referencia de aprobación: R.D. No. 035-95-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Abandono y Cierre de Minas, Referencia de aprobación: R.D. No. 002-96-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1998), *Guía Ambiental para el Manejo de Problemas de Ruido, Referencia de aprobación: R.D. No. 034-98-EM/DGAA.*
- Ministerio de Energía y Minas (1998), *Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Residuos Sólidos provenientes de Actividades Mineras, Referencia de aprobación: R.D. No. 034-98-EM/DGAA.*
- Rivas, MS, Martínez C (2003), *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería, SERNAGEOMIN, Chile,*  
[http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/ambiente/manejo\\_mercurio.pdf](http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/ambiente/manejo_mercurio.pdf)
- Cueva E, Hruschka F, Paredes Z, Salinas C, Sarango M, Tamay J (1999), *Manual de Operación Ambiental para la Pequeña Minería,*  
[http://www.hruschka.com/pmsc/manual/moa\\_0.html](http://www.hruschka.com/pmsc/manual/moa_0.html)
- Manejo Ambiental en la pequeña minería, Proyecto MEDMIN, Bolivia 1998,  
<http://www.gama-peru.org/libromedmin/>
- Logsdon Marc J., Hagelstein Karen y Mudder Terry (2001), *El Manejo de Cianuro en la Extracción de Oro, The International Council on Metals and the Environment, ISBN 1-*

895720-35-4 ([http://www.caem.com.ar/wp-content/uploads/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/wp-content/uploads/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf))

- Código Internacional para el Manejo del Cianuro para la Fabricación, el Transporte y el Uso del Cianuro en la Producción de Oro" - <http://www.cyanidecode.org/bienvenido-al-icmi>
- ARMA (2013), *Protocolos de la Evaluación Ambiental para la Pequeña Minería y Minería Artesanal*, Gobierno Regional de Arequipa.

## **ANEXO 2 - Leyes, Reglamentos y Decretos relacionados a la gestión ambiental en la minería**

- Constitución Política del Perú
- Ley N° 28611 (2005): Ley General del Ambiente
- Ley N° 26505 (1995): Ley de la Inversión Privada en el desarrollo de las Actividades Económicas en las tierras del territorio nacional y en las comunidades campesinas y nativas.
- Ley N° 26570 (1996), Sustituye artículo de la Ley N° 26505, referido a la utilización de tierras para el ejercicio de actividades mineras o de hidrocarburos.
- 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 28256: Ley que regula el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- Ley N° 28271: Ley que regula los Pasivos Ambientales de la actividad minera.
- Ley N° 28296: Ley de Áreas Naturales Protegidas.
- Ley N° 26821: Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales.
- Ley N° 28090: Ley que Regula el Cierre de Minas.
- Ley N° 27651 (2002): Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal, define funciones de los gobiernos regionales.
- Ley N° 27474 (2001): Ley de Fiscalización de las actividades Mineras.
- Ley N° 29023 (2007): Ley que regula la comercialización y uso de cianuro.
- Ley N° 28551 (2005): Ley sobre la obligación de elaborar y presentar Planes de Contingencia.
- Ley N° 27867: Ley Orgánica de Gobiernos Regionales.
- Ley N° 29325 (2009): Sistema Nacional Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA).
- Ley N° 27902 (2003): modifica la ley 27867, establece en su artículo 380 que el Consejo Regional, como órgano normativo del Gobierno Regional, tiene la atribución de aprobar la organización y la administración del Gobierno Regional y reglamentar materias de su competencia a través de Ordenanzas Regionales.
- Ley N° 29783: Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Ley N° 30193 (2014): Ley que modifica el Decreto Legislativo 1103, que establece medidas de control y fiscalización en la distribución, transporte y comercialización de insumos químicos que puedan ser utilizados en la minería ilegal.

### *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° 015-2003-AG (2003): Modifica artículos del reglamento del artículo 7° de la Ley N° 26505, sobre procedimiento para el establecimiento de Servidumbre legal minera.
- D.S. N° 015-2005-SA (2005): Reglamento sobre Valores Límites Permisibles para Agentes Químicos en el Lugar de Trabajo.
- D.S. N° 017-1996-AG (1996): Reglamento del artículo 7° de la Ley N° 26505, referido a las servidumbres sobre tierras para el ejercicio de actividades mineras o de hidrocarburos.
- D.S. N° 018-92-EM: Reglamento del TUO de la Ley General de Minería.
- D.S. N° 020-2012-EM (Anexo A): Procedimiento de solicitud de autorización de beneficio para minería artesanal o modificaciones y de otorgamiento de concesión de beneficio y autorización de funcionamiento para pequeña minería, mediana minería y gran minería o modificaciones; modificatoria del D.S. 018-92-EM.
- D.L. N° 757 (13.nov.1991): Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada.
- D.S. N° 021-2008-MTC: Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.
- 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° 038-2001-AG: Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas.
- D.S. N° 038-2004-PCM: Plan Anual de Transferencia de Competencias Sectoriales a Gobiernos Regionales y Locales.
- D.S. N° 045-2013-EM: Reglamento sobre la comercialización y uso de cianuro.
- 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° 057-2004-PCM: Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos
- D.S. N° 068-2006-PCM: Norma que establece disposiciones relativas a la culminación de las transferencias programadas a los gobiernos regionales y locales.
- R.J. N° 300-2011-ANA: Aprueban Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos de Agua Naturales y Artificiales.
- D. L. N° 1100 (2012): Regula la interdicción de la minería ilegal en toda la República y establece medidas complementarias.
- D. L. N° 1103 (2012): Establece establece medidas de control y fiscalización en la distribución, transporte y comercialización de Insumos Químicos que puedan ser utilizados en la minería ilegal. D.S. N° 045-2013-EM: Reglamento de la Ley N°29023 sobre la comercialización y uso de cianuro.
- 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.
- R.D. N° 440-96-EM/DDGM: Normas a fin de garantizar la estabilidad de los depósitos de relaves.
- R.D. N° 224-97-EM/DDGM: Dictan disposiciones destinadas a uniformizar la presentación de Estudios de Impacto Ambiental y establecer las condiciones en que debe efectuarse la deposición de relaves en caso de reutilización de depósitos antiguos de relaves previamente paralizados.
- N° 073-2014-EF (2014): Dictan normas reglamentarias para la aplicación de lo dispuesto en la Primera Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo N° 1103 que establece medidas de control y fiscalización en la distribución, transporte y comercialización de Insumos Químicos que puedan ser utilizados en la minería ilegal.

Una presentación más exhaustiva del marco legal se puede encontrar en la página web del MINEM<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> <http://www.minem.gob.pe/legislacionSector.php?idSector=4> y <http://www.minem.gob.pe/area.php?idSector=4&idArea=56&idTitular=614&idMenu=sub611&idCateg=334#>

### ANEXO 3 – Clasificación de Residuos

Tabla A1 - Clasificación de un residuo conteniendo metales pesados según concentración promedio en el material (en mg/kg) y concentración en el lixiviado según el ensayo TCLP (en mg/L)

Conc.	TCLP	Conc.	TCLP	Conc.	TCLP	Conc.	TCLP	Conc.	TCLP	Conc.	TCLP	Conc.	TCLP	Conc.	TCLP	Clasificación del residuo
Arsénico		Berilio		Cadmio		Cromo VI		Plomo		Mercurio		Níquel		Selenio		
< 50	nr	< 20	nr	<10	nr	<100	nr	<140	nr	< 6.6	nr	<40	nr	<20	nr	RNP
50– <500	< 5	20- <100	<5	10- <100	<1	100 – < 1 900	<5	140 – <1 500	<5	6.6– <50	< 0.2	40 – <1 050	<2	20– <50	<1	RNP
100– <500	> 5	20- <100	>5	20- <100	>1	100 – < 1 900	>5	100 – <1 500	>5	6.6– <50	> 0.2	40 – <1 050	>2	20– <50	>1	RP
500– <2 000	< 20	100- <400	<4	100- <400	<4	1 900- < 7 600	<20	1 500- <6 000	<20	50– <200	< 0.8	1 050- <4 200	<8	50- <200	<4	RP
500– <2000	> 20	100- <400	>4	100- <400	>4	1 900- < 7 600	>20	1 500- <6 000	>20	50– <200	> 0.8	1 050- <4 200	>8	50- <200	>4	RMP
>2 000	nr	>400	nr	>400	Nr	>7 600	nr	>6 000	nr	>200	nr	>4 200	nr	>200	nr	RMP

nr = no requerido; RNP=residuo no peligroso (puede ser depositado en relavera o relleno sanitario sin control de lixiviados); RP=residuo peligroso (requiere disposición en relavera o relleno especial, impermeabilizado y con control de lixiviados); RMP=residuo muy peligroso (requiere disposición en relavera o relleno especial, impermeabilizado y con control de lixiviados, luego de una estabilización química o física para reducir la peligrosidad del material)

El ensayo de TCLP debe ser realizado de acuerdo al procedimiento EPA 1311 o equivalente.

**Tabla A2 - Clasificación de un residuo conteniendo cianuro**

<b>Análisis</b>	<b>Conc. promedio en el residuo [mg/kg]</b>	<b>Conc. de cianuro en el lixiviado TCLP [mg/L]</b>	<b>Clasificación del residuo y requerimientos para la disposición final</b>
<b>CN libre</b>	< 70 <sup>13</sup>	Nr	RNP
<b>CN total</b>	< 320	Nr	
<b>CN libre</b>	70 - <300	< 3.5	
<b>CN total</b>	320 - <5 900	< 16	
<b>CN libre</b>	70 - <300	> 3.5	RP
<b>CN total</b>	320 - <5 900	> 16	
<b>CN libre</b>	300 – 1 200	< 14	RMP
<b>CN total</b>	5 900–23 600	< 64	
<b>CN libre</b>	300 – 1 200	> 14	
<b>CN total</b>	5 900–23 600	> 64	
<b>CN libre</b>	> 1 200	Nr	
<b>CN total</b>	> 23 600	Nr	

nr = no requerido; RNP=residuo no peligroso (puede ser depositado en relavera o relleno sanitario sin control de lixiviados); RP=residuo peligroso (requiere disposición en relavera o relleno especial, impermeabilizado y con control de lixiviados); RMP=residuo muy peligroso (requiere disposición en relavera o relleno especial, impermeabilizado y con control de lixiviados, luego de una estabilización química o física para reducir la peligrosidad del material)

<sup>13</sup> Según D.S. 002-2013 MINAM, el ECA para suelos agrícolas, residenciales y parques es 0.9 mg/kg y para suelos en zonas comerciales, industriales y extractivos 8 mg/kg. Debe considerarse estos ECAs para la disposición en áreas no asignados como relleno sanitario con control de lixiviados.

## ANEXO 4 – Reporte Generación y Manejo de Residuos Contaminados en PM y MA

### REPORTE DE GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS CONTAMINADOS EN PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL

Nombre del Generador de Residuos:	Lugar/Proyecto :
	Fecha:
Ubicación de la planta de procesamiento (en coordenadas UTM):	Periodo de reporte:

#### **A. RESIDUOS SÓLIDOS POTENCIALMENTE PELIGROSOS**

##### **1. CANTIDAD Y TIPO DE RESIDUOS**

	SI	NO	CANTIDAD (m <sup>3</sup> /mes)
¿Genera usted residuos potencialmente contaminados con mercurio, cianuro u otros metales pesados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
¿Genera usted relaves de amalgamación con Mercurio?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
¿Genera usted relaves del proceso de cianuración?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
¿Genera usted colas (desechos) de la concentración gravimétrica?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

##### **2. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE LOS RESIDUOS**

CONDICIONES	SI, ¿Cuál?	NO, ¿Por Qué?
¿Los relaves son almacenados evitando el contacto directo con el suelo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Los relaves son almacenados evitando la emisión de polvo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿Los relaves son almacenados evitando la infiltración de aguas de lluvia?

**B. RESIDUOS CON MERCURIO**

**1. PROCESOS UTILIZADOS**

	<b>Tipo de Equipos usados</b>	<b>Cantidad de Residuos Generados</b>
¿Cómo realiza la amalgamación con Mercurio?		
¿Cómo realiza la separación de Oro del Mercurio?		

**2. TIPO Y CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS QUE POTENCIALMENTE CONTIENEN MERCURIO**

<b>Tipo de Amalgamación</b>	<b>Número de Equipos</b>	<b>Cantidad de Mercurio utilizado (lt/mes)</b>	<b>Volumen de Agua (lt/mes)</b>	<b>Cantidad de Relaves Generados (m<sup>3</sup>)</b>	<b>m<sup>3</sup> de relaves comercializados</b>
Amalgamación en "circuito abierto" (Quimbalete, "Molino Chileno", etc.)					
Amalgamación de concentrados (Gravimetría)					
Amalgamación en circuito cerrado (Cilindro amalgamador)					
Amalgamación en planchas amalgamadoras					

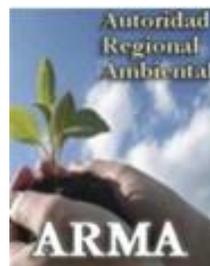
**3. DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS**

<b>Nombre de Empresa Compradora de los Relaves</b>	<b>Dirección del Centro de Acopio y Concentración</b>



# Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal que trabajan con Mercurio

Junio 2014



**Preparado para:**

**Autoridad Regional Ambiental de Arequipa (ARMA)**

**Elaboración del documento:**

**Dr. Oswald Eppers**

Asesor Internacional de la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ)  
Programa ProAmbiente

**Equipo de Revisión y Corrección:**

**Dra. Gladys Márquez  
Chaname**

Jefa del Área de Fiscalización,  
ARMA

**Ing. Percy Ponce Medina**

Consultor del Ministerio de  
Energía y Minas

**Ing. Jorge Antonio Delgado  
Pacheco**

Especialista en Evaluación  
Ambiental, ARMA

**Ing. Caterine E. Cardich Salazar**

Asesor técnico de la Agencia de la Cooperación  
Alemana (GIZ), Programa ProAmbiente

**Blgo. Rubén Hernán Apaza Toro**

Especialista en Evaluación Ambiental, ARMA

## Contenido

Lista de Abreviaturas.....	iv
1. Introducción.....	1
2. Alcance del Trabajo .....	2
3. Estándares de calidad ambiental de Mercurio .....	3
4. Impacto Ambiental y de Salud por Mercurio en la PM y MA .....	5
4.1 Toxicidad del Mercurio.....	5
4.2 Consecuencias de una Exposición al Mercurio .....	5
5. Procesos de mayor emisión de mercurio en la PM y MA .....	7
5.1 Procesos de amalgamación.....	8
5.1.1 Amalgamación en "circuito abierto" .....	8
5.1.2 Amalgamación de concentrados .....	8
5.1.3 Amalgamación en circuito cerrado .....	9
5.1.4 Amalgamación en planchas amalgamadoras.....	9
5.2 Procesos aplicados para la separación de amalgama y minerales acompañantes .....	9
5.3 Procesos aplicados a la separación de mercurio libre y amalgama .....	10
5.4 Procesos aplicados a la separación de oro y mercurio.....	10
5.4.1 Separación térmica .....	10
5.4.2 Separación química.....	11
6. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental en el Uso y Manejo de Mercurio.....	12
6.1 Almacenamiento de Mercurio .....	12
6.2 Proceso de Amalgamación y Separación Térmica .....	12
6.3 Residuos.....	13
6.4 Protección de Suelos y Aguas.....	13
7. Bibliografía .....	14
ANEXO 1 - Caracterización de materiales contaminados con mercurio .....	16
1. Clasificación como residuo normal o residuo peligroso.....	16
2. Manejo de residuos contaminados con mercurio .....	17
2.1 Recuperación de "Mercurio Cansado" .....	17
2.2 Separación de Mercurio en Relaves por Concentración.....	18
2.3 Estabilización de Residuos.....	18
2.4 Encapsulamiento de residuos contaminados.....	18

## Lista de Abreviaturas

ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales)
ANA	Autoridad Nacional del Agua
ARMA	Autoridad Regional Ambiental de Arequipa
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment (Consejo Ministerial de Medio Ambiente de Canadá)
DESA	Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental
DFG	Deutsche Forschungsgesellschaft (Asociación Alemana de Investigación Científica)
ECA	Estándar de Control Ambiental
EMGA	Estándar mínimo de gestión ambiental
EPP	Equipo de Protección Personal
FDA	Federal Drug Administration (Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos)
FDEP	Florida Department of Environmental Protection (Ministerio de Protección Ambiental de Florida)
GAMA	Proyecto “Gestión Ambiental en la Minería Artesanal”
GECO	Gestión de Conocimientos para la Minería Artesanal
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperación Alemana)
GREM	Gerencia Regional de Energía y Minas
HDPE	Polietileno de alta densidad
LLDPE	Polietileno lineal de baja densidad
LMP	Límite Máximo Permisible
MAK	Concentración máxima permisible en el lugar de trabajo (Alemania)
MEDMIN	Proyecto “Manejo Ambiental en la pequeña minería”
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio de Ambiente
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera de los EEUU)
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS	Organización Mundial de Salud
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional)
PCM	Presidencia del Consejo de Ministros
PVC	Polivinil cloruro
PM y MA	Pequeña Minería y Minería Artesanal
PM	Material particulado
PP	Polipropileno
SEDAPAR	Servicio de agua potable y alcantarillado
STS	Sólidos Totales Suspendidos
TCLP	Toxicity characteristic leaching procedure (ensayo de lixiviación)
TLV	Threshold Limit Value (Límite máximo admisible)
TWA	Time weighted average (promedio sobre el tiempo)
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los EEUU
UNEP	United Nations Environment Program (Programa ambiental de las Naciones Unidas)

## 1. Introducción

El mercurio es un elemento químico que causa preocupación a nivel mundial debido a su capacidad para recorrer largas distancias a través de la atmósfera, su persistencia y su capacidad para acumularse en los ecosistemas y no por último sus importantes efectos negativos sobre la salud humana (UNEP 2013).

A pesar de que aún existen varios procesos industriales donde se utiliza mercurio, la pequeña minería y minería artesanal (PM y MA) del oro es la mayor fuente de liberación intencional de este metal en el mundo. Se estima que en la Región de Arequipa existen alrededor de 60 mil mineros informales (Wotruba, H. et al. 1998), de los cuales muchos utilizan mercurio para la extracción de oro. No existen estadísticas confiables de la cantidad del mercurio usado y liberado en el Perú ni, específicamente, en la región de Arequipa, pero se conoce que son muchas toneladas cada año.

