



Guía para la Remediación y
Restauración de
**Fuentes de Contaminación
por Actividades Mineras**
Febrero, 2023

Ministerio del Ambiente, Agua
y Transición Ecológica


**Gobierno
del Ecuador**

**GUILLERMO LASSO
PRESIDENTE**

MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA

PROGRAMA DE REPARACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL (PRAS)

ÁREA TÉCNICA DE REPARACIÓN INTEGRAL



GUIA PARA LA REMEDIACIÓN Y RESTAURACIÓN DE FUENTES DE
CONTAMINACIÓN POR ACTIVIDADES MINERAS

Febrero, 2023

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ALCANCE	1
3	OBJETIVOS	2
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	2
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
4	DEFINICIONES DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN (FC) POR ACTIVIDADES MINERAS	3
5	REMEDIACIÓN POR FUENTES DE CONTAMINACIÓN	6
5.1	MEDIDAS PREVENTIVAS GENERALES	6
5.2	MEDIDAS DE REMEDIACIÓN PARA BOCAMINA CON DRENAJE (AGUA DE MINA).....	7
5.2.1	<i>Estabilización de labores mineras subterráneas:</i>	7
5.2.2	<i>Métodos de sellado para Bocamina con drenaje (agua de mina)</i>	10
5.3	MEDIDAS DE REMEDIACIÓN PARA CANTERA	12
5.4	MEDIDAS DE REMEDIACIÓN PARA ESCOMBRERA.....	13
5.4.1	<i>Remediación in situ</i>	13
5.4.2	<i>Reubicación de escombros</i>	15
5.5	MEDIDAS DE REMEDIACIÓN DE EXPLOTACIÓN ALUVIAL.....	16
5.6	MEDIDAS DE REMEDIACIÓN PARA PISCINA	18
5.7	MEDIDAS DE REMEDIACIÓN PARA DEPÓSITO DE RELAVES	19
5.7.1	<i>Remediación in situ</i>	19
5.7.2	<i>Reubicación de relaves</i>	20
5.8	MEDIDAS COMPLEMENTARIAS GENERALES	22
6	MEDIDAS DE SEGUIMIENTO Y CONTROL	23
6.1	MONITOREO DE ESTABILIDAD FÍSICA.....	23
6.2	MONITOREO DE ESTABILIDAD QUÍMICA.....	24
6.3	MONITOREO BIÓTICO.....	24
7	RECOMENDACIONES	25
8	BIBLIOGRAFÍA	26
9	ANEXOS	26
10	FIRMAS DE RESPONSABILIDAD	27

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Fortificación con hormigón armado.	8
Imagen 2. Sostenimiento con pernos de anclaje.	8
Imagen 3. Sostenimiento con cerchas metálicas.	9
Imagen 4. Sellado de bocamina con método hermético.	11
Imagen 5. Sellado de bocamina con método de bloque de aire.	11
Imagen 6. Sellado de bocamina con acumulación de desmonte	12
Imagen 7. Banqueo, cobertura y revegetación de cantera.	13
Imagen 8. Método de estabilidad por banqueo.	14
Imagen 9. Método de estabilidad por gaviones	14
Imagen 10. Tipo de cobertura para encapsulamiento.	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Actividades de seguimiento y control	25
---	----

1 Introducción

El PRAS tiene como objetivo principal *“la implementación de mecanismos, instrumentos y estrategias para la reparación integral de las pérdidas del patrimonio natural y las condiciones de vida de la población afectada por la presencia de daños ambientales causados por el manejo inadecuado de las actividades económicas generadas por actores públicos y privados”*.

El Ecuador es un país con potencial minero, puesto que contiene reservas importantes de oro, plata y cobre, además de una variada oferta de productos mineros, convirtiéndose en un país de interés geológico – minero. La actividad minera técnica y responsable conlleva beneficios como la generación de empleos, inversión pública y privada, mejora en la calidad de vida de las poblaciones cercanas, entre otras; sin embargo, la minería antitécnica, sin los respectivos estudios socio-ambientales, deja de lado la responsabilidad social y ambiental, por ende, problemas en la naturaleza y en las comunidades, además de grandes pérdidas económicas.

Es importante identificar los sitios de afectación por actividades mineras gestionadas de manera antitécnica, con la finalidad de realizar la oportuna caracterización y diagnóstico (aplicación y análisis de muestreos) de las fuentes de contaminación para poder plantear técnicas que tiendan a recuperar las zonas afectadas.

En tal sentido, la presente guía contempla las posibles medidas de remediación y restauración en áreas afectadas por fuentes de contaminación ocasionadas por actividades mineras antitécnicas, tomando en cuenta la normativa minera y ambiental vigente, así como tecnologías que garanticen su estabilidad física y química a largo plazo con su respectivo monitoreo y seguimiento.

2 Alcance

La presente guía está orientada hacia la remediación y restauración de áreas afectadas por fuentes de contaminación identificadas en concesiones mineras y plantas de beneficio abandonadas, archivadas, paralizadas y aquellas fuentes que no se haya identificado a su responsable o que no presenten algún tipo de cierre técnico o remediación.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Elaborar una guía que contemple medidas de remediación y restauración de áreas afectadas por fuentes de contaminación minera, garantizando su estabilidad física y química mediante la implementación de tecnologías que se adapten a las condiciones de cada una de ellas.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar y describir el tipo de la fuente de contaminación.
- Determinar las propiedades físicas y químicas de las fuentes de contaminación para su caracterización.
- Establecer las actividades previas a la aplicación de la tecnología de remediación.
- Determinar las tecnologías de remediación a ser aplicadas por cada fuente de contaminación.
- Establecer métodos y tiempo de monitoreo y seguimiento por cada fuente de contaminación.



