

#### TALLER INTERNACIONAL VIRTUAL:

"PASIVOS AMBIENTALES MINEROS: HACIA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE. VISIÓN GLOBAL EN IBEROAMÉRICA"

**Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros – GEPAM** 

# GUIA PARA EL REPROCESAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

Lionel Fídel Smoll<sup>1</sup>

Ifidel@ingemmet.gob.pe

1 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO – INGEMMET



# GUÍA PARA EL REPROCESAMIENTO Y/O REUTILIZACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

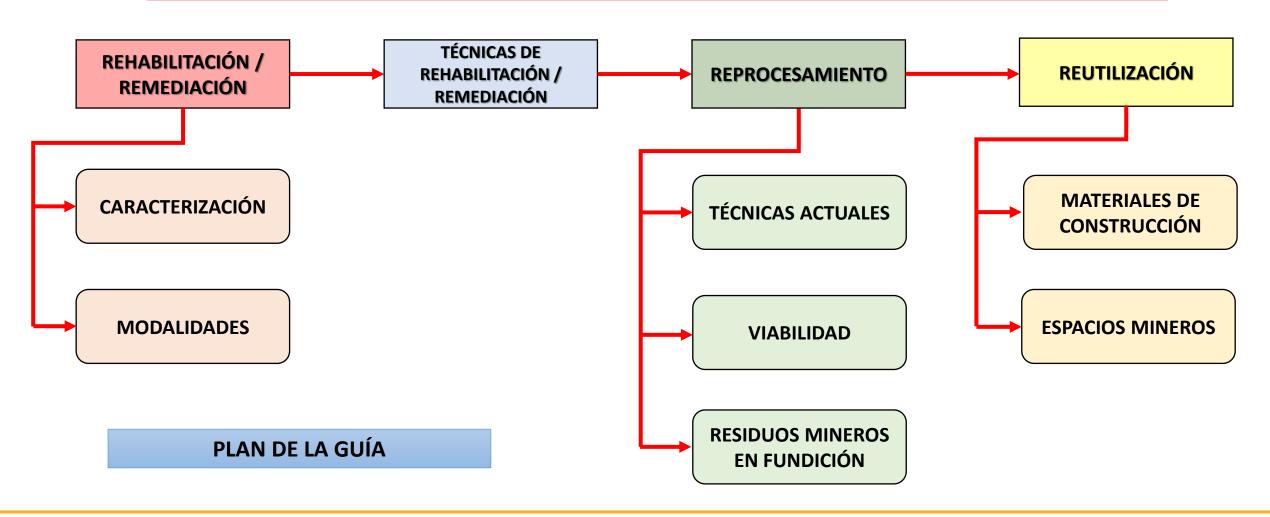
El GEPAM – ASGMI, ante la problemática de los PAM plantea la necesidad o aconseja, que se tomen medidas para enfrentar sus amenazas, tanto para la salud como el medio ambiente, dando pasos para la solución o mitigación del riesgo que, desde el inventariado y caracterización de los sitios mineros abandonados; pasando por la evaluación del riesgo que entrañan, hasta la propuesta de medidas de remediación, rehabilitación, **reprocesamiento y reutilización** o; al menos, mitigación de tales amenazas (ASGMI, 2010).

Esta Guía contempla las diversas **alternativas para el reprocesamiento y reutilización** de Pasivos Ambientales Mineros que se pueden encontrar en la actualidad. Tanto como estudios de investigación, pilotos y proyectos en marcha.