Mediante la amalgamación del oro, los trabajadores mineros se encuentran sometidos a una fuerte exposición a este metal tóxico, liberándolo al aire, suelo y aguas superficiales. La resultante contaminación de los peces por ejemplo ya ha llegado en varios lugares del mundo a niveles muy por encima de los reconocidos como seguros (BRI/IPEN 2013, Ashe, K 2012, Canel, R et al. 2006, Farias, LA et al. 2012), poniendo en riesgo particularmente a niños y mujeres en edad de procrear.

Como respuesta a ésta amenaza global, en enero del año 2012, el Gobierno de Perú, junto a más de 130 países, firmó en Ginebra el “Convenio de Minamata” de Las Naciones Unidas, un convenio jurídicamente vinculante sobre la eliminación paulatina del uso industrial de mercurio y sus compuestos. Además de establecer otras medidas relacionadas con las emisiones de mercurio, el texto del tratado ordena que hasta el año 2020 se cese la fabricación, importación y exportación de productos y equipos con mercurio, incluyendo dispositivos médicos como termómetros y tensiómetros (esfigmomanómetros). La meta es el cierre gradual de todas las minas de mercurio y la prohibición del libre comercio de este elemento y sus compuestos hasta 2020 (UNEP 2013).

En cuanto a las grandes cantidades de mercurio utilizadas por la PM y MA, los gobiernos de países donde existe ésta problemática (incluyendo al Perú), acordaron implementar estrategias para la reducción del uso de mercurio dentro un periodo de tres años (hasta enero 2015). De acuerdo al Convenio, estos países deberán definir e implementar planes para la reducción o eliminación de mercurio en las operaciones mineras, incluyendo:

- prestar apoyo (educación, capacitación, atención de la salud) a los mineros, sus familias y comunidades en el desarrollo de alternativas al mercurio y en relación con los impactos negativos del mercurio;
- subsidiar la adquisición de retortas u otro equipo diseñados para reducir la liberación de mercurio;
- implementar una estrategia de ordenamiento territorial que contribuya a la reglamentación, vigilancia y fiscalización.

## 2. Alcance del Trabajo

Para la evaluación de los impactos ambientales y la definición de medidas de prevención y mitigación en la minería utilizando mercurio, existen varias guías y manuales del Ministerio de Energía y Minas (MEM) y de otras instituciones nacionales e internacionales, incluyendo:

- Mejía G.S., Rodríguez Villanueva C. y Mucho Mamani R. (2005), *Guía para Uso y Manejo de Mercurio, Ministro de Energía y Minas*.
- Ministro de Energía y Minas (2005), Orientaciones para hacer Minería, Tomo 5, Pequeña Minería y Minería Artesanal, Uso adecuado del mercurio.
- Tovar Jumpa O., Sánchez WE, Alvarez C.G. (2005), Guías Mineras, Implementación y Uso de Retorta en el Proceso de Refogado, Ministerio de Energía y Minas.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2008), Technical Guidelines on Mercury Management in Artisanal and Small-Scale Gold Mining.
- Rivas, MS, Martínez C. (2003), *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería*, SERNAGEOMIN, Chile,  
[http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/ambiente/manejo\\_mercurio.pdf](http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/ambiente/manejo_mercurio.pdf)
- Cueva E, Hruschka F., Paredes Z., Salinas C., Sarango M., Tamay J. (1999), *Manual de Operación Ambiental para la Pequeña Minería*,  
[http://www.hruschka.com/pmsc/manual/moa\\_0.html](http://www.hruschka.com/pmsc/manual/moa_0.html)
- Manejo Ambiental en la pequeña minería, Proyecto MEDMIN, Bolivia 1998,  
<http://www.gama-peru.org/libromedmin/>

El presente documento con Buenas Prácticas de Gestión Ambiental (EMGA) no pretende reemplazar estas guías y manuales, más bien está usando la información disponible en estos documentos y complementándola con la propia experiencia profesional e información actualizada de las áreas de fiscalización y evaluación de la ARMA.

### 3. Estándares de calidad ambiental de Mercurio

En el Perú, hasta la fecha solamente existen Límites Máximos Permisibles (LMPs) y Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para mercurio en efluentes, suelos, aguas superficiales y agua potable. Aún no se ha definido criterios de calidad de aire o contaminación de sedimentos, ni existen lineamientos para una clasificación de un residuo contaminado con mercurio para definir su disposición final (por ejemplo para la evaluación del riesgo de desechos mineros).

Según la Política Nacional del Ambiente (Ley N° 28611) (disposiciones transitorias, complementarias y finales): “En tanto no se establezcan en el país, Estándares de Calidad Ambiental, Límites Máximos Permisibles y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental, son de uso referencial los establecidos por instituciones de Derecho Internacional Público, como los de la Organización Mundial de la Salud (OMS)”.

Para facilitar la definición de LMPs y ECAs para la región de Arequipa, en la Tabla 3.1, se presentan LMPs y valores de referencia internacionalmente reconocidos para la evaluación de impactos causados por mercurio en aire, sedimentos, residuos o alimentos (pescado/mariscos).

**Tabla 3.1: Límites máximos permisibles y valores de referencia internacionalmente reconocidos para mercurio**

Valor	Organismo o País	Fuente	Comentario
<b>Efluentes</b>			
0.002 mg/L	Perú	D.S. 010-2010-MINAM	LMP como Hg, Valor en cualquier momento
<b>Aguas</b>			
Categoría 1: Poblacional y Recreacional			
0.001 mg/L	Peru	D.S. N° 002-2008-MINAM	ECA como Hg, aguas superficiales destinadas para recreación, contacto primario, riego de vegetales, bebida de animales,
0.002 mg/L			ECA como Hg, Agua superficial tipo A2 y A3 (aguas que pueden ser potabilizadas previo tratamiento)
Categoría 2: Actividades Marino Costeras			
0.00094 mg/L	Peru	D.S. N° 002-2008-MINAM	ECA para la extracción y cultivo de Moluscos Bivalvos (C1), como Hg total
0.0001 mg/L			ECA para la extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (menos moluscos bivalvos) (C2) y otras actividades (C3), como Hg total
Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales			
0.001 mg/L	Peru	D.S. N° 002-2008-MINAM	ECA como Hg, valor protector para riego de vegetales y bebida de animales
Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático			
0.0001 mg/L	Peru	D.S. N° 002-2008-MINAM	ECA como Hg, conservación del ambiente acuático en lagunas y lagos, ríos y ecosistemas marinos.
0.001 mg/L			ECA como Hg, conservación de ecosistemas estuarios costeros
<b>Agua potable</b>			
0.001 mg/L	Perú	Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA	LMP como Hg
<b>Suelos</b>			
6.6 mg/kg	Perú	D.S. 002-2013 MINAM	Suelos en áreas agrícolas, residenciales, parques (Hg total)
24 mg/kg			Suelos en áreas comerciales,

			industriales, extractivos (Hg total)
<b>Sedimentos (de ríos y lagos)</b>			
0.18 mg/kg	EEUU (US EPA, 2013)	NOAA, FDEP	Concentración segura para fauna acuática en agua dulce
0.486 mg/kg	Canadá (CCME, 2002)	CCME	ECA en sedimentos en cuerpos de agua dulce; basado en el Nivel Probable de Efecto (PEL)
0.70 mg/kg			ECA para sedimentos en el mar
<b>Residuos</b>			
Ver Anexo 1			
<b>Pescado/Mariscos</b>			
1 mg/kg	OMS	OMS (2012)	como Hg total
0.11-0.22 mg/kg	EEUU	US EPA	como metil mercurio; solamente una comida por semana recomendada
0.22-0.95 mg/kg			como metil mercurio; solamente una comida por mes recomendada
>0.95 mg/kg			como metil mercurio; consumo no recomendado

## **4. Impacto Ambiental y de Salud por Mercurio en la PM y MA**

### **4.1 Toxicidad del Mercurio**

En la comunidad científica existen pruebas más que suficientes de la alta toxicidad del mercurio y sus compuestos, los cuales son reconocidos como un potente neurotoxina que además del sistema nervioso daña riñones, el sistema cardiovascular, respiratorio, gastrointestinal, hematológico, inmunológico y también el sistema reproductivo (UNEP/OMS 2008). Si ingresa al organismo puede permanecer por mucho tiempo en el cerebro y riñones y, en casos extremos, puede causar la muerte. Un efecto muchas veces subestimado es el peligro inminente para el desarrollo intrauterino y en las primeras etapas de vida (OMS 2012).

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), el mercurio es uno de los diez productos o grupos de productos químicos que plantean especiales problemas de la salud pública (OMS 2012).

Los efectos de mercurio en el ambiente y la salud humana no solamente dependen de la concentración de mercurio, sino de la especiación de este metal, es decir, de la forma química en que se encuentra. Además del mercurio elemental, este metal existe en sales inorgánicas como los cloruros, sulfatos o sulfuros, como también en compuestos organometálicos como el metilmercurio, el dimetilmercurio o el etilmercurio. La toxicidad del mercurio crece drásticamente si el mercurio elemental se convierte en mercurio inorgánico y más aún en mercurio organometálico. Así, las especies de metilmercurio son de unos 10 a 100 veces más tóxicas que los compuestos de mercurio inorgánico. Una vez liberado el mercurio al ambiente, ciertas bacterias pueden transformarlo en dimetilmercurio que luego se acumula en peces y mariscos. Existe también un proceso de bioamplificación donde por ejemplo los grandes peces depredadores tienen más probabilidades de presentar niveles elevados de mercurio por haber devorado a muchos peces pequeños que a su vez lo habrán ingerido al alimentarse de plancton (UNEP 2008, OMS 2012).

El mercurio tiene las siguientes vías de entrada a un organismo:

1. Respiratoria: El vapor de mercurio penetra fácilmente la membrana del alvéolo pulmonar y pasa a la sangre, absorbiéndose un 80-90% de la cantidad inhalada. Esta vía de entrada es la más importante en el campo de la salud ocupacional.
2. Digestiva: el mercurio puede entrar al estómago en forma de polvo contaminado como también en forma de alimentos y agua contaminados. Aunque la mayor parte del mercurio ingerido es expulsado con las heces (90%) y por los riñones (10%), una pequeña fracción es absorbida por el cuerpo y está metabolizada formando compuestos muy tóxicos. La ingestión de sales de mercurio y, en particular, de sus compuestos orgánicos, es más peligroso debido a la superior solubilidad de estas sustancias. La molécula más peligrosa es el dimetilmercurio que se encuentra frecuentemente en peces y mariscos, pescados en acuíferos con aguas y sedimentos impactados con mercurio.
3. Cutánea: La piel sana es considerada una buena barrera para el mercurio metálico, salvo existen pequeñas lesiones que permiten la penetración del mercurio. También las mucosas en boca, nariz, ojos, etc. son más susceptibles para una adsorción de mercurio.

### **4.2 Consecuencias de una Exposición al Mercurio**

El minero que trabaja con mercurio tiene contacto permanente con mercurio, sea la inhalación de vapores o una exposición diaria a mercurio elemental y, por lo tanto, sufre una intoxicación crónica por inhalación de vapores y de polvo contaminado.

Entre los factores que determinan eventuales efectos sobre la salud, así como su gravedad, están los siguientes (OMS 2012):

- la forma de mercurio de que se trate;
- la dosis;
- la edad o el estadio de desarrollo de la persona expuesta (la etapa fetal es la más vulnerable);
- la duración de la exposición;
- la vía de exposición (inhalación, ingestión o contacto cutáneo).

Una intoxicación crónica con mercurio (también llamada Hidrargirismo o Mercurialismo) se manifiesta con diferentes síntomas de envenenamiento. Los vapores de mercurio metálico o el mercurio orgánico afectan diferentes áreas del cerebro y las funciones que se asocian con estas áreas, lo que se manifiesta en una variedad de síntomas. Aparte del gran síntoma del Hidrargirismo que es el temblor, existen otros síntomas típicos:

- dolor de pecho,
- dificultad para respirar, tos crónica
- irritación de los ojos y la piel,
- disminución de agudeza visual, degradación del cristalino
- inflamación de la boca y encías,
- pérdida del apetito,
- náusea, vómitos y gastroenteritis.
- pérdida de la memoria,
- irritabilidad, insomnio
- depresión, melancolía, fatiga.

Trabajadores expuestos durante varios años a niveles atmosféricos a mercurio por encima de unos  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pueden desarrollar signos subclínicos leves de toxicidad para el sistema nervioso central. Se han descrito efectos en los riñones que van de la proteinuria a la insuficiencia renal. Un estudio realizado por el proyecto MEDMIN demostró que un gran número de mineros de la MP y MA está afectado por agudos y crónicos envenenamientos por mercurio (Wotruba, H et al. 1998). Frecuentemente la exposición a mercurio no se limita a los mismos mineros, sino que se extiende a sus familiares. Esto se debe a que en muchos de los casos los mineros artesanales queman la amalgama sobre la estufa de su cocina o en el patio de sus casas, donde tienen la mayor privacidad.

Información más detallada se encuentra en la literatura, por ejemplo resumido por la OMS (OMS 2013).

A continuación, se presentará una breve descripción de los procesos con liberación de mercurio, basándose en los trabajos realizados por el proyecto MEDIMIN (Wotruba, H et al. 1998).

## 5. Procesos de mayor emisión de mercurio en la PM y MA

Independientemente de las diferencias en el proceso aplicado por distintos costumbres y hábitos, las mayores emisiones de mercurio se están produciendo durante las siguientes operaciones (MEDMIN 1998, Rivas, MS, Martínez, C 2003):

1. El proceso de amalgamación a flujo abierto, realizado en canaletas, molinos/quimbaletes, planchas amalgamadoras, etc., que constituye la mayor fuente de emisiones de vapor de mercurio elemental como de la contaminación de suelos y aguas por mercurio derramado y no recuperable. Después de la amalgamación, parte del mercurio se queda en los relaves (cola) del proceso y contamina suelos, aire y aguas.
2. Contaminación de agua durante amalgamación. Muchas veces no considerado también es la leve solubilidad de mercurio elemental en agua<sup>1</sup> que convierte cualquier agua que tenía contacto con este metal líquido en un efluente con concentraciones de mercurio por encima de los LMPs. La contaminación de agua por metales pesados y arsénico también depende mucho del pH. Si el pH está en un rango normal entre 6 y 9, la mayor parte de la contaminación hídrica es causada por la presencia de partículas suspendidas con concentraciones de metales pesados. Valores de pH por debajo de 6 a menudo son encontrados en áreas con una mineralización sulfurosa. Estas aguas ácidas de minas causan la disolución sustancias tóxicas frecuentemente por encima de los LMPs.
3. Cuando se realiza el plateado o limpieza de planchas amalgamadoras, el mercurio emite grandes cantidades de vapores al aire, causando frecuentemente una intoxicación aguda del trabajador.
4. Durante la "quema" de amalgamas al aire libre (i.e. sin uso de una retorta) se evapora todo el mercurio de la aleación, contaminando la atmósfera. La precipitación de esta forma de mercurio puede contaminar también las aguas y suelos, dando paso a su vez a la formación de compuestos organometálicos muy tóxicos por metabolización en bacterias y plantas.
5. La destrucción de la amalgama con ácidos, por ejemplo ácido nítrico, también genera grandes problemas ambientales por la formación de nitrato de mercurio que es altamente tóxico y peligroso por su alta solubilidad en agua y su potencial de contaminar suelos y aguas.
6. Durante la comercialización de amalgamas, particularmente en los establecimientos de compra de oro (emisiones de mercurio durante refinación del oro).
7. En el transporte y almacenamiento (derrames sistemáticos de mercurio).
8. Desechado de "mercurio cansado". El mercurio por el uso frecuente o intenso (por ejemplo, mercurio varias veces exprimido) se contamina y pierde su poder de amalgamación. Los mineros desechan este "mercurio cansado". De esta manera se convierte en un residuo que puede contaminar suelos y aguas si se maneja de manera inadecuada.
9. Relaves con restos de mercurio frecuentemente son transportados a centros de acopio y procesamiento para la cianuración. Con este método se pretende recuperar los restos de oro que fueron extraídos con el mercurio. Este procedimiento tiene un alto riesgo debido a la potencial formación de compuestos muy tóxicos entre el cianuro y el mercurio (Miller et al. 1996, Coles y Cochrain 2006).

---

<sup>1</sup> Mercurio elemental tiene una solubilidad de aproximadamente 56 µg/L en agua a temperature ambiente (Toxicological Effects of Methylmercury ( 2000 ) / Chemistry, Exposure, Toxicokinetics, and Toxicodynamics, The National Academies | 500 Fifth St. N.W. | Washington, D.C. 20001, National Academy of Sciences, página 32).

La amalgamación en "circuito cerrado" tiene un impacto inferior al proceso "circuito abierto" por una menor evaporación de mercurio a la atmósfera. Sin embargo, los relaves de la amalgamación de concentrados todavía contienen mercurio, en cantidades variables (dependiendo del tipo de carga y proceso de amalgamación utilizado). La amalgamación, por ejemplo, en un barril amalgamador se hace en un "ambiente cerrado" y la amalgamación manual en un "ambiente semi-cerrado". Se advierte que un proceso no puede considerarse completamente como "circuito cerrado" si sus colas contaminadas se vacían al medio ambiente o si hay fugas de mercurio p.ej. por evaporación durante el proceso.

La incorrecta utilización del mercurio se puede dar en todas las fases de la preparación de la amalgama, como en la del quemado o "refogado" de la misma, por lo que se requiere tomar medidas preventivas para su uso y de ser factible utilizar otras técnicas.

Existe una gran variedad de procesos de amalgamación y no es la intención de este documento reemplazar las monografías especializadas en esta materia (ver Sección 2). En lo siguiente, se presentará una breve descripción de los principales procesos de amalgamación con el fin de mejor entender los potenciales impactos ambientales y de salud.

