



**ASGMI**  
Asociación de Servicios  
de Geología y Minería  
Iberoamericanos

## PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

### MANUAL PARA EL INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS O PARALIZADAS

Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros de ASGMI

**Autores:**

Fredy Guzmán Martínez, SGM (México)

Julio César Arranz González, IGME (España)

Lionel Fidel Smoll, INGEMMET (Perú)

Luis Collahuazo, IIGE (Ecuador)

Edmundo Marcelo Calderón, IIGE (Ecuador)

Olvin Otero, INHGEOMIN (Honduras)

Francisco Arceo y Cabrilla, SGM (México)

**Mayo de 2020**



## PREFACIO

En el año 2010 el Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros (GEPAM) publicó el Manual para el Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas. El cual fue elaborado con el auspicio de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanas (ASGMI), y fue aprobado en su XVI Asamblea General Ordinaria, celebrada en Barquisimeto, Venezuela, en marzo del mismo año. El citado documento fue el resultado de acuerdos adoptados en dos talleres monográficos celebrados en el Centro de Formación de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, en los años 2008 y 2009, coordinados por el Dr. Vicente Gabaldón, Secretario General de la ASGMI. En la redacción de dicho documento participó un equipo de trabajo conformado por representantes de los servicios geológicos de Argentina (SEGEMAR), Chile (SEGEMAR), España (IGME), México (SGM), Perú (INGEMMET) y Venezuela (INGEOMIN). Este documento se encuentra disponible en el sitio web oficial de la ASGMI ([www.asgmi.org](http://www.asgmi.org)). El Manual de 2010 fue la base para inventariar pasivos ambientales mineros en Iberoamérica (Argentina, Costa Rica, Cuba, México, por citar algunos).

Es importante comentar que posterior a la publicación del Manual del 2010, el GEPAM suspendió actividades y no fue hasta febrero de 2018 que se retomaron los trabajos. Actualmente, se ha consolidado un núcleo de ponentes representantes de 12 países (Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Honduras, México, Perú, Portugal y Uruguay) y se está trabajando con nuevo enfoque denominado "Gestión de Pasivos Ambientales Mineros". Esta gestión se puede resumir en cuatro fases que van desde la 1) Identificación, inventario y caracterización de las minas abandonadas y paralizadas; la 2) Evaluación de riesgos y clasificación de Pasivos Ambientales Mineros (PAM); el 3) Reprocesamiento y/o reutilización de los PAM, hasta la 4) Priorización y propuestas de remediación de los PAM.

Es así que el GEPAM, con el objetivo de elaborar documentos y guías metodológicas en materia de Gestión de PAM y que sean de aplicación para los países miembros de la ASGMI, ha considerado necesario actualizar el Manual para el inventario del 2010. Los trabajos contemplaron, en primera instancia, la actualización de términos y conceptos en los capítulos 1 y 2 (Introducción y Definiciones, respectivamente), seguido de la reestructuración del capítulo 3 (Gestión de los PAM), donde se incluyó la fase de Reprocesamiento y/o reutilización de los PAM. Finalmente, se reformó el apartado 4.9 -Muestreo-, incluyendo dos nuevos subcapítulos que describen el protocolo de muestreo y también se proponen un conjunto básico de ensayos de campo y de laboratorio. Estos cambios, se consideran fundamentales para que el presente Manual para el Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas, sienta las bases y sea considerado punto de partida para las guías metodológicas que se están desarrollando actualmente y que estarán dedicadas a: la Clasificación de los PAM y evaluación de riesgos y; al Reprocesamiento y/o reutilización de los PAM, respectivamente. Además, entre los anexos, se ha considerado eliminar un glosario que aparecía en el manual original puesto que entre los nuevos trabajos acometidos por el GEPAM se incluye la redacción de un nuevo glosario de términos asociados a la Gestión de PAM que actualiza y amplía el original y que fue editado como un documento independiente destinado a servir de apoyo al resto de los manuales. Finalmente, en el Apéndice A se listan los integrantes del GEPAM que han contribuido a la elaboración de este Manual.



## ÍNDICE

1	Introducción.....	1
2	Definiciones.....	2
3	Gestión de Pasivos Ambientales Mineros.....	3
4	Ficha Inventario de Minas Abandonadas – Paralizadas .....	7
4.1	Identificación de la mina.....	8
4.2	Tipo de minería .....	9
4.3	Estado y tipo de mina.....	9
4.4	Estado y tipo de planta.....	10
4.5	Depósitos de residuos.....	11
4.6	Sustancias peligrosas utilizadas.....	11
4.7	Situación del entorno.....	12
4.8	Situación del agua.....	13
4.9	Muestreo .....	14
4.9.1	Protocolo de muestreo.....	16
4.9.2	Ensayos de campo y laboratorio .....	17
4.10	Identificación preliminar de impactos ambientales y/o peligros para bienes y personas.....	22
4.10.1	Impactos ambientales.....	23
4.10.2	Procesos geodinámicos u otros presentes en el entorno .....	25
4.10.3	Problemas de seguridad a las personas .....	26
5	Procedimiento para la cumplimentación de la ficha inventario de minas abandonadas / paralizadas.....	29
6	Referencias.....	31

ANEXO I. Ficha inventario de minas abandonadas/paralizadas. Croquis de situación y hoja de muestreo.

ANEXO II. Códigos ISO-3166 a2 de los países de Iberoamérica y la Península Ibérica.

ANEXO III. Recomendaciones sobre empleo de la notación de colores MUNSELL

Apéndice A. Integrantes del Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros



## 1 Introducción

En la actualidad, el desarrollo de las actividades mineras requiere del empleo de tecnologías que permitan recuperar y aprovechar cada vez más los recursos minerales, además de que los proyectos mineros están sujetos a evaluación de impacto ambiental y social previo al inicio de actividades. Asimismo, en la mayoría de los países iberoamericanos la legislación solicita un adecuado cierre de operaciones mineras y la apropiada gestión de sus residuos, solicitando en algunos casos, garantías financieras para asegurar su cumplimiento. Sin embargo, con anterioridad a la adecuada legislación ambiental de la actividad minera, el sector no siempre consideró todo el ciclo minero y como consecuencia se han generado una serie de impactos ambientales negativos, con la consecuente generación de Pasivos Ambientales Mineros (PAM), tales como: minas sin un cierre técnico, depósitos de relaves, escombreras e instalaciones abandonadas, entre otros (CEPAL, 2014). Estos PAM pueden implicar escenarios de riesgo para la seguridad y salud de las personas y para el ambiente. Por lo anterior, se hace necesario, o cuando menos aconsejable, que se tomen medidas para mitigar las amenazas a la salud y al ambiente, iniciando con el inventariado de los sitios mineros abandonados y una caracterización preliminar que permita diferenciar si el sitio requiere de una evaluación del riesgo a detalle o si podría ser susceptible de reprocesamiento y/o reutilización, para finalmente proponer medidas de remediación.

En el contexto de la minería histórica, en Iberoamérica existen registros de explotaciones de yacimientos que datan de hace varios siglos, existiendo minas metálicas prehistóricas en la Península Ibérica (Armada, X., et al., 2005) y, en América, el mayor auge de la actividad minera ha sido durante el siglo XIX (Navarrete, 2015). En la medida en que la minería abandonada y especialmente sus residuos, depósitos de relaves, botaderos o escombreras constituyan una real amenaza para la salud y el medio ambiente, se hace necesaria la Gestión de los Pasivos Ambientales Mineros, es así que, la segunda edición de este Manual trata de poner en común entre los profesionales de los Servicios Geológicos miembros de ASGMI los criterios y metodologías de trabajo para caracterizar e inventariar los diferentes tipos de PAM, ya sean generados por minería metálica o no metálica. Se pretende, por tanto, establecer una metodología común para la primera etapa del modelo de Gestión de PAM, descrito sucintamente en el apartado 3 de este manual, en el que se consideran cuatro etapas: 1) Identificación, Inventario y Caracterización de las Minas Abandonadas y Paralizadas; 2) Evaluación de Riesgos y Clasificación de PAM; 3) Reprocesamiento y/o Reutilización de los PAM, hasta la 4) Priorización y Propuestas de Remediación de los PAM.

## 2 Definiciones

Con este apartado se pretende concretar y poner en común algunos conceptos fundamentales que pueden admitir otras definiciones más o menos precisas. No obstante, teniendo en cuenta que la terminología y léxico de la minería no es exactamente igual en todos los países de la comunidad iberoamericana ni, como consecuencia, la empleada en los Servicios Geológicos miembros de ASGMI, en este apartado únicamente se definen los términos generales objeto del documento. El detalle de la terminología utilizada en la Ficha-Inventario (Anexo I) se desarrolla en el “Glosario Técnico en Materia de Gestión de Pasivos Ambientales Mineros” que se aporta como documento independiente y que puede ser consultado en el sitio web oficial de la ASGMI ([www.asgmi.org](http://www.asgmi.org)).

Para el uso de la Ficha-Inventario por los diferentes Servicios Geológicos se recomienda conservar el formato propuesto adaptando la terminología empleada en cada país, en su caso, de acuerdo con el Glosario antes citado. Los conceptos más generales empleados en esta guía tienen las siguientes definiciones:

**Pasivos Ambientales Mineros:** son aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, infraestructuras, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyan un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el ambiente.

**Mina Abandonada:** es aquella de la cual su dueño desiste y/o abandona con el ánimo de desprenderse del dominio de la misma y sin cumplimiento de las medidas de cierre.

**Mina Paralizada:** es aquella que se encuentra detenida por cualquier causa, sea temporal o definitiva, excluyendo detenciones por razones operacionales, de mantenimiento u otras habituales en una instalación minera en operación.

**Remediación:** el conjunto de acciones y medidas adecuadas para el control, reducción o eliminación del riesgo, para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente, de un pasivo ambiental minero, hasta un grado tal que el riesgo se reduce a un nivel aceptable y no significativo.

**Riesgo:** es la amenaza de ocurrencia de un evento en condiciones de vulnerabilidad a la población, los bienes, servicios y el medio ambiente, o la estimación conjunta de la probabilidad y severidad de un efecto adverso para la vida, la salud, la propiedad o el medio ambiente.

### 3 Gestión de Pasivos Ambientales Mineros

La gestión de Pasivos Ambientales Mineros es un proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental de estos, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible. Abarca un concepto integrador superior al del manejo ambiental; ya que no sólo están las acciones a ejecutarse por la parte operativa, sino también las directrices, lineamientos y políticas formuladas desde los entes rectores, que terminan mediando la implementación. Sin perder de vista que la objetividad y la aplicación de criterios científico-técnicos ha de ser la base de los trabajos que los Servicios Geológicos pueden desarrollar, el resultado de estos trabajos no ha de ser considerado como definitivo, desde el momento en que el proceso de toma de decisiones no está totalmente en sus manos; de ser necesario se deben conjugar las recomendaciones obtenidas, con otras fijadas de acuerdo a razones de índole social, de estrategia territorial, políticas, entre otras. En este contexto, el Modelo de Gestión de Pasivos Ambientales Mineros propuesto para ser implementado por los Servicios Geológicos miembros de ASGMI se centra en los aspectos más técnicos de la gestión, y considera el desarrollo de las siguientes fases (Figura 1):

- Fase I) Identificación, Inventario y Caracterización de las Minas Abandonadas y Paralizadas y/o de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM).
- Fase II) Evaluación de Riesgos y Clasificación de PAM.
- Fase III) Reprocesamiento y/o Reutilización de los PAM.
- Fase IV) Priorización y Propuestas de Remediación de PAM.

MANUAL PARA EL INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS O PARALIZADAS

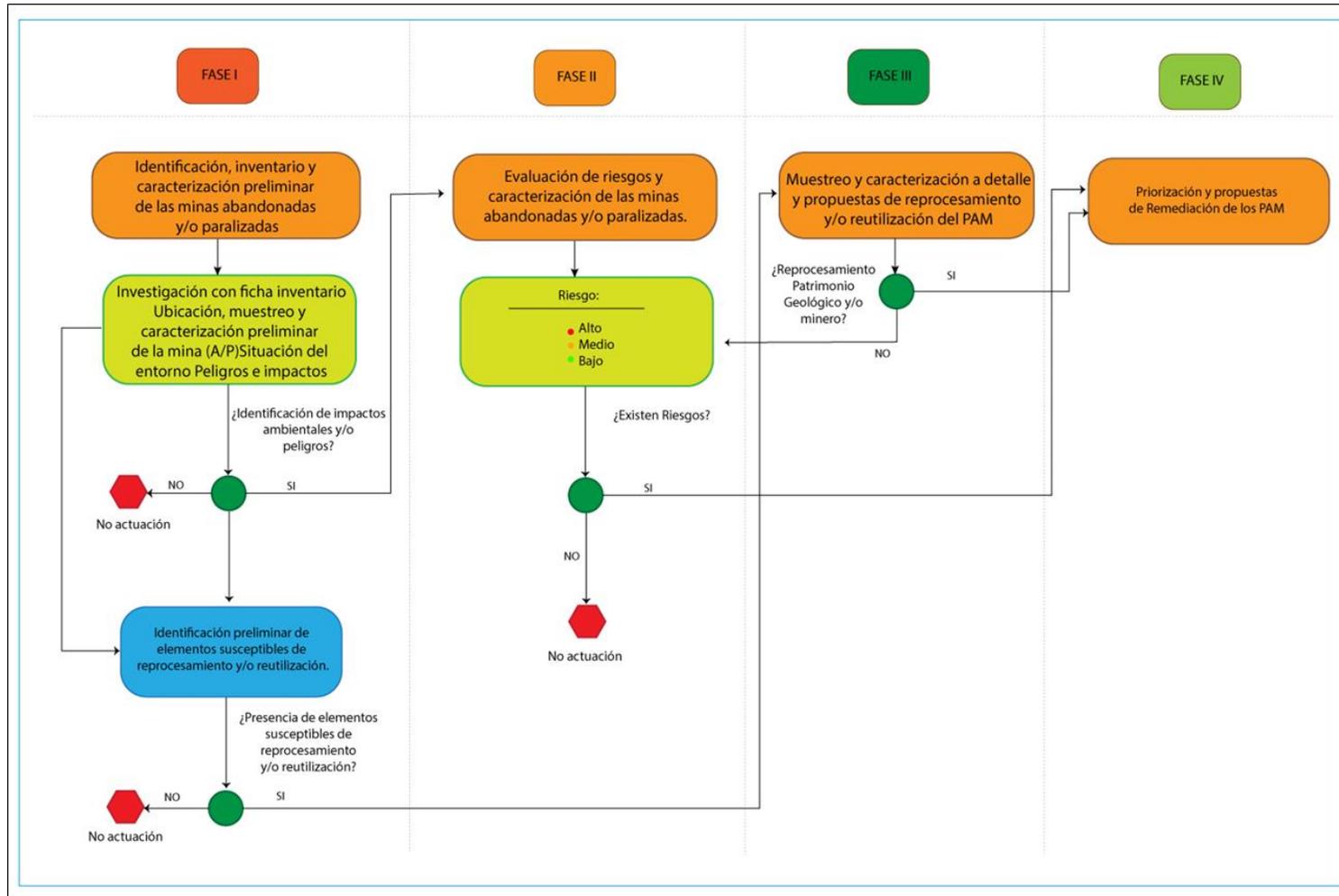


Figura 1.- Modelo de Gestión de Pasivos Ambientales Mneros

El presente Manual para el Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas, aborda exclusivamente la Fase I del Modelo de Gestión de Pasivos Ambientales Mineros, es decir, la identificación, ubicación y caracterización preliminar de las minas abandonadas o paralizadas y la situación de su entorno, con el propósito de levantar un inventario o catastro minero nacional de estos sitios, incluyendo su distribución en el territorio y registrando información preliminar de los peligros e impactos visibles. En esta primera fase se propone crear una base de datos que permitirá continuar con el siguiente paso de selección de las minas cuyo nivel de riesgo las haga merecedoras de mayor atención.