Definiciones de
**FUENTES DE
CONTAMINACIÓN**



4 Definiciones de Fuentes de Contaminación (FC) por actividades mineras

Mediante Decreto Ejecutivo Nro. 573 publicado en el Registro Oficial el 8 de octubre de 2022, respecto a la Reforma al Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, decreta incluir el siguiente término en el glosario:

“Fuente de contaminación. - Es toda actividad antrópica o infraestructura que, contiene, emite o dispersa contaminante en un área determinada, provocando efectos adversos o alteraciones negativas, a uno o varios componentes del ecosistema, lo que ocasiona, o potencialmente puede ocasionar daños o pasivos ambientales. Las fuentes de contaminación se clasifican en fuentes de contaminación activas e inactivas según su estado de operatividad.”

Con base a esta definición se han identificado varias fuentes de contaminación asociadas a la actividad minera, mismas que se definen a continuación:

Bocamina: sitio en superficie por donde se accede a un yacimiento mineral (Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Acuerdo ministerial 37, 2019)

Cantera: se entiende por cantera el sistema de explotación a cielo abierto para extraer rocas o minerales no disgregados, utilizados normalmente como material de construcción. (Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas, ASGMI, 2010)

Escombrera: Depósito donde se disponen de manera ordenada los materiales o residuos no aprovechables (estériles) procedentes de las labores de extracción minera. (Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Acuerdo ministerial 37, 2019)

Explotación aluvial: comprenden actividades y operaciones mineras realizadas en riberas o cauces de los ríos; también se emplean métodos de minería aluvial para la extracción de minerales y materiales en terrazas aluviales, que constituyen pequeñas plataformas sedimentarias o mesas construidas en un valle fluvial por los propios sedimentos del río. (Banco Central del Ecuador, 2016)

Piscina: es una facilidad que cumple la función de almacenar agua de mina o de beneficio de mineral, la misma que contiene sedimentos en suspensión de mineral o de relave.

Depósito de relaves (relavera): Toda obra estructurada en forma segura para contener los relaves provenientes de una planta de concentración húmeda de especies de minerales. Además, contempla sus obras anexas. Su función principal es la de servir como depósito, generalmente definitivo, de los materiales sólidos provenientes del relave transportado desde la Planta, permitiendo así la recuperación, en gran medida, del agua que transporta dichos sólidos (Decreto Supremo 248/06 de la República de Chile).

Relave: Material desechado de los procesos minero-metalúrgicos (plantas de beneficio). (Glosario del Negocio Minero, Enami EP, 2016).

Adicionalmente, de manera complementaria se define los siguientes términos:

Ambiente: Se entiende al ambiente como un sistema global integrado por componentes naturales y sociales, constituidos a su vez por elementos biofísicos, en su interacción dinámica con el ser humano, incluidas sus relaciones socioeconómicas y socio-culturales (Código Orgánico del Ambiente, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Registro Oficial Nro. 983, 2017).

Contaminante: Cualquier elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, que causen un efecto adverso a los ecosistemas. (Código Orgánico del Ambiente, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Registro Oficial Nro. 983, 2017).

Contaminación: Alteración negativa de un ecosistema por la presencia de uno o más contaminantes, o la combinación de ellos, en ciertas concentraciones o tiempos de permanencia. (Código Orgánico del Ambiente, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Registro Oficial Nro. 983, 2017).

Desbroce: Eliminación de la cobertura vegetal que recubre al suelo. (Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Acuerdo ministerial 37, 2019).

Disposición final: Es la acción de depósito permanente de los desechos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños a la salud y al ambiente. (Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Acuerdo ministerial 37, 2019).

Drenaje ácido: Drenaje derivado de la meteorización y oxidación de los sulfuros metálicos. (Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Acuerdo ministerial 37, 2019).

Impacto ambiental: Son todas las alteraciones, positivas, negativas, directas, indirectas, generadas por una actividad obra, proyecto público o privado, que ocasionan cambios medibles y demostrables sobre el ambiente, sus componentes, sus interacciones y relaciones y otras características al sistema natural. (Código Orgánico del Ambiente, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Registro Oficial Nro. 983, 2017).

Minería subterránea: Es aquella que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno. (Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Acuerdo ministerial 37, 2019).

Naturaleza: Ámbito en el que se reproduce y realiza toda forma de vida incluido sus componentes, la cual depende del funcionamiento ininterrumpido de sus procesos ecológicos y sistemas naturales, esenciales para la supervivencia de la diversidad de las formas de vida. (Código Orgánico del Ambiente, Ministerio de Ambiente del Ecuador, Registro Oficial Nro. 983, 2017)

A continuación, se presenta alternativas de remediación para fuentes de contaminación minera, estas deben contar con tecnologías y procedimientos que permitan recuperar las condiciones del ecosistema, asegurar la estabilidad física y química de las fuentes de contaminación asegurando el bienestar del medio ambiente a lo largo del tiempo; además, estas alternativas de remediación deben ser flexibles y adaptables a la realidad de cada FC. Los métodos a ser aplicados para el tratamiento de agua se aplicarán en función de los resultados de la caracterización de agua y sedimentos.



Remediación
**POR TIPO
DE FUENTE**



5 Remediación por fuentes de contaminación

5.1 Medidas preventivas generales

Previo a plantear la tecnología de remediación adecuada, es necesario que se realicen estudios a detalle de caracterización, como:

- Identificar y describir el tipo de las fuentes de contaminación.
- Definir o delimitar el perímetro de las fuentes de contaminación.
- Delimitar el área o radio de influencia directa e indirecta de la fuente de contaminación sobre los medios físico y biótico.
- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de las fuentes de contaminación.
- Se evalué los posibles aspectos e impactos ambientales.
- Se identifique los factores de riesgo técnico.
- Determinar las áreas y/o volúmenes a remediar.