## **5.1 Procesos de amalgamación**

### **5.1.1 Amalgamación en "circuito abierto"**

Durante este proceso, toda la carga (material aurífero) se pone en contacto con mercurio en un flujo continuo de pulpa<sup>2</sup>. Por éste método, generalmente no es posible recuperar todo el mercurio en forma de amalgama, ya que una parte se escapa por los relaves en forma de gotas micro-dispersas de mercurio o en forma de partículas finas o floculas de amalgama, formando un residuo potencialmente peligroso.

El problema se base en moler el material en Quimbaletes u otros molinos (incluyendo el Molino Chileno) juntamente con el mercurio que resulta en la formación de "mercurio molido" o "harina de mercurio", material fino que solamente parcialmente puede ser recuperado por métodos gravimétricos o con planchas amalgamadoras. El resultado frecuentemente es una concentración elevada de mercurio en los relaves que está causando problemas ambientales si se procesa con la cianuración o si está desechado de forma incontrolada.

### **5.1.2 Amalgamación de concentrados**

Durante este proceso, solamente la fracción del material aurífero concentrada en un proceso de concentración (típicamente por gravimetría) está sometida al proceso de amalgamación en un ambiente parcial- o totalmente cerrado.

Este proceso tiene dos importantes ventajas: en primer lugar solamente se requiere una pequeña fracción del mercurio necesario para amalgamar la totalidad del mineral sin concentración. Además, el mercurio puede ser recuperado casi en su totalidad, en contraste a la amalgamación directa en el molino, donde se pierde bastante mercurio por la formación de mercurio micro-disperso.

---

<sup>2</sup> En la minería aluvial, muchas veces una parte de la carga bruta (el estéril grueso) se elimina vía clasificación, antes de entrar al proceso de concentración.

Debido a que ninguna concentración es completa y los relaves aún pueden contener importantes cantidades de oro, se puede realizar un segundo procesamiento de los relaves usando el método de cianuración.

### **5.1.3 Amalgamación en circuito cerrado**

La amalgamación de un concentrado en circuito cerrado es la mejor opción ya que tiene varias ventajas: La amalgamación se realiza prácticamente sin la emisión de vapores (por ejemplo, en un cilindro amalgamador), el minero no tiene directo contacto con el mercurio con el peligro de intoxicarse y además, la amalgama y mercurio libre pueden ser recuperados mucho mejor sin la formación de harina de mercurio y la formación de relaves altamente contaminados.

La amalgamación en circuito cerrado generalmente se realiza en cilindros de amalgamación metálicos rotatorios.

### **5.1.4 Amalgamación en planchas amalgamadoras**

Las planchas amalgamadoras se utilizan para la recuperación de oro fino (molino), por lo que son comúnmente usadas para la minería aluvial.

El riesgo para la salud de los trabajadores que manejan planchas amalgamadoras es elevado, ya que el mercurio se evapora más rápido por la gran superficie. La evaporación durante la aplicación de mercurio en las planchas es tan grande, que el peligro de una intoxicación aguda de los trabajadores es significativo.

Debido a que las pérdidas de amalgama, oro y mercurio utilizando planchas amalgamadoras en circuito abierto son altas, éste proceso no se considera recomendable y debería ser evitado.

## **5.2 Procesos aplicados para la separación de amalgama y minerales acompañantes**

Sólo en las placas amalgamadoras se obtiene una amalgama bastante libre de minerales acompañantes. En todos los otros procesos anteriormente descritos, se genera una mezcla de amalgama, mercurio líquido y algunos minerales pesados acompañantes. La amalgama, como "masa pesada", se separa de los otros minerales por métodos gravimétricos. Métodos frecuentemente utilizados para la separación de amalgama son:

- canaletas
- bateas manuales
- bateas mecánicas
- elutriadores (separadores hidráulicos)
- planchas amalgamadoras.
- centrífugas

Las pérdidas de amalgama y mercurio libre en los relaves con estos dispositivos o equipos pueden ser elevadas. En primer lugar se pierde una gran parte de la harina de mercurio formada dentro del molino, que está distribuido en forma microscópica dentro del material y pegada a la superficie de las partículas del mineral. Es por esta razón que es importante efectuar la amalgamación en una manera que reduzca al máximo la producción de harina de mercurio y floculas de amalgama.

### **5.3 Procesos aplicados a la separación de mercurio libre y amalgama**

Dependiendo de la relación mercurio/oro utilizado en el proceso de amalgamación, la amalgama sale "seca" con alto contenido de oro, o "líquida" con poco contenido de oro. Para reducir la cantidad de mercurio molido, es preferible conseguir una amalgama seca. Generalmente en el siguiente paso, el mercurio que no está aleado (mercurio libre) debe ser separado de la amalgama, y en el último paso, el oro del mercurio.

La separación mercurio libre - amalgama, generalmente se lleva a cabo por exprimido o estrujado manual, utilizando una tela fina o cuero, donde se confina la mezcla mercurio - amalgama. Luego de exprimir, la amalgama queda sobre la tela como una masa consistente, mientras que el mercurio líquido libre pasa a través de la tela y se recibe sobre una batea u otro recipiente apropiado. Sin embargo, en estos métodos manuales de separación, el operador se pone en contacto directo con el mercurio y corre peligro de intoxicación. Así también, por la baja presión aplicada al exprimir, esta operación rinde una pobre eficiencia de separación. Por esto, se recomienda usar guantes de goma - o mejor - utilizar métodos mecánicos (prensas, centrífugas, etc.).

### **5.4 Procesos aplicados a la separación de oro y mercurio**

La separación de la amalgama en sus componentes, oro y mercurio, se puede realizar por vía térmica o química. Por lo general, en la pequeña minería se prefiere la separación térmica.

#### **5.4.1 Separación térmica**

El mercurio se volatiliza a una temperatura de alrededor de 360 °C. Por lo tanto, la amalgama debe ser calentada a una temperatura suficientemente alta para evaporar el mercurio. El oro permanece en el recipiente calentado como producto final.

Desafortunadamente, esta separación térmica es muchas veces practicada de una manera muy directa y elemental, a "crisol abierto" o "quema" abierta, liberando el vapor de mercurio altamente tóxico directamente a la atmósfera. El resultado es una contaminación directa de la atmósfera y poniendo en peligro la salud del trabajador y de la población que habita en el entorno.

Por lo general, para este propósito se utilizan calentadores a gas o sopletes de diferente índole. La mayor parte del mercurio vaporizado se asienta en los alrededores del lugar de la quema (normalmente el campamento minero), contaminando suelos, alimentos, y seres vivos del lugar. Con el tiempo y las lluvias, el mercurio sedimentado en la capa superficial de la tierra, es transportado a los ríos próximos. En muchos casos, la amalgama se quema dentro de las viviendas o en la cocina del minero.

Existen diversas formas consideradas algo "avanzadas" para realizar esta quema en ambientes semi-cerrados, por ejemplo:

- Dispositivo con un recipiente y un plato;
- sistema cubierto: dependiendo de la región, a veces con una hoja de bananero, papas o un zapallo, colocados sobre la amalgama en la bandeja de quemado, estas ayudan a recuperar parte del vapor de mercurio, por condensación sobre su superficie;

Desafortunadamente la separación oro-mercurio, muy excepcionalmente se realiza en circuito cerrado utilizando una retorta. Sin embargo, existen algunos centros mineros donde utilizan retortas de fabricación industrial o casera.

#### **5.4.2 Separación química**

Aparte de la separación térmica existe la posibilidad de realizar una separación química, por ejemplo disolviendo el mercurio de la amalgama selectivamente utilizando ácido nítrico. Si bien la eficiencia de separación de los dos metales es buena porque oro no es soluble en ácido nítrico, los impactos ambientales por la emisión de vapores y soluciones residuales pueden ser considerables por la formación de nitrato de mercurio, una sal que es muy tóxica por su alta solubilidad. Más aún, los operadores del sistema se exponen peligrosamente a la fuerte emisión de gases nitrosos durante el proceso que son tóxicos.

## 6. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental en el Uso y Manejo de Mercurio

Para la reducción de la contaminación ambiental y reducción del peligro para la población y los mineros, debe implementarse procedimientos para un manejo adecuado de mercurio. El mercurio debe ser transportado, almacenado, manejado y dispuesto de acuerdo a reglas mínimas establecidas en la legislación vigente.

### 6.1 Almacenamiento de Mercurio

- a) El almacenamiento debe estar ubicado en una zona que reduzca el riesgo por posibles emisiones, fugas e incendios. No se permite almacenar mercurio dentro de viviendas, zonas de inundación o en una distancia menor a 100 metros de un cuerpo de agua superficial o fuente de agua potable (incluyendo pozos de agua potable).
- b) Mercurio debe ser contenido en recipientes estables y herméticos, alejados de alimentos y bebidas y debidamente etiquetado con su nombre químico y una indicación de su toxicidad.
- c) El lugar de almacenamiento debe ser bien ventilado para evitar la acumulación de vapores de mercurio. Para minimizar la evaporación del mercurio, se recomienda cubrir el mercurio dentro del recipiente con agua.
- d) Para el almacenamiento de mercurio, nunca se deben usarse pisos de madera, no deben existir fisuras, pues en ellas puede quedar mercurio después de un derrame. Los contenedores deben tener un recipiente bajo ellos que sea capaz de retener el producto en caso de que el primero se rompa.
- e) El mercurio puede ser almacenado dentro del almacén de sustancias peligrosas (ver Documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*). El mercurio debe ser físicamente separado de sustancias peligrosas como combustibles y lubricantes. La separación debe ser realizada con bermas, muros de contención o paredes entre los contenedores que son capaces de evitar el daño de los envases en caso de un derrame o incendio.

### 6.2 Proceso de Amalgamación y Separación Térmica

- a) Queda terminantemente prohibido el uso de mercurio para la amalgamación, el tratamiento térmico de la amalgama para la separación de oro u otros procesos relacionados en una distancia menor a 100 metros a centros poblados (incluyendo viviendas de mineros), cuerpos de agua superficiales como ríos, arroyos o bofedales, pozos de agua potable, áreas agrícolas, áreas protegidas u otras áreas con receptores sensibles. Se recomienda realizar estas actividades en zonas de exclusión como parques industriales.
- b) Queda terminantemente prohibido utilizar la quema directa de amalgama a cielo abierto por el gran impacto negativo de esta práctica para el medio ambiente y la salud humana. Debe usarse una retorta o equipo equivalente para recuperar el mercurio.
- c) No se debería realizar la amalgamación en quimbaletes, debido al riesgo de la formación de mercurio micro-disperso (“harina de mercurio”) en los relaves que no puede ser recuperado y generalmente convierte la descarga en un residuo peligroso. La amalgamación sólo debería ser realizada en cilindros amalgamadores, canaletas u otras instalaciones que tienen “trampas” para recuperar mercurio en las canaletas de descarga y donde se evita la formación de mercurio micro-disperso que no puede ser recuperado.
- d) Cada minero debe considerar prácticas para reducir al mínimo el uso de mercurio, particularmente la aplicación de una concentración gravimétrica del mineral que puede

reducir drásticamente la cantidad de mercurio requerida para la realización de la amalgamación del concentrado<sup>3</sup>.

- e) Se debe manejar el mercurio sólo en áreas bien ventiladas o en aire libre para evitar la intoxicación aguda de los trabajadores presentes. Cada persona trabajando con mercurio debe tener Equipo de Protección Personal (EPP) disponible y debe ser capacitado en su uso. De mayor importancia en el proceso de amalgamación y separación del oro por tratamiento térmico de la amalgama es la protección contra los vapores de mercurio (ver por ej. “Guía para Uso y Manejo de Mercurio”, Ministro de Energía y Minas, 2005).

### 6.3 Residuos

- a) Residuos conteniendo mercurio (relaves, residuos de retorta, mercurio degastado o “cansado”, etc.) deben ser almacenados de tal forma que una contaminación del subsuelo y aguas superficiales y/o subterráneas está impedida. De ninguna manera se permite botar restos de mercurio (“mercurio cansado”), relaves u otros materiales contaminados con mercurio a quebradas, lechos de ríos, bofedales u otras áreas sensibles. Para la caracterización de la peligrosidad de residuos conteniendo mercurio ver Anexo 1.

### 6.4 Protección de Suelos y Aguas

- b) Para evitar una contaminación del suelo y cuerpos de agua, se recomienda impermeabilizar el suelo del área donde se realizan las operaciones con mercurio, particularmente en el lugar de amalgamación y descarga de relaves. Esta impermeabilización se puede lograr usando una loza de concreto pulido o una geomembrana sintética de un material resistente como HDPE, LLDPE, PVC o PP con un espesor nominal mínimo de 1 mm y una resistencia y flexibilidad adecuada para esta aplicación.
- c) El agua que tenía contacto directo con el mercurio generalmente contiene mercurio disuelto y deberá ser reusado si es posible. Queda prohibido su descarga directa en cuerpos de agua naturales o al suelo sin tratamiento. Más detalles sobre el manejo de aguas residuales industriales de minería se encuentran en el documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.

---

<sup>3</sup> Prácticas recomendables se encuentran por ejemplo en la página web del proyecto GECO (<http://geco.mineroartesanal.com>). La información presentada en la página web de GECO resume partes de los resultados de una investigación de campo con el objetivo de mejorar el proceso del quimbaleteo. <http://geco.mineroartesanal.com/tiki-index.php?page=Mejoras+del+proceso+de+amalgamacion+en+el+quimbalete&bl=y>

## 7. Bibliografía

- [1] ACGIH (1998), American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*. ACGIH, Cincinnati, USA (1998).
- [2] Ashe, K. (2012). *Elevated Mercury Concentrations in Humans of Madre de Dios, Peru*, PLoS ONE, 7/3.
- [3] BRI/IPEN (2013). *Global Mercury Hotspots*;  
<http://www.briloon.org/uploads/documents/hgcenter/gmh/gmhFullReport.pdf>
- [4] Canuel, R., Boucher de Grosbois, S., Atikessé, L., Lucotte, M., Arp, P., Ritchie, C., Mergler, C., Chan, H.M., Amyot, M. y Anderson, R. (2006). *New Evidence on Variations of Human Body Burden of Methylmercury from Fish Consumption*, Environ. Health Perspect., 114/2, pp. 302–306.
- [5] CCME (2002), Canadian Council of Ministers of the Environment, *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables*. Publicado en: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg;  
<http://st-ts.ccme.ca/>
- [6] Coles, C.A. y Cochrane, K., (2006). *Mercury cyanide contamination of groundwater from gold mining and prospects for removal*. Sea to Sky Geotechnique, pp. 1118-1122.
- [7] DECCW (2009). Department of Environment, Climate Change and Water, NSW, *Waste Classification Guidelines, Part 1: Classifying Waste*;  
<http://www.environment.nsw.gov.au/resources/waste/091216classifywaste.pdf>
- [8] DFG (1998), Deutsche Forschungsgesellschaft. MAK- und BAT-Werte-Liste, Wiley-VCH Weinheim.
- [9] DIGESA (2006). Dirección General de Salud Ambiental, *Manual de Difusión Técnica N° 01, Gestión de los Residuos Peligrosos en el Perú*.
- [10] Farias, L.A., Fávoro, D.I.T., Pessoa, A., Aguiar, J.P.L., Yuyama, L.K.O. (2012). *Mercury and methylmercury concentration assessment in children's hair from Manaus, Amazonas State, Brazil*, Acta Amazon., 42(2), pp. 279 - 286.
- [11] MEDMIN (1998). *Manejo Ambiental en la pequeña minería*, Bolivia; <http://www.gama-peru.org/libromedmin/>
- [12] MEM, *Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros*;  
<http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=4&idPublicacion=50>
- [13] Miller, J. D., Alfaro E., Misra, M. and Lorengo, J. (1996). *Mercury Control in the Cyanidation of Gold Ores*, Pollution Prevention for Process Engineering: Proceedings of Technical Solutions for Pollution Prevention, Engineering Foundation, New York, NY, USA;
- [14] MINEM, *Guía Ambiental de Manejo y Transporte de Concentrados Minerales*;  
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/guias/guiaminera-xviii.pdf>
- [15] OMS (2012). Organización Mundial de Salud, *El mercurio y la salud*, Nota descriptiva N°361;  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

- [16] ONU (2011), Naciones Unidas, *Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías peligrosas*, Volumen 1;  
[http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/Spanish/Rev17\\_Volume1.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/Spanish/Rev17_Volume1.pdf)
- [17] OSHA (2006), Occupational Safety and Health Administration, Occupational Safety and Health Standards 29 CFR 1910.1000; [https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDARDS&p\\_id=9993](https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9993)
- [18] Quispe, S., Luis, J. (2013). *85% de los informales labora en áreas con dueños*, La República, Región Sur, Arequipa.
- [19] Rivas, M.S., Martínez, C. (2003). *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería*, SERNAGEOMIN, Chile.
- [20] Saucedo, U.R. (2003). *Recomendaciones técnicas general es para el diseño y construcción de celdas de confinamiento y rellenos sanitarios*, GIZ México, Proyecto Desarrollo Institucional y Gestión de Sitios Contaminados, PN: 99.21.34.3;  
<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/GTZ/L-Recomendaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20dise%C3%B1o%20de%20confinamientos%20de%20RP.pdf>
- [21] UNEP (2013). *Background to the fifth session of the Intergovernmental Negotiating Committee to prepare a global legally binding instrument on mercury (INC5)*;  
<http://unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC5/tabid/3471/Default.aspx>
- [22] UNEP (2008). United Nations Environment Programme (UNEP) y Organización Mundial de Salud (OMS); *Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure*. UNEP Chemicals Branch and WHO Department of Food Safety, Zoonoses and Foodborne Diseases. Geneva, Switzerland, 176 pp.
- [23] UNEP (2013). United Nations Environment Program, *Global Mercury Assessment*;  
[http://www.unep.org/publications/contents/pub\\_details\\_search.asp?ID=6282](http://www.unep.org/publications/contents/pub_details_search.asp?ID=6282)
- [24] US EPA (2007). Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, *Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste and Water.*, Washington, DC.
- [25] US EPA (2013), *Freshwater Sediment Screening Benchmarks*;  
<http://www.epa.gov/reg3hscd/risk/eco/btag/sbv/fwsed/screenbench.htm>
- [26] US EPA (2013), Regional Screening Level (RSL) Soil to Groundwater Supporting Table (TR=1E-6, HQ=1); <http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/>
- [27] Wotruba, H, Hentschel T, Hruschka, F y Priester M (1998), *Manejo Ambiental en la pequeña minería*, Proyecto MEDMIN, Bolivia 1998; <http://www.gama-peru.org/libromedmin/>

## ANEXO 1 - Caracterización de Materiales Contaminados con Mercurio

### 1. Clasificación como residuo normal o residuo peligroso

Un material contaminado con mercurio u otros contaminantes por encima de niveles críticos debe ser manejado de tal forma que evite una contaminación del suelo, aguas y aire. A pesar de que los relaves con contenidos de amalgama a menudo son transportados a centros de acopio y procesamiento para la recuperación de restos de oro por cianuración, el material debe ser almacenado y transportado de acuerdo a los lineamientos establecidos por ley (ver *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*).