### **GUIA PARA EL REPROCESAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS**





- 1. INTRODUCCIÓN
- 2. DEFINICIONES
- 3. GESTIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS
- 4. REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS PAM
  - 4.1 CARACTERIZACION DE RESIDUOS MINEROS
    - 4.1.1 ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS ABANDONADOS
    - 4.1.2 ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MASA DE AGUA DE MINA
    - 4.1.3 ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO MINERO
  - 4.2 MODALIDADES DE REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS
    - 4.2.1 CIERRE DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS
    - 4.2.2 PLAN DE CIERRE DE MINAS
    - 4.2.3 REPROCESAMIENTO DE PAM
    - 4.2.4 REUTILIZACIÓN DE PAM
    - 4.2.5 USO ALTERNATIVO
- 5. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS
  - 5.1 TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE RESIDUOS MINEROS
    - 511 IMPLANTACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE DESVIÓ O DRENAJE DE
    - AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS
    - 5.1.2 COBERTURA Y REVEGETACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL DEPÓSITO DE
    - KESIDUUS
    - 5.1.3 REMODELACIÓN DE LA MORFOLOGÍA DE LA INSTALACIÓN DE RESIDUOS
    - 5.1.4 DRENAJE Y TRATAMIENTO DE AGUAS INTERNAS Y LIXIVIADOS
    - 5.1.5 EXCAVACIÓN Y REUBICACIÓN DE LOS RESIDUOS MINEROS
    - 5.1.6 REDUCCIÓN DE LA TOXICIDAD DE LOS RESIDUOS MINEROS
    - 5.1.7 ACCIONES ADMINISTRATIVAS
  - 5.2 REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE INSTALACIONES E INFRAESTRUCTURA
  - 5.3 REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE MINAS A CIELO ABIERTO
  - 5.4 REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE MINAS SUBTERRÁNEAS
  - 5.5 REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE ESCOMBRERAS
  - 5.6 REHABILITACIÓN / REMEDIACIÓN DE PRESAS DE RELAVE
- 6. REPROCESAMIENTO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS
  - 6.1 TECNICAS ACTUALES PARA LA EXTRACCION DE METALES
    - 6.1.1 SRB (SULFATE REDUCING BACTERIA) PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES DE AGUAS INTERNAS Y EMBALSADAS
    - 6.1.2 ELECTRO DEPOSICIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES DE LOS DRENAJES ÁCIDOS
    - 6.1.3 FLOTACIÓN

- 6.1.4 HIDROMETALURGIA
  - LIXIVIACIÓN QUÍMICA
  - BIOLIXIVIACIÓN Y BIOOXIDACIÓN
- 6.1.5 SEPARACIÓN MAGNÉTICA
- 6.1.6 SEPARACIÓN GRAVIMÉTRICA
- 6.1.7 FITOEXTRACCIÓN
- 5.2 VIABILIDAD DEL APROVECHAMIENTO DE LAS INSTALACIONES MINERAS
  - 6.2.1 DIMENSIONES DEL BENEFICIO OBTENIDO EN EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS MINEROS ABANDONADOS
  - 6.2.2 DETERMINACIÓN DEL INTERÉS ECONÓMICO
- 6.3 UTILIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS EN FUNDICIÓN
- REUTII IZACIÓI
  - 7.1 REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
    - 7.1.1 RELLENO PARA EXCAVACIONES MINERAS
    - 7.1.2 CONSTRUCCIÓN DE ANDENES Y TERRAPLENES
    - 7.1.3 AGREGADOS DE CONSTRUCCIÓN

CARRETERAS, AFIRMADOS, PAVIMENTOS, FILLER O RELLENO

MINERAL, CONCRETO ASFALTICO

**BALDOSAS Y LADRILLOS** 

BLOQUES DE CONCRETO, AGREGADOS PARA CONCRETO

CEMENTO - GEOPOLÍMEROS

- 7.2 REUTILIZACIÓN DE ESTÉRILES DE CARBÓN
- 7.3 REUTILIZACIÓN DE ESPACIOS MINEROS ABANDONADOS
  - 7.2.1 AGRÍCOLA O FORESTAL
  - 7.2.2 URBANÍSTICO O INDUSTRIAL
  - 7.2.3 RECREATIVO, DEPORTIVO O EDUCACIONAL
  - 7.2.4 TURÍSTICO HISTÓRICO
  - 7.2.5 DEPÓSITOS DE AGUA
  - 7.2.6 DEPÓSITOS DE HIDROCARBUROS
  - 7.2.7 VERTEDEROS Y DEPÓSITOS DE SEGURIDAD
  - 7.2.8 CIENTÍFICO
- REFERENCIAS