Entre otra información necesaria para la remediación de la o las fuentes de contaminación. Una vez realizados los estudios antes detallados, se plantea actividades preliminares a la remediación, como las descritas a continuación:

Apertura o acondicionamiento de accesos: se debe realizar un diagnóstico del estado de los accesos para su acondicionamiento que consistirá en ampliación (en función de maquinaria a ingresar), limpieza de vía y canales y si es necesario su lastrado; este acceso permitirá el ingreso y salida de personal, equipo y maquinaria necesaria para la remediación.

En el caso de no existir dicho acceso o que no presente las condiciones adecuadas para ingreso de maquinaria, es necesario abrir una vía que se adapte a los requerimientos del proyecto.

Desmantelamiento de instalaciones y desalojo: es necesario realizar un inventario detallando infraestructura, redes eléctricas, tuberías de aire y agua, etc., para su posterior desenergización, demolición y desmantelamiento.

Seguido de la demolición y desmantelamiento, se clasifica los materiales según la peligrosidad o no peligrosidad, así también los reciclables, para su respectivo manejo con los gestores ambientales correspondientes.

5.2 Medidas de remediación para bocamina con drenaje (agua de mina)

Bajo el contexto de las medidas de remediación, se ha identificado bocaminas con drenaje (agua de mina), misma que, al tomar contacto con minerales sulfurosos, oxígeno y bacterias quimiolitótrofas¹, podría generar drenaje ácido de roca (DAR).

El fin de su remediación, consiste en restaurar el paisaje acorde a la zona, prevenir el drenaje ácido, prevenir el colapso de estructuras y evitar el ingreso a personas o animales por seguridad.

Como medidas de remediación para una bocamina con drenaje (agua de mina) se plantea lo siguiente:

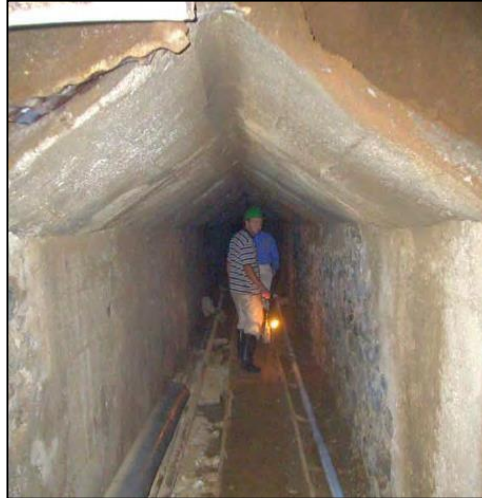
5.2.1 Estabilización de labores mineras subterráneas:

Consiste en la evaluación de las labores mineras subterráneas mediante estaciones geomecánicas y geofísicas con el fin de identificar zonas inestables que puedan ocasionar subsidencia en superficie, determinando un método apto para su estabilidad física a largo plazo, entre los cuales están:

- Hormigón (armado o proyectado): su uso es de forma puntual en zonas muy inestables, que generen riesgo de colapso de estructura, su aplicación puede ser de alto costo y laboriosa. El hormigón armado (vigas y marco de concreto, mampostería) se aplica cuando el macizo rocoso presenta alguna deformación conociéndose como fortificación pasiva; por otro lado, el hormigón proyectado (Shotcrete o mortero) se orienta a reestablecer el equilibrio original de los diferentes esfuerzos y a su vez lograr que la roca sea autosoportable. (Rodríguez et al, 2011).

¹ Los microorganismos quimiolitótrofos se encuentran en ambientes extremos principalmente con muy bajos niveles de pH, altas temperaturas, baja materia orgánica y altas concentraciones de elementos metálicos, un ejemplo de éstos son los drenajes ácidos que se encuentran con frecuencia en los sitios mineros donde se acumulan todos los desechos de las minas (Hidalgo Rosas, Escobar y Neria González 2015).

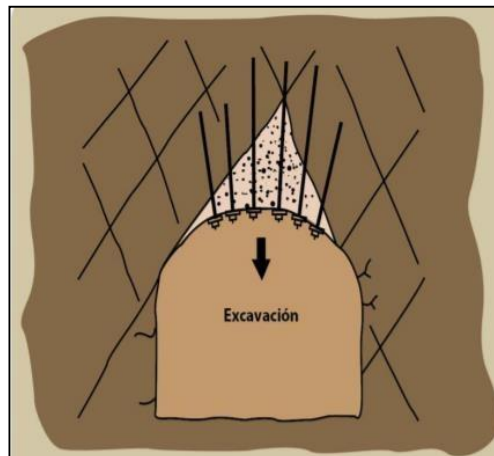
Imagen 1. Fortificación con hormigón armado.



Fuente: Rodríguez et al, 2011.

- Pernos de anclaje: consiste en introducir en el macizo rocoso una barra de acero, que sostiene un nivel de roca inestable anclándose a otro nivel más estable; si se colocan varios anclajes, consolidan de mejor manera el macizo rocoso. Este tipo de estabilización por lo general va combinado con otros sistemas como malla metálica, Shotcrete.

Imagen 2. Sostenimiento con pernos de anclaje.



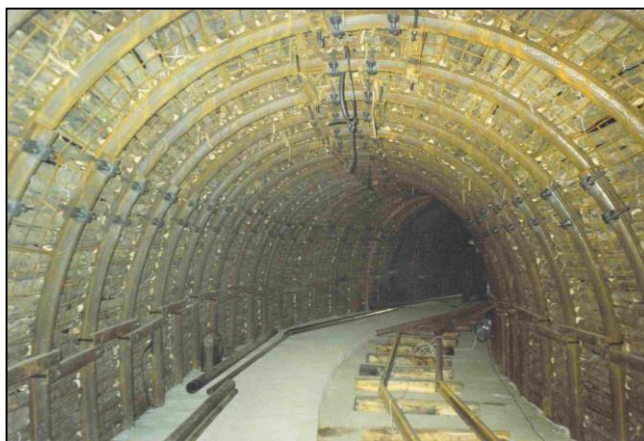
Fuente: SERNAGEOMIN et al, 2014.