La caracterización de un residuo conteniendo mercurio se realiza utilizando la concentración promedio de mercurio en el residuo y la concentración de mercurio en el lixiviado, de acuerdo a los límites establecidos en la Tabla A.1. La clasificación de residuos contaminados con otras sustancias peligrosas como el cianuro o metales pesados está presentada en el Anexo 3 de *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.

**Tabla A.1 Clasificación de un residuo conteniendo mercurio**

Concentración promedio de mercurio en el residuo [mg/kg]	Concentración de mercurio en el lixiviado TCLP [mg/L]	Clasificación del residuo y requerimientos para la disposición final
< 4	No requerido	Residuo no peligroso
4 – <50	< 0.2	Residuo no peligroso
4 – <50	> 0.2	Residuo peligroso que requiere disposición en relleno especial
50 – 200	< 0.8	Residuo peligroso que requiere disposición en relleno especial
50 – 200	> 0.8	Residuo muy peligroso que requiere disposición en relleno especial, luego de una estabilización
>200	No requerido	Residuo muy peligroso que requiere disposición en relleno especial, luego de una estabilización

Si la concentración de mercurio en un residuo está por debajo de 6.6 mg/kg, el material está considerado no contaminado y no se requiere de un ensayo de lixiviación (TCLP)<sup>4</sup> para determinar la biodisponibilidad del mercurio.

Si la concentración promedio del mercurio en el material excede los 50 mg/kg o en el lixiviado los 0.2 mg/L, el residuo debe estar dispuesto en un sitio seguro con control de lixiviados de acuerdo a requerimientos legalmente establecidos (ver Sección 6 del Documento BPGA para la PM y MA).

En el caso de que la concentración promedio del mercurio excede los 200 mg/kg y/o en el lixiviado los 0.8 mg/L, el residuo es tan peligroso que no puede ser depositado en un relleno de seguridad sin estabilización previa (US EPA 2007). En lugar de una estabilización para su disposición final, existe también la opción de una separación parcial de mercurio por medio de una concentración gravimétrica para reducir de esta manera la peligrosidad del material. Algunas plantas de

---

<sup>4</sup> Ensayo de lixiviación por sus siglas en inglés (“Toxicity characteristic leaching procedure”)

cianuración también han instalado trampas de mercurio para recuperar una parte de este metal de los relaves recibidos por empresas de la PM y MA.

*Debido a la alta toxicidad de mercurio y de los compuestos que potencialmente se forman entre el mercurio y cianuro, no se recomienda llevar a cabo una lixiviación con cianuro de un relave caracterizado como residuo peligroso, sin previo tratamiento para reducir la concentración de mercurio a niveles por debajo de unos 50 mg/kg<sup>5</sup>.*

Dependiendo de la geología y composición de los minerales, los relaves también pueden contener otros metales en concentraciones peligrosas para el medio ambiente y/o la salud de los mineros y poblaciones adyacentes. Si existe una sospecha de que los relaves pueden tener otros contaminantes aparte del mercurio, la autoridad ambiental utilizará criterios adaptados de normas internacionales para evaluar el riesgo ecológico y de la salud (NSW EPA 2009).

## **2. Manejo de residuos contaminados con mercurio**

Cada usuario de mercurio en el proceso de la amalgamación que genera residuos contaminados es responsable de su manejo y disposición adecuada, evitando riesgos no aceptables para la salud humana y el medio ambiente. El seguimiento de la gestión de residuos deberá registrarse mensualmente utilizando la Ficha presentada en el Anexo 2 del Documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*. El cual deberá consolidarse en el informe anual de Seguimiento y Control Ambiental presentado ante la autoridad competente.

Existen diferentes opciones para el tratamiento de relaves u otros residuos con concentraciones de mercurio tan altas que deben ser caracterizados como residuos peligrosos o muy peligrosos que requieran ser estabilizados antes de su disposición final.

El almacenamiento temporal de residuos contaminados con mercurio u otros contaminantes debe estar protegido del viento para minimizar la formación de polvo fugitivo y la contaminación gradual de las áreas adyacentes. Asimismo, debe evitarse la infiltración de aguas pluviales para evitar la contaminación de suelos o aguas superficiales o subterráneas con lixiviados tóxicos.

### **2.1 Recuperación de “Mercurio Cansado”**

Mercurio que ya no es apto para su uso en la amalgamación puede ser recuperado por destilación usando una retorta o por electrólisis. La destilación elimina las impurezas en el mercurio y se puede recuperar una gran parte del mercurio cansado para su reuso en la amalgamación.

Una alternativa a la recuperación es la estabilización del mercurio mediante amalgamación antes de su disposición en un relleno sanitario. Una técnica económica y segura es la amalgamación usando polvo de zinc hasta la solidificación. La amalgama es suficientemente estable para evitar la liberación del mercurio al medio ambiente en un relleno sanitario. En ninguna circunstancia debe ser dispuesto sin estabilización previa.

---

<sup>5</sup> Una discusión más detallada de este aspecto se encuentra en los “Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas utilizando Cianuro en la PM y MA”.

## 2.2 Separación de Mercurio en Relaves por Concentración

Una opción para el tratamiento de relaves con amalgama y mercurio residual que muchas veces es aplicada en la PM y MA es la venta de estos a Centros de Acopio y Procesamiento para la recuperación del oro residual por cianuración. Mediante métodos adecuados de concentración gravimétrica se puede recuperar una parte de la amalgama y mercurio libre y de esta manera reducir la concentración de mercurio en el material contaminado. Con la venta del material, el minero transmite la responsabilidad de un manejo adecuado de los relaves a las empresas que los procesan. Sin embargo, cada operador tiene la responsabilidad de asegurar que el Centro de Acopio y Concentración a quien vende su relave potencialmente contaminado con mercurio tenga un permiso de funcionamiento y una licencia ambiental.

En ninguna circunstancia se debería utilizar el método de cianuración para la extracción de oro con relaves conteniendo concentraciones de mercurio elevadas. Los relaves de la cianuración con concentraciones de mercurio por encima de 50 mg/kg deben ser tratados como residuos peligrosos y se debe considerar medidas de prevención y mitigación más estrictas para su disposición final. Además, existe el peligro de la formación de sustancias muy tóxicas entre el mercurio y cianuro en este proceso que causa un gran peligro para la salud de los trabajadores y el medio ambiente<sup>6</sup>.

## 2.3 Estabilización de Residuos

Materiales caracterizados como muy peligroso por su alto contenido de mercurio (ver Tabla A.1) que no pueden ser procesados para reducir el mercurio u otros contaminantes, deben ser estabilizados antes de la disposición en un relleno de seguridad. La estabilización es necesaria para minimizar el impacto ambiental, aún después de la vida útil de una primera barrera que puede ser una geomembrana. El fin de la estabilización es disminuir la movilidad y por lo tanto la biodisponibilidad y consecuentemente la toxicidad del contaminante. Por razones económicas, los tratamientos de estabilización con sulfhidratos, sulfuros o polisulfuros, usando por ejemplo trituradoras o mezcladoras, son los más difundidos internacionalmente (US EPA 2007).

Otros métodos como el lavado de suelos contaminados con ácidos para la disolución y recuperación del mercurio o la termodesorción son alternativas aplicadas con menos frecuencia por sus costos elevados.

## 2.4 Encapsulamiento de residuos contaminados

La opción de un encapsulamiento de residuos bajo tierra es una opción que siempre debería ser considerada debido a la ausencia de rellenos de seguridad y de otros métodos de tratamiento de residuos contaminados en el departamento de Arequipa. Para el encapsulamiento de residuos conteniendo mercurio u otras contaminantes peligrosos se encuentran definidos en el Sección 6.3 del documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.

---

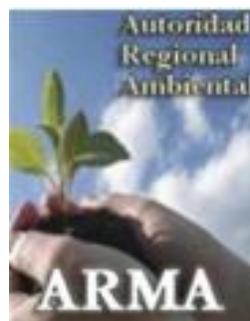
<sup>6</sup> Una discusión más detallada de este aspecto se encuentra en los "Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para Plantas Hidrometalúrgicas utilizando Cianuro en la PM y MA".



# Buenas Prácticas de Gestión Ambiental

## para Plantas Hidrometalúrgicas de la pequeña minería y minería artesanal que utilizan Cianuro

Junio 2014



**Preparado para:**

**Autoridad Regional Ambiental de Arequipa**

**Elaboración del documento:**

**Dr. Oswald Eppers**

Asesor Internacional de la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ)  
Programa ProAmbiente

**Equipo de Revisión y Corrección:**

**Dra. Gladys Márquez  
Chaname**

Jefa del Área de Fiscalización,  
ARMA

**Ing. Percy Ponce Medina**  
Consultor del Ministerio de  
Energía y Minas

**Ing. Jorge Antonio Delgado  
Pacheco**

Especialista en Evaluación  
Ambiental, ARMA

**Ing. Caterine E. Cardich Salazar**

Asesor técnico de la Agencia de la Cooperación  
Alemana (GIZ), Programa ProAmbiente

**Blgo. Rubén Hernán Apaza Toro**

Especialista en Evaluación Ambiental, ARMA

## Contenido

Lista de Abreviaturas.....	v
1. Introducción.....	1
1.1    Objetivos.....	2
1.2    Alcance.....	2
1.3    Marco Legal.....	3
1.3.1 Leyes, reglamentos y decretos importantes.....	3
1.3.2 Licencia Ambiental.....	3
1.3.3 Distribución de las Competencias.....	4
2. Estándares de calidad ambiental de Cianuro.....	5
3. El Proceso de Lixiviación con Cianuro.....	6
4. Impactos del cianuro sobre la salud y el ambiente.....	8
4.1 Toxicidad en Seres Humanos.....	8
4.1.1 Cómo actúa el cianuro?.....	8
4.1.2 ¿Qué debe hacer si se expone al cianuro?.....	9
4.1.3 ¿Cómo se trata el envenenamiento por cianuro?.....	10
4.2 Ecotoxicidad de Cianuro.....	10
4.2.1 Los complejos metal-cianuro.....	11
4.2.2 Productos de descomposición gradual de cianuro.....	11
4.3 Degradación de Cianuro.....	12
4.3.1 Degradación natural mejorada.....	12
4.3.2 Tratamientos Químicos para la Descomposición de Cianuro.....	13
5. Típicos Impactos Ambientales causados por Cianuro.....	14
5.1 Generación de residuos.....	14
5.1.1 Desechos de la concentración y/o de la extracción del mineral con cianuro.....	15
5.1.2 Desechos líquidos.....	15
5.2 Contaminación ambiental por fugas en estanques y tanques de lixiviación.....	16
5.3 Inadecuada manipulación y almacenamiento de cianuro.....	16
5.4 Emisión de polvo durante la pulverización del mineral y por la erosión eólica de relaves.....	16
5.5 Liberación de sustancias tóxicas luego del cierre.....	16
6. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental en el Uso y Manejo de Cianuro.....	17
6.1 Manipulación y Almacenamiento de Cianuro.....	18
6.1.1 Almacenamiento de Cianuro.....	18
6.1.2 Tanques de Almacenamiento y Mezclado de Cianuro.....	20
6.1.3 Manejo de derrames de Cianuros.....	22
6.2 Uso de Geomembranas.....	23

6.3 Criterios mínimos para el diseño de pozas de lixiviación.....	24
6.4 Descargas de efluentes .....	25
7. Bibliografía .....	27
ANEXO 1 – Normas de Calidad de Geomembranas .....	29

## Lista de Abreviaturas

ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales)
ANA	Autoridad Nacional del Agua
ARMA	Autoridad Regional Ambiental de Arequipa
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment (Consejo Ministerial de Medio Ambiente de Canadá)
DESA	Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental
DFG	Deutsche Forschungsgesellschaft (Asociación Alemana de Investigación Científica)
ECA	Estándar de Control Ambiental
EMGA	Estándar mínimo de gestión ambiental
EPP	Equipo de Protección Personal
FDA	Federal Drug Administration (Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos)
FDEP	Florida Department of Environmental Protection (Ministerio de Protección Ambiental de Florida)
GAMA	Proyecto “Gestión Ambiental en la Minería Artesanal”
GECO	Gestión de Conocimientos para la Minería Artesanal
GIZ	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Cooperación Alemana)
GREM	Gerencia Regional de Energía y Minas
HDPE	Polietileno de alta densidad
LLDPE	Polietileno lineal de baja densidad
LMP	Límite Máximo Permisible
MAK	Concentración máxima permisible en el lugar de trabajo (Alemania)
MEDMIN	Proyecto “Manejo Ambiental en la pequeña minería”
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MINAM	Ministerio de Ambiente
MTC	Ministerio de Transporte y Comunicaciones
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración para el Estudio de los Océanos y la Atmósfera de los EEUU)
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMS	Organización Mundial de Salud
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional)
PCM	Presidencia del Consejo de Ministros
PVC	Polivinil cloruro
PM y MA	Pequeña Minería y Minería Artesanal
PM	Material particulado
PP	Polipropileno
SEDAPAR	Servicio de agua potable y alcantarillado
STS	Sólidos Totales Suspendidos
TCLP	Toxicity characteristic leaching procedure (ensayo de lixiviación)
TLV	Threshold Limit Value (Límite máximo admisible)
TWA	Time weighted average (promedio sobre el tiempo)
US EPA	Agencia de Protección Ambiental de los EEUU
UNEP	United Nations Environment Program (Programa ambiental de las Naciones Unidas)

## 1. Introducción

La lixiviación de minerales auríferos con cianuro para la extracción de oro es una técnica tradicionalmente aplicada por la minería mediana y grande por su complejidad. De hecho, la lixiviación con cianuro, no puede considerarse un procedimiento minero típico, sino más bien un proceso hidrometalúrgico, propio de la industria química. En los últimos años, sin embargo, se notó que en el departamento de Arequipa pequeñas empresas también empezaron de utilizar el cianuro para la extracción de oro. Muchas de estas empresas procesan minerales de la minería pequeña y artesanal, minerales que frecuentemente contienen restos de mercurio que no fueron recuperados en el proceso de amalgamación.

En comparación con el mercurio, el cianuro tiene ventajas para la extracción de oro, particularmente si el oro se encuentra disperso en forma de partículas finas y muy finas (microscópicos). Además, en contraste al mercurio, el cianuro no es bioacumulable y se atenúa gradualmente en la naturaleza por biodegradación, evaporación, formación de complejos químicos y otros procesos físicos como la dispersión y dilución.

Actualmente, la única alternativa económicamente viable para reemplazar el mercurio en la pequeña minería de oro es la lixiviación con cianuro. Sin embargo, dado la alta toxicidad aguda de cianuro (con letalidades casi instantáneas), esta alternativa solamente es recomendable si se aplican las medidas necesarias de seguridad, tanto en el marco de salud y seguridad como de la protección de medio ambiente. Y es la responsabilidad del estado Peruano asegurar que la actividad de lixiviación con cianuro no se convierta en un riesgo incalculable para la salud pública y para el medio ambiente.

Durante las últimas décadas, una larga lista de accidentes con consecuencias dramáticas en diferentes partes del mundo ha demostrado la peligrosidad de cianuro. Se conocen más de treinta accidentes graves con cianuro en diversas partes del mundo y la contaminación de las aguas con impacto transfronterizo hasta distancias de más de 2000 km del sitio del accidente (Dzombak et al. 2006). Estos accidentes fueron el motivo del Parlamento Europeo a aprobar en el año 2010 con una aplastante mayoría una resolución en contra del uso de cianuro en la minería de oro. Sin embargo, bajo la presión de la industria minera y el temor de la pérdida de muchos puestos de empleo en la minería de oro en Europa, la Comisión Europea, que es una instancia superior al Parlamento, no aprobó la solicitud<sup>1</sup>. A pesar del fracaso de esta iniciativa a nivel Europeo, el uso de cianuro en minería fue prohibido en países como Alemania, Turquía, la República Checa o Hungría debido a la desfavorable relación beneficio-riesgo de esta actividad.

Los impactos ambientales y a la salud de la industria hidrometalúrgica usando cianuro en gran magnitud dependen del tipo de proceso aplicado, del tamaño de la producción, la ubicación de la planta de extracción además de la experiencia y consciencia de los operadores.

Por lo tanto, es muy importante para la autoridad competente no solamente exigir a la industria grande el cumplimiento con Buenas Prácticas de gestión ambiental, sino también a las empresas pequeñas aplicando este método de lixiviación por cianuro.

---

<sup>1</sup> Directiva 2006/21/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de marzo de 2006 sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas

## 1.1 Objetivos

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de buenas prácticas de prevención y mitigación ambiental para pequeñas empresas usando cianuro en la lixiviación de minerales auríferos. La práctica demostró que el solo monitoreo de parámetros físico-químicos de emisiones no asegura un manejo adecuado y seguro de las instalaciones; además muchas veces son difíciles de controlar y fiscalizar.