La Fase II se refiere a un estudio más acucioso de los escenarios de peligros que tienen las minas abandonadas/paralizadas seleccionadas y el efecto de éstos sobre las personas y el medio ambiente. Dicho estudio tiene como objetivo clasificarlas como Pasivos Ambientales Mineros y asignarles un lugar en la categorización relativa al nivel de riesgo. Esta segunda fase será objeto de un nuevo desarrollo metodológico que será plasmado en un Manual de Evaluación de Riesgos de Minas Abandonadas/Paralizadas - Clasificación de PAM, actualmente en preparación por el Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros (GEPAM) de la ASGMI.

En la Fase III, se identificarán los elementos susceptibles de reprocesamiento (depósitos de residuos mineros) y/o reutilización (instalaciones, edificaciones, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral). Esto se realizará tomando en consideración la identificación, inventario y caracterización de las minas abandonadas y paralizadas (Fase I) y teniendo como punto de partida el muestreo que se propone en este Manual. A la fecha, el GEPAM está preparando la Guía para el Reprocesamiento y/o Reutilización de Pasivos Ambientales Mineros.

La Fase IV propone realizar una priorización de actuaciones, planes o medidas que serán tomadas considerando la naturaleza del PAM, este desarrollo metodológico será plasmado en la Guía para la Priorización y Propuestas de Remediación de PAM.

En la Tabla 1, se resumen las metodologías aplicables a cada fase de la Gestión de PAM, al respecto, cabe señalar que el Modelo de Gestión de PAM se ha considerado desde el punto de vista técnico.

*Tabla 1.- Gestión de Pasivos Ambientales Mineros*

<b>Fases</b>	<b>Metodologías aplicables a cada fase</b>
<b>FASE I:</b> Identificación, inventario y caracterización de las minas abandonadas y paralizadas	Manual para el Inventario de Minas Abandonadas y/o Paralizadas
<b>FASE II:</b> Evaluación de Riesgos y Clasificación de los PAM	Manual de Evaluación de Riesgos de Minas Abandonadas/Paralizadas - Clasificación de PAM
<b>FASE III:</b> Reprocesamiento y/o reutilización de los PAM	Guía para el Reprocesamiento y/o Reutilización de PAM
<b>FASE IV:</b> Priorización y propuestas de Remediación de PAM	Guía para la Priorización y propuestas de Remediación de PAM

Es importante hacer mención que desde el punto de vista administrativo pueden existir otros temas complementarios, tales como, determinación de responsables y ejecución de las propuestas de remediación y/o, mantenimiento y monitoreo de las actividades. Estos tópicos administrativos son transversales y se pueden circunscribir al presente esquema de Gestión de PAM (Figura 2), sin embargo, no se consideró su inclusión pues de acuerdo al documento sobre “Conocimiento y percepciones acerca de los PAM en países miembros de la ASGMI” (ASGMI, 2019), no todos los Servicios Geológicos y Direcciones de Minería tienen competencia directa en la Gestión de los PAM. Por lo que la Gestión Administrativa de los PAM, dependerá de la legislación en la materia propia de cada país, así como de la coordinación interinstitucional que los Servicios Geológicos tengan con sus contrapartes, por ejemplo, los Ministerios de Medio Ambiente, de Economía, de Energía y/o de Industria.

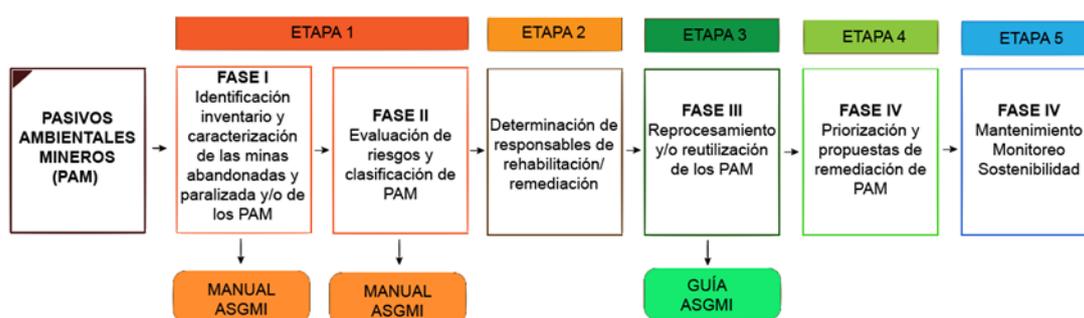


Figura 2.- Etapas técnico-administrativas transversales en la Gestión de Pasivos Ambientales Mineros.

## 4 Ficha Inventario de Minas Abandonadas – Paralizadas

En este apartado se describe el contenido de la Ficha Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas (anexo I), y el procedimiento a seguir para su cumplimentación y para la obtención de datos y resultados necesarios para etapas posteriores en la evaluación de los Pasivos Ambientales Mineros.

En la parte superior de la ficha, inmediatamente debajo del título (ver Anexo I) aparecen dos espacios reservados para la identificación de la propia ficha, mediante códigos que permitirán distinguirla del resto de fichas del inventario, y que serán los identificadores en la base de datos correspondiente. Estos códigos son:

- **Código de Identificación:** Se consigna en una doble casilla situada en la parte superior izquierda. El primer espacio se reserva para la clave del país según el código de la norma ISO 3166-A2. Salvo contadas excepciones estos códigos son los mismos que se emplean con letras minúsculas en los llamados Dominios de Nivel Superior Geográfico en INTERNET. Así, por ejemplo: “CL” significará Chile y, “BR” representará a Brasil. En el anexo II se adjunta el listado completo de códigos para Iberoamérica y la Península Ibérica. El segundo espacio está reservado para un código constituido por una cadena de cuatro letras separadas por un guion. Las dos primeras identifican el estado (región o provincia) en que se encuentra la mina abandonada o paralizada objeto de estudio, y las otras dos que identifican el municipio (o comuna). Esta cadena de cuatro letras irá seguida de un número correlativo de dos dígitos indicador de la mina o emplazamiento minero. Por ejemplo, si el objeto de la ficha inventario fuese la mina abandonada número 01 en el municipio de Campo Elías, Estado Mérida, en Venezuela, el Código de Identificación llevaría en la primera casilla las siglas “VE” y en la segunda casilla la cadena “ME-CE-01”. Otros términos que podrían ser utilizados para formar con sus iniciales este código serían, por ejemplo: departamento, región, cantón, municipio. En función de lo que sea más conveniente y ajustado a la subdivisión administrativa de cada país.
- **Ficha número:** hace referencia al número de fichas empleadas en la identificación de una determinada mina. Lo que se pretende es permitir la utilización de varias fichas en aquellos casos en los que la complejidad de un determinado emplazamiento minero, o la multiplicidad de depósitos de residuos asociados a una determinada mina y reconocidos como pertenecientes a ella así lo aconsejen. Se puede dar también el caso de la existencia de una estructura minera aislada que prestó servicio a varias minas, como por ejemplo una presa de lodos o relaves. En este caso concreto parece más adecuado asignar una ficha exclusiva a dicho depósito de lodos que asociarlo a una mina en particular.

En general, se recomienda registrar en fichas independientes aquellos casos en los que las instalaciones pertenecientes a una mina abandonada se encuentren separadas por distancias que implican diferentes ambientes, es decir, donde cada instalación tiene diferente entorno y presenta características y condiciones propias, por ejemplo, una mina que se encuentre situada en una zona alta y alejada de una población

mientras que la planta y el depósito de residuos se ubican en una zona baja y cerca de una población, en este caso sería aconsejable emplear fichas diferentes.

El cuerpo principal de la Ficha consta de encasillados de estructura fija compuestos por 10 ítems o apartados numerados, al que se suma un apartado final destinado a reflejar posibles incidencias u observaciones surgidas durante el desarrollo de los trabajos de campo. Los primeros ítems están diseñados para recolectar información correspondiente a la descripción de la explotación minera abandonada, y el resto para reunir datos sobre la situación del entorno e impactos ambientales o peligros que se observan. A excepción de los dos primeros, todos incluyen un subapartado dedicado a observaciones, con objeto de facilitar la incorporación de información complementaria a la que se registra en las casillas.

A continuación, se explica el contenido y modo de cumplimentar cada ítem de la Ficha para el inventario de minas abandonadas. Para cada uno de los apartados se reproduce en primer lugar el encasillado que le corresponde en la Ficha.

#### 4.1 Identificación de la mina

<b>1. Identificación de la Mina</b>						
Nombre de la Mina A/P		<input type="text"/>				
Empresa/Propietario:		<input type="text"/>				
Ubicación	Longitud:	<input type="text"/>	Latitud:	<input type="text"/>	Altitud (msnm)	<input type="text"/>
Región:	<input type="text"/>	Prov.:	<input type="text"/>	Comuna/Municipio	<input type="text"/>	Paraje: <input type="text"/>
Mapa Topográfico N°:	<input type="text"/>	Nombre:	<input type="text"/>		Escala:	<input type="text"/>
Accesibilidad:	<input type="checkbox"/> Con vehículo	<input type="checkbox"/> A pie /a caballo	<input type="checkbox"/> Inaccesible	<input type="checkbox"/> Croquis		

- **Nombre de la Mina** Abandonada/Paralizada: Si existe información disponible en el Servicio Geológico correspondiente, o es posible averiguarlo de otro modo, se registrará el nombre de la mina abandonada - paralizada.
- **Empresa/Propietario:** Se registrará información del concesionario minero, ya sea como empresa, persona jurídica, o bien, el nombre de la persona responsable del lugar o cuidador local.
- **Ubicación:** Se identificará la ubicación mediante las coordenadas geográficas (longitud y latitud), o de preferencia en la proyección UTM (salvo que en el país de que se trate se utilice otro sistema de proyección), y la altitud o cota, así como el Datum al que se refieren las coordenadas.
- **Región, Provincia, Comuna/Municipio, Paraje:** Se indicarán los nombres toponímicos de las sucesivas subdivisiones administrativas que permitan ubicar más fácilmente la localización, terminando con el nombre del paraje con el que se conoce el lugar. Los descriptores utilizados pueden cambiar en los distintos países, en función de cómo esté establecido el sistema de subdivisiones administrativas y de lo que sea más conveniente en cada caso. Por ejemplo, otros términos que podrían ser utilizados en esa serie serían: estado, departamento, región o cantón.
- **Mapa Topográfico (número, nombre y escala):** En las casillas correspondientes se escribirá el número, nombre y escala de la hoja del correspondiente mapa topográfico de mayor detalle (mayor escala) que esté disponible y en el que pueda situarse el emplazamiento de la mina inventariada.
- **Accesibilidad:** Se marcará la casilla que corresponda. La opción "Inaccesible" implica que los investigadores no pueden acercarse al lugar. En este caso, habría que intentar observar desde lejos. En cualquier caso, es recomendable anotar algún comentario al respecto, aunque sólo sea

porque en ocasiones será la única constancia de la existencia de una mina abandonada. La casilla “Croquis” se marcará en aquellos casos en que se levante un croquis de la zona en la hoja de la Ficha Inventario destinada a tal fin (ver anexo I). Dicho croquis contempla un dibujo de la ubicación de la mina abandonada, respecto a puntos de referencia importantes (como, por ejemplo, caminos, casas o bosques), y/o de las instalaciones de la mina.

#### 4.2 Tipo de minería

2. Tipo de Minería		Metálica: <input type="checkbox"/>	No Metálica: <input type="checkbox"/>
Mineral:		<input type="text"/>	

- **Tipo de minería:** En primer lugar, se ha de marcar lo que corresponda sobre el tipo de minería: metálica o no metálica. Esta dicotomía resalta la significación de la minería metálica frente a todos los otros tipos de explotación minera, reflejando la enorme importancia que ha tenido históricamente y tiene todavía hoy en la generación de pasivos ambientales, tanto en Iberoamérica como en la Península Ibérica.
- **Mineral:** Se registrará el tipo de roca o mineral que fue extraído de la mina, así como los minerales secundarios. Se recomienda usar los nombres comunes para las sustancias no metálicas (mármol, pizarra, bauxita, carbón, por ejemplo) y emplear los símbolos de la tabla periódica de los elementos para los metales (Ag, Au, Cu, Pb, Zn,...).

#### 4.3 Estado y tipo de mina

3. Estado y Tipo de Mina							
Estado:	<input type="checkbox"/> Abandonada desde el año:	<input type="text"/>					
	<input type="checkbox"/> Paralizada desde el año:	<input type="text"/>	Hasta el año:	<input type="text"/>			
Tipo :	<input type="checkbox"/> Subterránea	Accesibilidad		Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/> Cielo abierto	Inundada	No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/>	Color del agua	<input type="text"/>	pH <input type="text"/>
		Efluentes	No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/>	Color del agua	<input type="text"/>	pH <input type="text"/>
Tamaño del hueco (m)	Ancho: <input type="text"/>	Largo: <input type="text"/>	Prof.: <input type="text"/>	Volumen estimado (m <sup>3</sup> ):	<input type="text"/>		
Observaciones:							

- **Estado de la Mina Abandonada/Paralizada:** Se marcará la casilla abandonada o paralizada, según corresponda y se escribirá el año en que entró en dicho estado, en caso de existir información al respecto, o si se trata de una mina que anunció su paralización.
- **Tipo:** Se marcará lo que corresponda entre las opciones de minería subterránea o a cielo abierto (tajo abierto).
- **Accesibilidad:** Este apartado hace referencia a la accesibilidad a las diferentes áreas que conforman la mina abandonada/paralizada y a la seguridad que este acceso representa. En el caso de tratarse de una mina subterránea, es muy importante señalar si las labores de interior (pozos, galerías, cámaras,...) son accesibles o no, especialmente por lo que pudiera implicar desde el punto de vista de la seguridad de las personas. Se ha de marcar la casilla que corresponda (Si o No).

- **Inundada:** Se ha de marcar lo que corresponda entre las opciones Si o No. En el caso de encontrarse inundada, se describirá el color del agua y se anotará el pH, cuando corresponda.
- **Efluentes:** Se ha de marcar la casilla que corresponda (Si o No). De observarse presencia de efluentes, se describirán algunas características físicas del agua, tales como: color, olor, presencia de sólidos suspendidos (se utilizará el espacio de observaciones de ser necesario), y se registrará el pH, cuando corresponda.
- **Tamaño del hueco:** Se anotarán las dimensiones aproximadas del hueco minero en las correspondientes casillas (ancho, largo y profundidad), así como una estimación aproximada del volumen.