- Cuadros y cerchas metálicas (rígidas o deslizantes): es aplicado en

macizos de distintas propiedades geomecánicas, para condiciones en las cuales exista una importante tendencia al colapso y cierre, por efecto de esfuerzos progresivos inducidos por la convergencia de las excavaciones.

Por otro lado, tienen un costo elevado y su baja resistencia a la corrosión, siendo necesario utilizar métodos de protección como el galvanizado o pintura.

Imagen 3. Sostenimiento con cerchas metálicas.



Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2015.

- Relleno con roca estéril: se utiliza roca estéril de las escombreras para rellenar labores subterráneas, siempre y cuando dicho depósito se encuentre cerca para no generar costos extras de movilización de material. Es importante mencionar que las rocas pueden generar drenaje ácido en función de su composición mineralógica; por lo tanto, se debe tomar en cuenta en el método de cierre de una labor minera subterránea.
- Relleno hidráulico: se trata de material en forma de pulpa, el cual es transportado por tuberías y cuya composición está en función del tipo de sólido, contenido de agua y aditivos. Entre los tipos de relleno, se tiene: Relleno de relave, relave – cemento y relave– cemento – otros agregados. La calidad y resistencia del relleno hidráulico dependerá de los aditivos que se incluyan en la mezcla. Este método es una alternativa que ayuda a minimizar la deposición de relaves en superficie al igual que el relleno con roca estéril que minimiza la utilización de escombreras.

Una vez realizadas las actividades descritas anteriormente (las que correspondan según la caracterización de la fuente de contaminación), se procede con el sellado de la bocamina, para lo cual se describen los siguientes métodos:

5.2.2 Métodos de sellado para Bocamina con drenaje (agua de mina)

La selección de uno u otro método dependen de las características de cada mina como por ejemplo la calidad de roca, presencia de fallas o fracturas, número de niveles y profundidad de labores mineras, debido a que el tapón debe ser ubicado en roca competente y libre de rupturas, zonas de corte, para evitar fallas en el mismo; incluso es posible aplicar un método combinado. Estas características serán obtenidas del estudio geomecánico del anterior ítem.

A continuación, se detalla cada uno de los métodos de sellado de las bocaminas que presentandrenaje:

- Método hermético o de descarga cero: Consiste en confinar el agua al interior de la mina mediante la construcción de un tapón hermético de concreto, el cual, al contener a los sulfuros y al mantenerlos sumergidos en agua, no permite su oxidación y por ende la generación de drenaje ácido. Este método es utilizado en bocaminas con drenaje ácido, tomando en cuenta para su diseño la carga hidráulica generada por el agua a ser contenida.

Imagen 4. Sellado de bocamina con método hermético.



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, noviembre 2017.

- Método de bloqueo de aire: consiste en construir un tapón o trampa en la bocamina pero que permita la salida de agua, impidiendo el acceso del aire al interior de la mina y de esta manera evita la oxidación de los sulfuros y con ello la generación de drenaje ácido; además, el pH gradualmente tiende a neutro y reduce el contenido de metales disueltos y totales. Este método es utilizado en bocaminas con drenaje ácido y con caudales bajos o altos.

Imagen 5. Sellado de bocamina con método de bloque de aire.



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, noviembre 2017.

En el caso de elección del método de bloque de aire, es necesario la construcción o adecuación de una estructura para conducción de agua para su descarga.

En el caso de las bocaminas sin presencia de drenaje, si bien no causa alteraciones ambientales negativas, es un riesgo para personas y animales, además del impacto visual que se genera. Bajo estas condiciones se propone construir un muro de concreto en la bocamina que impida el ingreso de personas y animales, y adicional se podría realizar acumulación de desmonte.

Imagen 6. Sellado de bocamina con acumulación de desmonte



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, noviembre 2017.

5.3 Medidas de remediación para cantera

Las características geométricas de los bancos que se desarrollen en una cantera dependen de las propiedades físico mecánicas del material del depósito, que, si no son los adecuados, pueden ocasionar deslizamientos; así también, es necesario mitigar de cierta forma la generación de material particulado y el impacto paisajístico.

Las medidas de remediación para una cantera se orientan a la estabilización física y revegetación, las mismas que son descritas a continuación:

Métodos de estabilidad física de la cantera:

- Método por banqueo: se usa el mismo material del depósito con el fin de ir formando bancos, cuyos parámetros geométricos están en función de las características físicas mencionadas. Para poder aplicar este método, es necesaria una topografía con pendiente baja.

Cobertura y revegetación: se coloca suelo orgánico para su revegetación con especies típicas de la zona. En el caso de zonas áridas se puede utilizar hidrogel que ayuda a mantener hidratada a la plántula hasta por 6 meses sin ser regada.

Imagen 7. Banqueo, cobertura y revegetación de cantera.



Fuente: ANEFA, 2016.

5.4 Medidas de remediación para escombrera

La remediación in situ o la reubicación de los escombros dependerá de factores como la inestabilidad (pendiente y tipo de suelo) del área de emplazamiento, impermeabilización, cercanía a cuerpos hídricos y áreas pobladas, etc.; los cuales deben estar acorde a la normativa establecida por el Ministerio Sectorial. Bajo estos criterios se propone lo siguiente:

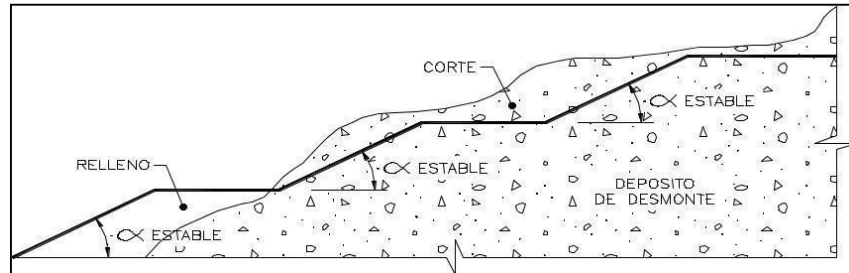
5.4.1 Remediación in situ

Caracterización de material de escombrera: para la correcta remediación de la escombrera es necesario determinar las características físicas como peso específico, cohesión y ángulo de fricción interna; además, se debe conocer la composición química y mineralógica.