### Objetivos específicos

- Ayudar en la definición de una política y una estrategia a mediano plazo para la minimización del impacto ambiental de la PM y MA en el departamento de Arequipa, poniendo énfasis en la responsabilidad que cada minero tiene en el cumplimiento de prácticas ambientales que apoyen la sustentabilidad del sector con una protección máxima del ambiente y de la salud de los trabajadores, sus familias y de la población en general;
- Identificar los impactos ambientales más importantes y a la salud por el uso de cianuro en la PM y MA;
- Definición de Buenas Prácticas de mitigación, prevención y monitoreo ambiental para la PM y MA con enfoque al uso de cianuro;
- Facilitar la supervisión y fiscalización de la PM y MA por las Autoridades Locales (municipios) y la Autoridad Ambiental Regional (ARMA) en cooperación con otros entes fiscalizadores como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) u Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), etc.;

## 1.2 Alcance

Las Buenas Prácticas de gestión ambiental definidas en el presente documento para instalaciones mineras de la PM y MA que trabajan con cianuro serán utilizadas por la ARMA como referencia, tanto para la evaluación ambiental como en la supervisión y fiscalización de actividades relacionados con el beneficio del mineral. Según la Ley N° 27651 (modificada por el Decreto Legislativo N° 1040 y los Decretos Legislativos N° 1100 y N° 1101), para ser considerado una pequeña planta de beneficio, la capacidad no debe exceder las 350 toneladas métricas (Tm) por día (aproximadamente 130 m<sup>3</sup>, considerando una densidad promedio de 2,7 Tm/m<sup>3</sup>).

Las buenas prácticas definidas en el presente documento no son universales, exhaustivas o excluyentes. Cada industria minera de la PM y PM que genere impactos no previstos en el presente documento, deberá definir medidas para prevenir y mitigar estos impactos y aplicarlas a su proyecto. Como punto de partida para la identificación de riesgos y la definición de medidas de prevención y mitigación existe una variedad de guías y manuales del Ministerio de Energía y Minas (MEM) y de otras instituciones nacionales e internacionales, incluyendo:

- Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro*, Subsector Minería, Volumen XIII, Referencia de aprobación: R.D. No. 025-96-EM/DGAA.
- Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Proyecto de Lixiviación en Pilas*, Referencia de aprobación: R.D. No. 002-96-EM/DGAA.
- Ministerio de Energía y Minas (sin año), *Uso y Manejo de Cianuro en la Pequeña Minería, Orientaciones para hacer minería*, Tomo 4.
- Ministerio de Energía y Minas (1994), *Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua*, Referencia de aprobación: R.D. No. 044-94-EM/DGAA.

- Rivas, MS, Martínez C (2003), *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para la Pequeña Minería*, SERNAGEOMIN, Chile, [http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/ambiente/manejo\\_mercurio.pdf](http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/ambiente/manejo_mercurio.pdf)
- Logsdon Marc J., Hagelstein Karen y Mudder Terry (2001), *El Manejo de Cianuro en la Extracción de Oro*, The International Council on Metals and the Environment, ISBN 1-895720-35-4 ([http://www.caem.com.ar/wp-content/uploads/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/wp-content/uploads/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf))
- Código Internacional para el Manejo del Cianuro para la Fabricación, el Transporte y el Uso del Cianuro en la Producción de Oro" - <http://www.cyanidecode.org/bienvenido-al-icmi>

El presente documento no pretende reemplazar estas guías y manuales, más bien está usando la información disponible en estos documentos y complementándola con la propia experiencia profesional e información actualizada de las áreas de fiscalización y evaluación de la ARMA.

### **1.3 Marco Legal**

Una presentación del marco legal para la PM y MA se encuentra en el documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.

#### **1.3.1 Leyes, reglamentos y decretos importantes**

En adelante, se presenta una lista no exhaustiva de leyes, reglamentos y decretos importantes relacionados al uso de cianuro en la minería:

- Ley N° 29023 (2007): Ley que regula la comercialización y uso de cianuro,
- Ley N° 28551 (2005): Ley sobre la obligación de elaborar y presentar Planes de Contingencia.
- Ley No 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- R.M. 596-2002-EM/DM (2002): Reglamento de Consulta y Participación Ciudadana en el procedimiento de aprobación de los Estudios de Impacto Ambiental en el sector de energía y Minas
- 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° 010-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas
- 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° 021-2008-MTC: Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.
- D.S. N° 045-2013-EM: Reglamento sobre la comercialización y uso de cianuro.
- D.L. 1103-2013 Poder Ejecutivo: Decreto Legislativo que establece medidas de control y fiscalización en la distribución, transporte e comercialización de insumos químicos que puedan ser utilizados en la minería informal.

#### **1.3.2 Licencia Ambiental**

Para cada actividad hidrometalúrgica, el titular de la PM y MA deberá presentar un EIA semidetallado, que será revisado y aprobado por la ARMA. Dentro de sus competencias, la GREM debe aprobar además el diseño final de cada instalación utilizando cianuro en la PM y MA. En los

instrumentos de evaluación (particularmente EIAs), se verificará para la gestión ambiental el cumplimiento con los siguientes reglamentos y estándares:

- Las Buenas Prácticas de prevención y mitigación establecidos en el presente documento;
- D.S. N° 016-93-EM sobre Protección del Medio Ambiente en la Actividad Minero – Metalúrgica;
- Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro*, Subsector Minería, Volumen XIII, Referencia de aprobación: R.D. No. 025-96-EM/DGAA;
- Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Proyecto de Lixiviación en Pilas*, Referencia de aprobación: R.D. No. 002-96-EM/DGAA;
- Ministerio de Energía y Minas (sin año), *Uso y Manejo de Cianuro en la Pequeña Minería, Orientaciones para hacer minería*, Tomo 4;
- 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° 046-2001-EM (2001): Reglamento de Seguridad e Higiene Minera;
- D.S. N° 055-2010-EM (2010): Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería;
- D.S. N° 021-2008-MTC (2008): Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos;
- Otros si sea necesario.

### **1.3.3 Distribución de las Competencias**

- Según la ley N° 29023, para la PM y MA, la ARMA es la autoridad competente para dictar las normas específicas para asegurar el uso, manipulación y manejo adecuado del cianuro en las actividades de la PM y MA, así como para imponer sanciones – o sea realizar la fiscalización.
- Todas las acciones relacionados con el “control, fiscalización e investigación de la comercialización del cianuro” (i.e. inclusive el transporte), es la competencia de la Policía Nacional del Perú que en el ámbito de sus competencias brindarán el apoyo y colaborarán con la SUNAT.
- El Ministerio de Energía y Minas (MEM) es la autoridad competente para autorizar el uso de cianuro, de acuerdo a la ley N° 29023 y el D.S. 045-2013 EM. La ARMA en ejercicio de sus competencias ejecutará la supervisión y fiscalización en la PM y MA de acuerdo a los compromisos definidos en los EIAs.
- En la PM y MA, la GREM es la autoridad competente para la supervisión y fiscalización y/o sanción en asuntos relacionados a Seguridad y Salud Ocupacional.

## 2. Estándares de calidad ambiental de Cianuro

En el Perú, hasta la fecha existen Límites Máximos Permisibles (LMP) y Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para cianuro en efluentes, suelos, aguas superficiales y agua potable. Aún no se ha definido criterios para determinar si un residuo contaminado con cianuro debe ser considerado como residuo peligroso para su disposición final (importante particularmente para la evaluación del riesgo de desechos mineros). Según la Política Nacional del Ambiente (Ley N° 28611) (disposiciones transitorias, complementarias y finales): “En tanto no se establezcan en el país, Estándares de Calidad Ambiental, Límites Máximos Permisibles y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental, son de uso referencial los establecidos por instituciones de Derecho Internacional Público, como los de la Organización Mundial de la Salud (OMS)”.

La Tabla 2.1 resume LMP y ECA nacionales e internacionales para facilitar la caracterización de una contaminación ambiental por cianuro, de acuerdo a la Ley N° 28611.

**Tabla 2.1: LMP y ECA nacionales e internacionales para cianuro**

Valor	Organismo o País	Fuente	Comentario
<b>Efluentes</b>			
1 mg/L	Perú	D.S. 010-2010-MINAM (LMP para actividades Minero-Metalúrgicas)	LMP como cianuro total, valor en cualquier momento
<b>Suelos</b>			
0.9 mg/kg	Perú	D.S. N° 002-2008-MINAM (ECA como cianuro libre)	Suelo agrícola
0.9 mg/kg			Suelo Residencial/Parques
8 mg/kg			Suelo Comercial/Industrial/Extractivos
<b>Aguas</b>			
0.1 mg/L c. CN WAD	Peru	DS N° 002-2008-MINAM	ECA para riego de vegetales y bebida de animales
0.022 mg/L c. CN libre			ECA como Hg, aguas superficiales destinadas para recreación, contacto secundario (como deportes acuáticos con botes, etc.)
0.022 mg/L c. CN libre			ECA como Hg, aguas superficiales destinadas para recreación, contacto primario
0.8 mg/L c. CN WAD			
0.022 mg/L c. CN libre			Agua superficial tipo A2 y A3 (aguas que pueden ser potabilizadas previo tratamiento)
0.8 mg/L c. CN WAD			
0.005 mg/L c. CN libre			Agua superficial tipo A1 (aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección)
0.08 mg/L c. CN WAD			
<b>Agua potable</b>			
0.07 mg/L	Perú	Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. DS N° 031-2010-SA	LMP como CN libre
<b>Aire</b>			
10 ppm HCN (11 mg/m3)	Perú	Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro, MEM 1996	Concentración máxima permitida en el lugar de trabajo (el valor umbral de olor para HCN es aprox. 2 a 5 ppm)
<b>Residuos</b>			
Ver Tabla 6.1			

### 3. El Proceso de Lixiviación con Cianuro

En el presente capítulo se describe brevemente el proceso de la lixiviación con cianuro. Una descripción más detallada con los diferentes procesos aplicados y las características químicas y toxicológicas de cianuro se encuentra en la *Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro*, publicado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM 1996).

La extracción de oro (inclusive otros metales preciosos como plata, platino, etc.) por lixiviación con cianuro utiliza soluciones diluidas de cianuro de sodio, potasio o calcio, típicamente 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, 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 de oro y cianuro se adsorbe. En vez 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 puede 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 extraer 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 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 de relave 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, concreto o una impermeabilización utilizando 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. En la *Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro* del MEM<sup>3</sup> se encuentra las alternativas para la descontaminación de soluciones conteniendo cianuro residual.

La cianuración por percolación directa no es común en la pequeña minería por ser un proceso más exigente con respecto a la infraestructura requerida. Depende de la granulometría del material aurífero y de la forma de oro presente, el mineral puede ser triturado y molido para lograr una granulometría por debajo de unos pocos centímetros. Luego se deposita el mineral en una cancha de lixiviación, grandes pilas o montones. Una solución de cianuro se hace pasar lentamente a través de estas pilas (típicamente usando un sistema de regaderas con una velocidad de 0.2 litros por metro cuadrado o 0.05 a 0.08 m<sup>3</sup>/ton, aproximadamente), colocadas en áreas impermeabilizadas, para disolver el oro y recuperar la solución de cianuro. La solución con el oro disuelto pasa por columnas de carbón activado para la separación del oro y la solución estéril se

recoge en una poza de decantación dentro de la cancha de relaves, se recarga con cianuro en una poza o tanque de solución barren y se recicla de regreso al sistema de lixiviación.

## 4. Impactos del cianuro sobre la salud y el ambiente

### 4.1 Toxicidad en Seres Humanos

- El cianuro es una sustancia química, potencialmente letal, que actúa rápidamente en cuestión de minutos y puede existir de varias formas.
- Los seres humanos pueden estar expuestos al cianuro mediante inhalación, ingestión o absorción a través de la piel.
- El cianuro puede ser un gas incoloro como el cianuro de hidrógeno (HCN), o estar en forma de cristales como el cianuro de sodio (NaCN), calcio (Ca(CN)<sub>2</sub>) o de potasio (KCN).
- El cianuro se describe con un olor a “almendras amargas”, pero no siempre emana un olor y no todas las personas pueden detectarlo.

#### 4.1.1 *Cómo actúa el cianuro?*

Dentro del cuerpo, el cianuro impide a las células utilizar el oxígeno del aire, lo cual causa hipoxia de los tejidos y la “cianosis”, caracterizada por la decoloración azulada de la piel. El colapso del sistema respiratorio deja de nutrir a las células con oxígeno, resultando en una respiración rápida y profunda, seguida por convulsiones, pérdida del conocimiento y asfixia (CDC 2006). La forma más tóxica del cianuro es el ácido cianhídrico (HCN) gaseoso. El límite de umbral tope de HCN en el lugar de trabajo fue establecido por La Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) en 4.7 ppm (ACGIH 1998). En concentraciones de 20 a 40 ppm de HCN en el aire, se puede observar cierto malestar respiratorio después de varias horas. La muerte ocurre en pocos minutos con concentraciones de HCN por encima de aproximadamente 250 ppm en el aire.

Para el cianuro de potasio o de sodio, la dosis letal en humanos por ingestión o inhalación varía entre 0,050 y 0,2 gramos de cianuro (correspondiendo a unos 2 a 5 granos de arroz).

En resumen, se puede concluir que:

- El envenenamiento causado por cianuro depende de la cantidad de cianuro al que ha estado expuesta la persona, la forma de exposición y la duración de la misma.
- Respirar el gas de cianuro es lo que causa mayor daño.
- El gas de cianuro es más peligroso en lugares cerrados porque el gas queda atrapado al interior de los mismos.
- El gas de cianuro se evapora y dispersa rápidamente en espacios abiertos haciendo que sea menos dañino al aire libre.
- El gas de cianuro es menos denso que el aire y por esta razón tiende a elevarse.
- El cianuro evita que las células del cuerpo reciban oxígeno. Cuando esto ocurre, las células mueren.
- El cianuro es más dañino al corazón y al cerebro que a otros órganos, porque el corazón y el cerebro utilizan bastante oxígeno.

La exposición por cualquier medio a una cantidad peligrosa de cianuro puede causar lo siguientes efectos en la salud:

- Convulsiones
- Presión sanguínea baja
- Ritmo cardíaco lento

- Pérdida de la conciencia
- Lesión en el pulmón
- Falla respiratoria que lleva a la muerte

Las personas expuestas a pequeñas cantidades de cianuro por la respiración, la absorción por la piel o el consumo de alimentos contaminados con cianuro pueden presentar algunos o todos los síntomas siguientes en cuestión de minutos (CDC 2006):

- Respiración rápida
- Agitación
- Mareo
- Debilidad
- Dolor de cabeza
- Náusea y vómito
- Ritmo cardíaco rápido

Los sobrevivientes del envenenamiento severo por cianuro pueden desarrollar daño en el corazón y daño cerebral.

Una exposición crónica (o sea de pequeñas cantidades durante largos periodos) tiene también efectos considerables sobre la salud, incluyendo pérdida de apetito, migrañas, náuseas o irritación de los ojos. Además, puede atacar las fibras musculares del corazón o afectar al funcionamiento de la tiroides.

El hecho de que la persona presente estos signos y síntomas no significa necesariamente que haya estado expuesta al cianuro, ya que existen otras enfermedades que presentan signos parecidos.

#### **4.1.2 ¿Qué debe hacer si se expone al cianuro?**

Trabajadores en instalaciones de extracción de minerales por cianuración como también el personal de instituciones que realizan visitas de supervisión y fiscalización pueden tener contacto directo con cianuro y por lo tanto deben ser capacitados en el manejo de estas sustancias y de medidas de protección personal (ver D.S. 055-2010 EM). Cualquier persona que visita una planta donde manejan cianuro debe ser preparada para situaciones de contingencia. En lo siguiente se resume algunos aspectos importantes de protección en estas situaciones:

- Si existe la evidencia o sospecha de una liberación de cianuro, hay que salir del área donde el cianuro fue liberado para respirar aire fresco. Se debe desplazarse hacia un área con aire fresco es una buena forma de reducir la posibilidad de muerte por la exposición al gas de cianuro.
  - Si la liberación del cianuro se produjo al aire libre, debe retirarse del área donde éste fue liberado.
  - Si el cianuro fue liberado al interior de una edificación, debe salir de ese lugar.
  - Si no puede salir del área expuesta al cianuro, debe mantenerse lo más cerca posible al piso.
- Debe quitarse cualquier prenda de vestir contaminada con cianuro líquido. En lo posible, debe guardar la ropa en una bolsa plástica, sellarla y luego guardar esa bolsa en una segunda bolsa plástica y sellarla a su vez. Quitarse la ropa y guardarla, siguiendo estas

instrucciones, le ayudará a protegerse contra cualquier sustancia química que pueda estar en sus prendas de vestir.

- La ropa contaminada guardada en bolsas plásticas debe ser descontaminado por personal especializado en descontaminación de cianuro. No manipule por propia cuenta las bolsas de plástico.
- Si siente quemazón o si tiene la visión borrosa, debe enjuagarse los ojos con abundante agua durante unos 10 a 15 minutos.
- Debe lavarse cuidadosamente con agua y jabón para retirar cualquier cantidad de cianuro líquido que tenga en la piel.
- Si sabe que alguien ha ingerido (tragado) cianuro, no lo debe hacer vomitar o darle líquidos para beber.
- Busque atención médica de inmediato.

#### **4.1.3 ¿Cómo se trata el envenenamiento por cianuro?**

El envenenamiento por cianuro se trata con antidotos específicos y atención médica de apoyo en una instalación hospitalaria. El antidoto más común es el nitrito de amilo, que puede administrarse en forma oral o por inyección. Lo más importante es que las víctimas busquen tratamiento médico lo más pronto posible.

#### **4.2 Ecotoxicidad de Cianuro**

El impacto más importante del cianuro en el medio ambiente es la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Debido a su gran solubilidad en agua, la migración de cianuro en medios como el subsuelo y agua subterránea es muy rápida en comparación con muchos otros contaminantes. Entonces no es una sorpresa que la fauna acuática y otros animales como aves, mamíferos o reptiles que tengan contacto con agua contaminada por cianuro son los más afectados. De hecho, los peces son mucho más sensibles al cianuro que los seres humanos (Eisler 1991). Peces jóvenes de agua fría, como las truchas, parecen ser una de las especies acuáticas más sensibles al cianuro (Logsdon et al. 2001). Los insectos acuáticos generalmente son menos sensibles a la sustancia (Eisler 1991).

Entre los animales no acuáticos más afectados están las aves migratorias que pasan a través de regiones áridas y toman el agua de estanques abiertos con agua conteniendo cianuro.

Particularmente para pozos pequeños de lixiviación, la cobertura con redes de plástico es una buena opción para evitar la muerte de aves y otros animales (Eisler 1991). La colocación de redes en depósitos de relaves de gran escala está limitada por el peso de las redes, especialmente cuando se acumula nieve o hielo en climas fríos y debidos a que los animales silvestres quedan atrapados accidentalmente en ellas. Otra opción son por ejemplo pelotas plásticas u otros dispositivos flotantes para cubrir toda la superficie de los pequeños estanques de procesamiento. Este último método también ayuda a reducir la pérdida de cianuro libre debido a la volatilización.