#### 4.4 Estado y tipo de planta

<b>4. Estado y Tipo de Planta</b>													
Trituración/molienda:	<input type="checkbox"/>	Cribado:	<input type="checkbox"/>	Lavadero:	<input type="checkbox"/>	Flotación:	<input type="checkbox"/>	Lixiviación:	<input type="checkbox"/>	Precipitación:	<input type="checkbox"/>	SXEW:	<input type="checkbox"/>
Refinación:	<input type="checkbox"/>	Tostación:	<input type="checkbox"/>	Cianuración:	<input type="checkbox"/>	Amalgam.:	<input type="checkbox"/>	Fusión/convers.:	<input type="checkbox"/>	Otras:	<input type="text"/>		
Observaciones:													
<hr/>													

En este apartado se registrarán las instalaciones existentes en el área minera abandonada. Como ya se ha comentado, sólo instalaciones incluidas en el área minera, o ubicadas en similares entornos, deberán ser registradas en la misma ficha empleada para la mina. Se seleccionará el, o los procesos, de la planta de beneficio marcando las casillas correspondientes reservadas a:

- **Trituración/molienda**
- **Cribado**
- **Lavadero**
- **Flotación**
- **Lixiviación**
- **Precipitación**
- **SXEW** (solvent extraction and electrowinning, traducible por extracción por solventes y electro-obtención de minerales)
- **Refinación**
- **Tostación**
- **Cianuración**
- **Amalgamación**
- **Fusión/conversión**
- **Otras**

Si no existe planta de beneficio o restos de ésta, pero se sabe que existió una o más en el pasado, los procesos se pueden identificar a través de la consulta de información de archivos, o mediante entrevistas a ex trabajadores o vecinos. Esta información es importante para juzgar las características de los desechos residuales o la posibilidad de contaminación ambiental de los alrededores.

#### 4.5 Depósitos de residuos

<b>5. Depósitos de Residuos</b>							
Desmote/botadero:	<input type="checkbox"/>	Relaves:	<input type="checkbox"/>	Residuos de lixiviación:	<input type="checkbox"/>	Residuos de evap/precip.	<input type="checkbox"/>
Residuos industriales:	<input type="checkbox"/>	Escorias:	<input type="checkbox"/>	Otros acopios:	<input type="text"/>		
Tamaño del depósito (m)	Ancho: <input type="text"/>	Largo: <input type="text"/>	Altura: <input type="text"/>	Volumen est. (m <sup>3</sup> ):	<input type="text"/>	Color	<input type="text"/>
Observaciones:							

Se seleccionarán los tipos de residuos mineros remanentes marcando las casillas correspondientes reservadas a:

- **Desmote/botadero**
- **Relaves**
- **Residuos de lixiviación**
- **Residuos de evaporación/precipitación**
- **Residuos industriales**
- **Escorias**
- **Otros acopios**

Se podrán seleccionar varios tipos de depósitos de residuos, en su caso. Si existieran varios depósitos de la misma naturaleza sin nombre propio, se registrarán con nombres arbitrarios como Depósito de Relaves 1, 2, 3,..., para poder identificarlos.

- **Tamaño del depósito:** Se anotará el tamaño de cada depósito de residuos mineros en las correspondientes casillas (ancho, largo y altura), así como una estimación aproximada del volumen. Esta información será importante en el caso de que se considere que el depósito es susceptible de aprovechamiento y/o reutilización. En el caso de residuos depositados en un declive, en relación a la altura, es preferible registrar el promedio de la altura, no la máxima del depósito.
- **Color:** Se escribirá el color predominante o el que más se ajusta a la percepción visual de la masa de residuos. Este aspecto es especialmente interesante para residuos finos, si bien también puede serlo para residuos de desmote, al dar una idea de cuánta tierra está incorporada en el residuo. Se recomienda utilizar la notación Munsell. Sobre el empleo de la notación de colores Munsell se aportan una serie de recomendaciones y aclaraciones en el anexo III de este manual.

#### 4.6 Sustancias peligrosas utilizadas

<b>6. Sustancias peligrosas utilizadas</b>			
Mercurio:	<input type="checkbox"/>	Cianuro:	<input type="checkbox"/>
Ácido sulfúrico:	<input type="checkbox"/>	Otros:	<input type="text"/>
Observaciones:			

Si se tienen antecedentes de los procesos mineros desarrollados en la mina o planta abandonada, es posible seleccionar el nombre de la sustancia que se utilizó entre las que se han incluido en la ficha, marcando la casilla correspondiente:

- **Mercurio**
- **Cianuro**
- **Ácido sulfúrico**
- **Otros**

Si se tuviera conocimiento de que fueron empleadas sustancias no identificadas como una opción en la Ficha, es importante registrarlas en la casilla reservada a "Otros". En el subapartado de "Observaciones" conviene anotar el lugar de almacenamiento de las sustancias y cualquier otra información relativa a la cantidad o condiciones en que se encuentre (ordenado, esparcido, aislado, por ejemplo).

#### 4.7 Situación del entorno

<b>7. Situación del entorno</b>		<b>Distancia (m)</b>	<b>Descripción</b>
<input type="checkbox"/> Viviendas		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Infraestructura vial		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Infraestructura urbana		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Áreas agrícolas y/o ganaderas		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Explotación forestal		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Vegetación natural		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Especies y/o ecosistemas valiosos		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Otros recursos		<input type="text"/>	<input type="text"/>
<b>Entorno geológico</b>		<b>Descripción</b>	
Rocas del sustrato:	Sedimentarias <input type="checkbox"/>	Volcánicas <input type="checkbox"/>	Volcano-sedimentarias <input type="checkbox"/>
	Intrusivas <input type="checkbox"/>	Metamórficas <input type="checkbox"/>	
Morfología:	Cono deyecc. <input type="checkbox"/>	Valle <input type="checkbox"/>	Ladera <input type="checkbox"/>
	Terraza <input type="checkbox"/>	Rampa <input type="checkbox"/>	Altiplanicie <input type="checkbox"/>
			Litoral <input type="checkbox"/>
Observaciones:			

La información contemplada en este ítem es importante para la fase de evaluación de riesgos de los Pasivos Ambientales Mineros. Se deberá registrar información sobre todos los elementos, naturales y artificiales, existentes en el entorno del sitio minero tales como bosques, ríos, casas, caminos, ferrocarriles y, la distancia a/desde el área minera abandonada. Por ejemplo, si un depósito de relaves adyacente a un río se rompiera, sus efectos podrían llegar de unos pocos a varios kilómetros río abajo. En la Ficha Inventario, bastará con referenciar los elementos incluidos en un radio de 1 km alrededor del área minera abandonada. Los contenidos de este ítem son:

- **Viviendas:** poblaciones o conjuntos de casas. Se deberá registrar incluso una casa aislada.
- **Infraestructura vial:** caminos, puentes, túneles, por ejemplo.
- **Infraestructura urbana:** instalaciones públicas, tales como escuelas, líneas de ferrocarril, líneas de transmisión de energía eléctrica o canales.
- **Áreas agrícolas y/o ganaderas:** distinguiendo a ser posible por tipos de productos agrícolas o de animales.
- **Explotación forestal:** masas arboladas con claro aprovechamiento forestal, es decir en los que se realizan operaciones cuyo objetivo final es la obtención de productos forestales.
- **Vegetación natural:** vegetación circundante de carácter autóctono o nativo, describiéndola someramente o nombrándola con vocablos locales.

- **Especies y/o ecosistemas valiosos:** hábitats de especies amenazadas, áreas o espacios protegidos, reservas naturales (incluso las privadas), entre otros.
- **Otros recursos: elementos del patrimonio cultural e identitario** (yacimientos arqueológicos, edificios históricos, lugares de alto valor desde el punto de vista de la tradición local) u otros bienes naturales importantes.

Respecto del entorno geológico se marcará la casilla que se corresponda más estrechamente tanto con la litología del sustrato, como con la geomorfología.

#### 4.8 Situación del agua

<b>8. Situación del agua</b>			
Cauce cercano, lago, canal, u otros.	No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/>	Distancia aproximada (m): <input type="text"/>
Uso del agua	Consumo humano <input type="checkbox"/>	Agrícola <input type="checkbox"/>	Industrial <input type="checkbox"/>
No se identificó algún uso <input type="checkbox"/>			Otros <input type="text"/>
Nombre/s de la secuencia de afluentes:	<input type="text"/>	>>> <input type="text"/>	>>> <input type="text"/>
>>> <input type="text"/>	>>> <input type="text"/>	>>> <input type="text"/>	>>> Mar
Información sobre aguas subterráneas	No: <input type="checkbox"/>	Si: <input type="checkbox"/>	Descripción: <input type="text"/>
Información sobre precipitaciones	No: <input type="checkbox"/>	Si: <input type="checkbox"/>	Estación: <input type="text"/>
Información sobre clima o bioclima	No: <input type="checkbox"/>	Si: <input type="checkbox"/>	Cantidad(mm): <input type="text"/>
Observaciones:			Tipo: <input type="text"/>

Este apartado de la ficha pretende describir las características hídricas, meteorológicas y climáticas en el entorno cercano a la mina abandonada. Contempla los siguientes aspectos:

- **Cauce cercano, lago, canal, u otros:** Se marcará la opción “Si” en caso de identificar la existencia de un cauce natural (río, arroyo, rambla, quebrada, por ejemplo), canal, estero, laguna, embalse, pantano, o cualquier clase de cuerpo de agua superficial próximo a cualquiera de las labores mineras, anotando también la “Distancia aproximada” en metros. Se deben incluir también aquellos que, siendo reconocibles, no almacenan o transportan agua en el momento de la visita, por ser estacionales o de funcionamiento plurianual.
- **Uso de agua:** Se seleccionará lo que corresponda sobre la situación del uso del agua alrededor de la mina abandonada. Cuando existan zonas habitacionales o actividades agrícolas, ganaderas, industriales o de otro tipo deberá registrarse en las correspondientes casillas, confirmando la ubicación de la situación de las tomas de agua para consumo con respecto al cuerpo de agua al que se está haciendo referencia. Si el suministro de agua proviniese de fuera del radio de influencia de la mina abandonada, o se confirmase que el cuerpo de agua al que se está haciendo referencia no abastece a ningún consumo de la clase que sea, se seleccionaría la casilla correspondiente a “No se identificó algún uso”.
- **Nombre/s de la secuencia de afluentes:** Los arroyos, ríos, quebradas o esteros, cercanos a las instalaciones mineras, generalmente confluyen con cauces mayores en una sucesión que finalmente termina en el mar o en un lago, por lo tanto, es necesario conocer el curso de tales aguas y anotarlo, independientemente de la existencia o no del agua en el momento de la

investigación. Para el estudio del sistema de agua superficial es útil una carta topográfica detallada junto a otras de menores escalas.

- **Información sobre aguas subterráneas:** Se deberá confirmar la existencia, o no, de pozos en los alrededores de la mina abandonada (ubicación, profundidad de la toma de agua) o antecedentes de estudios de agua subterránea, y seleccionar lo que corresponda. En el caso de marcar "Si", se anotará también su situación y contenidos en el espacio "Descripción". Además, debe anotarse la existencia de aguas que permanezcan en el interior de una mina a cielo abierto y las que pudieran salir de la bocamina de una mina subterránea.
- **Información sobre precipitaciones:** Si existiera alguna estación meteorológica pluviométrica lo suficientemente cercana, ha de recabarse la información sobre precipitación media anual en mm (Cantidad), anotando su nombre en la casilla correspondiente (Estación). La precipitación media anual es un parámetro ampliamente utilizado y útil, especialmente a efectos comparativos. Si se conoce la época de lluvias o sequía del área de estudio, se recomienda registrarlo en el apartado de observaciones, esta información es útil para determinar el riesgo por taludes inestables, arrastre de contaminantes, entre otros.
- **Información sobre el clima o bioclima:** Las condiciones climáticas son determinantes en los procesos físicos y químicos que se producen en minas abandonadas. Se deberá buscar y anotar información relativa a la caracterización del clima o bioclima del lugar, que se presentará normalmente usando términos descriptivos tales como: mediterráneo semiárido, tropical desértico, tropical hiper-húmedo, entre otros. Normalmente, será necesario obtener dicha información mediante consultas bibliográficas, cartográficas o acudiendo a instituciones competentes en la materia.

La clasificación bioclimática, o la delimitación de unidades bioclimáticas, pretende establecer relaciones entre los valores medios climáticos de un territorio y la distribución de los seres vivos, especialmente plantas y formaciones vegetales naturales. En este sentido, existe ya una abundante información publicada sobre distribución de ecosistemas o sistemas ecológicos, tanto en Iberoamérica como en la Península Ibérica, que reconocen dichas unidades como combinación de la vegetación natural (remanente o potencial) y el medio físico/climático. Por ello, las descripciones de dichas unidades suelen incluir detalles del clima o bioclima. Algunas de las propias denominaciones empleadas en estos trabajos encierran una fuerte carga de información sobre el clima, como, por ejemplo: matorral desértico de los andes áridos; bosque tropical siempreverde latifoliado; pajonal altoandino de la puna húmeda.

#### 4.9 Muestreo

9. Muestreo	Agua:	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Si (ver hoja de muestreo)	Referencia:	<input type="text"/>
	Otros:	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Si (ver hoja de muestreo)	Referencia:	<input type="text"/>

En el marco de un inventario de faenas mineras abandonadas o paralizadas, en el que pueden verse incluidas numerosas minas o instalaciones mineras, convendrá planificar una serie de trabajos orientados a la recogida de muestras para su análisis. Es por esto que se ha contemplado un apartado de la Ficha dedicado a Muestreo, así como una hoja de muestreo anexa a la ficha de inventario propiamente dicha.

Forzosamente, se debe asumir que lo que se pretende con la recolección de muestras y su posterior análisis es facilitar la caracterización de los posibles PAM de forma sencilla y a bajo coste, adquiriendo la mínima información que puede ser útil para facilitar el establecimiento de prioridades de actuación entre un número elevado de casos. Es importante resaltar esto último: no es necesario para la evaluación de riesgos ambientales conocer todos los aspectos que pueden ser relevantes para una remediación, ni tampoco se puede pretender obtener todos los datos necesarios para definir algún tipo de aprovechamiento o reutilización de todos y cada uno de los emplazamientos o depósitos de residuos mineros, pues podrían tratarse de cientos en un solo inventario. En este sentido, conviene asumir que las recomendaciones que aquí se incluyen sobre toma de muestras y ensayos analíticos serán insuficientes para una caracterización de instalaciones de residuos mineros abandonadas orientada ya al diseño de medidas de rehabilitación, o al posible reprocesamiento de residuos o aguas, si bien en las correspondientes guías se aportarán criterios que facilitarán un enjuiciamiento muy preliminar de cara a valorar ambos posibles objetivos finales.

Los tipos de materiales cuyo muestreo puede ser de mayor interés son aguas, residuos y sedimentos. Es posible que el lugar objeto de inventario existan surgencias en frentes o bocaminas, o drenajes de agua generados por el contacto con residuos, sobre los cuales, además de la identificación del color y el pH, será necesario efectuar un análisis químico para determinar si pueden ser efluentes potencialmente contaminantes. Otra posibilidad es que exista agua más o menos permanentemente almacenada (fondos de tajos, cortas, o huecos de extracción en general) que pudiera tener algún posible uso o ser accesible para personas, ganado o fauna, para lo cual es imprescindible también una caracterización. En tales casos, se tomarán muestras durante el trabajo de campo. Se seleccionará "Sí" en la casilla correspondiente a "Agua" de esta sección de la Ficha.

Aunque las muestras de agua siempre pueden ser muy útiles para realizar valoraciones de riesgo, puede que no sea posible muestrear agua ligada a depósitos de residuos mineros durante las labores de inventario, por no existir sobrenadantes o lixiviados. En tal caso, cabe la posibilidad de evaluar los efectos potenciales sobre la calidad de las aguas asociados a un depósito, comparando los resultados obtenidos y los cambios que se producen entre muestras tomadas en posiciones aguas arriba y aguas abajo de un cauce próximo. Sin embargo, esto sólo es posible en el caso de presencia de tales cauces transportando agua en el momento de la visita, además de que no es sencillo atribuir efectos de contaminación cuando se presentan dos o más depósitos de residuos cercanos al curso en cuestión. Por todo ello, parece más práctico evaluar los posibles efectos sobre las aguas superficiales derivados de la presencia de depósitos de residuos mineros mediante criterios de valoración sencillos sobre la solubilidad de elementos presentes en los propios residuos, aplicando una misma sistemática de análisis sobre todos ellos (Alberruche del Campo et al., 2014). Así pues, cuando se localice un depósito de residuos mineros, que se presume pueda contener composición química de peligro para el ambiente o la salud humana, se deberá recoger muestra del mismo. Asimismo, este muestreo podría ser de utilidad en el caso de que el depósito contenga elementos o minerales con potencial aprovechamiento (incluidos los minerales denominados industriales). Ya se ha mencionado que la caracterización será muy preliminar, pero no sería razonable dejar pasar la oportunidad de obtener algún dato sobre los materiales del depósito.

También, en aquellos casos en los que no se puedan tomar muestras de agua, se puede considerar de interés recoger muestras de precipitados o sedimentos mediante raspado en superficies con presencia de

estos, o en los rastros que hayan podido dejar surgencias o derrames de aguas ácidas. Por otro lado, es también interesante la caracterización de sales o precipitados que pueden aparecer en las superficies externas de los depósitos de residuos, especialmente en climas secos, debido a la posibilidad de redisolución y transporte en épocas lluviosas.

En todos los casos mencionados, se marcará "Sí" en la casilla correspondiente a "Otros" de esta sección correspondiente a Muestreo de la Ficha de Inventario. Se reservan dos casillas para anotar la "Referencia" o clave de etiquetado de la/s muestras que se tomen.

Haciendo uso de la Hoja de Muestreo, que acompañará a la Ficha, para la que existe también un formato establecido, podrán anotarse la descripción y ubicación de las muestras junto a algunos otros datos que se consideren de interés. Es fundamental registrar las coordenadas del punto de recogida de muestra y aplicar correctamente el protocolo de muestreo.

#### **4.9.1 Protocolo de muestreo**

Los procedimientos o métodos que se describen a continuación se consideran útiles de cara a aplicar la metodología de evaluación de riesgos ambientales, o una valoración muy preliminar de la existencia de elementos o minerales de interés. Hay que decir que los tipos de ensayo que pueden tener interés deben de estar orientados por el tipo de materiales estudiados, sin olvidar que no es factible una caracterización excesivamente detallada, puesto que lo que se pretende es establecer una jerarquía de aquellos PAM que, por sus características de peligrosidad, resulten ordenados en base a la prioridad de actuación y que, por consiguiente, deberán ser objeto de un estudio más pormenorizado cuando se diseñen las actuaciones sobre los mismos (Alberruche del Campo et al., 2014).

#### **Muestreo de Aguas**

En la medida de lo posible, siempre que se disponga del instrumental necesario, se deberán realizar mediciones in situ, mediante equipos portátiles y previa calibración con soluciones estándar de pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto y potencial redox.

En términos generales, para cualquier punto de muestreo de aguas, es necesario obtener dos muestras destinadas a los análisis de laboratorio que se conservarán y transportarán en recipientes de polietileno previamente lavados con ácido nítrico diluido. Las muestras se han de filtrar mediante un filtro de acetato/nitrato de celulosa de 0,45 µm de tamaño de poro, para eliminar las arcillas finas y coloides (Kebbekus & Mitra, 1998). Una de las muestras (de aproximadamente 125 mL), se destinará a la determinación del contenido en metales disueltos, para lo cual, se acidifica con HNO<sub>3</sub> suprapure hasta un pH inferior a 2, de manera que sea posible mantener en solución los metales pesados y evitar así la precipitación de hidróxidos metálicos, y se reserva para su análisis. La otra muestra (de aproximadamente 400 mL), sin acidificar, se reserva para el análisis de residuo seco, sólidos totales disueltos, alcalinidad, aniones y cationes mayoritarios (sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, Na, K, Mg y Ca). Conviene que las muestras se conserven en una nevera hasta su análisis (con una temperatura recomendada de entre 1 °C y 5 °C), el cual se deberá realizar transcurrido el menor tiempo posible.

### ***Muestreo Compuesto Superficial de Residuos Mineros***

Para el muestreo representativo de un depósito de residuos mineros, se recomienda utilizar el método propuesto por Smith et al. (2000) y Hageman & Briggs (2000), el cual consiste en tomar una muestra compuesta del depósito. Esta muestra estará conformada por al menos 30 submuestras colectadas de manera aleatoria a lo largo y ancho del depósito mediante una recorrida o caminata por el sitio. Las muestras serán colectadas a una profundidad de 20 cm tomando en cuenta que este material es el susceptible de erosión y lixiviación por la lluvia y/o el viento. Cada submuestra deberá ser cribada sobre el terreno con un tamiz de luz de malla de 2 mm. Las 30 submuestras serán mezcladas y con ellas se conformará una muestra compuesta para su análisis. Es importante ser imparcial, es decir, coleccionar las muestras a intervalos similares, de manera aleatoria, abstenerse de coleccionar las submuestras que parezcan interesantes desde el punto de vista del técnico. También es importante tener en cuenta que es conveniente que la muestra compuesta final no tenga un peso muy superior a 1 kg. Lo normal, incluso cuando se emplean barrenas finas de muestreo de suelos, es que la suma de 30 submuestras arroje un peso total muy superior, por lo que interesará cuartear la muestra en campo, hasta obtener muestras con destino a laboratorio que llenen entre la mitad y tres cuartos de la capacidad de bolsas de muestreo medianas.

### ***Muestreo por Horizontes o Capas en Calicatas de Residuos Mineros***

Además de la influencia de la mineralogía primaria, la acción de las condiciones climáticas a lo largo del tiempo transcurrido desde el cese de actividad en un depósito de relaves mineros genera una horizonación que se hace mucho más evidente en aquellos residuos con mayor potencial neto de acidificación (entre otros: Dold, 1999; Sidenko et al., 2007; Arranz González & Cala Rivero, 2017). Por otro lado, se ha señalado que en climas muy secos puede darse un enriquecimiento en superficie de sales solubles y que en climas más húmedos se han dado enriquecimientos secundarios a cierta profundidad, lo que puede dar lugar a posibles aprovechamientos económicos de metales. En escombreras, también es posible que el paso del tiempo haya dado lugar a una horizonación, o cuando menos a la distinción de algunos procesos de intemperización y evolución de tipo edáfico, que si bien pueden no ser tan patentes como en presas de relaves, se pueden detectar mediante análisis químicos. Las calicatas también pueden permitir el estudio de las condiciones de fisuramiento, cuando se detectan fisuras o grietas en superficie: orientación, amplitud, separación y profundidad de las fisuras, el grado y profundidad actual.

El estudio de los residuos debería tener en consideración dichas señales de alteración y diferenciación vertical, especialmente en fases posteriores a las de inventario, aunque, si existen medios suficientes, durante las labores de inventario, cabe plantear el estudio de varias calicatas, excavadas hasta un metro de profundidad, por cada instalación de residuos mineros. La visualización de los perfiles en las calicatas, así como la disponibilidad de medios, determinará si es factible el muestreo y el análisis de muestras tomadas por horizontes en una, dos o más de ellas.

#### ***4.9.2 Ensayos de campo y laboratorio***

Las recomendaciones que se aportan a continuación están tomadas del trabajo de Alberruche del Campo et al. (2014), a las que se suman algunas otras que también se citan.

### ***Muestras de Agua***

En el caso de las muestras de agua colectadas se sugiere que los aniones se determinen mediante la técnica de espectrofotometría de absorción UV-VIS, salvo el anión sulfato en aquellos casos en que, dadas las características especiales que presentan las aguas ácidas, la concentración supera el límite de detección. En estos casos, se analizan mediante espectrometría de emisión atómica con fuente de plasma acoplado inductivamente (ICP/AES). Los cationes mayoritarios se analizan mediante espectrometría de absorción atómica (AAS) y los elementos traza mediante espectrometría óptica o de masas con fuente de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), técnica que permite la evaluación multielemental simultánea de elementos con concentraciones muy bajas (Alberruche del Campo et al., 2014).

### ***Muestras Superficiales de Residuos Mineros, Sedimentos y Precipitados***

Salvo cuando se haya realizado en el campo, la primera actuación a realizar con muestras de residuos es un tamizado con tamiz de luz de malla de 2 mm, pesando las fracciones que se separan, para obtener los porcentajes correspondientes de elementos gruesos y finos. Una de las primeras determinaciones a realizar en laboratorio es el porcentaje de humedad, puesto que permite realizar correcciones para proporcionar valores de parámetros físicos. El contenido de humedad de las muestras, junto con el conocimiento de la profundidad de origen y del tiempo atmosférico en los días precedentes, puede informar sobre la hidrología del depósito de residuos. Habitualmente se determina por gravimetría, sobre muestras de tierra fina seca al aire, sometiéndolas a un secado en estufa a 110° C durante 12 a 16 horas (USDA, 2011).

El análisis granulométrico de los residuos es uno de los ensayos más básicos y sencillos, pero no por ello menos importante. De hecho, únicamente con este ensayo es posible ya inferir algunas de las características geotécnicas principales como, por ejemplo, la capacidad portante, la deformabilidad o la permeabilidad. Permite, junto con los límites de Atterberg y los ensayos de estado, identificar claramente un material tipo suelo. Por otro lado, la distribución de tamaños de partículas es una de las propiedades que más determina el comportamiento físico y químico de los minerales presentes en entornos ricos en sulfuros, condicionando los tamaños de poro y su distribución, las propiedades hidráulicas, la reactividad química y la superficie expuesta (Acero et al., 2011). Las partículas pertenecientes a la fracción con un diámetro inferior a 0,25 mm son las que presentan una mayor influencia sobre los procesos de alteración y las que contribuyen significativamente a la generación de acidez y alcalinidad. Por otra parte, el contenido en partículas de tamaño inferior a 75 µm, ha sido un criterio empleado en algunas metodologías de análisis de riesgo aplicadas a residuos mineros y suelos contaminados, para evaluar la generación de polvo y dispersión de contaminantes a través del aire (SERNAGEOMIN-BGR, 2008; CCME, 2008). El análisis granulométrico más cómodo combina la operación con una serie de tamices para las fracciones mayores (arenosas) junto al empleo de aparatos automatizados de medida basados en la velocidad de sedimentación.

Es ya corriente, en el estudio de suelos y sedimentos de sitios mineros abandonados, que se realicen una serie de ensayos adecuados para este tipo de materiales granulares: pH, determinación de azufre total y azufre sulfato, análisis mineralógico, entre otros. Los tipos de ensayo que pueden tener interés deben de estar orientados por el tipo de residuos o sedimentos que se estudien, insistiendo en que no es factible una

caracterización muy detallada, puesto que lo que se pretende es establecer una jerarquía de aquellas estructuras que, por sus características de peligrosidad, resulten de actuación prioritaria y que, por consiguiente, deberán ser objeto de un estudio más pormenorizado.

Durante las labores de inventario, la medida del pH se ha mostrado muy útil para obtener una primera aproximación del potencial tóxico de las muestras. Claramente, la valoración del pH superficial, suponiendo que la masa de residuos de una instalación sea relativamente homogénea, puede relacionarse con la peligrosidad de los mismos de cara a la generación de acidez. Por otro lado, en ausencia de toxicidad grave, la medida del pH es considerada un elemento de juicio fundamental en la caracterización de suelos y muestras de suelo debido a que afecta a la disponibilidad de nutrientes y a la actividad microbiana. Se recomienda que el pH de las muestras sea determinado en suspensión 1:1 (Peech, 1965). La medida del pH en este tipo de suspensión es la que, de forma sencilla y cómoda, más se aproxima a la medida en el llamado extracto de saturación. Se analiza mediante potenciometría con electrodo selectivo de pH en una suspensión muestra:agua en proporción de 1:1. Esta determinación es equivalente a la denominada rinse pH (Price, 1997). En la misma suspensión interesará medir la conductividad eléctrica (CE).

Otra posibilidad es medir el pH con mayor dilución. Esta medida tendrá valor comparativo si se aplica sistemáticamente a todas las muestras que se tomen y se acompaña de observaciones sobre presencia de precipitados y aspecto de las aguas que pudieran estar presentes. Se puede seguir, por ejemplo, el método para suelos indicado en la Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-(2000), el cual consiste en mezclar el material de muestra con agua destilada en relación 1:10 durante 10 minutos. Posteriormente se filtra y decanta durante 10 minutos y se mide el pH, a lo que se puede añadir la CE (Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000).

En relación con otro de los factores muchas veces señalados como fuente de toxicidad en residuos mineros, la salinidad, la medida de la conductividad eléctrica en el extracto acuoso más arriba comentado solo permite hacer una valoración muy rudimentaria de la salinidad de las muestras, teniendo en cuenta la textura de las mismas. Para la toma de decisiones sobre la problemática relacionada con la presencia de sales, puede ser más adecuado hacer valoraciones con la medida de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación, o mediante la llamada prueba previa de salinidad, en solución 1:5 (residuo/agua), para la que existen buenas guías de interpretación considerando la textura de las muestras (Shaw, 1994).

El análisis cuantitativo de elementos mayores tales como C, N, H, S y O se realiza de forma cómoda mediante la combustión de las muestras a alta temperatura (de 950 a 1100 °C). Con ello se consigue convertir los compuestos de dichos elementos en gases simples (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y SO<sub>2</sub>) los cuales son separados y medidos. Los aparatos empleados para la realización de estas mediciones se denominan analizadores elementales. La medida del S total permite realizar una primera valoración de la posible existencia de sulfuros o productos derivados de la oxidación de los mismos.

En relación con los elementos minoritarios o traza, la técnica de fluorescencia de rayos-X (XRF) es un método instrumental de medición directa que reduce los tiempos de análisis, pues demanda una preparación simple de la muestra (la muestra puede ser analizada en estado sólido), y proporciona capacidad multielemental, amplio rango lineal de trabajo, elevado rendimiento y bajo coste por análisis. Por

este motivo, desde sus orígenes, ha tenido una amplia aplicación en geología, recursos minerales, metalurgia, procesamiento de minerales, monitoreo ambiental, para el análisis y caracterización de diferentes matrices como roca, suelo, sedimento, relave, entre otras. Dependiendo del equipo, se pueden analizar hasta 56 elementos diferentes, incluso algunos de bajo peso molecular (como el magnesio), así como los elementos incluidos entre las tierras raras (de creciente interés como minerales estratégicos). La técnica se fundamenta en la interpretación del comportamiento de la muestra al ser bombardeada por un haz de rayos X, analizando posteriormente la energía de los rayos X emitidos, que es característica de cada elemento. Presenta como ventajas frente a las técnicas espectrométricas, la posibilidad de realizar el análisis directamente sobre la muestra, o con una preparación mínima de la misma, además de la capacidad de análisis multielemental, el elevado rendimiento y el bajo coste de análisis (Marguí et al., 2011). Si los laboratorios disponen de equipos de medida mediante fluorescencia de rayos-X (XRF), puede ser recomendable usar este método. Existen, además equipos portátiles de Fluorescencia de Rayos X, que cada vez son más empleados en el monitoreo ambiental de residuos mineros. Sobre la exactitud y precisión de las medidas y otros aspectos importantes relacionados con estos equipos portátiles es posible consultar el trabajo de Lemiere (2018). Es muy probable que la exactitud y precisión mejoren con la aplicación del equipo portátil en gabinete, usando la carcasa protectora que lo acompaña, que permite aumentar el tiempo de lectura en posiciones fijas y sin interferencias, sobre muestras pequeñas, lo que se traduce en la posibilidad de tomar en campo un número mayor de muestras de menor peso, cubriendo una superficie mayor, aunque exige mayor preparación (por ejemplo, cuarteo, cribado, etiquetado cuidadoso), así como la calibración continua y mantenimiento del equipo. Adicionalmente, para mayor información, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) tiene descrito un método de referencia para la determinación elemental de suelos y sedimentos mediante el uso de equipos portátiles de XRF (USEPA, 2010).

El método de Fluorescencia de Rayos X posee claramente una baja sensibilidad para el Hg. Es por ello que, cuando se sospeche que este elemento puede ser importante, la determinación de Hg se haga, por ejemplo, según la Norma EPA 7471, que consiste en un ataque ácido con HCl y HNO<sub>3</sub>, seguido de una posterior oxidación con permanganato potásico. La medida se realiza por Espectrometría de Absorción Atómica (técnica de vapor frío).

La otra opción para obtener datos sobre contenidos totales en elementos es el empleo de la técnica de ICP acoplado a espectroscopía, tras digestión ácida. Básicamente, son ensayos en los que se somete la muestra sólida a una solubilización con una combinación de ácidos fuertes. Sobre las soluciones obtenidas se miden después los elementos mediante el empleo de ICP-MS, ICP-AES (ICP-OES), es decir espectroscopía de masas, o espectroscopía de emisión (óptica o atómica) con plasma acoplado inductivamente. La de masas (ICP-MS) tiene límites de detección más bajos, pero para los contenidos de interés de elementos en residuos mineros suele ser suficiente la de emisión (ICP-OES o ICP-AES). Para la solubilización, la Unión Europea ha recomendado el procedimiento contemplado en la norma ISO 11466 (ESB, 2000), consistente en la extracción de la muestra seca con una mezcla de ácido nítrico y clorhídrico. Otros trabajos utilizan ataques ácidos con otra mezcla de ácidos en diversas proporciones. Un ejemplo es el ataque con una mezcla de HF, HClO<sub>4</sub> y HNO<sub>3</sub> y HCl a sequedad y posterior disolución en ácido nítrico al 10%, con lo que se consigue la solubilización prácticamente total de la muestra (Walsh et al., 1997; Dold & Fontboté, 2002). Posteriormente una parte alícuota de la solución obtenida se analiza mediante alguna de las técnicas espectroscópicas mencionadas.

Como es sabido y por lo comentado con anterioridad, en lo que respecta a las aguas, la movilidad de los elementos potencialmente tóxicos en los residuos mineros, y por tanto la probabilidad de que se produzca un escenario de riesgo, depende no tanto de los contenidos totales de dichos elementos sino de las especies químicas en que se encuentran presentes y su movilidad. Para este propósito existen ensayos de lixiviación que utilizan como agente extractante, agua desionizada o soluciones aciduladas, de forma tal que al entrar en contacto con el residuo se produce una solución lixiviada, que puede ser analizada. Se recomiendan tres tipos de ensayos posibles:

### **1. *Ensayo Europeo de Laboratorio***

Los ensayos EN 12457-2 (European Committee for Standardization, 2002a) o EN 12457-4 (European Committee for Standardization, 2002b) se distinguen sólo por la granulometría del material a lixiviar, pero son en esencia iguales. Este tipo de ensayo ha sido propuesto como norma para la caracterización de la toxicidad de residuos mineros. Básicamente, dicho ensayo emplea como extractante agua desionizada (con pH comprendido entre 5 y 7,5) en una proporción líquido-sólido de 10 l/kg, y se aplica a residuos sólidos granulares con un tamaño de partícula inferior a 4 mm o a 10 mm respectivamente (con o sin reducción de tamaño). La mezcla se somete a un tiempo de agitación de 24 h al que le sigue un tiempo de decantación de aproximadamente 15 minutos y su posterior filtración a 0,45 µm. El eluato obtenido puede ser empleado para medir CE, pH y los contenidos en cationes o aniones que puedan ser de interés por los métodos analíticos de laboratorio ya mencionados.

El ensayo EN 12457-2 prescribe el empleo de cantidades muy grandes de muestra (mínimo 2 kg) y agua, lo que es poco operativo cuando el número de muestras es elevado. Sin embargo, diferentes trabajos demuestran que, mientras se mantenga la proporción 1/10, el resultado de este tipo de ensayos no se ve afectado por las cantidades empleadas. Sin embargo, el tiempo de agitación sí influye en los resultados, especialmente en el pH obtenido, por lo que no parece conveniente modificar el tiempo de agitación, aunque se modifiquen las cantidades empleadas manteniendo la proporción establecida en la norma. Este ensayo es prácticamente idéntico a otros que se encuentran en la bibliografía para la caracterización del potencial tóxico de los residuos mineros, como el método DIN-38414-S4 (DIN-NORMEN, 1984).

### **2. *Ensayo Norteamericano de Lixiviación en Campo***

El Ensayo de Lixiviación en Campo (ELC o Field Leaching Test, FLT) fue desarrollado por miembros del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), para proporcionar una medida rápida y económica del pH y la conductividad eléctrica, así como para obtener un lixiviado sobre el que poder medir contenidos en elementos potencialmente tóxicos (Hageman & Briggs, 2000; Hageman, 2004). El método, aun siendo un método de campo, se puede realizar en gabinete, lo que mejora los resultados, al permitir que se mantengan las condiciones de temperatura mucho más estables, como es lógico. El método contempla la extracción en agua con un tiempo de agitación de sólo cinco minutos, asumiendo que los materiales más reactivos de residuos alterados superficialmente consisten en componentes relativamente solubles de la fracción fina (<2mm). En este ensayo la proporción residuo/agua es 1/20. Pesando 50 gr, se necesita enrasar aproximadamente hasta un litro de agua para pasar a la agitación. Después de la agitación, sigue un tiempo de decantación variable y su posterior filtración a 0,45 µm.

**3. Ensayo Norteamericano de Lixiviación en Laboratorio**

Este ensayo está descrito en la norma NOM-141-SEMARNAT-2003, donde se denomina prueba para realizar la extracción de metales y metaloides en jales (relaves, colas, lodos), con agua en equilibrio con CO2. Este método se elaboró con base en la prueba ASTM D-3987-85, modificando las características del agua de extracción. Este es un procedimiento para lixiviar lodos, relaves o jales con agua en equilibrio con CO2 atmosférico (H2O-CO2) a pH  $\cong$  5,5 y obtener una solución acuosa para analizar los compuestos lixiviados, bajo condiciones de laboratorio. En este ensayo la proporción residuo/agua es 1/20. Empleando 70 g de muestra sólida, hay que añadir agua hasta que se alcance una relación equivalente en mL de solución a 20 veces el peso en gramos del contenido de sólidos (400 mL de solución). El tiempo de agitación es de 18 horas. Después se deja reposar la muestra durante 5 minutos (o más) y se debe separar la fase acuosa de los sólidos más pesados por decantación o centrifugación, además de filtrar la mezcla al vacío o presión utilizando una membrana de 0,45  $\mu$ m.

**4.10 Identificación preliminar de impactos ambientales y/o peligros para bienes y personas**

10. Identificación preliminar de impactos ambientales y/o peligros para bienes y personas			
Probabilidad de ocurrencia			
0: NULA	No puede ocurrir	1: BAJA	Quizás no ocurra
2: MEDIANA	Posiblemente ocurra	3: ALTA	Seguramente ocurra o ha ocurrido
Procesos	Probabilidad	Descripción	
<b>Impactos ambientales</b>			
Contaminación de aguas	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Generación de polvo	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Degradación de la cubierta vegetal	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Arrastre de residuos a otras áreas	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Otros	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
<b>Procesos geodinámicos u otros presentes en el entorno</b>			
Hundimientos/subsistencia	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Movimientos en masa	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Inundación	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Sismicidad	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Erosión	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Otros	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
<b>Problemas de seguridad a las personas</b>			
Caidas en pozos, piques, taludes, etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Accidentes en una galería abierta	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Colapso de paredes, taludes, etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Accidentes en masas de agua	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Accidentes en instalaciones abandonadas	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Otros	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
Observaciones:			
<hr/>			
<hr/>			

En el Inventario, solo se registra una primera estimación de la probabilidad de que ocurra un impacto ambiental o peligro, puesto que el análisis de las consecuencias, y por tanto de los riesgos de una mina abandonada, ha de realizarse mediante un procedimiento metodológico más complejo, que requiere una

observación más precisa de los procesos que tienen lugar en cada mina, y el análisis de la probabilidad de ocurrencia y de las consecuencias que pueden tener sobre la seguridad y salud de las personas, o sobre el medio ambiente.

La primera parte de este ítem hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de un determinado suceso. El valor de la probabilidad de ocurrencia, estimado por el inspector que cumplimenta la ficha, deberá indicarse en el recuadro “Probabilidad” correspondiente a cada tipo de impacto, proceso o problema de seguridad. Estos valores de probabilidad, indicados en la propia ficha, son:

Tabla 2. Probabilidad de ocurrencia de un suceso

Probabilidad	Valor	Criterio de juicio
NULA	0	No puede ocurrir
BAJA	1	Quizás no ocurra
MEDIANA	2	Posiblemente ocurra
ALTA	3	Seguramente ocurra o ha ocurrido

A continuación, se reseñarán los posibles eventos que pueden identificarse en terreno, los cuales deben ser someramente descritos en la casilla “Descripción”, además de estimar en la casilla correspondiente el valor de la probabilidad de ocurrencia de acuerdo con lo expresado en la tabla anterior.

#### 4.10.1 Impactos ambientales

La minería, especialmente la que se desarrolla a cielo abierto, puede generar cambios substanciales en las formas del relieve, y causa la destrucción de la cubierta vegetal y el suelo, o pone en marcha procesos de degradación del mismo. El ambiente biológico es completamente destruido, o radicalmente modificado, al menos durante el tiempo en el que se realizan labores mineras. En ausencia de acciones de remediación o rehabilitación, muchos de estos efectos se perpetúan como cicatrices en el paisaje o como procesos dinámicos que continúan afectando al entorno.

- **Contaminación de aguas:** Se puede sospechar la contaminación del agua si es posible detectar visualmente precipitados de óxidos, hidróxidos o hidroxisulfatos de hierro, pudiendo medir con instrumentos portátiles como el peachímetro, conductímetro y kits de detección cualitativa. No

obstante, no es posible determinar la contaminación fácilmente cuando se debe a oligoelementos, como arsénico, cadmio, u otros.

En cualquier caso, es necesario confirmar cuantitativamente el grado y la existencia o no de la contaminación, comparando los resultados de análisis de muestras de agua con normas de calidad de agua. En la investigación con la Ficha de terreno, se evalúa sólo visualmente la probabilidad, y una vez que se obtienen los resultados de análisis, es posible corregir la información.

- **Generación de polvo:** Inevitablemente se generan polvos fugitivos en condiciones de abandono, debido a que quedan en el sitio residuos finos y no aglomerados, como relaves secos de procesos de concentración. La generación de polvo por la acción del viento se confirma directamente en el momento de la investigación o por medio de huellas de erosión hechas por el viento en la superficie de los depósitos de residuos o por depósitos eólicos de arena en las proximidades.
- **Degradación de la cubierta vegetal:** Durante el periodo de actividad minera, la vegetación y el suelo que la sustentaba sufrieron una destrucción por eliminación física en los lugares donde se desarrollaron labores de desmonte o apertura de frentes, vertido de escombros, construcción de balsas o presas y otras infraestructuras. Asociada a la degradación de la vegetación se afectó a la fauna que la habitaba o la utilizaba como alimento, cazadero o refugio. A veces, la perturbación sufrida por la vegetación se extiende desde el área minera a las superficies adyacentes, incluso después de la paralización o el abandono de la explotación. Debe valorarse la importancia de tales impactos.
- **Arrastre de residuos a otras áreas:** Muchos de los diferentes tipos de superficies que quedan expuestas a los agentes atmosféricos en minas abandonadas sufren normalmente procesos gravitacionales o de erosión hídrica y eólica. Las consecuencias de la erosión eólica son consideradas como generación de polvo. La visualización de rasgos de erosión, cuando se constata que las aguas de escorrentía tienen salida del área, o cuando se trata de depósitos de residuos aislados, claramente denuncia la fuga de sedimentos hacia los suelos, o hacia los cauces y cuerpos de agua del entorno, cuya calidad disminuye por el hecho de aumentar su carga sólida. Estos efectos pueden ser mucho más graves cuando las partículas erosionadas proceden de superficies en las que se sospecha que existen elementos potencialmente tóxicos. En otros casos, debido a una particular conformación del área minera y de la situación de las estructuras presentes, no existe salida de las aguas de escorrentía hacia el exterior.
- **Otros:** En una mina abandonada, especialmente en el lugar donde se benefician los minerales, puede haber contaminación del suelo. Ésta se determina generalmente mediante el análisis químico de muestras de suelo o sedimentos tomados en forma sistemática. Si se ven claramente evidencias de vertimiento de aguas residuales, se registrará en el espacio de la Ficha correspondiente.

Cuando se sospeche de la contaminación del suelo, es necesario estudiar la posibilidad de la contaminación del agua subterránea. Se puede pensar que existe alta probabilidad de contaminación del agua subterránea, cuando el nivel freático está cerca de la superficie del terreno.

Cualquier otro posible efecto distinto a todos los anteriores que se observe debe ser registrado y brevemente descrito.

#### 4.10.2 *Procesos geodinámicos u otros presentes en el entorno*

Por el hecho de producirse en un área minera, estos procesos pueden tener consecuencias distintas a las que tendrían en un terreno natural inalterado, viéndose en ocasiones inducidos o facilitados. Las excavaciones mineras y los depósitos de residuos producen superficies topográficas nuevas, diferentes a la original. Si se puede suponer que la topografía original era estable o estaba en equilibrio con el medio natural, es muy posible que las nuevas formas generadas por la actividad minera no lo sean, unas en mayor medida que otras según el lugar. Las nuevas formas artificiales generan cambios en el flujo interno y externo del agua, modificando el funcionamiento natural de los procesos de desplazamiento de materiales por erosión, arrastre y sedimentación, o por movimientos en masa. Se reseñarán los siguientes posibles procesos:

- **Hundimientos/subsidencia:** En la superficie cercana a las minas subterráneas ocurren eventos relacionados con el uso de terreno a causa del hundimiento (subsistencia). Estos eventos también se relacionan con problemas de la seguridad. Es importante anotar los puntos problemáticos de estos dos tipos de eventos en el espacio "Descripción". En cumplimentación de la Ficha Inventario se estima la posibilidad de que suceda el hundimiento, considerando las evidencias de que el evento ya se ha manifestado.
- **Movimientos en masa:** En la historia de la industria minera, los colapsos de depósitos de relave han causado los accidentes de mayor envergadura. Han ocurrido accidentes en los que se perdieron cientos de vidas en un instante. En general, la mayoría de los depósitos de relave antiguos que se ubican en zonas secas, se encuentran en un estado físico relativamente estable, excepto por la generación de polvo. No obstante, los depósitos de relave de zonas húmedas y especialmente aquellos instalados cerrando valles, mantienen una gran cantidad de agua dentro del depósito, incluso mucho tiempo después de haber terminado su operación, y existe la posibilidad de que se produzca el fenómeno de licuefacción en caso de un terremoto, o bien, existe el peligro de derramar relaves desde la cubeta en momentos de crecidas de aguas por lluvias. Para determinar la estabilidad física de los depósitos de relave, generalmente se realizan ensayos de mecánica de suelos y se realizan cálculos de estabilidad del talud del muro. Este tipo de trabajos quedan fuera de la simple labor de inventario. No obstante, en la investigación con Ficha de Inventario se observará cuidadosamente la ubicación del depósito respecto de ríos, la existencia de erosión en el muro por drenajes de agua lluvia o de canales de desvío, el grado de sequedad del relave, la posible existencia de grietas en el talud, las filtraciones de agua, los posibles fenómenos de sufusión. Las influencias por el colapso de botaderos o escombreras de estériles o de desechos de lixiviación generalmente se limitan a lugares cercanos a los botaderos, pero el poder destructivo en el momento del colapso puede ser importante, por lo tanto, cuando existen en las proximidades zonas habitadas o infraestructuras de transporte, la asignación de puntaje es alta. También, cuando los botaderos están adyacentes a ríos hay peligro de socavación del pie del depósito en momentos de crecida, por lo cual la probabilidad de ocasionar daños es alta. Al igual que ocurre con los depósitos de relave, se prestará atención a la pendiente del talud, grietas, situación de pequeños derrumbes y relación con la ubicación de ríos. En ocasiones son los propios botaderos o escombreras los que generan inestabilidades sobre la ladera en que se asientan, lo que puede apreciarse por ejemplo en grietas en el terreno, reptación de suelos, inclinación de la vegetación.

Por último, la inestabilidad de taludes en las cortas, frentes o cualquier tipo de hueco de explotación puede dar lugar con el paso del tiempo a la rotura o el desmoronamiento de los taludes, lo que puede llegar a afectar a terrenos propiedad de terceros o a zonas habitadas situados detrás. La existencia de signos de inestabilidad en taludes se aprecia por ejemplo en grietas de coronación, caída de bloques o rocas sueltas, chasquidos o vuelco.

- **Inundación:** Los procesos de inundaciones naturales pueden verse modificados como consecuencia de las transformaciones topográficas generadas por huecos excavados en la cercanía de cauces o por la situación de depósitos de residuos en lugares donde se obstaculiza el flujo del agua en momentos de crecida. La gravedad de los cambios en las áreas inundables será normalmente mayor cuanto mayor sea la proximidad a un cauce y la modificación de la topografía original. Estos aspectos se valorarán a la hora de juzgar la probabilidad de ocurrencia, describiendo la situación que se presente.
- **Sismicidad:** La sismicidad puede evaluarse a partir de trabajos o mapas publicados o mediante consultas.
- **Erosión:** En la gran mayoría de los casos, los procesos de erosión hídrica no suponen una pérdida de suelo en las superficies alteradas por la minería, puesto que los suelos que originalmente cubrían la superficie del terreno se eliminaron por la apertura de frentes o huecos de explotación, se decaparon para proporcionar explanadas donde asentar talleres, parques o cualquier clase de instalaciones o fueron sepultados por depósitos de residuos. Sin embargo, a veces se producen procesos de erosión inducida, como, por ejemplo: la pérdida de suelos que se produce por cárcavas o arroyaderos que nacen en cabeceras de taludes de frentes, o límites de huecos de explotación. También puntualmente se presentan fenómenos de sufusión que afectan a parcelas o estructuras limítrofes.
- **Otros:** Cuando se sepa de la existencia, o se prevean eventos que no correspondan a ningún ítem anterior, se anotarán en el subapartado correspondiente a "Otros".

#### **4.10.3 Problemas de seguridad a las personas**

Los problemas de seguridad son muy diversos. Algunos de ellos están relacionados con la presencia de piques o pozos, socavones u otras labores mineras que pudieran haber quedado accesibles. Entre ellas pueden incluirse también las típicas depresiones cónicas que se forman en la embocadura de pozos y chimeneas que están conectadas a labores subterráneas debido a procesos de subsidencia. También se han de incluir todos los posibles desniveles verticales, extraplomados o de gran pendiente originados por la excavación. Otros posibles elementos de riesgo son los taludes inestables que pueden romperse instantáneamente, así como los puntos donde se producen desprendimientos y caída de rocas. También son destacables las posibles caídas a masas de agua sin salida, así como todos los que se pueden deber a la posible rotura de elementos constructivos en instalaciones en estado de abandono.

- **Caída en pozos, piques, taludes, entre otros:** En las minas subterráneas abandonadas, la posibilidad de ocurrir accidentes de caída de personas en un pique o pozo se juzga por la "frecuencia del acercamiento de personas" y la "forma y situaciones de la bocamina y sus alrededores". Si la bocamina de un pique está en un lugar imposible de acercarse, no hay ninguna posibilidad de que ocurran accidentes. Por otro lado, si hay piques al lado de los caminos donde transitan muchas personas o cerca de una población, la posibilidad de que sucedan accidentes es

alta. También dicha posibilidad es alta cuando no hay barreras o letreros que indiquen la existencia de piques en su entorno, cuando su alrededor es de forma cónica, o cuando es difícil distinguir la localización de la bocamina por la vegetación.

Con relación a las paredes remanentes de la mina a cielo abierto o los depósitos de residuos, hay peligro de que las personas sufran caídas desde su parte superior, si el acceso es fácil y frecuente para las personas, la posibilidad de ocurrir un accidente es alta.

- **Accidentes en una galería abierta:** Las minas subterráneas pueden ser objeto de interés para las personas. Las galerías son oscuras, por lo tanto, hay muchas posibilidades de ocurrencia de accidentes, como contusión, tropiezos, caídas, o desastres como hundimientos, falta de oxígeno o extravío. Como no se pueden verificar todas las posibilidades de ocurrencia de accidentes, igual que el caso de la posible caída en un pique, se ha de juzgar por la “frecuencia del acercamiento de personas” y “situaciones de la bocamina y sus alrededores”. Por ejemplo, aunque la bocamina esté en un lugar de fácil acceso, si el socavón es corto y de roca firme, la posibilidad de accidente será “baja”.
- **Colapso de paredes, taludes, entre otros:** Dentro de una mina abandonada pueden existir pendientes empinadas físicamente inestables y susceptibles de derrumbarse, o desprender masas de rocas, bloques sueltos, como por ejemplo los taludes remanentes de una mina a cielo abierto. La posibilidad de colapsos se juzgará por el estado de la roca, la existencia de voladizos, la pendiente o naturaleza del terreno, la existencia y posición de grietas en paredes, la presencia de desprendimientos.
- **Accidentes en masas de agua:** Algunas minas a cielo abierto abandonadas han acumulado agua, pudiéndose convertir en lugares atractivos para la recreación. No obstante, tales masas de agua pueden tener concavidades o convexidades de rocas peligrosas debajo de la superficie del agua, orillas de excesiva pendiente o resbaladizas, o el agua puede estar muy fría, habiendo posibilidad de que ocurran accidentes.  
La probabilidad de accidentes se determinará por la “frecuencia del acercamiento de la gente” y las situaciones del lugar donde hay agua, evaluadas con la observación visual. Los accidentes en el agua pueden causar la muerte en muchas ocasiones, por lo tanto, las consecuencias son de enorme gravedad.
- **Accidentes en instalaciones abandonadas:** En las áreas mineras muchas veces se encuentran instalaciones abandonadas, como plantas de concentración, materiales diversos de construcción y equipos móviles y fijos. Tales instalaciones, equipos y materiales dejados por mucho tiempo, pueden estar deteriorados por el desgaste u oxidación, por lo cual, y siempre que la gente tenga acceso fácil, se pueden producir diversos tipos de accidentes (por ejemplo, golpes, heridas cortopunzantes). En las actividades mineras se usan sustancias peligrosas como reactivos y explosivos. En minas abandonadas, de vez en cuando se encuentran tales sustancias remanentes, muchas veces en las proximidades de instalaciones. En la cumplimentación de la Ficha de Inventario, se necesita explorar el terreno de la mina y confirmar la existencia o no de estos materiales peligrosos. Las sustancias encontradas en terreno se han de muestrear y someter a análisis químico. La posibilidad de ocurrir accidentes por sustancias peligrosas se determinará en base a la frecuencia de contactos de las mismas con la gente o el medioambiente.
- **Otros:** Cuando haya o se prevean eventos que no correspondan a ningún ítem anterior, deberán ser anotados en el espacio reservado a “Otros”.



## 5 Procedimiento para la cumplimentación de la ficha inventario de minas abandonadas / paralizadas

Para la correcta cumplimentación de la Ficha Inventario y la consiguiente optimización de tiempo y esfuerzo, se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

### **a) Recopilación de Información y Preparación de la Campaña de Campo.**

En esta etapa se deberá identificar y localizar a las minas abandonadas/inactivas presentes en el área de estudio mediante consulta a la base de datos del servicio geológico correspondiente o de la entidad responsable de su registro, esto con la finalidad de obtener información sobre el estado que guardan, es decir, si están abandonadas, desmanteladas o inactivas.

Para complementar el listado preliminar de minas abandonadas/inactivas se recomienda realizar una revisión exhaustiva del acervo bibliográfico del servicio geológico dándole prioridad a los informes técnicos de las cartas geológico-mineras, inventarios o monografías que puedan contener información valiosa y útil referente a la identificación y ubicación de minas abandonadas e inactivas. Asimismo, se deberán consultar otras fuentes, tales como, colecciones históricas, bibliotecas mineras, tesis en la materia y si se considera oportuno, puede completarse este esfuerzo con la búsqueda y examen de información administrativa y periodística relevante.

Con esta información se cumplimentarán, en su caso, los ítems de la ficha inventario que procedan. Si fuera necesario, se obtendrán los permisos necesarios para acceder al sitio minero y se comprobará el buen funcionamiento de los equipos de medición que sean necesarios para la subsiguiente campaña de campo.

### **b) Trabajos de Campo**

Previo a la salida de campo, es altamente recomendable que el equipo técnico se reúna y revise con detalle cada ítem de la ficha de campo para unificar criterios y estandarizar el llenado y recolección de información.

Durante los trabajos de campo, en la medida de lo posible, se procurará obtener información de antiguos trabajadores de la mina, o de los habitantes locales que conozcan el lugar, se cumplimentarán los ítems de la Ficha – Inventario con la información obtenida en el terreno y, en su caso, se tomarán muestras de aguas, sedimentos, para su posterior análisis (Ver 4.9 Muestreo).

### **c) Trabajos de Laboratorio y Revisión de la Ficha. Inventario en Función de los Resultados.**

Las muestras tomadas en el campo se enviarán al laboratorio que corresponda para su análisis e interpretación. Una vez analizadas se revisarán, para confirmar o modificar, los ítems de la Ficha – Inventario que, eventualmente, deban ser reconsiderados.

**d) Ingreso a Base de Datos**

Una vez cumplimentada la ficha – Inventario en su totalidad, los datos en ella recogidos se ingresarán en la correspondiente base de datos.

## 6 Referencias

Acero Salazar, P., Asta Andrés, M<sup>a</sup>. P., Torrentó Aguerri, C., Gimeno Serrano, M<sup>a</sup>. J., Auqué Sanz, L. F. y Gómez Jiménez, J. B. 2011. Metodologías y técnicas instrumentales para el estudio de sistemas de aguas ácidas. En: Rodríguez, R. y Arranz-González, J.C. (Eds.). Residuos Mineros y su Impacto Ambiental. Boletín Geológico y Minero, 122 (2): 187-202.

Alberruche del Campo, E., Arranz González, J.C., Rodríguez Pacheco, R., Vadillo Fernández, L., Rodríguez Gómez, V., Fernández-Naranjo, F.J. 2014. Manual para la evaluación de riesgos de instalaciones de residuos de industrias extractivas cerradas o abandonadas. Instituto Geológico y Minero de España-Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

Armada, X. L.; García I. Rubert, D; Montero, I; Moreno, I; Rafel, N; Rovira, M.C. (2005): Minería y metalurgia durante la I Edad de Hierro. Procesos de cambio en el sur de Catalunya. Revista d'Arqueologia de Ponent.

Arranz -González, J.C., and Cala -Rivero, V. 2017. Grain sorting effects on geochemical characteristics of sulfide mine tailings: a case study. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 4(3): 767-780. DOI:10.15243/jdmlm.2017.043.767.

Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos, ASGMI. (2019). Conocimiento y percepciones acerca de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) en países miembros de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI). España: Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros.

ASTM D-3987-85. American Society for Testing and Materials (1992). Standard Test Method for Shake Extraction of Solid Waste with Water, ASTM, West Conshohocken, PA, 4p.

CCME, 2008. National Classification System for Contaminated Sites. Guidance Document. PN-1403. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. 15 pp.

Comisión Económica para América Latina y El Caribe-CEPAL. Buenas prácticas que favorezcan una minería sustentable: la problemática en torno a los pasivos ambientales mineros en Australia, el Canadá, Chile, Colombia, los Estados Unidos, México y el Perú (2014).

DIN-NORMEN 1984. DIN 38414-S4. German Standard Methods for the examination of water, waste water and sludge; group S (sludge and sediments); determination of leachability by water (S4). Deutsche Norm, Teil 4 Okt, 464-475.

Dold, B. 1999. Mineralogical and geochemical changes of copper flotation tailings in relation to their original composition and climatic settings—implications for acid mine drainage and element mobility. PhD thesis, Terre & Environment, University of Geneva. Geneva.

Dold, B. and Fontboté, L. 2002. A mineralogical and geochemical study of element mobility in sulfide mine tailings of Fe oxide Cu-Au deposits from the Punta del Cobre belt, northern Chile. *Chemical Geology*, 189: 135-163.

European Committee for Standardization. 2002a. EN 12457-2, Characterization of waste – Leaching – Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges – Part 2: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/Kg for materials with particle size below 4 mm (without or with size reduction).

European Committee for Standardization. 2002b. EN 12457-4, Characterization of waste – Leaching – Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges – Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/Kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction).

Hageman, P.L. and Briggs, P.H. 2000. A simple field leach for rapid screening and qualitative characterization of mine waste material on abandoned mine lands. ICARD 2000, Fifth International Conference on Acid Rock Drainage, Denver, Colorado, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc., 1463–1475.

Hageman, P.L., 2004, Use of short-term (5-minute) and long-term(18-hour) leaching tests to characterize, fingerprint, and rank mine waste material from historical mines in the Deer Creek, Snake River, and Clear Creek watersheds in and around the Montezuma mining district, Colorado. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004-5104, 41 p.

Kebbekus, B. B. and Mitra, S. 1998. *Environmental chemical analysis*. Blackie Academic & Professional. Glasgow.

Lemiere, B. 2018. A Review of pXRF (Field Portable X-ray Fluorescence) Applications for Applied Geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*. Elsevier, 10.1016/j.gexplo.2018.02.006/hal-01740950.

Marguí, E., González-Fernández, O., Hidalgo, M., Pardini, G., Queralt, I. 2011. Aplicación de la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos-X en el estudio de la dispersión de metales en áreas mineras. En: Rodríguez, R. y Arranz-González, J.C. (Eds.). *Residuos Mineros y su Impacto Ambiental*. Boletín Geológico y Minero, 122 (2): 273-286.

Navarrete D., *Espacios y actores de la actividad minera en América Latina. Siglos XVI al XIX (2015)*

Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación del pH - Método de prueba.

Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación de la conductividad electrolítica - Método de prueba.

Norma Oficial Mexicana NOM-141-SEMARNAT-2003, Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.

Peech, M. 1965. Hydrogen-ion activity. In: Black, C.A. (ed.), Methods of soil analysis, Part II, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.

Price, W.A. (1997). Draft Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia. British Columbia Ministry of Energy and Mines, Victoria, British Columbia.

SERNAGEOMIN-BGR. 2008. Manual de evaluación de riesgos de faenas mineras abandonadas o paralizadas (FMA/P). Golder Associates para SERNAGEOMIN-BGR.

Shaw, R.J. 1994. Estimation of the electrical conductivity of saturation extracts from the electrical conductivity of 1:5 soil:water suspensions and various soil properties. Project Report QO94025, Department of Primary Industries. Queensland.

Sidenko, N.V., Khozhina, E.I., Sherriff, B.L. 2007. The cycling of Ni, Zn, Cu in the system "mine tailings ground water-plants": A case study. Applied Geochemistry, 22:30-52.

Smith, K.S., Ramsey, C.A. and Hageman, P.L. 2000. Sampling Strategy for the Rapid Screening of Mine-Waste Dumps on Abandoned Mine Lands. ICARD 2000, Fifth International Conference on Acid Rock Drainage, Denver, Colorado, May 21-24, 2000. Society for Mining Metallurgy and Exploration, Inc., vol. II, pp. 1453-1461.

USDA. 2011. Soil Survey Laboratory Information Manual. Soil Survey Investigations Report No. 45, version 2.0. USDA NRCS, National Soil Survey Center, Soil Survey Laboratory. Lincoln, Nebraska.

USEPA, EPA Method 7471B (SW-846): Mercury in Solid or Semisolid Wastes (Manual Cold-Vapor Technique). <https://www.epa.gov/esam/epa-method-7471b-sw-846-mercury-solid-or-semisolid-wastes-manual-cold-vapor-technique>.

USEPA. Method 6200. Field portable X-ray fluorescent spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment, 03/11/2010, <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6200.pdf>

Walsh, J.N., Gill, R., Thirlwall, M.F. 1997. Dissolution procedures for geological and environmental samples. In: Gill, R. (ed.). Modern Analytical Geochemistry. An Introduction to Quantitative Chemical Analysis Techniques for Earth, Environmental and Materials Scientists. Longman. Essex. pp. 29-40.

## PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

### MANUAL PARA EL INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS O PARALIZADAS

---

#### ANEXO I

FICHA INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS/PARALIZADAS

CROQUIS DE SITUACIÓN Y HOJA DE MUESTREO

## FICHA INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS/PARALIZADAS

Código Id.

Ficha número

**1. Identificación de la Mina**

Nombre de la Mina A/P

Empresa/Propietario:

Ubicación Longitud:  Latitud:  Altitud (msnm)  Datum

Región:  Prov.:  Comuna/Municipio  Paraje:

Mapa Topográfico N°:  Nombre:  Escala:

Accesibilidad:  Con vehículo  A pie /a caballo  Inaccesible  Croquis

**2. Tipo de Minería**      Metálica:       No Metálica:

Mineral:

**3. Estado y Tipo de Mina**

Estado:  Abandonada desde el año:   Paralizada desde el año:  Hasta el año:

Tipo:  Subterránea      Accesibilidad      Si       No

Cielo abierto      Inundada      No       Si       Color del agua       pH

   Efluentes      No       Si       Color del agua       pH

Tamaño del hueco (m)      Ancho:       Largo:       Prof.:       Volumen estimado (m³):

Observaciones:   
-----  
-----

**4. Estado y Tipo de Planta**

Trituración/molienda:  Cribado       Lavadero:       Flotación:       Lixiviación:       Precipitación:       SXEW:

Refinación:       Tostación:       Cianuración:       Amalgam.:       Fusión/convers.:       Otras:

Observaciones:   
-----  
-----

**5. Depósitos de Residuos**

Desmote/botadero:       Relaves:       Residuos de lixiviación:       Residuos de evap/precip.

Residuos industriales:       Escorias:       Otros acopios:

Tamaño del depósito (m)      Ancho:       Largo:       Altura:       Volumen est. (m³):       Color

Observaciones:   
-----  
-----

**6. Sustancias Peligrosas Utilizadas**

Mercurio:       Cianuro:       Ácido sulfúrico:       Otros:

Observaciones:   
-----  
-----

7. Situación del Entorno	Distancia (m)	Descripción
<input type="checkbox"/> Viviendas	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Infraestructura vial	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Infraestructura urbana	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Áreas agrícolas y/o ganaderas	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Explotación forestal	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Vegetación natural	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Especies y/o ecosistemas valiosos	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Otros recursos	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Entorno geológico**      Descripción

Rocas del sustrato:      Sedimentarias       Volcánicas       Volcano-sedimentarias       Intrusivas       Metamórficas

Morfología:      Cono deyección       Valle       Ladera       Terraza       Rampa       Altiplanicie       Litoral

Observaciones:   
-----  
-----

**8. Situación del Agua**

Cauce cercano, lago, canal, u otros. No  Si  Distancia aproximada (m):

Uso del agua No se identificó algún uso  Consumo humano  Agrícola  Industrial  Otros

Nombre/s de la secuencia de afluentes:  >>>  >>>   
 >>>  >>>  >>>  >>> Mar

Información sobre aguas subterráneas No:  Si:  Descripción:

Información sobre precipitaciones No:  Si:  Estación:  Cantidad(mm):

Información sobre clima o bioclima No:  Si:  Tipo:

Observaciones:

**9. Muestreo**

Agua:  No  Si (ver hoja de muestreo) Referencia:

Otros:  No  Si (ver hoja de muestreo) Referencia:

**10. Identificación Preliminar de Impactos Ambientales y/o Peligros para Bienes y Personas**

**Probabilidad de ocurrencia**  
**0: NULA** ..... No puede ocurrir **1: BAJA** ..... Quizás no ocurra  
**2: MEDIANA** ..... Posiblemente ocurra **3: ALTA** ..... Seguramente ocurra o ha ocurrido

Procesos	Probabilidad	Descripción
<b>Impactos ambientales</b>		
Contaminación de aguas	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Generación de polvo	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Degradación de la cubierta vegetal	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Arrastre de residuos a otras áreas	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Otros	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<b>Procesos geodinámicos u otros presentes en el entorno</b>		
Hundimientos/subsistencia	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Movimientos en masa	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Inundación	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Sismicidad	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Erosión	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Otros	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
<b>Problemas de seguridad a las personas</b>		
Caidas en pozos, piques, taludes, etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Accidentes en una galería abierta	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Colapso de paredes, taludes, etc.	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Accidentes en masas de agua	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Accidentes en instalaciones abandonadas	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Otros	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Observaciones:

Fecha:

Inspector:

Firma: \_\_\_\_\_

Incidencias:





## PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

### MANUAL PARA EL INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS O PARALIZADAS

---

#### ANEXO II

#### CÓDIGOS ISO-3166 A2 DE LOS PAÍSES DE IBEROAMÉRICA Y LA PENÍNSULA IBÉRICA

**CÓDIGOS ISO-3166 A2 DE LOS PAÍSES CUYOS SERVICIOS GEOLOGICOS SON MIEMBROS DE  
LA ASOCIACIÓN DE SERVICIOS GEOLÓGÍA Y MINERÍA IBEROAMERICANOS**

<b>PAÍS</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>PAÍS</b>	<b>CÓDIGO</b>
Argentina	AR	Honduras	HN
Bolivia	BO	México	MX
Brasil	BR	Nicaragua	NI
Chile	CL	Panamá	PA
Colombia	CO	Paraguay	PY
Costa Rica	CR	Perú	PE
Cuba	CU	Portugal	PT
Ecuador	EC	Uruguay	UY
El Salvador	SV	Rep. Dominicana	DO
España	ES	Venezuela	VE
Guatemala	GT		

# PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

## MANUAL PARA EL INVENTARIO DE MINAS ABANDONADAS O PARALIZADAS

---

### ANEXO III

#### RECOMENDACIONES SOBRE EMPLEO DE LA NOTACIÓN DE COLORES MUNSELL

## RECOMENDACIONES SOBRE EMPLEO DE LA NOTACIÓN DE COLORES MUNSELL

---

### INTRODUCCIÓN

El color de un material (roca, sedimento, suelo, precipitado o residuo minero) es un carácter fácilmente observable que está relacionado claramente con la composición química o mineralógica del mismo. Sin embargo, matices de color semejantes pueden ser el resultado de causas distintas, por lo que no siempre el color es reflejo inequívoco de una determinada composición o proceso. No obstante, la combinación de la información que aporta el color, unida a otra serie de observaciones y datos disponibles puede ser altamente valiosa.

La importancia que se ha dado al color en las ciencias de la tierra parece aumentar cuanto más cercano a la superficie es el objeto de estudio de los especialistas. Así, donde se ha mostrado más útil la observación del color ha sido en estudios sedimentológicos, geomorfológicos y, sobre todo, pedológicos. Desde hace ya bastante tiempo, el color del suelo es reconocido como un indicador del estado de aireación del suelo (estado de oxido-reducción) y del contenido en materia orgánica, así como del estado evolutivo del mismo, según en qué grado persista la coloración de la roca madre en los horizontes del suelo o, por el contrario, el grado de diferenciación de horizontes reconocido por sus respectivos colores y el nivel de enrojecimiento (entre otras características).

Recientemente se ha reconocido que las condiciones climáticas a lo largo del tiempo transcurrido desde el cese de actividad de un depósito de relaves mineros generan una diferenciación vertical, formándose un frente de oxidación descendente reconocible por bandeados y colores muy distintos de los que se aprecian a mayor profundidad. Un estudio detallado de dichos residuos debería tener en consideración dicha diferenciación vertical. Sin embargo, para los objetivos que pueden ser asumidos en un programa de inventario de minas abandonadas, puede ser suficiente la observación del color en superficie. La apreciación del color de la superficie del terreno puede servir, en primer lugar, para establecer subdivisiones a la hora de planificar una investigación o una campaña de toma de muestras superficiales, junto con otras características visibles tales como: pendiente, orientación, apariencia externa (pedregosidad, presencia de precipitados), presencia, tipo, porte y densidad de la vegetación, o su total ausencia, etc.

### USO DEL SISTEMA DE NOTACIÓN DEL COLOR SEGÚN MUNSELL

Puede decirse que la catalogación de la percepción humana del color se inició de verdad con la publicación en 1905 del tratado *A Color Notation* a la que siguió en 1915 *Atlas of the Munsell Color System*, originales de un artista con amplios conocimientos científicos y técnicos llamado Albert Henry Munsell. Ningún otro sistema de estudio del color ha persistido tanto tiempo con éxito comercial y ha ejercido tanta influencia.

Dicho sistema de clasificación y especificación de los colores ha sido el más empleado por los profesionales de las ciencias de la tierra, especialmente por los especialistas de la ciencia del suelo, si bien es también utilizado por profesionales de otras áreas completamente distintas del conocimiento, que van desde la arqueología a las artes gráficas, pasando por la medicina forense.

La sistematización ideada por Munsell utiliza tres atributos: el **matiz**, la percepción de la luminosidad o **luminosidad** (denominada valor Munsell) y la  **saturación cromática**. El matiz (*hue*, en inglés) es la propiedad por la que un color produce una sensación semejante a la producida por uno de los colores puros percibidos —rojo, amarillo, verde y azul— o por una combinación de dos de ellos. La luminosidad (*value* en inglés) es nuestra percepción del brillo de un objeto con respecto al brillo de un objeto que aparezca como blanco al ojo humano bajo una iluminación semejante. Es frecuente confundir los atributos de brillo y luminosidad. Se llama brillo a la

percepción absoluta de la cantidad de luz emitida por un estímulo; la luminosidad viene a ser el brillo relativo. Nuestro sistema visual responde generalmente a la luminosidad, no al brillo. Por último, la saturación cromática (*chroma*, en inglés), que también es una medida relativa, viene a medir la diferencia entre la viveza o intensidad de un color y la ausencia de viveza que posee el color gris. Por asimilación de significados, es posible encontrar en la bibliografía el empleo de la palabra tono en lugar de matiz, brillo; o claridad por luminosidad; e intensidad cromática o pureza para hacer referencia a la saturación cromática.

El matiz se expresa en una escala angular (ver figura 1). Las letras mayúsculas que acompañan a los colores son las iniciales de los mismos en inglés. Se fijan cinco matices principales: rojo (R), amarillo (Y), verde (G), azul (B) y púrpura (P), los cuales se sitúan a intervalos equidistantes hasta cerrar el círculo cromático. Luego se intercalan otros cinco matices intermedios: amarillo-rojo (YR), verde-amarillo (GY), azul-verde (BG), púrpura-azul (PB) y rojo-púrpura (RP). Cada uno de los matices tiene diferentes gradaciones que se especifican mediante números entre cero y diez (2.5, 5.0, 7.5, y 10=0) colocados antes de la letra correspondiente.

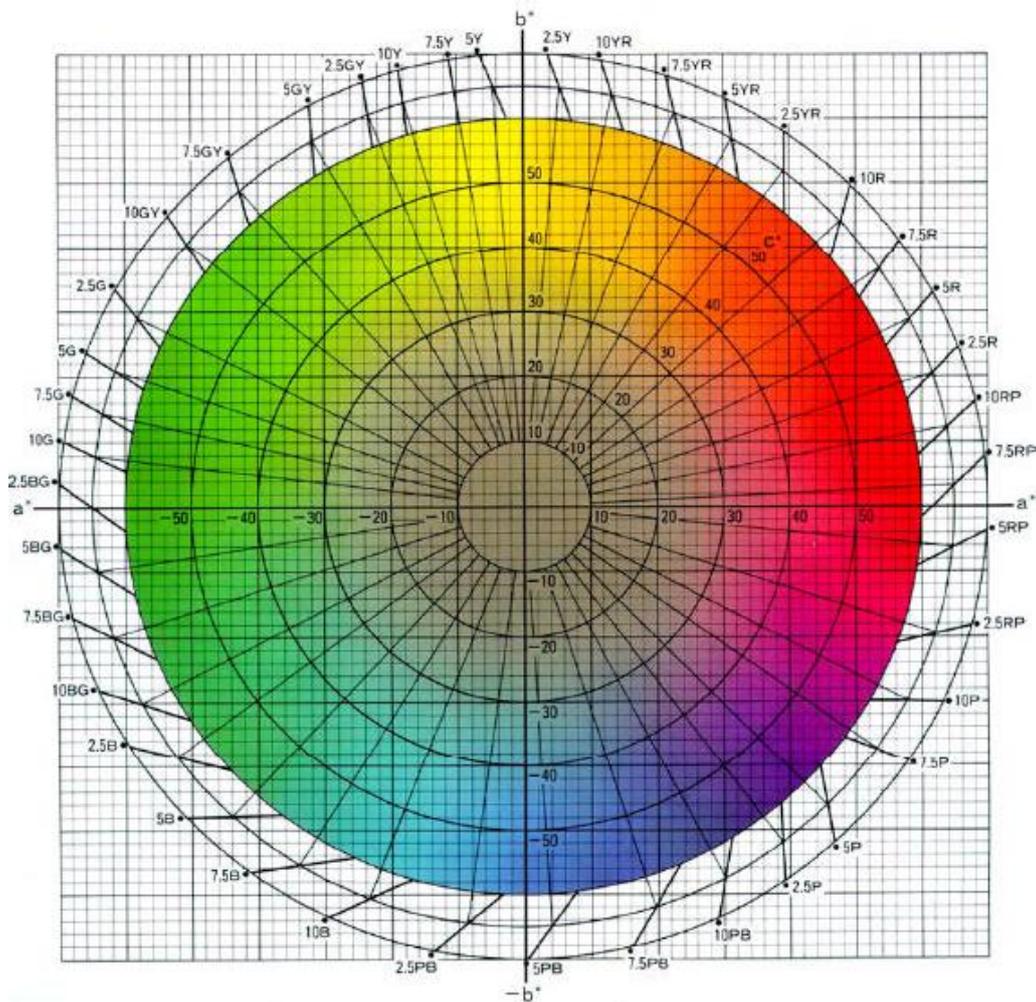


Figura 1

Puede imaginarse que si los saltos en unidades de matiz no se fijaran en 2.5 unidades, existirían infinidad de matices, como por ejemplo 3.2 YR. Normalmente, en las tablas corrientemente empleadas para la determinación de colores de suelos según el sistema Munsell se han mantenido los cambios de matiz cada 2.5 unidades, aunque, dependiendo del uso que se les vaya a dar, existen libros y tablas con mayor desagregación de matices (por ejemplo, como instrumento de trabajo en artes gráficas). Las tablas diseñadas para la identificación de colores de suelos emplean aproximadamente una cuarta parte de todos los matices escritos alrededor del círculo cromático mostrado en la figura anterior. Si se observa nuevamente el círculo cromático, puede apreciarse que el cromatismo se atenúa desde afuera hacia dentro, de tal modo que en el centro mismo el color es (o debería ser) gris. Esto es

lo mismo que mostrar la gradación debida al atributo que se ha denominado saturación cromática para los diferentes matices de color. Imaginando que este círculo ocupara la sección ecuatorial de una esfera cuyo polo norte representara al blanco puro (máxima luminosidad) y el polo sur al negro puro (mínima luminosidad), todas las gradaciones posibles entre los colores del círculo y ambos polos representarían, en teoría, todos los colores posibles, tal como los percibe la visión humana.

Las tablas Munsell que normalmente se van a manejar en la caracterización de residuos o materiales presentes en minas abandonadas serán las de suelos o rocas. Conviene advertir que las tablas editadas para identificar el color de rocas contienen normalmente unos 115 colores (tres hojas o cartas de colores), mientras que las de suelos suelen tener unos 322 (doce hojas o cartas de colores), abundando mucho más en matices rojos y amarillos. Las hojas de las tablas representan cada una de ellas un matiz específico que aparece en la parte derecha de dicha página, en una lengüeta. En cada hoja están adheridas una serie de plaquitas, diferentemente coloreadas y sistemáticamente ordenadas con arreglo a los ejes Y (luminosidad o *value*) y X (saturación cromática o *chroma*). En la figura 2 se muestra una imagen que recoge dos páginas de un ejemplar de *Munsell® Soil Color Charts*, de Gretag Macbeth, 2000).

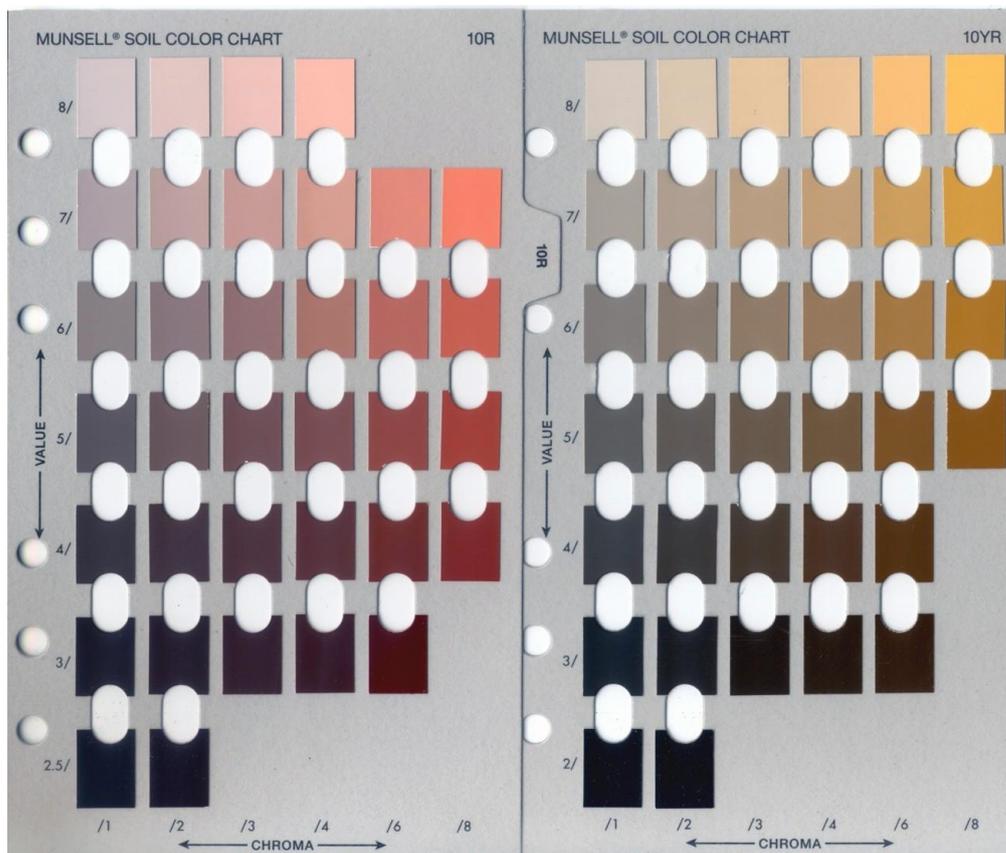


Figura 2

Los colores se identifican aproximando un fragmento, terrón o cucharada del material a calificar a las páginas, o extrayendo las páginas y superponiéndolas al material para mirar a través de los agujeros expresamente destinados a favorecer la comparación a corta distancia.

La designación de un color se hace mediante la fórmula compuesta por el matiz, seguido normalmente de un espacio y de los números correspondientes de la hoja en el orden: *value/chroma* o luminosidad/saturación cromática. Dos ejemplos tomados de la imagen anterior serían: 10R 6/6 y 10YR. Es admisible que la persona que describe interpole entre dos colores, jugando con las numeraciones de los ejes o designando con palabras: “entre 10YR 7/4 y 7/6”, o lo que sería lo mismo: 10YR 7/5.

Un ejemplo gráfico de cómo se establece la denominación de un color según la notación Munsell puede verse en la figura 3: 5B 6/1 (gris azulado). Los colores más comunes de estados reducidos procedentes de diferentes matices se han agrupado en dos páginas específicas llamadas Gley 1 y Gley 2.

Puede observarse en la imagen de la figura 3 que junto a cada hoja destinada a soportar las plaquitas coloreadas se aporta otra con designaciones de color agrupadas. Al ser denominaciones en inglés, se admiten diversas traducciones en algunos casos. Por ejemplo, en España se suele traducir *brown* por pardo, siendo también normal en Iberoamérica encontrar que se traduce como café o marrón. De cualquier manera, siempre que se disponga de la designación de letras y números y unas tablas, no podrá haber duda de a qué color se hace referencia, siendo precisamente por esto que existen buenas razones para emplear este sistema de designación del color.

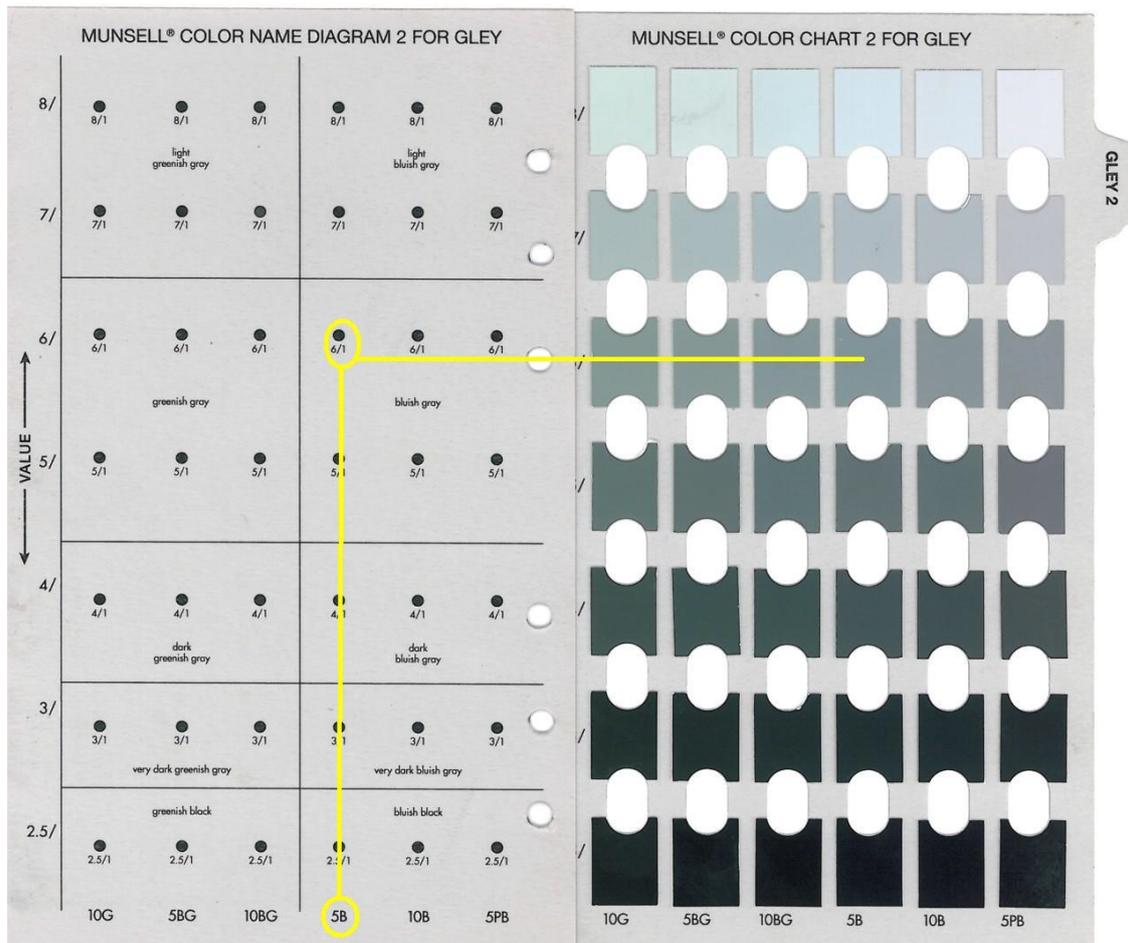


Figura 3

## **APÉNDICE A. INTEGRANTES DEL GRUPO DE EXPERTOS EN PASIVOS AMBIENTALES MINEROS**

A continuación, se listan los integrantes del Grupo de Expertos en Pasivos Ambientales Mineros y que han contribuido a la elaboración de este documento:

- Norma Tello, del Área de Recursos Geológico-Mineros del Servicio Geológico Argentino (SEGEMAR).
- Giovanni Balceró y Catalina Sánchez Caballero, de la Dirección de Recursos Minerales del Servicio Geológico Colombiano (SGC).
- Mario Gómez, Coordinador de Control Minero de la Dirección de Geología y Minas (DGM) de Costa Rica.
- Nyls Ponce Seovane, del Instituto de Geología y Paleontología (IGP) de Cuba.
- Nelsy Martorell Serra, de la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) de Cuba.
- Luis Collahuazo y Edmundo Marcelo Calderón, del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE) de Ecuador.
- Julio César Arranz González\*, del Área de Geoquímica y Sostenibilidad Minera del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Olvin Otero, del Instituto Hondureño de Geología y Minas (INHGEOMIN).
- Fredy Guzmán Martínez\*, Jefe de Proyectos de la Subgerencia de Uso del Suelo y Francisco Armando Arceo y Cabrilla, Gerente de Hidrogeología y Geología Ambiental del Servicio Geológico Mexicano (SGM).
- Lionel Fidel Smoll\*, Asesor en Asuntos Mineros de la Presidencia Ejecutiva del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) de Perú.
- Cátia Prazeres, Unidade de Recursos Minerais e Geofísica del Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) de Portugal.
- Patricia Gallardo del Área de proyectos mineros e inspecciones de la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE) de Uruguay.

\*Coordinadores del Grupo