Métodos de estabilidad física de escombrera:

- Método por banqueo: se usa el mismo material del depósito con el fin de ir formando bancos, cuyos parámetros geométricos están en función de las características físicas mencionadas. Para poder aplicar este método, se necesita de una topografía con pendiente baja.

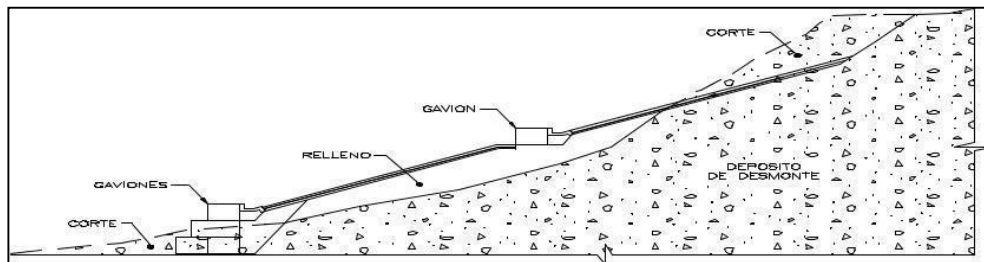
Imagen 8. Método de estabilidad por banqueo.



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, noviembre 2017.

- Método de gaviones: sirve para la contención del pie del talud mediante muros de contención. Este método permite obtener alturas mayores que el anterior método.

Imagen 9. Método de estabilidad por gaviones



Fuente: Ministerio de Energía y Minas, noviembre 2017.

En dependencia de las características y la topografía del sector se puede combinar estos dos métodos para una mayor estabilidad física.

Estructuras de evacuación de aguas superficiales: consiste en la construcción o adecuación de cunetas periféricas para la derivación de aguas superficiales, evitando así la escorrentía y la erosión.

Encapsulamiento y revegetación: se terraplana la superficie para colocar una capa de material arcilloso, seguido de una capa de caliza y luego de tierra orgánica para su revegetación, considerando especies nativas de crecimiento rápido con propiedades nitrificantes (Fabáceas), que permitan la nutrición del suelo para proseguir con las sucesiones vegetales. Es importante acotar que cada recubrimiento es único y los factores que podrían determinar un diseño específico son los siguientes: las características de los escombros y los materiales de

construcción existentes, la topografía, el clima, la vegetación del lugar y el paisaje.

5.4.2 Reubicación de escombros

Se elegirá un sitio de emplazamiento que cumpla con los parámetros técnicos minero-ambientales que exige la normativa vigente (RAAM).

Caracterización de material de escombrera y lugar de emplazamiento: para la correcta remediación de la escombrera es necesario determinar las características físicas como peso específico, cohesión y ángulo de fricción interna; además, se debe conocer la composición química y mineralógica en el caso de la roca estéril de la escombrera.

Extracción y transporte del material de la escombrera: mediante el uso de una excavadora se extraerá los escombros para su carguío a volquetas.

Nivelación y revegetación del área intervenida: se nivela el área intervenida para luego colocar una capa de arcilla con el fin de encapsular el sitio, luego se coloca suelo orgánico para su revegetación, considerando especies nativas de crecimiento rápido con propiedades nitrificantes (Fabáceas), que permitan la nutrición del suelo para proseguir con las sucesiones vegetales.

Acondicionamiento de lugar de emplazamiento de escombrera: una vez seleccionado el lugar de emplazamiento mediante el estudio técnico respectivo, se prepara el terreno conforme al diseño planteado.

Estructuras de evacuación de aguas superficiales: consiste en la construcción o adecuación de cunetas periféricas para la derivación de aguas de superficiales, evitando así la escorrentía y la erosión.

Impermeabilización: según la normativa ambiental vigente (RAAM), el lugar de disposición de escombros debe contar con un sistema de impermeabilización para evitar la filtración del contaminante hacia el medio físico y canales para el control de lixiviados.

Métodos de estabilización física de escombrera:

- Método por banqueo: se usa el mismo material del depósito con el fin de ir formando bancos, cuyos parámetros geométricos están en función de las características físicas mencionadas. Para poder aplicar

este método, se necesita de una topografía con pendiente baja.

- Método de gaviones: sirve para la contención del pie del talud, mediante muros de contención. Este método permite obtener alturas mayores que el anterior método.

En dependencia de las características y la topografía del sector se puede combinar estos dos métodos para una mayor estabilidad física.

Encapsulamiento y revegetación: se terraplena la superficie para colocar una capa de material arcilloso, seguido de una capa de caliza y luego de tierra orgánica para su revegetación, considerando especies nativas de crecimiento rápido con propiedades nitrificantes (Fabáceas), que permitan la nutrición del suelo para proseguir con las sucesiones vegetales. Es importante acotar que cada recubrimiento es único y los factores que podrían determinar un diseño específico son los siguientes: las características de los escombros y los materiales de construcción existentes, la topografía, el clima, la vegetación del lugar y el paisaje.

5.5 Medidas de remediación de explotación aluvial

La explotación de este tipo de depósitos debe garantizar el curso natural de los drenajes explotados y durante la explotación impedir su alteración por efecto de la presencia de sedimentos. En el caso de explotación en terrazas aluviales, se debe garantizar la estabilidad de los taludes.

Caracterización fisicoquímica de agua y sedimentos: se realizará la caracterización del agua y sedimentos con base a la normativa ambiental vigente².