El acceso de otros animales que pueden llegar al agua tóxica en estanques abiertos puede ser controlado usando bermas y vallas, paredes, plataformas de concreto, etc.

##### *Toxicidad para los vegetales*

El impacto de cianuro al crecimiento de plantas generalmente es mínimo. Sin embargo, existen estudios donde se mostró que concentraciones elevadas pueden impedir la respiración de plantas grandes, y llevarlas a la muerte. Además, varias plantas pueden acumular cianuro en diferentes formas químicas durante largos periodos (Eisler 1991).

#### **4.2.1 Los complejos metal-cianuro**

La toxicidad del cianuro depende mucho de la forma química en que se encuentra. Después de su uso en el proceso hidrometalúrgico de extracción, químicamente se diferencia entre los siguientes tres tipos principales: cianuro libre, cianuro débilmente complejado y cianuro fuertemente complejado. Todas estas fracciones de cianuro en conjunto representan en la química analítica el “cianuro total”. El conocimiento de la química y del comportamiento en la naturaleza de estos tres tipos de cianuro es importante para comprender su ecotoxicidad y toxicidad humana.

El cianuro es un compuesto muy reactivo y no solamente reacciona con metales preciosos como el oro y la plata formando complejos metal-cianuro, sino también con metales como el hierro, el zinc, el cobre, el níquel, el arsénico e inclusive con el mercurio. Debido a que la concentración de hierro en aguas mineras generalmente es alta, el complejo cianoferrato (un complejo de cianuro con hierro) está presente masivamente en las aguas de desecho de la minería de oro.

Es la potencial reacción entre mercurio y el cianuro la que genera un riesgo particular para el ambiente como para la salud humana, debido a que muchos relaves procesados contienen restos de mercurio que no fue recuperado en la amalgamación. El hecho de que el compuesto entre mercurio y cianuro es soluble en agua, aumenta significativamente la migración, biodiversidad y toxicidad del mercurio en comparación con el mercurio elemental (Miller et al. 1996, Coles y Cochrane 2006, MSHA 1997). Pero no solamente el mercurio se moviliza con cianuro, también otros metales tóxicos inmovilizados en el mineral se solubilizan y pueden contaminar acuíferos.

La toxicidad de complejos cianuro-metal depende de diferentes factores, pero principalmente de la estabilidad del complejo. Mientras complejos de cianuro con oro, mercurio, hierro y cobalto son muy estables y por lo tanto tienen una baja toxicidad, otros compuestos formados con metales como sodio, potasio, calcio, magnesio e inclusive mercurio son muy solubles y por lo tanto muy tóxicos. La formación de complejos estables entre cianuro y hierro es una suerte para la naturaleza y por lo tanto apoyan a la atenuación natural de la contaminación por cianuro. A pesar de que también estos complejos cianuro-metal estables pueden liberar de nuevo el cianuro si el medio se vuelve ácido o si son expuestos directamente a la luz solar, la concentración de cianuro libre se mantiene relativamente baja debido a que la degradación de los complejos es gradual y no de golpe.

#### **4.2.2 Productos de descomposición gradual de cianuro**

Por sus bajos costos, la degradación biológica del cianuro para la detoxificación de desechos y/o efluentes contaminados es la forma de mayor interés, tanto en empresas grandes como en pequeñas. Muchos estudios de investigación han sido realizados, demostrando que la concentración de este compuesto disminuye con el tiempo, debido a fenómenos de volatilización, precipitación, complejación, adsorción y biodegradación mediante microorganismos nativos (ver por ejemplo bibliografía en Villavicencio Velasco 2011). Sin embargo, la degradación de cianuro en efluentes y en relaves es un proceso complejo y depende de varios parámetros. El cianuro no se degrada directamente por completo, sino existe una gran variedad de productos intermediarios de la degradación del cianuro con distintos grados de toxicidad humana y ecológica. Los cuatro productos más comunes y conocidos son el cianato, el tiocianato, sulfuro, nitrato y el amonio.

Los cianatos son el directo resultado de la oxidación del cianuro libre y son sustancias bastante estables que pueden permanecer mucho tiempo en el agua y suelo en sitios mineros. A pesar de que su toxicidad oral aguda es aproximadamente un factor de 50 a 200 inferior en comparación con el cianuro libre (Birch y Schütz 1946), existen daños crónicos, tanto de la fauna acuática

(Dauchy et al. 1980), como también a la salud humana (incluyendo efectos de somnolencia, convulsiones, disnea, nerviosismo y excitación o híper reactividad). No existen en Perú, EEUU, Canadá o Europa ECA para cianato o tiocianato en agua o suelo.

El cianuro forma tiocianatos típicamente en geologías con presencia de minerales sulfurosos. La toxicidad aguda de tiocianato es comparable con la toxicidad del cianato, ya que es aproximadamente 50 veces menos tóxico que el cianuro libre (PAN, US EPA). Mientras la toxicidad aguda del tiocianato al ecosistema acuático es reportada como baja, existe el peligro de un daño crónico para la vida acuática. En este aspecto, de importancia para los ecosistemas típicos acuáticos de Arequipa, es la observación de un incremento de la mortalidad en crustáceos como el camarón y también a peces sensibles como la trucha en presencia de tiocianato (Dauchy et al. 1980). Existe evidencia de una biodegradación de tiocianato bastante rápida en amonio y sulfato, y es potencialmente la formación de amonio durante la metabolización que es la causa de la ecotoxicidad de esta sustancia.

La descomposición de cianuros genera nitratos y amoniaco como resultado de la hidrólisis del cianuro. Particularmente el amoniaco es altamente tóxico en el ecosistema acuático, con una toxicidad para peces aún por encima del cianuro libre.

En la práctica del monitoreo ambiental, los únicos productos tóxicos de la descomposición natural del cianuro que se monitorea con frecuencia es el amonio y el nitrato. Debido a que el cianato y tiocianato no están considerados en la legislación ambiental (o sea de los LMP de efluentes o ECA de cuerpos de agua), se puede concluir que el cumplimiento con la legislación actual no asegura que un efluente o agua superficial no tenga un impacto negativo al ecosistema o para la salud humana.

En resumen, los procesos de degradación natural generalmente toman varios meses, o inclusive varios años y muchos productos de degradación biológica también son tóxicos. En la mayoría de los casos, una biodegradación solamente es capaz de reducir la carga de sustancias tóxicas (como el cianuro, cianato, tiocianato y metales pesados), pero no permite que los niveles de cianuro ni de metales pesados se reduzcan de manera aceptable a niveles por debajo de los LMP de efluentes. Además, el almacenamiento durante largo tiempo, de “soluciones cansadas”, aumenta considerablemente el riesgo de pérdidas por fugas e impactos negativos para el medio ambiente por la intoxicación de animales silvestres y de ganado.

### **4.3 Degradación de Cianuro**

#### **4.3.1 Degradación natural mejorada**

Existe una variedad de opciones para mejorar el proceso de la degradación de cianuro para cumplir con los LMP legalmente establecidos en los efluentes. Una medida simple y eficaz es el aprovechamiento del dióxido de carbono de la atmósfera para la acidificación del agua. Este gas, más conocido como el principal culpable del efecto de calentamiento global, reacciona como un ácido débil y baja el pH de la solución con cianuro. El resultado es la formación gradual de ácido cianhídrico que evapora a la atmósfera y de esta manera reduce la carga de cianuro en el agua. Si bien el resultado de esta mitigación no es la destrucción del cianuro sino la dispersión lenta de este compuesto a la atmósfera, la concentración generalmente encontrada en el aire no sobrepasa el nivel crítico para los trabajadores de 10 ppm como HCN (ver Tabla 2.1). Esta situación es diferente si se utilizan otros ácidos más fuertes para la reducción del pH que puede resultar en una emisión instantánea de ácido cianhídrico con el peligro de una intoxicación aguda de los trabajadores en el área.

Para acelerar la descomposición y evaporación de cianuro, se recomienda diseñar los pozos de almacenamiento lo más ancho posible para optimizar el contacto con el aire y con ello la velocidad de la acidificación y evaporación de cianuro. También se recomienda la instalación de agitadores mecánicos y/o de una aireación con una turbina, proporcionando oxígeno a las aguas residuales para ayudar a evaporizar y descomponer el cianuro en forma natural.

En zonas áridas con poca precipitación y altos grados de evaporación, también se puede usar pozas de evaporación donde se mantiene el agua hasta su evaporación completa.

En cuanto a la disminución de cianuro en las pilas de lixiviación, se pueden enjuagar repetitivamente con agua para lograr niveles aceptables de acidez. Sin embargo, grandes volúmenes de agua son necesarios para proceder con este tratamiento, lo que incrementa el consumo de agua (Sacher 2010).

#### **4.3.2 Tratamientos Químicos para la Descomposición de Cianuro**

Como se indicó en el párrafo anterior, la degradación natural muchas veces no es suficiente para reducir los niveles de cianuro y otras sustancias tóxicas a niveles por debajo de los LMP y/o por debajo de valores que ya no son dañinos para el ecosistema o la salud humana.

Existe una variedad de técnicas desarrolladas para la descomposición de cianuros y una discusión detallada excede el alcance del presente documento (ver por ejemplo la *Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro*, publicado por el Subsector Minería del Ministerio de Energía y Minas (MEM 1996).

La gran mayoría de los métodos de descomposición de cianuro consiste en la oxidación química del cianuro y/o la acidificación de las soluciones conteniendo cianuro.

## 5. Típicos Impactos Ambientales causados por Cianuro

Una planta hidrometalúrgica, independiente de su tamaño, tiene un gran potencial de contaminar el medio ambiente por la emisión no controlada de cianuro, metales pesados, arsénico, sulfuros y otros contaminantes resultantes de la degradación gradual del cianuro.

En síntesis, el cianuro descargado al medio ambiente proviene de:

- Purgas periódicas para mantener la calidad de la solución de lixiviación
- Filtraciones desde las canchas de relaves y estanques de almacenamiento de soluciones con cianuro (pozas de solución gastada, pozas de solución rica, etc.)
- Purgas en el rebose de la cancha de relaves para controlar el balance total del agua del sistema
- Rebalse y colapso de pozos con soluciones de cianuro.

Entre los impactos ambientales más importantes causados por el uso de la cianuración en la pequeña minería se encuentran los siguientes:

- Contaminación de suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales por el almacenamiento inadecuado de las colas de lixiviación, contaminadas con cianuro, sulfuros y metales pesados con arsénico.
- Contaminación de suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales por la descarga de efluentes contaminados con cianuro y metales pesados sin control (por ejemplo de soluciones cansadas de cianuro).
- Contaminación ambiental por el inadecuado transporte, almacenamiento, manejo y disposición final de material impactado con cianuro y otras sustancias peligrosas.
- Intoxicaciones de la fauna silvestre y de ganado por falta de control de acceso a estanques con solución de cianuro.
- Contaminación del aire por la emisión de ácido cianhídrico y de polvo.
- Liberación de sustancias tóxicas luego del cierre.

Otros impactos ambientales típicos de la PM y MA, incluyendo la devastación del paisaje, contaminación de aguas superficiales por efluentes domésticos y mal manejo de residuos sólidos son discutidos en forma genérica en el documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.

Debido al potencial impacto de una planta hidrometalúrgica, la selección adecuada del lugar para la instalación de las pozas de extracción, embalse de relaves, etc. no puede estar garantizada sin un estudio que considere los factores geológicos, geotécnicos, hidrológicos y geoquímicos por medio de un especialista en el campo. El diseño final debe estar presentado a la ARMA como parte de un instrumento ambiental (como es el EIA semi-detallado en el caso de plantas nuevas). La ARMA revisará el diseño y las medidas de prevención y mitigación, en coordinación con la GREM.

### 5.1 Generación de residuos

En forma general, los desechos de la minería de oro se pueden clasificar en las siguientes categorías:

1. Los desmontes (o estériles)
2. Desechos de la concentración y/o de la extracción del mineral con cianuro
3. Desechos líquidos

Cada tipo de desecho debe ser manejado de una manera adecuada ya que tiene el potencial de tener un impacto irreversible sobre el medio ambiente.

### **5.1.1 Desechos de la concentración y/o de la extracción del mineral con cianuro**

Existen diferentes tipos de desechos de la concentración y/o de la extracción del mineral con cianuro, dependiendo del proceso aplicado. Los desechos resultantes de una concentración de mineral por gravimetría o flotación no necesariamente son tóxicos, pero muchas veces pueden causar problemas de erosión hídrica y eólica. Sin embargo, en algunos procesos de la hidrometalurgia se aplican aditivos químicos para facilitar la separación (incluyendo detergentes, ácidos y hasta solventes orgánicos) que generan efluentes de proceso contaminantes que deben ser tratados antes de la descarga.

Independiente del proceso de lixiviación, el mineral lixiviado queda con una parte de la solución alcalina de cianuro, convirtiéndolo en un residuo peligroso si las concentraciones exceden niveles críticos. Dependiendo de la granulometría del mineral lixiviado, el desecho puede ser sólido o en forma de una pulpa o lodo. Para evitar una contaminación ambiental del suelo y de cuerpos de agua, se debe evitar tanto una infiltración de lixiviado al subsuelo como también cualquier contacto con cuerpos de aguas superficiales.

De facto, la estadística de accidentes ambientales de gravedad demuestra que el peligro más grande en el proceso de la lixiviación con cianuro es la rotura de un dique de colas o relaves con la liberación incontrolada de grandes cantidades de lodos contaminados con cianuro, metales pesados, amonio y sulfuros. Por lo tanto, es de suma importancia que cada instalación que acumula relaves contaminados debe cumplir con las exigencias de construcción de diques establecidas en la *Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros* y la *Guía Ambiental para el Proyecto de Lixiviación en Pilas* del MEM.

Otro problema ambiental con respecto a la disposición de relaves con concentraciones de cianuro es su frecuentemente granulometría fina, que hace que el material sea susceptible a la erosión eólica e hídrica. El resultado es una distribución de materiales contaminados por medio del aire y del agua.

### **5.1.2 Desechos líquidos**

En un proceso de lixiviación controlado, no se permite una fuga de la solución de lixiviación y se recircula la solución para su reúso. Sin embargo, en las aguas de lixiviación se forman diferentes complejos de cianuro y se concentran otros componentes no deseados, incluyendo tiocianatos, cianatos, metales pesados, metaloides, amonio o sulfuros. Estas sustancias inhiben una buena extracción del mineral y las aguas se convierten en un desecho que debe ser tratado antes de su descarga o recirculación al proceso. El hecho de que en muchos sitios estas “soluciones cansadas” no son almacenadas en diques sino son descargadas sin tratamiento a cuerpos de agua o al suelo para su infiltración, resulta una fuente importante de contaminación ambiental de esta industria. Las concentraciones de cianuro típicas de las soluciones cansadas oscilan entre los 40 miligramos y los 2000 miligramos por litro de cianuro (Logsdon et al. 1999). Considerando el LMP de 1 mg/L de cianuro total en efluentes, se requiere de un tratamiento intensivo de los desechos líquidos antes de descargarlos al ambiente. En la mayoría de los casos, un tratamiento solamente biológico no es suficiente para lograr las metas de calidad de los efluentes y se debe aplicar un tratamiento físico-químico adicionalmente para eliminar el cianuro y reducir la concentración de los metales pesados y metaloides.

## **5.2 Contaminación ambiental por fugas en estanques y tanques de lixiviación**

Un impacto importante también es la contaminación ambiental por fugas en tanques de lixiviación y más importante aún, fugas en la impermeabilización de las instalaciones de lixiviación.

En muchos sitios aplicando la lixiviación en tanques, no existe una base impermeable ni una contención secundaria que pueda retirar la solución en caso de una fuga o derrame accidental, evitando que la solución se infiltre en el suelo y contamine acuíferos.

Por otro lado, en muchas pozas de lixiviación de instalaciones pequeñas o artesanales, se utiliza para la impermeabilización láminas muy delgadas y frágiles de plástico de baja calidad. El resultado es una frecuente infiltración de soluciones de cianuro en el subsuelo con una contaminación de aguas subterráneas.

## **5.3 Inadecuada manipulación y almacenamiento de cianuro**

La inadecuada manipulación y almacenamiento de cianuro (y otras sustancias peligrosas usadas en la PM y MA) puede causar derrames de este material tóxico causando contaminación del medio ambiente e intoxicación de personas que trabajan en el área. Por esta razón, es importante establecer normas mínimas para prevenir los accidentes con cianuro y para la mitigación de los efectos en caso de una emergencia.

## **5.4 Emisión de polvo durante la pulverización del mineral y por la erosión eólica de relaves**

Los principales objetivos de la preparación del mineral para la lixiviación radican en producir un mineral suficientemente fino que permita el contacto de la solución con los metales y lograr un mineral suficientemente permeable y estable que permita una adecuada velocidad de percolación a través de la pila<sup>2</sup>. Este proceso incluye el uso de chancadoras y molinos, tanto durante el proceso de preparación del mineral como durante el manejo y almacenamiento del mineral pulverizado.

Una fuente importante de la dispersión de polvo fino es la erosión eólica de los relaves, en particular si no se toma precauciones para protegerlos del viento, como también durante el tráfico en caminos no empedrados o asfaltados.

## **5.5 Liberación de sustancias tóxicas luego del cierre**

Aún después de la conclusión de las operaciones permanecen contaminantes en los relaves y otros desechos contaminados, incluyendo cianuro no degradado, sulfuros y metales pesados como también productos de descomposición de cianuro con un potencial de dañar al ecosistema o la salud humana. Una amenaza particular es la formación de un drenaje ácido con la movilización de metales pesados, metaloides como el arsénico y sulfuro que causan la contaminación de suelos y cuerpos de agua a gran escala y por un largo tiempo.

---

<sup>2</sup> Ministerio de Energía y Minas (1996), *Guía Ambiental para el Proyecto de Lixiviación en Pilas*, Referencia de aprobación: R.D. No. 002-96-EM/DGAA.