ANEXOS

GLOSARIO

#### **REFERENCIAS**

Alva (2016)

Arranz & Alberruche (2008)

Arranz et al (2007)

Arranz et al (2019)

Bailetti (2009)

**Cedrón (2013)** 

**ITGME (1989)** 

Lopez et al (2007)

Lottermoser (2011)

Oblasser et al (2008)

Oyarzun (2008)

Rodriguez (2011)

Vicente (2015)

Entre otros.....

## ÍNDICE DE LA PRIMERA VERSIÓN

22-23 septiembre - 2020

TASIVOS AMBIENTALES MINEROS: HACIA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE. VISIÓN GLOBAL EN IBEROAMÉRICA"



		Born and a second constants.
		Recurso de minerales y metales.
		Relleno para excavaciones abiertas
	Rocas de desecho	Material de jardinería
		Material de cobertura para depósitos de residuos.
		Sustrato para revegetación en sitios mineros
		Agregado en terraplenes, carreteras, pavimentos,
		cimientos y construcción de edificios.
		Componente de asfalto
	Agua de Minas	Materia prima para cemento y hormigón.
		Roca de desecho, con alto contenido de sulfuros,
		como aditivo del suelo para neutralizar suelos
		agrícolas alcalinos infértiles.
		Supresión de polvo y aplicaciones de procesamiento
Desechos		de minerales.
Mineros		Recuperación de metales en aguas de drenaje ácido
iviineros		1
		(AMD).
		Agua potable
		Uso industrial y agrícola.
		Refrigerante o agente de calentamiento.
		Generación de electricidad utilizando tecnología de
		celdas de combustible.
		Estanques solares diseñados para capturar calor para
		generar electricidad, calefacción o desalinización y
		destilación de agua
		Extracción de óxidos férricos hidratados para
	Lodos de drenaje de minas	pigmentos de pintura.
		Extracción de Mn para esmaltes de cerámica.
		Floculante / adsorbente para eliminar fosfato de
		aguas residuales y efluentes agrícolas.

	AND GREAT STATE OF	
T		Reprocesamiento para extraer minerales y metales.
		Reducción de desechos mediante la extracción
		selectiva de minerales valiosos durante el
		procesamiento.
		Relaves ricos en arena mezclados con cemento
		utilizados como relleno en minas subterráneas
		Relaves ricos en arcilla como una enmienda a los
		suelos arenosos y para la fabricación de ladrillos,
		cemento, baldosas, sanitarios y porcelanas
		Relaves ricos en Mn utilizados en agrosilvicultura,
		materiales de construcción y construcción,
		revestimientos, productos de resina colada, vidrio,
Desechos		cerámica y esmaltes
de procesos	Relaves	Relaves de bauxita como fuentes de alumbre.
l de procesos		Relaves ricos en Cu como extensores para pinturas
		Relaves ricos en Fe mezclados con cenizas volantes
		y lodos de depuración como cerámica ligera
		Recuperación de energía de las mezclas de compost
		y relaves de carbón.
		Relaves ricos en flogopita para el tratamiento de
		aguas residuales.
		Relaves ricos en fosfato para la extracción de ácido
		fosfórico.
		Relaves ultramáficos para la producción de vidrio y
		lana de roca.
		Retención de dióxido de carbono en relaves
		ultramáficos y rocas de desecho.

Tomado de Lottermoser (2011).

# **OPCIONES PARA EL REPROCESAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS**



## **OPCIONES PARA EL REPROCESAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS**

	Barro rojo de bauxita	<ul> <li>Tratamiento de efluentes agrícolas e industriales.</li> <li>Materia prima para vidrio, azulejos, cementos, cerámicas, áridos y ladrillos.</li> <li>Tratamiento de aguas de drenaje ácido (AMD)</li> <li>Retención de dióxido de carbono</li> </ul>	
Desechos	Base histórica	Producción de hormigón y cemento.	
Metalúrgicos	fundición de metales	Uso como relleno, lastre, abrasivo y agregado.	
	escorias	<ul> <li>Extracción de metales (por ejemplo, Cu, Pb, Zn, Ag, Au)</li> </ul>	
		Mejoramiento de suelos	
	Fosfoyeso	<ul> <li>Edificaciones y materiales de construcción.</li> </ul>	
		• Extracción de elementos y compuestos (por ejemplo: U,	
		Y, REE y sulfato de calcio)	

#### Tomado de Lottermoser (2011).



Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador



Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Arturo Prat, Chile



Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.



### **CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS**

#### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS

- 4.1.1 ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS ABANDONADOS
- 4.1.2 ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MASA DE AGUA DE MINA
- 4.1.3 ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL ESPACIO MINERO

Superada la fase de inventario y evaluación de riesgos, si se decide actuar sobre un determinado PAM, será necesario realizar nuevos trabajos de prospección de mayor detalle que el empleado para la evaluación de riesgos, incluyendo la obtención de nuevos datos, que nos permita diseñar el proyecto de remediación o rehabilitación con mayor detalle. Así como valorar las posibilidades de reprocesamiento o reutilización de residuos mineros abandonados o del espacio minero.

La Caracterización, para temas de reprocesamiento o reutilización, permitirá conocer cuales minerales (fáciles de reconocer) están asociados a los principales elementos estratégicos y de valor (rentables de recuperar). Para ello se determinará que tecnologías actuales son las más apropiadas para medir elementos y caracterizar relaves.





# REPROCESAMIENTO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

#### 6. REPROCESAMIENTO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

- 6.1 TÉCNICAS ACTUALES PARA LA EXTRACCIÓN DE METALES
  - 6.1.1 SRB (SULFATE REDUCING BACTERIA) PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES DE AGUAS INTERNAS Y EMBALSADAS
  - 6.1.2 ELECTRO DEPOSICIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES DE LOS DRENAJES ÁCIDOS
  - 6.1.3 FLOTACIÓN
  - 6.1.4 HIDROMETALURGIA
    - LIXIVIACIÓN QUÍMICA
    - BIOLIXIVIACIÓN Y BIOOXIDACIÓN
  - 6.1.5 SEPARACIÓN MAGNÉTICA
  - 6.1.6 SEPARACIÓN GRAVIMÉTRICA
  - 6.1.7 FITOEXTRACCIÓN

La creciente necesidad de obtener un mayor aprovechamiento de los recursos minerales ante el agotamiento de los yacimientos de minerales metálicos de alta ley, motiva el desarrollo de técnicas y metodologías que permitan la obtención de dichos recursos a partir de los residuos generados en las actividades mineras.

La aparición de demandas de nuevos metales que en el pasado no eran de interés, puede ocasionar que en determinados momentos algunos residuos mineros, no considerados de interés, se puedan considerar de interés económico en la actualidad, siendo viable su explotación.



### **REUTILIZACIÓN**

#### 7. REUTILIZACIÓN

- 7.1 REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS MINEROS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
  - 7.1.1 RELLENO PARA EXCAVACIONES MINERAS
  - 7.1.2 CONSTRUCCIÓN DE ANDENES Y TERRAPLENES
  - 7.1.3 AGREGADOS DE CONSTRUCCIÓN
    CARRETERAS, AFIRMADOS, PAVIMENTOS, FILLER O
    RELLENO MINERAL, CONCRETO ASFALTICO
    BALDOSAS Y LADRILLOS
    BLOQUES DE CONCRETO, AGREGADOS PARA CONCRETO
    CEMENTO GEOPOLÍMEROS
- 7.2 REUTILIZACIÓN DE ESTÉRILES DE CARBÓN

El volumen de residuos mineros de las actividades de minería, en especial de la minería a cielo abierto, ha dado lugar a que se practique la reutilización de estos, como materiales de construcción. Se trata de transformar los residuos de pasivos mineros (desmontes, relaves y otros) en verdaderos activos industriales, contribuyendo a los objetivos de remediación, ya que de esta forma se reducirían volúmenes y niveles de contaminación; y el futuro uso de sus terrenos rehabilitados.