² En la actualidad en el Ecuador, no está establecido una normativa para sedimentos, por lo que se recomienda utilizar las aplicables al subcomponente suelo, hasta que se expida la normativa correspondiente.

Métodos de Tratamiento de agua: En función de los resultados de la caracterización fisicoquímica de agua y sedimentos, se elige el tipo de tratamiento a ser utilizado, los cuales son descritos a continuación:

- Tratamiento primario con métodos físicos: consiste en procesos de tamizado y sedimentación (método físico) para que se depositen los sedimentos en el fondo de la piscina para posterior descarga del agua, por lo que el flujo sea lo más lento y tranquilo posible.
- Tratamiento primario con métodos químicos: el método químico comprende procesos físico-químicos (floculación-coagulación) para reducir la mayor parte de la DBO, DQO y metales presentes.
- Tratamiento secundario con humedales o bacterias: está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.
- Método Pasivo con Sustrato Alcalino Disperso: combina un material inerte de grano grueso que entrega buena permeabilidad al sistema con un material reactivo de grano fino que aumenta el pH de las aguas y genera la precipitación de metales.

La elección del tratamiento del agua previo a su descarga dependerá de la caracterización física química de la misma, inclusive se puede combinar los métodos propuestos para una óptima remediación.

Para ejecución de estas tecnologías de tratamiento de agua se podría construir piscinas en serie o utilizar otros sistemas diseñados existentes en el mercado, lo cual dependerá de las condiciones del lugar.

Estabilidad física de taludes: en el caso de terrazas aluviales, es necesario la estabilización de taludes, mediante el método de banqueo, cuyos parámetros geométricos dependerán de las características físicas de la grava.

Cobertura y revegetación: se coloca suelo orgánico para su revegetación, considerando especies nativas de crecimiento rápido con propiedades nitrificantes (Fabáceas), que permitan la nutrición del suelo para proseguir con las sucesiones vegetales.

5.6 Medidas de remediación para piscina

Las medidas de remediación propuestas pueden adaptarse para piscinas de agua de relave, agua de mina y de explotación aluvial, ya que difieren en el tipo de tratamiento conforme a sus características. A continuación, se detallan las actividades y métodos que podrían aplicarse:

Caracterización fisicoquímica de agua y sedimentos: se realizará la caracterización del agua y sedimentos con base a la normativa ambiental vigente.

Métodos de Tratamiento de agua: En función a los resultados de la caracterización de agua y sedimentos, se elige el tratamiento a ser aplicado, los mismos que se describen a continuación:

- Tratamiento primario con métodos físicos: consiste en procesos de tamizado y sedimentación (método físico) para que se depositen los sedimentos en el fondo de la piscina para posterior descarga del agua, por lo que el flujo sea lo más lento y tranquilo posible.
- Tratamiento primario con métodos químicos: el método químico comprende procesos físico-químicos (floculación-coagulación) para reducir la mayor parte de la DBO, DQO y metales presentes.
- Tratamiento secundario con humedales o bacterias: está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.
- Método Pasivo con Sustrato Alcalino Disperso: combina un material inerte de grano grueso que entrega buena permeabilidad al sistema con un material reactivo de grano fino que aumenta el pH de las aguas y genera la precipitación de metales.

La elección del tratamiento del agua previo a su descarga dependerá de la caracterización física química de la misma, inclusive se puede combinar los métodos propuestos para una óptima remediación.

Para ejecución de estas tecnologías de tratamiento de agua se podría construir piscinas en serie o utilizar otros sistemas diseñados existentes en el mercado, lo cual dependerá de las condiciones del lugar.

Desmantelamiento del área de almacenamiento: retiro de la infraestructura utilizada para el tratamiento del agua de la piscina, clasificar por tipo de desecho para ser enviado con el gestor ambiental correspondiente o en su defecto reutilizar.

Relleno, nivelación y revegetación: consiste en el relleno con material común, una capa de arcilla para su posterior nivelación y luego se coloca suelo orgánico para su revegetación, considerando

especies nativas de crecimiento rápido con propiedades nitrificantes (Fabáceas), que permitan la nutrición del suelo para proseguir con las sucesiones vegetales; procurando recuperar las características físicas y morfológicas iniciales del terreno o conservando las condiciones del paisaje.

5.7 Medidas de remediación para depósito de relaves

Los depósitos de relaves son consideradas de alto riesgo, debido a su composición química, puesto que, en el caso de ruptura en el muro de contención o infiltraciones al suelo, afecta a los componentes bióticos y físicos del entorno, además de generar una problemática social; es por eso que es importante su estabilidad física y química a lo largo del tiempo, así también, los estudios previos a su emplazamiento, deben incluir la geotecnia circundante, discontinuidades presentes y la vulnerabilidad geológica que pueda generar riesgos naturales. Además, es necesario que los depósitos de relaves tengan un método de impermeabilización.

La remediación in situ o la reubicación de relaves dependerá de factores como la inestabilidad (pendiente y tipo de suelo) del área de emplazamiento, impermeabilización, cercanía a cuerpos hídricos y poblados, etc.; los cuales deben estar acorde a la normativa establecida por el Ministerio Sectorial. Bajo estos criterios se propone lo siguiente:

5.7.1 Remediación in situ

Caracterización física y química de relaves: Considerando la composición variada del material de relave, para su correcta remediación es necesario determinar las características físicas como peso específico, cohesión y % de humedad óptimo para su compactación; además, se debe conocer la composición química.

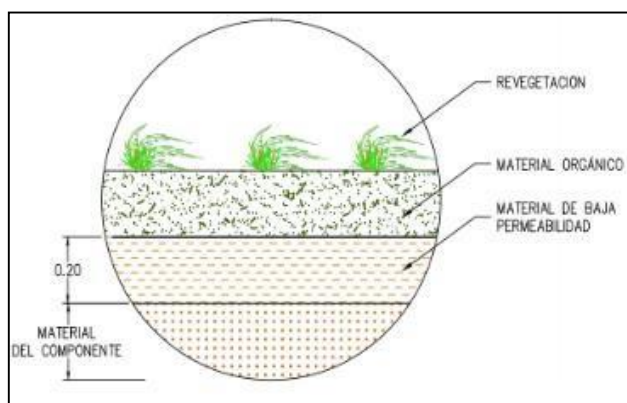
Estructuras de evacuación de aguas superficiales: consiste en la construcción o adecuación de cunetas periféricas para la derivación de aguas superficiales, evitando

así la escorrentía y la erosión.

Estabilidad física de depósito de relaves: se realiza el perfilamiento y compactación del muro o dique del depósito de relaves para obtener mayor resistencia.

Encapsulamiento y revegetación: se terraplena la superficie para colocar una capa de material arcilloso, seguido de una capa de caliza y luego de tierra orgánica para su revegetación, considerando especies nativas de crecimiento rápido con propiedades nitrificantes (Fabáceas), que permitan la nutrición del suelo para proseguir con las sucesiones vegetales. Existen varios tipos de cobertura, que, conforme a las características de la zona y en función del ecosistema circundante, se analiza para su selección. En la imagen que a continuación, se observa un esquema de tipo de cobertura; es importante acotar que cada recubrimiento es único y los factores que podrían determinar un diseño específico son los siguientes: las características del relave y los materiales de construcción existentes, la forma del embalse; la topografía, el clima, la vegetación del lugar y el paisaje.

Imagen 10. Tipo de cobertura para encapsulamiento.



Fuente: Arroyo A., 2015.

5.7.2 Reubicación de relaves

Extracción de relaves: mediante el uso de una excavadora se extraerá los relaves para su carga en volquetas.

Transporte de relaves: se decidirá si los relaves serán enviados a un depósito de relaves comunitaria o de ser el caso reubicarla a un sitio que cumpla con los parámetros técnicos ambientales que exige la normativa vigente. Cabe mencionar

que el relave al ser considerado un desecho peligroso, deben contar con todos los requisitos para el transporte del mismo. En caso de reubicación a un nuevo sitio, se debe realizar una caracterización física y química del relave.

Nivelación y revegetación del área intervenida: se nivela el área intervenida para luego colocar una capa de arcilla con el fin de encapsular el sitio, luego se coloca suelo orgánico para su revegetación, considerando especies nativas de crecimiento rápido con propiedades nitrificantes (Fabáceas), que permitan la nutrición del suelo para proseguir con las sucesiones vegetales.

Acondicionamiento de lugar de emplazamiento de depósito de relaves: en el caso de reubicar el depósito de relaves y una vez elegido el lugar de emplazamiento mediante el estudio técnico respectivo, se prepara el terreno conforme al diseño planteado.

Impermeabilización: según la normativa ambiental vigente (RAAM), el lugar de disposición de relaves debe contar con un sistema de impermeabilización para evitar la filtración del contaminante hacia el medio físico y canales para el control de lixiviados.

Estabilidad física de depósito de relaves: se realiza el perfilamiento y compactación del muro o dique del depósito de relaves para obtener mayor resistencia.

Estructuras de evacuación de aguas superficiales: consiste en la construcción o adecuación de cunetas periféricas para la derivación de aguas superficiales, evitando así la escorrentía y la erosión.

Encapsulamiento y revegetación: se terraplana la superficie para colocar una capa de material arcilloso, seguido de una capa de caliza y luego de tierra orgánica para su revegetación, considerando especies nativas de crecimiento rápido con propiedades nitrificantes (Fabáceas), que permitan la nutrición del suelo para proseguir con las sucesiones vegetales. Es importante acotar que cada recubrimiento es único y los factores que podrían determinar un diseño específico son los siguientes: las características del relave y los materiales de construcción existentes, la forma del embalse; la topografía, el clima, la vegetación del lugar y el paisaje.

5.8 Medidas complementarias generales

Adicional a las medidas de remediación, es necesario realizar actividades complementarias aplicables a todas las fuentes de contaminación, como se detalla a continuación:

Señalización: se instala señaléticas que adviertan los riesgos que podrían suscitarse, prohíban el ingreso o aporten información necesaria.

Cierre de accesos: una vez terminado el proceso de remediación y su correspondiente monitoreo, se procede a bloquear los accesos para evitar el paso a vehículos, personas y animales, mediante la construcción de barreras como bermas, zanjas, muros o pedraplenes; además, si es posible colocar una malla o cercas alrededor del área intervenida.



Medidas de
**SEGUIMIENTO
Y CONTROL**



6 Medidas de seguimiento y control

Consiste en medidas que permitan verificar la estabilidad física y química, además de las variables del medio biofísico a largo plazo, tomando en cuenta lo siguiente:

- Cantidad y ubicación de puntos de seguimiento y control
- Periodicidad de las actividades de seguimiento y control
- Periodo total de duración del monitoreo

A continuación, se describen las medidas de seguimiento y control de estabilidad física, química y medio biótico.

6.1 Monitoreo de estabilidad física

Estas medidas tienen como finalidad la observación, medición y evaluación periódica del método de remediación para comprobar su eficacia. Adicionalmente, se deben realizar manuales de procedimiento de estas actividades y llevar un registro para el correcto procesamiento de información y así evaluar la eficacia del sistema. Como medidas básicas, se tiene:

- Inspección visual mediante el recorrido de las obras realizadas, con el fin de detectar daños, fallas o rupturas para limpiar o restaurar dichas obras. Es recomendable realizar estas inspecciones semestralmente por 5 años (normativa ambiental vigente)³ una vez que se hayan ejecutado las medidas de remediación.
- En el caso de depósitos de relave, escombreras, canteras o en labores que se hayan realizado banqueo, se considerará instalar puntos de control topográfico, geodésico o instrumentación especializada para auscultación como son los inclinómetros, extensómetros, piezómetros, según la particularidad de la FC remediada, con la finalidad de monitorear si existen desplazamientos. Este control topográfico, se lo puede realizar mensual o trimestralmente en dependencia de la naturaleza del proyecto, por 5 años (normativa ambiental vigente) una vez que se hayan ejecutadas las medidas de remediación.

³ Este periodo está basado en la normativa ambiental vigente y aplicable; sin embargo, el mismo podría modificarse en función de las actualizaciones de la normativa.

6.2 Monitoreo de estabilidad Química

Consiste en la medición y evaluación de la calidad de agua superficial y subterránea que se encuentren en el área de influencia de la zona intervenida, para comprobar la eficacia de las medidas de remediación ejecutadas para su estabilidad química. De igual manera se deben elaborar manuales de procedimiento y llevar registros para el procesamiento de la información levantada. Se describe a continuación las actividades de monitoreo:

- Monitorear la calidad del agua de descarga y en puntos de control aguas arriba y aguas abajo del cuerpo receptor de dicha descarga, en dependencia de la naturaleza del proyecto.
- Para el caso de escombreras, depósito de relaves y bocaminas, se colocarán piezómetros en puntos de monitoreo propuestos en función de la naturaleza del proyecto para identificar niveles y presiones de flujo subterráneo.

Los parámetros de medición estarán en referencia a la normativa ambiental vigente, verificando así que se encuentre dentro de los límites máximos permisibles. Además, estas mediciones se las realizarán semestralmente por 5 años (normativa ambiental vigente) una vez se hayan ejecutadas las medidas de remediación. El criterio de selección de los parámetros de medición para calidad de agua va a depender de las características mineralógicas del sector, así también en el caso de depósito de relaves y escombreras estarán en función de su composición química.

6.3 Monitoreo biótico

Permite evaluar la evolución de la revegetación, identificando el grado de prendimiento de la cobertura vegetal sobre el área intervenida. Como actividades se detallan las siguientes:

- Erosión de la cobertura por efecto de fuerzas eólicas y/o hídricas.
- Fisuras en la cobertura por filtraciones de aguas de escorrentía.
- La marchites o no prendimiento de la cobertura vegetal.
- Presencia de metales en las especies vegetales.

Este monitoreo se lo debe realizar en dependencia de la evolución de la revegetación; es decir que en el primer mes se evalúa su condición y posterior monitoreo ya sea trimestral o semestralmente por 5 años (normativa ambiental vigente) una vez ejecutadas las medidas de remediación.

Tabla 1. Actividades de seguimiento y control

Seguimiento y Control	Actividad	Periodicidad	Periodo Total del monitoreo
Monitoreo de estabilidad física	Inspección visual	Semestral	5 años (conforme a la normativa ambiental vigente)
	Puntos de control	Mensual o trimestral	
Monitoreo de estabilidad química	Agua de descarga y puntos de control aguas arriba y aguas abajo.	Semestral	
	Monitoreo de agua en piezómetros	Semestral	
Monitoreo biótico	Monitoreo biótico	Mensual y posterior trimestral o semestral	
*Nota: Elaborar manuales de procedimiento y llevar registros para el procesamiento de la información levantada.			

Elaborado por: PRAS, 2023

7 Recomendaciones

- Las alternativas propuestas de remediación en la presente guía, son adaptables y flexibles para cada proyecto, no obstante, se pueden modificar en dependencia de la naturaleza y características de cada fuente de contaminación y en función de las alternativas tecnológicas que se generen en la industria.
- Las actividades de seguimiento y control deben realizarse cumpliendo la periodicidad, siguiendo los manuales elaborados y procesando la información de cada registro, con el fin de evaluar la eficacia del sistema y plantear medidas de corrección en caso de presentarse algún fallo.
- Es importante tomar en cuenta que luego de remediadas las diferentes fuentes de contaminación, se podría proponer la reutilización de las áreas intervenidas con

proyectos que vinculen a la comunidad, dueños de los terrenos y que a su vez aporten a un crecimiento económico de la zona.

La aplicabilidad del presente documento debe acogerse a la normativa ambiental vigente.

8 Bibliografía

Arroyo A. (2015). Cierre de minas general.

Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos (ANEFA). (2016). Rehabilitació d' espais miners: experiénces nacionals i internacionals.

Comisión Económica para América Latina (CEPAL). (2020). Guía metodológica de cierre de minas.

Decreto Ejecutivo Nro. 593. Reforma al Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. Quito. 8 de octubre de 2022.

Gobierno de Chile-Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) et al. (2014). Guía N° 5 de Operación para la Pequeña Minería.

Gobierno de España-Ministerio de Industria. Energía y Turismo. (2015). Guía sobre control geotécnico en minería subterránea.

Gobierno del Perú- Ministerio de Energía y Minas. (noviembre de 2017). Catálogo de Medidas Ambientales, Capítulo 4. Medidas de Cierre y Post Cierre.


Ordóñez, A. (1999). Sistemas de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina. Experiencias de laboratorio, diseño y ejecución. Oviedo. Escuela Técnica de Ingenieros de Minas de Oviedo. Universidad de Oviedo.

Rodríguez et al. (2011). Manual Técnico para la ejecución de galerías.

9 Anexos

Estimación de costos de Remediación.

10 Firmas de responsabilidad

Elaborado por:		Revisado por:
 <p>DARWIN FERNANDO ORTIZ MOSCOSO</p>	 <p>AMPARO VICTORIA PARRA JIMENEZ</p>	 <p>DARWIN MAURICIO GALLARDO SIMBANA</p>
<p>Fernando Ortiz Técnico ATRI MAATE – PRAS</p>	<p>Amparo Parra Técnico ATRI MAATE – PRAS</p>	<p>Darwin Gallardo Coordinador ATRI MAATE – PRAS</p>



AmbienteEc



@ambienteec



@Ambiente_Ec

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica



República
del Ecuador