## 6. Buenas Prácticas de Gestión Ambiental en el Uso y Manejo de Cianuro

Considerando la alta peligrosidad de las actividades hidrometalúrgicas utilizando cianuro, cada instalación debe contar con los siguientes EMGA:

1. Cada instalación hidrometalúrgica debe contar con un permiso de funcionamiento, emitido por la GREM.
2. Cada planta hidrometalúrgica trabajando con cianuro debe tener un Sistema de Gestión Ambiental y de Salud Ocupacional implementada, incluyendo como mínimo:
  - i. Procedimientos para la protección de los trabajadores (procedimientos para el manejo adecuado de cianuro y otras sustancias peligrosas, etc.).
  - ii. Inspecciones y procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo en el área de producción.
  - iii. Un monitoreo continuo de las medidas de prevención, mitigación y parámetros ambientales.
  - iv. Mejoramiento continuo con gestión de acciones correctivas. La implementación de una gestión ambiental y de seguridad y salud ocupacional es un proceso continuo y no termina con la obtención de la licencia de funcionamiento. En el instrumento ambiental (EIASd, IGAC, etc.) se debe definir la base para el buen funcionamiento y el mejoramiento continuo de la gestión.
  - v. Personal capacitado en la aplicación de los procedimientos de prevención, mitigación y emergencia (el operador debe mantener registros de esta capacitación).
  - vi. Un Plan de Contingencias con los siguientes requerimientos mínimos (Pymex 2013, UNEP 2009):
    - Identificación de los riesgos principales y eventos que pueden generar emergencias en las distintas áreas de producción y entorno.
    - Designación de personal de planta capacitado con una clara definición de responsabilidades en situaciones de emergencia.
    - Comprometer el equipamiento y recursos para la respuesta ante emergencias.
    - Definición de medidas de primeros auxilios y capacitación de personal en primeros auxilios.
    - Definición de procedimientos de comunicación de peligro en situaciones de emergencia en las diferentes áreas del sitio.
    - Definición de actividades de mitigación y remediación en caso de una contaminación de suelos o aguas.
    - Planificación de capacitaciones y simulacros.
    - Procedimientos para la revisión y actualización del plan.

Para la implementación del Plan de Contingencias, debe existir una provisión adecuada de materiales para combatir derrames, incendios y emergencias de primeros auxilios.

Para el diseño del sistema de gestión ambiental existen diversos programas y pautas que pueden ser usados como modelos. La gran mayoría de las normas se basan en la norma ISO 14001 de la Organización Internacional para la Normalización, el Sistema de Ecogestión y Auditoría de la Comunidad Europea (EMAS) y las Directrices para Empresas Multinacionales de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo

(OCED). Se recomienda en particular el documento "Manual de gestión ambiental para pequeñas y medianas empresas" de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI 2012), que presenta una estructura para la gestión ambiental adaptada a las necesidades de pequeñas empresas.

3. Procedimientos de operación de la planta y respuesta a emergencias deben permanecer accesibles para el personal en el área de trabajo.
4. Para la respuesta a accidentes ocupacionales y ambientales, debe contener un Plan de Contingencias.

Para la prevención de intoxicaciones y en casos de contingencias, se debe aplicar los lineamientos establecidos por el Ministerio de Energía y Minas para Seguridad y Salud Ocupacional en la minería en el D.S. N° 055-2010-EM.

En adelante se presenta Buenas Prácticas específicos para la mitigación y prevención ambiental que cada empresa utilizando cianuro debe implementarse como parte de su gestión ambiental.

### **6.1 Manipulación y Almacenamiento de Cianuro**

La manipulación y almacenamiento adecuado de cianuro es punto clave para proteger a los trabajadores y al medio ambiente. Cualquier operador que trabaja con esta sustancia tóxica debe proceder teniendo en cuenta cuatro aspectos claves:

1. Las instalaciones para la descarga, almacenamiento y mezclado de cianuro deben ser diseñadas y construidas de acuerdo a prácticas de ingeniería sólida y aceptadas, además de las especificaciones técnicas del fabricante.
2. Las zonas de descarga y almacenamiento de cianuro sólido y líquido deben tener una distancia mínima de 100 metros de asentamientos humanos, áreas protegidas, bofedales o cuerpos de aguas superficiales. Debe tener una distancia mínima de 200 metros de pozos de agua potable. No se permite la construcción de un almacén en un área con peligro de ser inundado en la época de lluvias.
3. Los operadores deben realizar inspecciones rutinarias y un mantenimiento preventivo de sus instalaciones de descarga, almacenamiento y mezclado. Se debe mantener registros de las inspecciones internas y del mantenimiento preventivo con la descripción de las medidas correctivas realizadas.

#### **6.1.1 Almacenamiento de Cianuro**

El diseño y construcción del lugar de almacenamiento y manejo de cianuro sólido y de soluciones de cianuro debe cumplir con las especificaciones básicas definidas en protocolos y guías nacionales o internacionales, incluyendo el D.S. 045-2013 EM, la *Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro* y la guía *Uso y Manejo de Cianuro en la pequeña minería, Orientaciones para hacer minería*, Tomo 4 del Ministerio de Energía y Minas.

A continuación se presentan Buenas Prácticas para el almacenamiento de cianuro:

1. El almacenamiento debe tener un control de acceso protegido con cerco y puerta asegurada con candado, tener una debida señalización (letreros, carteles, etc.), indicando la peligrosidad del lugar y las medidas de precaución que deben seguirse;
2. El almacén debe estar ubicado en un área seca, ventilada y segura de acuerdo al instrumento de gestión ambiental aprobado.

3. Los contenedores o recipientes de cianuro y de otras sustancias peligrosas deben ser debidamente identificados, respecto al etiquetado u otro medio normalizado con el nombre comercial, científico y/o fórmula.
4. Se debe contar con "Hojas de Seguridad" de cianuro y otras sustancias almacenadas, incluyendo información sobre la peligrosidad, adecuada manipulación, medidas a tomar en contingencias y su adecuada disposición final.
5. Los recipientes que contienen cianuro no deben ser almacenados o transportados junto con alimentos, bebidas, tabaco o cualquier otro material utilizado para consumo humano. Cualquier contacto con ácidos u oxidantes (como agua oxigenada, hipoclorito de sodio, etc.), debe ser evitado al máximo, debido a que en cualquier momento pueden generar ácido cianhídrico el cual es gaseoso y altamente venenoso.
6. El cianuro debe ser físicamente separado de sustancias inflamables como combustibles y lubricantes. La separación debe ser realizada con bermas, muros de contención o paredes entre los contenedores que son capaces de evitar el daño de los envases en caso de un derrame o incendio.
7. No se permite el uso de los tanques de almacenamiento y/o mezclado de cianuro para agua, combustible u otro material distinto.
8. Sustancias como el cianuro sólido de sodio, calcio o potasio deben ser almacenados en contenedores herméticamente cerrados. Los materiales de los contenedores deben ser de metal u otro material recomendado por el fabricante.
9. Los cilindros metálicos deben ser protegidos contra la corrosión, colocándose por ejemplo encima de paletas de madera o parihuelas.
10. Está prohibido apilar más de 3 cilindros o contenedores, uno sobre otro, en forma vertical.
11. El lugar de almacenamiento y manejo de cianuro sólido y de soluciones de cianuro debe cumplir además con los siguientes requisitos específicos:
  - i. El área de almacenamiento debe tener un piso de concreto u otro material resistente a álcalis, diseñado de tal manera que si se produce un derrame accidental del producto, éste puede ser contenido y eliminado con seguridad.
  - ii. Los ambientes en las que se almacena y procesa el cianuro deben contar con una buena ventilación para prevenir la acumulación de gas de ácido cianhídrico.
  - iii. En almacenes con significantes cantidades de cianuro, solamente debe entrar personal con equipo adecuado de protección personal, incluyendo una máscara de gas conteniendo un filtro para cianuro. El personal debe ser debidamente entrenado en la manipulación de cianuro y siempre acompañado de otra persona, de manera que uno pueda responder de inmediato en caso de una intoxicación.
  - iv. Debe contar con una ducha para lavar los ojos en caso de una emergencia.
  - v. En el caso del almacenamiento de cianuro junto con materiales inflamables, el almacenamiento debe contar con un extintor tipo ABC con certificado vigente de inspección u otro equipo equivalente para la lucha contra incendios.
  - vi. Debe tener un techo para proteger el contenido del sol y de las lluvias.
12. En lugares donde se almacena durante más de 24 horas una cantidad mayor a 50 kg de cianuro sólido o 100 litros de solución de cianuro, se debe considerar además las siguientes medidas de seguridad:
  - i. El almacén debe contar con un sistema activo de ventilación con extracción de aire. También deben tener un sistema de sensores y alarmas con una identificación de presencia de gas de cianuro de hidrógeno.
  - ii. Se debe facilitar fácil acceso a equipos de primeros auxilios y de respuesta ante emergencias, específicamente para el cianuro. Como mínimo debe contar con una

ducha de emergencia e instalaciones para el lavado de ojos dentro o muy próximo al almacén.

- iii. La planta hidrometalúrgica en donde se encuentra el almacén, debe contar con una vigilancia durante 24 horas y estar iluminado adecuadamente en caso de realizar actividades en horarios nocturnos.

### **Relaveras**

13. En forma general, debe cumplirse con los requisitos establecidos en la Sección 6 del documento *Buenas Prácticas de Gestión Ambiental para la pequeña minería y minería artesanal*.
14. Cada diseño de relavera para residuos conteniendo cianuro debe ser aprobado por la GREM, la cual puede exigir un estudio geotécnico previa aprobación del diseño final. La construcción de la relavera debe estar de acuerdo con el diseño final desarrollado en este estudio.
15. Dependiendo de la ubicación y tamaño de la relavera, la GREM definirá las exigencias del estudio Geotécnico requerido. Generalmente, requerirá como mínimo los siguientes elementos:
  - i. Descripción de la geología e hidrogeología del sitio
  - ii. Análisis del riesgo sísmico y de deslizamientos/derrumbes
  - iii. Análisis del Balance de Materiales
  - iv. Análisis de la Infiltración en la Presa
  - v. Análisis de la estabilidad estática y dinámica del talud
  - vi. Análisis del Balance Hídrico
  - vii. Diseño de factibilidad de la presa de relaves

### **6.1.2 Tanques de Almacenamiento y Mezclado de Cianuro**

#### Descarga, preparación o traslado de soluciones de cianuro

1. El área para la descarga, preparación o el traslado de soluciones de cianuro, debe estar emplazada sobre una superficie de concreto para impedir que las filtraciones salgan al medio ambiente.
2. La planta debe tener procedimientos para la recuperación de solución escapada y la remediación de suelos contaminados.
3. Los procedimientos de preparación de soluciones de cianuro deben incluir precauciones para minimizar la generación y/o escape de gas de ácido cianhídrico, la pérdida de cianuro sólido y la limpieza de recipientes vacíos.
4. Debe existir una señalización usando etiquetas, señales u otras marcas claramente legibles, indicando la dirección del flujo en las tuberías de traslado de solución de cianuro.

#### Tanques de Almacenamiento y Mezclado de Cianuro

5. Cada instalación debe tener medidas de ingeniería y procedimientos que eviten la contaminación de suelos o aguas por soluciones conteniendo cianuro u otros contaminantes.
6. Todos los tanques de almacenamiento y mezclado, sistemas de contención secundario, instalaciones de manipulación de soluciones conteniendo cianuro, etc. deben ser construidos o revestidos de materiales resistentes a álcalis y con la calidad estructural necesaria para las operaciones de lixiviación, asegurando que los recipientes no se rompan ni perforen.

7. No se permite tanques de lixiviación con volúmenes por encima de 1000 litros construidos por materiales como plástico u otro material no resistente. De acuerdo a las especificaciones establecidas en la Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro, MEM (capítulo 3.6), los tanques de almacenamiento para soluciones de cianuro con volúmenes más grandes deberían ser construidos de planchas de acero al carbón de 8 mm. En forma general, en los lugares en los que la velocidad de las soluciones no exceda el rango 1.2 a 1.5 m/s, los equipos y tanques pueden ser construidos de este material. Si la velocidad es mayor (por ejemplo durante la agitación de las soluciones), el acero al carbono se encuentra expuesta a un efecto de erosión-corrosión, por lo que se recomienda el uso de acero inoxidable 304. La GREM como autoridad competente regional debe aprobar el diseño final de cada instalación.
8. Deben existir procedimientos asegurando que la solución diluida de cianuro siempre tenga un pH por encima de 10.
9. Los tanques de almacenamiento y mezclado de cianuro deben estar ubicados encima de una superficie de concreto para prevenir la filtración al subsuelo.
10. Debe existir una contención secundaria construida por concreto, bitumen o una geomembrana con un volumen mínimo de 110% del contenedor de mayor capacidad del sistema. Cualquier geomembrana usada debe cumplir con las especificaciones mínimas establecidas en la Sección 6.2.
11. Cada instalación debe tener una señalización clara y visible, indicando el contenido de los tanques.
12. La Gestión Ambiental debe considerar inspecciones frecuentes de los tanques y otras instalaciones críticas para:
  - i. Garantizar su integridad estructural e identificar señales de corrosión y fugas (incluyendo tuberías, bombas y válvulas).
  - ii. Verificar los sistemas de contención secundaria con respecto a su integridad, presencia de fluidos, capacidad disponible, funcionamiento de sistemas de drenaje, etc.
  - iii. Verificar la integridad de pozas y diques e identificar fisuras, fugas y señales de deterioro.

El operador de la instalación debe mantener un registro de las inspecciones en el sitio de acuerdo al cronograma establecido en el instrumento ambiental (por lo menos un control trimestral), incluyendo la documentación de las inspecciones técnicas y la naturaleza de problemas y de medidas correctivas tomadas.

13. Los tanques que ya no serán utilizados para almacenar soluciones de cianuro deben ser limpiados cuidadosamente antes de su desmantelamiento o re-uso para otra actividad. Generalmente, lavándolos unas tres veces con una solución álcali con pH por encima de 10 suele ser suficiente. El agua de limpieza puede ser reutilizada para la preparación de solución de cianuro o alternativamente debe ser tratado con un oxidante o equivalente para la destrucción del cianuro.
14. Queda prohibido el re-úso de bolsas de plástico u otro material contaminado con cianuro. Antes de la disposición final de estos materiales debe realizarse una descontaminación adecuada. No se permite la descarga de agua contaminada - utilizada para la descontaminación - sin previo tratamiento para la destrucción del cianuro o su re-úso en el proceso.

### 6.1.3 Manejo de derrames de Cianuros

Se debe informar a la ARMA sobre todos los derrames de cianuro que sobrepasan 1 kg de cianuro sólido derramado y que han causado una contaminación de suelos o aguas. No es necesario informar sobre los derrames que ocurren dentro de la planta que son controlados por procesos de emergencia y son vueltos a usar durante el proceso. ARMA informará a la GREM como autoridad competente en casos de derrames por deficiencias infraestructurales.

1. Cada instalación trabajando con cianuro debe tener un procedimiento para la respuesta ante derrames de cianuro como parte de su Plan de Contingencias.
2. En caso que el cianuro sólido haya sido derramado durante su manipuleo, debe ser retirado inmediatamente con ayuda de una lampa, escoba y recogedor para devolverlo al contenedor. Si se ha ensuciado y no puede ser reutilizado, debe ser destruido mediante un proceso químico utilizando la oxidación, hidrólisis o precipitación como está descrito en detalle en la Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro del MEM. El área debe ser limpiada con solución alcalina y el agua capturada por su respectivo tratamiento o re-uso en el proceso.
3. En lo posible, los suelos y aguas contaminados con cianuro deberían ser re-utilizados en el mismo proceso de lixiviación. En casos donde esto no es posible, se debe contratar una empresa prestadora de servicios (EPS), autorizada para la disposición final de los residuos.
4. Para la caracterización de residuos conteniendo cianuro y las alternativas para su disposición final se debe aplicar los criterios como los establecidos en la Tabla 6.1. La caracterización se basa tanto en la concentración de cianuro libre y total como en la concentración de cianuro en el lixiviado, indicando la fracción que es biodisponible y por tanto puede dañar al ecosistema.

**Tabla 6.1 Clasificación de un residuo conteniendo cianuro**

Análisis	Conc. promedia en el residuo [mg/kg]	Conc. de cianuro en el lixiviado TCLP [mg/L]	Clasificación del residuo y requerimientos para la disposición final
<b>CN libre</b>	< 70 <sup>3</sup>	nr	RNP
<b>CN total</b>	< 320	nr	
<b>CN libre</b>	70 - <300	< 3.5	RP
<b>CN total</b>	320 - <5 900	< 16	
<b>CN libre</b>	70 - <300	> 3.5	
<b>CN total</b>	320 - <5 900	> 16	
<b>CN libre</b>	300 – 1 200	< 14	RMP
<b>CN total</b>	5 900–23 600	< 64	
<b>CN libre</b>	300 – 1 200	> 14	
<b>CN total</b>	5 900–23 600	> 64	
<b>CN libre</b>	> 1 200	nr	
<b>CN total</b>	> 23 600	nr	

nr = no requerido; RNP=residuo no peligroso (puede ser depositado en relavera o relleno sanitario sin mayor control de lixiviados); RP=residuo peligroso (requiere disposición en relavera o relleno especial con control de lixiviados); RMP=residuo muy peligroso (requiere disposición en relleno especial con control de lixiviados, luego de una estabilización química o física para reducir la toxicidad del material)

<sup>3</sup> Según D.S. 002-2008 MINAM, el ECA para suelos agrícolas, residenciales y parques es 0.9 mg/kg y para suelos en zonas comerciales, industriales y extractivos 8 mg/kg. Debe considerarse estos ECAs para la disposición en áreas no asignados como relleno sanitario con control de lixiviados.

Debe aclararse que un suelo contaminado se convierte en un residuo una vez que ha sido retirado. Debe ser clasificado de acuerdo a las concentraciones establecidas en la Tabla 6.1, considerando tanto las concentraciones de CN libre como de CN total. Cualquier material excediendo concentraciones críticas de cianuro libre y/o total en el residuo o lixiviado causa un potencial peligro para el ecosistema y la salud humana y se recomienda depositarlo en un área donde el lixiviado esté controlado, como es por ejemplo la pila de lixiviación.