#### **REUTILIZACIÓN DE ESPACIOS MINEROS ABANDONADOS**

7.3 REUTILIZACIÓN DE ESPACIOS MINEROS ABANDONADOS		
	7.2.1	AGRÍCOLA O FORESTAL
	7.2.2	URBANÍSTICO O INDUSTRIAL
	7.2.3	RECREATIVO, DEPORTIVO O EDUCACIONAL
	7.2.4	TURÍSTICO – HISTÓRICO
	7.2.5	DEPÓSITOS DE AGUA
	7.2.6	DEPÓSITOS DE HIDROCARBUROS
	7.2.7	VERTEDEROS Y DEPÓSITOS DE SEGURIDAD
	7.2.8	CIENTÍFICO

Esta practica tiene como objetivo restituir la **posibilidad de que el terreno alterado vuelva a ser útil para un determinado uso, sin perjudicar el medio ambiente**. Cualquiera que sea el uso adoptado en la recuperación deberá ajustarse a las necesidades de la zona y su entorno, y deberá ser compatible con los usos ahí existentes.

# **ESPACIOS MINEROS** DE USO DE **TIPOS**

Tipo de uso	Características	Aspectos necesarios
Agrícola	<ul> <li>Plantación de frutales</li> <li>Cereales</li> <li>Vides</li> <li>Pastizales</li> <li>Forrajes</li> </ul>	Pendientes suaves Sistema de drenaje Suelo fértil bien reconstituido Tipo de cultivo adoptado a la disponibilidad de agua y a las características del suelo
Forestal	<ul> <li>Plantación de árboles para la explotación de madera, incremento de la biodiversidad, lucha contra la erosión, etc.</li> </ul>	Pendientes moderadas     Suelo fértil bien reconstituido     Sistemas de drenaje     Selección de especies
Hábitat natural	<ul> <li>Recuperación del entorno natural o creación de nuevo hábitat</li> <li>Reserva de flora y fauna</li> </ul>	Suelo fértil bien reconstituido     Selección de especies     Modelado de orillas y hueco
Actividades recreativas	Senderismo     Contacto con la naturaleza     Observatorio de especies o área de interés geológico     Escalada     Caza     Pesca     Deportes náuticos     Campos para la práctica deportiva (atletismo, tenis, fútbol, golf, motocross, ciclodromos, etc.)     Aeródromos     Parque zoológico     Jardín botánico     Museo de la explotación	Estabilidad de los taludes     Buenas prácticas geotécnicas del suelo restaurado     Accesos     Proximidad a núcleos urbanos     Medidas de seguridad para los usuarios     Buen acondicionamiento del hueco (deportes náuticos)
Urbanismo	Urbanizaciones Parques y zonas verdes Auditorios Iglesias Bodegas  PATRIMONIO MINERO GEOPARQUES MINEROS	Pendientes suaves Buenas propiedades geotécnicas del suelo rehabilitado (cimentaciones) Accesos Proximidad a núcleos urbanos Medidas de seguridad para los usuarios Infraestructuras (líneas eléctricas, alcantarillado, agua potable, carreteras de acceso, etc.) Buen acondicionamiento y sellado del hueco (vertederos, depósitos, piscifactoría)

Tomado de Cedrón (2013)





Mina museo El Edén, Ciudad de Zacatecas, Zacatecas, México. Imágenes: SGM, cortesía Francisco Arceo y Cabrilla



Mina Yanacocha. Tajo San Jose (Cajamarca), convertido en reservorio de agua. Foto MYRSA





Geoparque Comarca Minera, estado de Hidalgo, México. Foto cortesía de Francisco Arceo y Cabrilla (SGM)





Minas Museo Zaruma, Ecuador. Foto compañía minera BIRA S.A.





# GRACIAS POR SU ATENCIÓN