## **6.2 Uso de Geomembranas**

En los procesos de lixiviación con cianuro utilizados por la pequeña minería, existen diferentes métodos de la impermeabilización de las pilas de lixiviación, los diques o pilas de contención y los depósitos de solución. Aparte del uso de concreto y bitumen, laminados de plástico y geomembranas son el material más usado para el revestimiento de suelos, depósito de sólidos, captación, contención y conducción de líquidos. En la práctica, lamentablemente, las pequeñas empresas, muchas veces tienen una deficiencia en la impermeabilización. El resultado es una contaminación del suelo y aguas subterráneas con sustancias tóxicas por fugas incontroladas.

La capa impermeable primaria en una pila de lixiviación cumple diversos propósitos: confina los lixiviados para su recolección y protege al subsuelo y a los mantos freáticos de ser contaminados. En las pilas o depósitos de la minería grande y mediana, usualmente se utilizan las geomembranas en capas dobles junto con un geotextil en forma de una malla de polietileno de HDPE, con orificios en forma de diamante (geonet o geodren). Estos son utilizados para dar más estabilidad a la geomembrana.

Las geomembranas son productos Geosintéticos en forma laminar, continua y flexible. Son utilizadas como barrera impermeable de líquidos conteniendo sustancias tóxicas o corrosivas en proyectos ambientales o de ingeniería civil. Las geomembranas son fabricadas a base de diversos polímeros, incluyendo los resistentes contra soluciones muy básicas y conteniendo cianuro como el polietileno (HDPE - LLDPE), polivinil cloruro (PVC) y polipropileno (PP). Las geomembranas más comunes son hechas de PVC y HDPE, las cuales poseen propiedades mecánicas apropiadas, alta resistencia física, resistencia contra temperaturas bajas, gran inercia química, aislamiento eléctrico alto y estabilidad a agentes biológicos (como hongos y bacterias).

La selección de una geomembrana adecuada requiere la consideración de factores como el tamaño, topografía y geología del área que se requiere cubrir, las condiciones climáticas, costo de la membrana (incluyendo la instalación), entre otras. Lamentablemente, por falta de conocimientos y también por los costos de una inversión en una impermeabilización adecuada, en la práctica pequeñas empresas utilizan frecuentemente láminas plásticas muy delgadas y frágiles, con muy baja resistencia a la rotura, radiación UV o temperaturas extremas. El resultado es un alto riesgo de una contaminación de suelos y aguas por cianuro derramado.

Es por esta razón que la autoridad ambiental ve la necesidad de regular las características mínimas de las geomembranas utilizadas en procesos hidrometalúrgicos. Tanto en nuevas instalaciones como en antiguas, las geomembranas deben tener las siguientes características mínimas:

1. Todas las pozas de proceso conteniendo agua contaminada, lodos o relaves formando lixiviado, deben tener un revestimiento como mínimo una geomembrana sintética u otro material adecuado permitido explícitamente por la GREM como autoridad competente.
2. La geomembrana debe ser instalada encima de un relleno de tierra compactada con las siguientes características:

- i. Debe estar libre de objetos cortantes que puedan perforar la geomembrana cuando hay presión de agua (por ej. piedras, rocas, espinas, pedazos de metal, etc).
  - ii. Cuando el subsuelo es arenoso o rocoso con una permeabilidad por encima de aproximadamente  $10^{-6} \text{ cm}^2$ , se debe preparar una base compactada de unos 15 a 30 cm de espesor, usando material tipo arcillas, arcillas limosas, arcillas migajosas, migajon-limosos o suelos con semejantes características. La inadecuada preparación de los cimientos traerá como resultado un asentamiento diferencial, comprometiendo la integridad de los revestimientos.
  - iii. En áreas con una precipitación promedio anual por encima de unos  $200 \text{ mm}^4$  y/o en pendientes con peligro de escorrentías en época de lluvias, debe tener un sistema de drenaje pluvial para el control y colección de aguas superficiales.
3. El material de la geomembrana elegida debe ser resistente a soluciones altamente alcalinas conteniendo cianuro, amonio y sulfuros. No se recomienda utilizar membranas muy reforzadas por su baja flexibilidad ni polímeros como policarbonatos, poliamidas (nylon) o poliéster por su baja resistencia química.
4. La geomembrana debe cumplir con los siguientes Buenas Prácticas de calidad, de acuerdo a normas internacionalmente aceptadas (ver Anexo 1):
  - i. El espesor de la membrana no debe ser menor a 1 mm ("40 mil"), medido según Norma Peruana NTP 339.512 – 2000 o norma equivalente.
  - ii. Para el uso en alturas por encima de 4000 msnm, la geomembrana debe soportar temperaturas de 25 grados bajo cero sin volverse frágil ("low temperature brittleness").
  - iii. La geomembrana debe ser protegida contra la radiación UV, conteniendo por ejemplo carbón microdisperso en una concentración entre 2 y 4%. La calidad de la dispersión debe tener la categoría 1-2, según la norma ASTM D5596 (o equivalente).
  - iv. Dependiendo del material usado, flexibilidad, resistencia al desgarramiento, punzonamiento y rotura de la geomembrana, debe cumplir con las características mínimas de estabilidad, de acuerdo a lo establecido en el Anexo 1.
5. El despliegue y en particular la soldadura de las uniones debe ser realizada por personal capacitado, de acuerdo a las características del material usado.

### **6.3 Criterios mínimos para el diseño de pozas de lixiviación**

1. Cada poza o estanque de proceso debe tener una impermeabilización con geomembrana u otro método adecuado (ver Sección 6.2 para las características mínimas de geomembranas).
2. En áreas donde el agua subterránea se encuentra a menos de 5 metros en cualquier momento del año, se debe instalar un sistema de drenaje por debajo de la geomembrana para recuperar infiltraciones de lixiviados.
3. Debe realizarse un balance hídrico de la planta, quiere decir el balance del agua que entra y que sale mediante decantación/recuperación, descarga, evaporación o infiltración. Debe considerarse en el equilibrio hídrico de la planta la cantidad de precipitación que puede ingresar a un estanque o dique, proveniente de una escorrentía desde una cuenca gradiente arriba.

---

<sup>4</sup> Como ejemplo, en promedio la precipitación total acumulada anual en la ciudad de Arequipa es de 194 mm.

4. Para la preparación del balance hídrico, se debe considerar eventos atípicos con precipitaciones muy altas que fueron medidas en la zona. Si hay datos meteorológicos disponibles, se recomienda usar la cantidad de precipitaciones durante 24 horas en el peor evento de tormenta en los últimos 50 a 100 años<sup>5,6</sup>.
5. En zonas con peligro de escorrentías en la época de lluvias (especialmente en estanques instalados en pendientes), debe instalarse un sistema de drenaje alrededor de los estanques para evitar el desbordamiento con una liberación del contenido tóxico. Para definir si el sitio necesita un sistema de drenajes, se debe considerar aspectos como datos meteorológicos (cantidad de precipitaciones), porosidad del suelo, inclinación del terreno, etc. Una discusión detallada sobre el diseño de sistemas de drenaje se encuentra en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). En lugares donde existe nevada debe considerarse en los cálculos el posible descongelamiento abrupto del depósito de nieve con el resultado de un flujo intenso durante el deshielo. En forma genérica, se puede decir que en cada zona con una precipitación promedio anual mayor a unos 200 mm y/o ubicada en un área de riesgo de ingreso de escorrentías de aguas superficiales a la poza se requiere un sistema de drenaje para aguas pluviales.
6. Cada poza debe tener un francobordo diseñado en base de las condiciones climáticas de la zona y al balance hídrico, considerando eventos atípicos con precipitaciones extremas observadas en la zona. Si se encuentra datos meteorológicos disponibles, se recomienda usar la cantidad de precipitaciones durante 24 horas en el peor evento de tormenta en los últimos 100 años. Si no se cuenta con datos meteorológicos, debe considerarse supuestos o ajustes conservadores, basándose en observaciones de la población y de zonas con condiciones climáticas parecidas donde se cuenta con información más detallada. Por razones de seguridad y para considerar posibles variaciones en almacenamiento de relaves, en ninguna circunstancia (tampoco en zonas desérticas), el francobordo debe tener menos de 50 cm de altura.
7. Se debe implementar medidas para proteger la fauna y el ganado de la zona de intoxicaciones por las soluciones del proceso de cianuración. Como concentración crítica con consecuencias fatales para aves y otros animales se consideran unos 50 mg/L de cianuro WAD.

#### **6.4 Descargas de efluentes**

Cada instalación debe implementar un programa de monitoreo de la calidad de los efluentes, descargados al suelo o a cuerpos de aguas superficiales o subterráneas.

Según el D.S. 010-2010-MINAM y el DS N° 002-2008-MINAM, la concentración de cianuro no debe exceder 1 mg/L como cianuro total en efluentes y 0.022 mg/L como cianuro libre en el cuerpo receptor. Además del cianuro total (LMP) y libre (ECA), se debe considerar el cumplimiento con otros contaminantes potencialmente presentes, incluyendo metales pesados (cadmio, cobre, hierro, plomo, mercurio, zinc), arsénico, Sólidos Totales en Suspensión y el pH. Debe tenerse en cuenta la potencial presencia de productos tóxicos de descomposición de cianuro como son el cianato, tiocianato, sulfuro, amoníaco, nitrato, entre otros.

---

<sup>5</sup> Como ejemplo, el francobordo de una poza instalada en la cercanía a la ciudad de Arequipa debería tener una altura suficiente para aguantar una lluvia de 123 Litros por metro cuadrado, evento histórico observado el Sábado 09 de Febrero del año 2013.

<sup>6</sup> Arequipa soportó ayer lluvia histórica, Peru 21, Sábado 09 de febrero del 2013, <http://peru21.pe/actualidad/arequipa-soporto-ayer-lluvia-historica-2116581>

Para nitrógeno amoniacal y sulfuros se han establecido LMP de efluentes para alcantarillado y para aguas superficiales de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre y para emisiones de los hornos de la industria cementera (D.S. N° 003-2002-PRODUCE), pero no para plantas hidrometalúrgicas. Para cianato y tiocianato no existen LMP ni ECA en el Perú.

Si bien el control de estas sustancias no está regido por el D.S. 010-2010-MINAM, la ARMA puede exigir la inclusión de nitrógeno amoniacal y sulfuros en el programa de control de efluentes de instalaciones usando cianuro en el punto de descarga si existen evidencias de daños ambientales por estas sustancias. Una evidencia de un impacto significativo será por ejemplo la excedencia del ECA de nitrógeno amoniacal y/o de sulfuros en el cuerpo receptor (D.S. 002-2008-MINAM).

La potencial formación de complejos solubles entre el mercurio y el cianuro genera un problema particular durante el uso de relaves contaminados con mercurio. Por lo tanto, el operador de la planta de lixiviación debe asegurar que los efluentes de la planta no excedan el valor de 0.002 mg/L de mercurio total, establecido como LMP en el D.S. 010-2010-MINAM. Debido a las dificultades de remover mercurio de efluentes hasta niveles legalmente aceptables, se recomienda no procesar relaves que tengan concentraciones de mercurio por encima de 50 mg/kg para evitar este problema.

## 7. Bibliografía

- [1] ACGIH (1998). *Valores Límite de Umbral e Índices de Exposición Biológica - Valores límite de Umbral para las sustancias químicas y los agentes físicos*; <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp8-c8.pdf>
- [2] Birch K.M. y Schütz F. (1946). *Actions of Cyanate*, Brit. J. Pharmacol.1, pp. 186-193.
- [3] CDC (2006). Departamento de Salud y Servicios Humanos, EEUU, *Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades*; <http://emergency.cdc.gov/agent/cyanide/basics/espanol/facts.asp>
- [4] Coles, C.A., Cochrane, K. (2006). *Mercury Cyanide Contamination of Groundwater from Gold Mining and Prospects for Removal*, Sea to Sky Geotechnique; <http://www.engr.mun.ca/~ccoles/Publications/0227-231.pdf>
- [5] Dauchy, J.W., Waller, W.T. y Piwoni M.D. (1980). *Acute Toxicity of Cyanate to Daphnia magna*, Bull. Environm. Contam. Toxicol. 25, pp. 194-196.
- [6] Dzombak, D.A., Ghosh, R.S., and Wong-Chong, G.M. (2006). *Cyanide in Water and Soil: Chemistry, Risk, and Management*, Taylor & Francis/CRC Press, Boca Raton, FL., p. 8.
- [7] Eisler, Ronald (1991). *Cyanide Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review-U.S.*, Fish Wildl. Serv., Biol. Rep. 85(1.23).
- [8] Logsdon, M.J., Hagelstein, K. y Mudder T.I. (1999). *The Management of Cyanide in Gold Extraction: International Council on Metals and the Environment*, Ottawa, Canada, pp. 40.
- [9] Logsdon, M. J., Hagelstein, K. y Mudder, T. (2001). *El Manejo de Cianuro en la Extracción de Oro*, The International Council on Metals and the Environment, ISBN 1-895720-35-4; [http://www.caem.com.ar/wp-content/uploads/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/wp-content/uploads/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf)
- [10] Miller, J. D., Alfaro E., Misra, M. y Lorengo, J. (1996). *Mercury Control in the Cyanidation of Gold Ores*, Pollution Prevention for Process Engineering: Proceedings of Technical Solutions for Pollution Prevention, Engineering Foundation, New York, NY, USA.
- [11] Ministerio de Energía y Minas (1996). *Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro*, Subsector Minería, Volumen XIII, Referencia de aprobación: R.D. No. 025-96-EM/DGAA; (<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/publicaciones/normastecnicas/GUIA%20DGAA M%2013.pdf>).
- [12] MSHA (1997). *Controlling Mercury Hazards in Gold Mining, A Best Practices Toolbox*, U.S. Department of Labor Mine Safety and Health Administration; [www.msha.gov/](http://www.msha.gov/)
- [13] MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*; [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)
- [14] NSW EPA (2009). *Waste Classification Guidelines Part 1: Classifying Waste*, ISBN 978 1 74232 507 1.
- [15] ONUDI (2012). Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, *Manual de gestión ambiental para pequeñas y medianas empresas*. Centro Nacional de Producción más

limpia; <http://www.digeca.go.cr/documentos/prodmaslimpia/Manual%20de%20Gestion%20Ambiental%20pymes2.pdf>

[16] PAN Pesticides Database (2010). *Chemicals, Sodium Thiocyanate*; Kegley, S.E., Hill, B.R., Orme S., Choi A.H., Pesticide Action Network, North America (San Francisco, CA); [http://www.pesticideinfo.org/Detail\\_Chemical.jsp?Rec\\_Id=PC34438](http://www.pesticideinfo.org/Detail_Chemical.jsp?Rec_Id=PC34438)

[17] Pymex (2013). *Cómo crear un plan de contingencia y emergencias para tu empresa, Pequeños y Medianos Empresarios (Pymex)*; <http://pymex.pe/liderazgo/capacitacion/como-crear-un-plan-de-contingencia-y-emergencias-para-tu-empresa-parte-1>

[18] Sacher, W. (2010). *Cianuro, la cara tóxica del oro, Una introducción al uso del cianuro en la explotación del oro*, Observatorio de Conflictos Mineros de America Latina, OCMAL; <http://www.conflictosmineros.net/>

[19] UNEP (2009). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente Medio Ambiente por el desarrollo*; <http://www.pnuma.org/eficienciarecursos/APELLIntroduccion.php>

[20] Villavicencio Velasco, C. (2011). *Evaluación de la Capacidad degradatoria de cepas bacterianas nativas de efluentes cianurados*, Tesis de Pre-grado, Universidad Nacional de San Agustín (Arequipa).

## ANEXO 1 – Normas de Calidad de Geomembranas

Especificaciones Mínimas de Geomembranas<sup>7</sup>

Propiedad	Norma <sup>1)</sup>	Material de la Geomembrana			
		HDPE	LLDPE	PVC	PP
Alargamiento a la rotura [%]	ASTM D6693	100	350	400	600
Resistencia al desgarramiento [lb]	ASTM D1004	28	22	10.5	11
Resistencia al punzonamiento [lb]	ASTM D4833	60	44	<sup>2)</sup>	35
Resistencia a la rotura [lb/in]	ASTM D6392	80	53	77	45
Espesor nominal mínimo [mm] <sup>3)</sup>	NTP 339.512 – 2000	1	1	1	1

1) o norma equivalente

2) no especificado

3) para el encapsulamiento de residuos peligrosos, el espesor mínimo debe ser 2 mm (D.S. N° 057-2004-PCM)

### Normas Nacionales e Internacionales para la Caracterización de Geomembranas

1. Norma Peruana NTP 339.512 – 2000, GEOSINTETICOS: Método de ensayo estándar para medir el espesor nominal de geotextiles y geomembranas.
2. Natural Resources Conservation Service, Conservation Practice Standard: Pond Sealing or Lining – Flexible Membrane, Code No. 521<sup>a</sup>, [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1046899.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1046899.pdf)
3. Natural Resources Conservation Service, Material Specification 594 – Flexible Membrane Liner, National Standard Material Specifications, Part 642, National Engineering Handbook, [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs143\\_026254.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_026254.pdf)
4. GRI Test Method GM13, Standard Specification for “Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes” (<http://www.geosynthetic-institute.org/grispecs/gm13.pdf>)
5. ASTM D7238 – 06 (2012), Standard Test Method for Effect of Exposure of Unreinforced Polyolefin Geomembrane Using Fluorescent UV Condensation Apparatus
6. ASTM D4355 – 07 (2007), Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles by Exposure to Light, Moisture and Heat in a Xenon Arc Type Apparatus
7. ASTM D4491-99a (2009), Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity
8. ASTM D3786-13 (2013), Standard Test Method for Bursting Strength of Textile Fabrics— Diaphragm Bursting Strength Tester Method
9. ASTM D4632-08 (2008) Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles
10. ASTM D4533-11 (2011), Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles

<sup>7</sup> Adaptados de: Natural Resources Conservation Service, Material Specification 594 – Flexible Membrane Liner, National Standard Material Specifications, Part 642, National Engineering Handbook, [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs143\\_026254.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_026254.pdf)

11. ASTM D4833 -07 (2007), Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geomembranes and Related Products
12. ASTM D4751-12 (2012), Standard Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile
13. ASTM D6693 – 04 (2010), Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembrane.