

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA

Gestión de sitios Contaminados

PARTE 3 – CATASTRO E
INFORMACIÓN SUPLEMENTARIA

Este documento fue elaborado en el marco del estudio “Actualización guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes” (licitación pública 608897-28-LE23), a partir de la guía desarrollada por Fundación Chile en 2013.

Elaboración EnSoil

Autores

Jorge Alcaíno
Francisca Mihovilovic

Colaboradores

Alfonso Álvarez
Pablo Moya
Francisco Díaz
Simón Burgos

Contraparte técnica

**División de Recursos Naturales y Biodiversidad del
Ministerio del Medio Ambiente**

Carla Riveros

Revisión técnica

Ministerio de Vivienda y Urbanismo

María Ester Arancibia

Ministerio de Salud

Roxana Tessada

IdeAmbiente

Lilian Veas

Diseño y diagramación

Juan Samuel Pino

Fotografía

EnSoil

Ministerio del Medio Ambiente

2025



EnSoil

La Guía metodológica para la gestión de sitios contaminados consta de 3 partes:

Parte 1 - Evaluación

Se refiere al desarrollo de la Fase I, Fase II y Fase III para la evaluación de sitios donde exista, haya existido o se planea el desarrollo de una actividad potencialmente contaminante (APC).

Parte 2 - Remediación y manejo

Se refiere al desarrollo de medidas de remediación y manejo para sitios donde se haya comprobado la existencia de riesgos a la salud o el medio ambiente.

Parte 3 - Catastro e información suplementaria

Provee indicaciones para la actualización de Catastros de sitios con potencial presencia de contaminantes por parte del Ministerio del Medio Ambiente, además de información adicional en cuanto a metodologías, estándares y otras consideraciones relativas a la evaluación, remediación y remediación de sitios.

***Este documento corresponde a la Parte 3 – Catastro e información suplementaria.**

Índice

07	Parte 3: Catastro e información suplementaria
----	--



09	Prólogo
----	----------------

10	1- Introducción
----	------------------------

12	2- Glosario
----	--------------------

18	3- Objetivos
----	---------------------

19	4- Indicaciones para elaboración y actualización de catastros de SPPC
----	--

- 1.1 Identificación de sitios
- 1.2 Priorización

25	Anexo 1 Normativa ambiental
----	------------------------------------

27	Anexo 2 Actividades potencialmente contaminantes (APC)
----	---

32	Anexo 3 Informe preliminar de situación
----	--

41	Anexo 4 Métodos de muestreo para diferentes matrices
----	---

- 4.1 Muestreo de suelos
 - 4.1.1 Muestreo manual
 - 4.1.2 Muestreo con maquinaria
- 4.2 Muestreo de agua subterránea
 - 4.2.1 Instalación de pozos
 - 4.2.2 Toma de muestras
- 4.3 Muestreo de agua superficial

- 4.4 Muestreo de sedimentos
- 4.5 Muestreo de polvo superficial
- 4.6 Muestreo de polvo sedimentable
- 4.7 Muestreo de vapores
- 4.8 Control y aseguramiento de calidad
 - 4.8.1 Muestreo
 - 4.8.2 Envasado y conservación de muestras
- 4.9 Registro de información en terreno

57	Anexo 5 Recomendaciones para utilización de instrumentos de medición in-situ
----	---

- 5.1 Uso de PID
- 5.2 Uso de XRF
- 5.3 Uso de medidores multiparámetros

64	Anexo 6 Contaminantes asociados por actividad potencialmente contaminante
----	--

70 Anexo 7
Medidas de
control
inmediatas

70 Anexo 8
Lineamientos
para monitoreo en
sitios

73 Anexo 9
Recomendaciones
para elección de
profesionales

75 Anexo 10
Participación de
actores relevantes
en la gestión de
sitios

77 Anexo 11
Métodos de
análisis
recomendados

79 Anexo 12
Aspectos de
seguridad para
los trabajos en
terreno

82 Anexo 13
Cálculo de la
ingesta media
diaria para vías de
exposición

84 Anexo 14
Factores de
exposición
recomendados





PARTE 3

CATASTRO E

INFORMACIÓN

SUPLEMENTARIA





Prólogo

La "Guía metodológica para la gestión de sitios contaminados" (también referida como Guía Metodológica), corresponde a una actualización de la "Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes" desarrollada por Fundación Chile el año 2012, aprobada mediante la Resolución Exenta N° 406 del 15 de mayo 2013.

Busca exponer de manera práctica y clara los principales procedimientos involucrados en la evaluación, remediación y manejo de sitios contaminados, en base a un enfoque basado en riesgos, principalmente los asociados a la salud de las personas. Esto implica que los procedimientos para la identificación, evaluación y control de sitios contaminados que se presentan en la guía están orientados a la determinación de la presencia de fuente(s) de contaminación, vía(s) de exposición y población humana eventualmente expuesta a los contaminantes. En palabras simples, a corroborar la existencia de los tres eslabones básicos necesarios para que se manifieste un riesgo (fuente-ruta-receptor) en los sitios en estudio.

La presente edición de la Guía Metodológica consta de 3 partes:

Parte 1 – Evaluación

Parte 2 – Remediación y manejo

Parte 3 – Catastro e información suplementaria

Esperamos que la presente edición de la Guía Metodológica sea de utilidad como instrumento de referencia para los aspectos relativos a la gestión de sitios contaminados. Esto ya sea en procesos llevados a cabo por entidades del sector público, empresas privadas, universidades u otros pertenecientes al sector académico, organizaciones no gubernamentales, y la comunidad en general interesada en la gestión de sitios contaminados.

1 Introducción

La contaminación del suelo es un problema ambiental grave que tiene múltiples causas y efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana. De acuerdo con el último catastro realizado por el Ministerio del Medio Ambiente en 2022, existen en el país 10.253 sitios con potencial presencia de contaminantes, de los cuales aproximadamente un tercio corresponde a sitios abandonados.

En el año 2013 el Ministerio del Medio Ambiente desarrolla la "Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes", aprobada mediante Resolución Exenta N°406/2013, la cual tiene por objetivo definir los procedimientos para estandarizar la investigación de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC) en el país. Con la guía metodológica referida, se desarrollan desde entonces una multitud de investigaciones de SPPCs en Chile, especialmente en suelos abandonados, además de compilarse un catastro de SPPCs.

Cabe notar que la presente actualización de la Guía Metodológica contiene un cambio fundamental en la terminología utilizada hasta la fecha, donde se reemplaza la palabra "suelo", cuando esta se refiera a la delimitación geográfica de un sector o área, por la palabra "sitio". Esta modificación obedece a tres razones principales: 1) la necesidad de evitar confusión cuando se refiera a suelo como la corteza terrestre, o la matriz ambiental, en contraste a una delimitación de un sector o terreno en particular; 2) en consideración que una investigación de sitio puede contemplar análisis no solo del suelo, sino que además otras matrices ambientales tales como aguas superficiales o subterráneas, sedimentos, polvo depositado, entre otras; y 3) para dar consistencia a los procedimientos indicados en normativas internacionales las cuales se refieren en general a investigaciones de sitios o terrenos contaminados ej. "contaminated site" (USA, Australia), "siti contaminati" (Italia), "Altlasten" (Alemania), o "contaminated land" (Reino Unido).

Es importante entender, sin embargo, que las investigaciones de sitio se refieren en su gran mayoría a la matriz "suelo", y en este contexto, se continúa utilizando este término en la Guía Metodológica de una manera general (ej. contaminación de suelos, uso de suelo, muestras de suelo, etc.), pero no, como mencionado anteriormente, para referirse a un área delimitada o al nombre formal del instrumento.

Otro cambio importante en la presente edición de la Guía Metodológica es que esta se provee en 3 partes: Parte 1 – Evaluación, la cual se refiere al





desarrollo de la Fase I, Fase II y Fase III para la evaluación de sitios donde exista o haya existido el desarrollo de una actividad potencialmente contaminante (APC) o donde se requiera desarrollar un nuevo proyecto o actividad residencial, recreacional, comercial o industrial; Parte 2 – Remediación y manejo, la cual se refiere al desarrollo de medidas de remediación y manejo para sitios donde se haya indicado la existencia de riesgos a la salud o el medio ambiente; y Parte 3 – Catastro e información suplementaria, la cual provee indicaciones para la actualización del Catastro de sitios con potencial presencia de contaminantes por parte del Ministerio del Medio Ambiente, e información adicional en cuanto a metodologías, estándares y otras consideraciones relativas a la evaluación, remediación y manejo de sitios. En este respecto y en comparación con la versión anterior, la Parte 1 corresponde a procedimientos de evaluación actualizados, la Parte 2 contiene principalmente información nueva sobre aspectos de remediación, mientras que la Parte 3 se refiere a aspectos suplementarios.

Otro cambio significativo adicional con respecto a su versión anterior se refiere al objetivo en sí del documento. Mientras que la versión anterior apuntaba a ser una herramienta que ayudara principalmente a funcionarios del Ministerio del Medio Ambiente a catastrar y priorizar terrenos potencialmente impactados, el objetivo de esta versión es ser la principal referencia en Chile en estas materias, para cualquier usuario interesado ya sea del sector público o privado. En este respecto, se debe notar que conforme ha ido avanzando la preocupación de la sociedad por la contaminación de suelos, las evaluaciones de sitios han sido realizadas con mayor frecuencia, ya sea en procesos de evaluación de impacto ambiental de proyectos, por iniciativa de las autoridades regionales o comunales, o incluso en procesos iniciados por privados para sus propios fines.

La estructura general de las etapas de gestión que incorpora la Guía Metodológica se presenta a continuación.

Parte	Fase	Actividades	Resultados
1 - Evaluación	Fase I - Evaluación preliminar del sitio	- Evaluación preliminar del sitio	- Informe preliminar de situación (IPS)
	Fase II - Caracterización del sitio y evaluación confirmatoria	- Caracterización del sitio - Evaluación confirmatoria	- Informe de caracterización del sitio y evaluación confirmatoria
	Fase III - Estudios complementarios para la remediación y/o manejo	- Evaluación delimitatoria - Evaluación de riesgo y valores objetivo de remediación	- Informe de evaluación delimitatoria - Informe de evaluación de riesgo y valores objetivo de remediación
2 - Remediación y manejo	Remediación y manejo	- Diseño de remediación y manejo	- Plan de remediación y manejo
		- Implementación de remediación y manejo - Validación de remediación y manejo	- Informe de validación
		- Seguimiento de medidas de manejo	- Reportes de seguimiento

2 Glosario

A

Áreas mineralizadas: Zonas con suelos que contienen un alto contenido de metales y metaloides de forma natural.

Actividad potencialmente contaminante: Aquellas actividades que producen, utilizan, manipulan, manejan, almacenan, tratan o disponen sustancias que, por sus características fisicoquímicas, biológicas y toxicológicas, producen o pueden producir daños momentáneos o permanentes a la salud humana, animal o vegetal.

C

Cadena fuente-ruta-receptor: Describe la interacción entre elementos críticos en la dinámica de la contaminación ambiental, donde la fuente se identifica como cualquier actividad que libera sustancias peligrosas al ambiente. Estas sustancias, son transportadas a través de rutas específicas en matrices ambientales como el aire, el agua y el suelo, hasta llegar a un punto de exposición. Este punto es crucial, ya que es donde los contaminantes finalmente entran en contacto con los receptores, que son las personas o poblaciones expuestas.

Contaminación: Presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente. (Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Título I, art. 2 letra c)

Contaminante: Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, luminosidad artificial o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental. (Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Título I, art. 2 letra d)

D

Daño ambiental: Describe la interacción entre elementos críticos en la dinámica de la contaminación ambiental, donde la fuente se identifica como cualquier actividad que libera sustancias peligrosas al ambiente. Estas sustancias, son transportadas a través de rutas específicas en matrices ambientales como el aire, el agua y el suelo, hasta llegar a un punto de exposición. Este punto es crucial, ya que es donde los contaminantes finalmente entran en contacto con los receptores, que son las personas o poblaciones expuestas.

Dosis de exposición: Cantidad de sustancia a la que se expone el organismo y el tiempo durante el que estuvo expuesto. La dosis determina el tipo y magnitud de la respuesta biológica, siendo este un concepto central de la toxicología.

Dosis de referencia: Dosis diaria estimada por debajo de la cual es improbable que un contaminante no cancerígeno cause efectos adversos a las personas, incluyendo grupos susceptibles como los niños.

E

Escenario de exposición: Conjunto de hechos, datos, suposiciones, inferencias y, a veces, juicios profesionales sobre cómo se produce la

exposición (o produciría una exposición potencial futura). Incluye, en general, información sobre el entorno físico en el que se produce la o las exposiciones, la caracterización de la fuente de contaminación; rutas de exposición; caracterización de población expuesta; y factores de exposición.

Evaluación de riesgo ambiental: Procedimiento de análisis de la contaminación potencialmente presente o presente en un lugar determinado, cuyo objetivo es establecer el riesgo que la misma supone, en el presente o futuro, para los sujetos de protección (poblaciones humanas, ecosistemas u otros recursos), de acuerdo con las características específicas del caso. Su finalidad es entregar elementos para tomar decisiones sobre la gestión del riesgo y las consecuentes medidas a adoptar.

Exposición: Proceso mediante el cual las personas o un receptor ecológico entran en contacto con un contaminante.

F

Factores de exposición: Factores relacionados con el comportamiento humano y características que ayudan a determinar la exposición de un individuo a un contaminante. Estos factores incluyen: tasas de ingestión (por ejemplo, alimentos, suelo, agua) o inhalación; factores que afectan a la exposición dérmica (por ejemplo, superficie de la piel, adherencia suelo-piel); factores de actividad (por ejemplo, tiempo que se pasa en interiores, en exteriores, etc.); u otros factores (por ejemplo, peso corporal, uso de productos de consumo).

Factor de potencia cancerígena: Indica el incremento en la probabilidad de desarrollar un cáncer, a lo largo de una vida, por exposición crónica a una dosis unitaria de un contaminante cancerígeno. La probabilidad de sufrir cáncer se hallará, por tanto, multiplicando la dosis diaria de exposición crónica por el factor de potencia cancerígena.

Fase I Evaluación preliminar del sitio: Proceso de evaluación que consiste en recopilar información ambiental suficiente para poder determinar si existe potencial de contaminación en el sitio, y si es necesario realizar investigaciones adicionales y/o implementar medidas inmediatas.

Fase II Caracterización del sitio y evaluación confirmatoria: Proceso de evaluación que realiza cuando la Evaluación preliminar de sitio indica que existe, o es probable que exista contaminación, y la información disponible es insuficiente para poder caracterizarla y diseñar medidas de manejo que reduzcan el riesgo hasta niveles aceptables. Busca llenar los vacíos planteados en la Fase I y evaluar de manera integral si se está configurando la cadena fuente-ruta-receptor.

Fase III Estudios complementarios para la remediación y/o manejo:

Proceso que consiste en el desarrollo de estudios complementarios conducentes a optimizar el diseño de un Plan de remediación o manejo, una vez confirmada la existencia de riesgo a través de la Fase II.

G

Gestión: Proceso que considera las actividades que se deben desarrollar en un sitio con potencial presencia de contaminantes o un sitio contaminado con el fin de evitar que este genere efectos negativos en la salud de las personas o el medio ambiente. Esto incluye principalmente procesos de evaluación, remediación y manejo.

M

Manejo: Proceso que consiste en cortar la ruta de exposición a contaminantes mediante diferentes medidas, y así controlar o reducir el riesgo que estos puedan ocasionar. Se diferencia del proceso de “remediación” en que en este caso los contaminantes no necesariamente son eliminados o disminuidos sus niveles. Un ejemplo de manejo sería un proceso de encapsulamiento.

Modelo conceptual de sitio: Relato escrito y/o representación gráfica del sistema ambiental y de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el transporte de contaminantes desde la fuente, a través de los medios que componen el sistema, hasta los potenciales receptores que forman parte de él.

Monitoreo: Medición del cambio en concentraciones de analitos o características físicas relevantes en diferentes matrices potencialmente afectadas (suelos, aguas, polvo, etc.) dentro de un sitio o sus alrededores, realizado para evaluar el cumplimiento de objetivos ambientales definidos.

N

Nivel background: Concentración de un compuesto o elemento presente en el suelo en una localidad definida que incluye el nivel de fondo natural y aportes de fuentes difusas antropogénicas no atribuibles a actividades industriales, comerciales o agrícolas específicas. El suelo de donde se obtenga el nivel background debe ser de características similares en cuanto a geología y tipo de suelo, y localizado en las cercanías del sitio en evaluación.

P

Peligro: Propiedad inherente y potencial de un contaminante de causar daño. El término “peligroso” define la capacidad de una sustancia de producir efectos adversos en los organismos.

Puntos de exposición: Zona donde es posible encontrar presencia de contaminantes y donde los receptores, a través de alguna vía, pueden entrar en contacto con los medios contaminados (medios de contacto).

R

Remediación: Proceso que consiste en controlar la fuente de contaminación para eliminar o disminuir el riesgo que esta pueda ocasionar hasta un nivel aceptable. Se diferencia del proceso de manejo (ver definición) en que en este caso los contaminantes son eliminados, o sus concentraciones reducidas hasta un valor objetivo definido. Un ejemplo de esto sería un proceso de remoción y disposición.

Riesgo: La probabilidad de que ocurra un resultado adverso en un período de tiempo dado en una persona, grupo de personas o receptor ecológico, expuestas a una sustancia específica. El riesgo depende de la toxicidad de la sustancia, la cantidad de la sustancia que efectivamente entra en el cuerpo (dosis) y las características del receptor evaluado.

Riesgo aceptable: Probabilidad máxima de contraer una enfermedad o lesión por un individuo, grupo o sociedad, por la exposición a una sustancia química, que se ha considerado aceptable en base a datos científicos y sociales.

Riesgo agudo: Categoría de riesgo a la salud humana y/o procesos ecosistémicos sucedidos de forma repentina y con efectos inmediatos.

Riesgo crónico: Categoría de riesgo a la salud humana y/o procesos ecosistémicos aparentemente inocuo a muy corto plazo, pero con efectos observables en el largo plazo en el organismo o receptor.

Ruta de exposición: Trayectoria específica que sigue un contaminante desde su fuente hasta que entra en contacto con las poblaciones seleccionadas como potencialmente expuestas. Incluye detalles sobre la vía de exposición (ej, inhalación, ingestión, o contacto dérmico).

S

Seguimiento: Observación del cambio de condiciones ambientales y/o físicas ya sea realizadas como monitoreo (ver definición), o de otros aspectos donde estos pudiesen afectar la liberación de compuestos o elementos potencialmente tóxicos, realizado posterior a un proceso de manejo (ver definición).

Sitio activo: Sitio en el cual existe una actividad potencialmente contaminante en operación y donde se identifique también un titular definido, responsable de la actividad, que puede o no ser el propietario del terreno.

Sitio inactivo: Sitio en el cual existió una actividad potencialmente contaminante, cuyo titular está identificado, pero la actividad no esté ejecutándose en el momento, pudiendo existir otra actividad no potencialmente contaminante activa.

Sitio abandonado: Sitio en el que se haya desarrollado una actividad potencialmente contaminante en el pasado, donde no es posible distinguir o individualizar al titular o dueño del predio, independiente de quien haya ejecutado la acción contaminante.

Sitio con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC): Lugar o terreno delimitado geográficamente en el que se desarrollan o han desarrollado actividades potencialmente contaminantes. Incluye a sitios abandonados, activos o inactivos.

Suelo: Capa superior de la superficie terrestre compuesta por minerales, materia orgánica, agua y aire.

Sustancia tóxica: Aquella que pueden causar la muerte, lesiones graves o puede producir efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o entra en contacto con la piel.

V

Vía de exposición: Mecanismo por medio del cual un contaminante entra al organismo (ingestión, inhalación, contacto dérmico).



3 Objetivos

La presente Guía Metodológica tiene por objetivo proporcionar un conjunto de pautas y procedimientos sistemáticos que ayuden a abordar de manera efectiva y eficiente los problemas relacionados con la identificación, evaluación, remediación y/o manejo de la contaminación de sitios, con la finalidad de establecer mecanismos para la protección de la salud humana y el medio ambiente. En este sentido se plantean los procedimientos necesarios para:

- **Identificar las fuentes de contaminación:** Entregar procedimientos para la identificación de las fuentes de contaminación presentes en un área o sitio específico, las que pueden incluir actividades industriales, mineras, derrames de sustancias, entre otras.
- **Evaluar el grado de contaminación:** Proporcionar métodos y técnicas para evaluar la magnitud y la extensión de la contaminación en el sitio, lo que incluye el muestreo de suelos (y otras matrices), análisis químicos y evaluación de riesgos.
- **Establecer un marco metodológico para los procesos de remediación y/o manejo:** Entregar procedimientos para el desarrollo de procesos de remediación y/o manejo del sitio.
- **Cumplir con regulaciones y estándares:** Brindar apoyo para entender y cumplir con las regulaciones ambientales y estándares aplicables en Chile, y donde exista ausencia de estos, proveer de referencias internacionales.
- **Proporcionar información técnica:** Entregar información técnica detallada sobre las herramientas, tecnologías y metodologías que pueden utilizarse en la identificación, evaluación y remediación de la contaminación en un sitio.
- **Promover la comunicación y la participación:** Proveer de lineamientos para la comunicación efectiva de los resultados de los procesos de identificación, evaluación y remediación, incluyendo la participación de las partes interesadas para abordar preocupaciones y dar pie a la toma de decisiones de manera transparente.

4 Indicaciones para elaboración y actualización de catastros de SPPC

Un paso relevante, previo a las actividades incluidas en esta Guía, corresponde a la elaboración y actualización de catastros de sitios con potencial presencia de contaminantes por parte del Ministerio del Medio Ambiente. Esta etapa tiene el objetivo de identificar los SPPC activos, inactivos y abandonados existentes en el país y priorizar aquellos que requieren continuar con las etapas de gestión (evaluación y remediación o manejo).

1.1 Identificación de sitios

Los sitios con potencial presencia de contaminantes corresponden a aquellos terrenos en donde se realizan o han realizado una o más de las actividades potencialmente contaminantes definidas en el Anexo 2. Como se ha explicado anteriormente a lo largo de esta Guía, existen sitios activos, inactivos y abandonados, siendo estos últimos aquellos en los que no se puede asignar un titular de las actividades y/o de la (potencial) contaminación.

En este sentido, se deben identificar aquellos SPPC abandonados existentes en el país y registrarlos en un catastro para su posterior priorización y gestión. La identificación puede incluir, además, SPPC activos, inactivos y aquellos que no se cuente con información para definir su estado, a objeto de conocer el total de sitios en que se deben aplicar las orientaciones de la presente Guía.

La identificación puede ser un proceso complejo, ya que depende de la existencia y calidad de la información de base. Las principales fuentes de información que se puede utilizar para la recopilación de antecedentes

para la identificación de SPPC se presentan a continuación:

- Catastro nacional de suelos con potencial presencia de contaminantes, 2022 Ministerio del Medio Ambiente.
- Catastro de faenas mineras abandonadas de Sernageomin.
- Catastro de depósitos de relaves de Sernageomin.
- Información recopilada por municipalidades, por ejemplo, en el proceso de desarrollo de planes reguladores, catastros de microbasurales, etc.
- Estaciones de servicio inactivas de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).
- Catastros de vertederos ilegales de residuos sólidos del Ministerio de Salud.
- Proyectos evaluados en el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) o fiscalizados por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).
- Fuentes de información privadas como las generadas por Asociaciones Gremiales, Cámaras de Comercio, Agencias Regionales de Desarrollo Productivo, entre otras.

Adicionalmente, son relevantes los informes y documentos disponibles en los Órganos de la Administración del Estado con competencia ambiental, o sectoriales relevantes, tales como: resoluciones, actos administrativos en general, listados o catastros sectoriales, base de datos ambientales, estudios técnicos, procedimientos por denuncias y sanciones, información sobre incidentes ambientales u otros. Tales documentos e informaciones pueden ser solicitados mediante comunicación formal o en las oficinas de información a la ciudadanía respectivas. Es recomendable guardar constancia de las solicitudes de información y sus respuestas.

Es importante que cada uno de los sitios identificados sea caracterizado con su información básica, en forma de base de datos, que contenga lo siguiente:

- Ubicación: región, comuna, dirección, coordenadas geográficas en UTM¹ o grados (se debe identificar claramente las coordenadas este y norte, datum (WGS84 de preferencia) y huso, o la latitud y longitud (con al menos 5 decimales), respectivamente) . Ojalá se identifique el polígono del sitio.
- Propietario y/o titular, e indicar si es un terreno privado o fiscal
- Actividades potencialmente contaminantes (APC) y procesos asociados (según listado en Anexo 2)
- Estado (activo, inactivo o abandonado). Se cataloga como sin información si no se puede definir alguna de las categorías anteriores)
- Año de cese de la actividad (si corresponde)
- Asignación de código identificador
- Estado de investigación según fases de la Guía

Se recomienda la comprobación de la ubicación de los SPPC mediante la utilización de sistemas de información geográfica como Google Earth

1 - Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator

o ArcGIS/QGIS. Idealmente, se recomienda que la ubicación geográfica esté definida por un punto representativo, y además por un polígono que delimite el sitio.

En la Tabla 1 se presenta un ejemplo de base de datos del catastro, y en la Figura 1 se presenta un ejemplo de visualización georreferenciada de un sitio en SIG.

ID SPC	Nombre SPC	Región	Comuna	Coord. Este WGS84, 19	Coord. Norte WGS84, 19	Dirección	Titular	Tipo Propiedad	APC	Proceso	Estado	Estado Investigación
13-0143	Sitio Ex. Promal	Antioquia	Antioquia	864245	7950121	N/E	N/E	Fiscal	Otra actividad contaminante con sustancia s. 2	Almacenamiento inadecuado y/o accidentes 1, 2	Abandonado	Fase II – Inves. Confirmatoria
04-0800	Relevé Culebrón	Coquimbó	Coquimbó	-276230	-4089329	Al Embalse Coquimbó site	N/E	Privada	Deposición de residuos mineros metales	Relave	Abandonado	Fase I – Análisis preliminar
06-0158	Deposito de chatarra rotunda porcelana	Magallanes	Magallanes	830210	-6187033	N/E	N/E	Al	Deposición de residuos sólidos	Vertimiento	Activo	Fase I – Priorizado
12-1075	Victoria Sur 7	Magallanes	Yumbay	472440	-4151719	N/E	N/E	Privada	Extracción minera de petróleo y gas	Extracción y extracción de petróleo	Inactivo	Fase I – Priorizado

Fuente: Adaptado de Ministerio del Medio Ambiente – IdeAmbiente (2022)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1 – Ejemplo de base de datos del catastro de sitios

Figura 1 – Ejemplo de visualización de sitio en SIG

El catastro es un documento que debe actualizarse periódicamente, por ende, se requiere la asignación de códigos a cada sitio para evitar duplicar aquellos que pueden encontrarse en distintas fuentes con distintos nombres. Y además para saber el estado de implementación de la Guía Metodológica.

Se recomienda que la actualización se realice siempre en unidades territoriales mayores (por ejemplo, a nivel regional), es decir, que se actualice la información de sitios de manera ordenada y sistematiza de toda una región con cierta frecuencia, y no por sitios individuales en distintos momentos cuando se tenga información nueva.

1.2 Priorización

Luego de la identificación de los SPPC es necesario priorizar aquellos sitios que puedan tener un mayor potencial de generar riesgo en base a criterios ambientales y demográficos, para orientar los recursos disponibles para evaluación. En esta etapa, se realiza el análisis de acuerdo a la ubicación del sitio, por lo que se debe asegurar que la base de datos de la etapa anterior, especialmente la información de coordenadas, sea correcta. Los criterios que se deben tener en cuenta para la priorización de sitios se detallan a continuación. Estos se agrupan en criterios específicos (Tabla 2) y, además, en un criterio general (Tabla 3).

Criterio específico	Descripción	Fuente de información necesaria
Proximidad a zonas pobladas	Distancia igual o menor a 500 metros entre el sitio y una zona poblada residencial. Se puede conocer con esto la distancia de cada SPPC a zonas pobladas y la población (número) potencialmente expuesta a este.	Capa SIG de Censo del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), idealmente el más actualizado que tenga información desagregada de población dentro de “manzanas censales”.
Proximidad a campamentos	Distancia igual o menor a 100 metros entre el sitio y un campamento. Los campamentos pueden tener condiciones de precariedad que generen situaciones de exposición mayor que las zonas más urbanizadas, como calles sin pavimentar, polvo, etc.	Capa SIG de Catastro Nacional de Campamentos del MINVU

Criterio específico	Descripción	Fuente de información necesaria
Proximidad a sistemas de Agua Potable Rural (APR)	Distancia igual o menor a 1.000 metros entre el sitio y un sistema de APR. La presencia de un APR indica la necesidad de agua potable de una localidad, implicando potencialmente el consumo de agua desde pozos privados o captaciones de otro tipo.	Capa SIG de Agua Potable Rural de la Dirección de Obras Hidráulicas
Proximidad a ecosistemas sensibles o de alta relevancia	Distancia igual o menor a 500 metros entre el sitio y un área asociada a ecosistemas sensibles o de alta relevancia ambiental.	Capa SIG de ecosistemas relevantes (áreas protegidas, humedales, etc.) de SIMBIO ² del MMA

Criterio general	Descripción	Fuente de información necesaria
Relevancia socioambiental	Se deben considerar las necesidades particulares de las regiones, comunas o localidades. Es posible que las Municipalidades tengan identificados sitios que causen preocupación en la ciudadanía, que representen un riesgo evidente, o en los cuales se tengan proyectados otros usos, lo que corresponde a información relevante que se debe tomar en consideración para la priorización de los SPPC.	Información por parte de Municipalidades, Gobiernos Regionales y otros Servicios Públicos locales y/o regionales

La priorización se puede realizar con un software de sistema de información geográfica (por ejemplo, ArcGIS o QGIS), mediante las herramientas de generación de buffer e intersecciones de capas. Es decir, la base de datos de SPPC georreferenciada se agrega al software como “capa” y se generan áreas de influencia (buffer) de cierto radio (según el criterio indicado anteriormente), que luego se interseca con las capas de información geográfica asociadas a cada criterio. De esto se puede extraer parte de la información contenida en estas capas dentro del área de influencia, por ejemplo, la cantidad de población dentro de un radio de 500 metros desde un SPPC.

Tabla 2 – Criterios específicos de priorización

Tabla 3 – Criterio general de priorización

2 – Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad. <https://simbio.mma.gob.cl/> de Mercator

La forma de priorización consiste en evaluar si existen criterios específicos, y cuáles (proximidad a zonas pobladas, a campamentos, a sistemas de APR y a ecosistemas sensibles), se cumplen según la georreferenciación e intersección de capas. En general, mientras más criterios específicos apliquen, mayor será la prioridad que tendrá el sitio para su evaluación, sin embargo, no debiese asignarse ponderación o mayor importancia a un criterio sobre otro. Aquellos sitios en que no se presente ningún criterio específico, será considerado como de “prioridad baja”.

Luego de la evaluación de los criterios específicos, en caso de que se cumpla al menos uno de ellos, se deberá revisar si el sitio cumple con el criterio general de relevancia socioambiental (por ejemplo, preocupación para la ciudadanía, riesgo evidente o usos proyectados). Los sitios que tendrán mayor prioridad para la gestión serán aquellos que cumplan criterios específicos y, además, el criterio general, los que se categorizarán como de “prioridad alta”. En caso de que no cumplan con el criterio general, serán considerados como de “prioridad media”.

A continuación, en la Figura 2, se presenta de forma esquemática el proceso de priorización.



Figura 2 - Proceso de priorización



Anexo 1

Normativa ambiental

En la siguiente tabla se presenta un listado de las normas de calidad ambiental vigentes en el país, además de las normas chilenas oficiales asociadas a requerimientos de calidad ambiental.

Tipo de norma	Matriz	Norma	Nombre
Norma primaria de calidad ambiental	Agua	Decreto 144/2008	Normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo
Norma primaria de calidad ambiental	Agua	Decreto 143/2008	Normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo
Norma primaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 5/2023	Norma primaria de calidad del aire para el compuesto orgánico volátil benceno
Norma primaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 12/2021	Norma de calidad del aire para MP10
Norma primaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 104/2018	Norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO ₂)
Norma primaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 12/2011	Norma de calidad del aire para MP2,5
Norma primaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 115/2002	Norma de calidad del aire para CO
Norma primaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 114/2002	Norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO ₂)
Norma primaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 112/2002	Norma de calidad del aire para O ₃
Norma primaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 136/2000	Norma de calidad primaria para plomo en el aire
Norma secundaria de calidad ambiental	Agua	Decreto 1/2015	Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia
Norma secundaria de calidad ambiental	Agua	Decreto 9/2015	Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío

Tipo de norma	Matriz	Norma	Nombre
Norma secundaria de calidad ambiental	Agua	Decreto 53/2013	Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Maipo
Norma secundaria de calidad ambiental	Agua	Decreto 19/2013	Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del lago Villarrica
Norma secundaria de calidad ambiental	Agua	Decreto 75/2009	Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Serrano
Norma secundaria de calidad ambiental	Aire	Decreto 22/2009	Norma de calidad secundaria de aire para anhídrido sulfuroso (SO ₂)
Norma secundaria de calidad ambiental	Aire	Decreto Exento 4/1992	Normas de calidad del aire para material particulado sedimentable en la cuenca del río Huasco III región
Norma chilena oficial	Agua	NCh 1333 (D.S. 867/1978 del Ministerio de Obras Públicas)	Requisitos de calidad del agua para diferentes usos
Norma chilena oficial	Agua	NCh 409/1 (Decreto Exento 446/2006 del Ministerio de Salud)	Norma calidad del agua potable

Anexo 2

Actividades potencialmente contaminantes (APC)

El listado de actividades potencialmente contaminantes y los procesos asociados se presentan a continuación.

Nº	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/subactividades/instalación
1	Industria de cemento (portland, siderúrgicos, y puzolánicos), hormigón, asfalto y fibrocemento	Fabricación de cemento-clinkerización Co-incineración Fabricación de hormigón, asfalto y fibrocemento
2	Reciclaje de baterías de plomo-ácido e industriales	Fundición y refinado
3	Reciclaje de residuos electrónicos y pilas	Desmontaje y trituración Depósito de residuos
4	Reciclaje y valorización de residuos	Reciclaje de aceites usados de motores Procesos químicos como: pirólisis, gasificación, otros Reciclaje de partes de autos-desarmadura (autos y chatarras) Otra valorización o reciclaje que implique sustancias químicas en sus acciones y/o procesos Reciclaje de plásticos
5	Formulación o fabricación de productos químicos	Producción de productos orgánicos básicos: materias primas para plásticos, resinas, cauchos sintéticos y fibras sintéticas, disolventes y materias primas de detergentes, colorantes y pigmentos; producción de fertilizantes y plaguicidas (incluidos herbicidas, fungicidas e insecticidas); producción de plásticos, resinas, cauchos sintéticos, fibras sintéticas y celulósicas; y productos farmacéuticos (fármacos y medicamentos); y producción de jabones, detergentes, productos limpiadores, perfumes, cosméticos y otros productos de perfumería Producción de pinturas, barnices y lacas Producción de productos químicos como líquidos para abrillantar, explosivos, adhesivos, tintas, películas fotográficas y productos para revelado
6	Sitios de maniobras militares o campos de tiro	Almacenamiento y uso de sustancias peligrosas
7	Disposición de residuos sólidos	Relleno sanitario Vertederos Basural (sobre terrenos de 1.000 m²)

Nº	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/subactividades/instalación
8	Desarrollo minero de petróleo y gas	Exploración y extracción de petróleo Depósitos de almacenamiento de combustibles Procesos de almacenamiento y refinación en refinerías Patios de estanques con capacidad sobre 1,1 m³ Transporte de petróleo y sus derivados
9	Industria forestal	Industria de la celulosa y/o el papel Aserraderos y remanufacturas de madera Elaboración de tableros
10	Estaciones de servicio de combustibles	Estanques de almacenamiento Cambio de combustibles y aceites
11	Talleres mecánicos	Cambios de piezas y combustibles
12	Industria de la curtiembre	Preparación, curtido y teñido de pieles de peletería
13	Fabricación de muebles a nivel industrial	Acabado, pintado y barnizado
14	Puertos	Stockpile concentrado de cobre Stockpile de sustancias sólidas peligrosas Almacenamiento de combustibles Estaciones de combustible Almacenamiento de sustancias peligrosas líquidas (por ejemplo, ácido sulfúrico) Operaciones de trasvase de hidrocarburos
15	Extracción y procesamiento de mineral de cobre, plata, molibdeno y oro	Prospección minera Explotación de yacimiento mediante método subterráneo y método a cielo abierto Chancado de material Concentración de minerales de cobre mediante método de flotación Transporte, acondicionamiento y disposición de relaves Lixiviación y recuperación de cobre Lixiviación y recuperación de oro-plata Stockpile abiertos Fundición de cobre

Nº	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/subactividades/instalación
16	Disposición de residuos mineros masivos	Relaves Botaderos de estériles, marinas o minerales de baja ley Botadero de rípios de lixiviación Botadero de escorias de fundición
17	Extracción y procesamiento de mineral de hierro y acero	Producción de coque de carbón (coquificación) Preparación del mineral (p.ej., sintetizar y formar pelotillas) Producción de hierro y acero Fundición, laminación y acabado Fabricación de productos metálicos diversos
18	Extracción y procesamiento de mineral de carbón	Extracción subterránea y superficial
19	Extracción y procesamiento de mineral de plomo	Extracción subterránea Producción primaria y refinación
20	Minería no metálica	Procesamiento de yodo y sus derivados Procesamiento de diatomita, ácido bórico Procesamiento de litio, nitrato, potasio Extracción y procesamiento de azufre Extracción y procesamiento de minerales silíceos Extracción de zeolitas
21	Generación de energía eléctrica > 3MW	Reservas geotérmicas Generación por biomasa o biogás Central termoeléctrica Otros generadores
22	Maestranzas, astilleros y centros de mantenimientos de aeronaves	Mantenimiento de ferrocarriles, metro Astilleros Centros de mantenimiento de aeronaves
23	Tratamiento y revestimiento de metales	Proceso de galvanoplastia
24	Mal manejo de sustancias peligrosas	Plantas de tratamiento de agua residuales y servidas Industrias con estanques de almacenamiento de hidrocarburos Accidente de transporte que abarque un área >300 m² y que no se hayan implementado medidas de limpieza

Nº	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/subactividades/instalación
25	Otra actividad contaminante con evidencia directa de contaminación en suelo	Almacenamiento de material asbesto Almacenamiento inadecuado y/o accidentes y/o cierre inadecuado con materiales peligrosos, incluyendo elementos radiactivos Almacenamiento, uso y manejo de sustancias químicas peligrosas en industrias como: fabricación de azulejos y baldosas de cerámica, fabricación de vidrios y producto de vidrio, producción de gas, industria pesquera, y otra industria que involucre almacenamiento uso y manejo de sustancias químicas. Otra actividad sin un plan de cierre o cierre adecuado que puede generar contaminación del suelo.

Fuente: MMA – IdeAmbiente (2022)



Anexo 3

Informe preliminar de situación

A continuación, se presenta un formato sugerido para la presentación del Informe Preliminar de Situación (IPS) de Fase I.

1. Identificación del sitio

Datos del titular			
Razón Social			RUT
Dirección			Oficina
Comuna			Región
Teléfono			Correo electrónico

Datos del sitio			
Nombre del sitio	Código sitio		
Dirección			
Coordenadas	Este	Norte	Datum y huso
Comuna			Región
Propietario			ROL
Persona de contacto			
Teléfono	Correo electrónico		
Estado del sitio (activo, inactivo, abandonado)			
Año inicio actividad			Año fin actividad
Fecha de registro de IPS			Encargado de IPS

Nota: Se debe presentar un mapa donde se indique claramente los deslindes de la propiedad y ubicación a escala comunal y regional.

2. Uso del suelo

Descripción uso actual o propuesto	
Zonificación según Instrumento de Planificación Territorial	
Instrumento(s) asociado(s)	Zona y descripción
Tipos de usuarios	
Descripción de tipos de usuarios (residentes (adultos, niños), trabajadores, etc.)	

3. Actividades potencialmente contaminantes

Actividad(es) potencialmente contaminante(s) realizada(s), según Guía	Actividad(es) potencialmente contaminante(s) realizada(s), según Guía
Descripción del proceso productivo	

4. Historial del sitio

Cronología del sitio						
Fecha	Propietario	Usuario	Uso/industria	Estructuras relevantes	Cobertura	Comentarios

Registro de incidentes en el sitio		
Fecha	Descripción del incidente	Medidas tomadas

5. Configuración del sitio

Cronología del sitio						
Código estructura	Nombre estructura	Descripción	Nivel (superficial/ subterránea)	Superficie (m²)	Actual/ histórica	Fecha inicio y cierre

Nota: La información indicada arriba debe presentarse también en un mapa, indicando el código y el polígono de cada instalación.

6. Materias primas, productos y residuos

Cronología del sitio

Código	Nombre	Proceso en que se utiliza	Forma de almacenamiento y volumen	Estado físico	Cantidad consumida anual	Procedencia	Composición química	Peligrosidad

Autorizaciones sanitarias para almacenamiento de sustancias peligrosas (D.S. 43/2015 MINSAL)

Identificación de productos

Código	Nombre	Proceso en que se utiliza	Forma de almacenamiento y volumen	Estado físico	Cantidad consumida anual	Procedencia	Composición química	Peligrosidad

Autorizaciones sanitarias para almacenamiento de sustancias peligrosas (D.S. 43/2015 MINSAL)

Identificación de residuos

Código	Nombre	Proceso en que se utiliza	Forma de almacenamiento y volumen	Estado físico	Cantidad consumida anual	Procedencia	Composición química	Peligrosidad

Autorizaciones sanitarias para almacenamiento de residuos peligrosos (D.S. 148/2003 MINSAL)

Nota: La información indicada arriba debe presentarse también en un mapa, indicando el código y el polígono o punto representativo de cada sector de almacenamiento.

7. Emisiones y descargas

Identificación de emisiones y descargas

Código	Tipo de emisión/descarga	Material que emite/descarga	Matriz en que emite/descarga	Cantidad	Regulación asociada

Nota: La información indicada arriba debe presentarse también en un mapa, indicando el código y punto de descarga o emisión.

8. Receptores sensibles cercanos

Identificación de receptores

Código	Nombre	Tipo (residencial, establecimientos educaciones, establecimientos de salud)	Distancia al sitio

Nota: La información indicada arriba debe presentarse también en un mapa, indicando el código y el polígono o punto representativo de cada tipo de receptor.

9. Agua subterránea

Identificación de receptores

Identificación	Distancia de la captación al sitio	Uso de agua	Profundidad napa	Fuente de información

10. Cuerpos de agua y otras áreas de relevancia ambiental

Identificación de receptores

Identificación	Distancia de la captación al sitio	Uso de agua	Profundidad napa	Fuente de información

Nota: La información indicada arriba debe presentarse también en un mapa, indicando el código y el polígono o punto representativo de cada cuerpo de agua.

11. Entrevistas (recomendado)

Nombre del entrevistado, fecha y comentarios

12. Mediciones in-situ (opcional)

Tipo y resultados de mediciones in-situ

Nota: se debe adjuntar ubicaciones y resultados de mediciones.

13. Identificación de contaminantes potenciales (recomendado)

Contaminantes potenciales en el sitio

14. Modelo conceptual (recomendado)

Fuente(s)	Ruta(s)	Receptor(s)

Esquema de modelo conceptual

A continuación, se presentan algunos ejemplos de mapas que debiesen adjuntarse a los IPS. En este caso corresponden a un sitio ficticio para fines ilustrativos.

Figura 3 – Mapa de ubicación de instalaciones dentro del sitio





Figura 4 - Mapa de ubicación de almacenamiento de materias primas y residuos dentro del sitio

Figura 5 - Mapa de ubicación del sitio dentro del contexto local



Anexo 4

Métodos de muestreo para diferentes matrices

En este apartado se incluye la metodología y recomendaciones para la realización de muestreos de suelos, sedimentos, aguas subterráneas y aguas superficiales.

4.1 Muestreo de suelos

El muestreo de suelos puede ser realizado utilizando herramientas manuales (generalmente para muestreo a poca profundidad) o maquinaria específica para realización de calicatas, excavaciones o perforaciones (para muestreo en profundidad).

4.1.1 Muestreo manual

El muestreo manual se realiza cuando se requiere obtener muestras a poca profundidad (superficiales), hasta aproximadamente 20 cm, dependiendo del tipo de suelo y la facilidad para realizar la excavación. También existen otras herramientas manuales para muestrear a mayores

profundidades, como los barrenos, que tienen diferentes tamaños y pueden alcanzar diferentes profundidades.

4.1.2 Muestreo con maquinaria

Para la colección de muestras en mayor profundidad debe utilizarse otros equipos o maquinaria, como barrenos percutores, retroexcavadoras o perforadoras. En este caso, los equipos deben ser operados por personas acreditadas para esto y/o con experiencia, y se deben tomar las medidas de seguridad necesarias para prevenir riesgos asociados (ver Anexo 12).

Los barrenos percutores se utilizan para realizar perforaciones de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro y permiten llegar a profundidades de hasta 4 metros, si es que se utilizan barras de extensión. En general, requieren la conexión a energía eléctrica (generador) y se puede obtener un testigo del perfil de suelo, desde donde se obtiene la muestra.

Las excavadoras o retroexcavadoras se utilizan para realizar calicatas o zanjas de una profundidad aproximada de 4 metros, dependiendo del largo de su brazo. Consiste en un método más rápido que el barreno y además tiene la ventaja de que es posible observar más claramente el perfil del suelo. Por otro lado, tiene la desventaja de que se requiere un espacio considerable para realizar los trabajos. Para la colección de las muestras de suelo, se puede solicitar al operador la obtención de suelo con la pala de la retroexcavadora en un rango de profundidad determinado desde una de las caras de la calicata. Luego, la muestra se colecta desde la pala, una vez que esta esté apoyada sobre terreno firme y con la máquina detenida.



Las perforadoras se utilizan para realizar excavaciones de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro y permiten llegar a profundidades de más de 10 metros, dependiendo de las características del suelo (presencia de roca dura) y de la máquina. Estas suelen ser máquinas hidráulicas sobre oruga, a las que se le pueden agregar distintas herramientas para la perforación, como hollow stem auger o solid stem auger. Se debe tener en consideración la utilización de herramientas adecuadas, que puedan obtener un testigo del perfil de suelo, desde donde coleccionar la muestra (y determinar la profundidad a la cual fue obtenida), además de evitar utilizar grasas³ que puedan contaminar la matriz muestreada y las mismas muestras.

4.2 Muestreo de agua subterránea

4.2.1 Instalación de pozos

En caso de no existir pozos de monitoreo en un sitio, estos deben ser instalados. La perforación para la instalación de los pozos se realiza en general con una máquina hidráulica sobre oruga o con una perforadora hidráulica manual dependiendo de la dificultad logística de la ubicación. A estas máquinas se le pueden agregar distintas herramientas ya sea hollow stem auger, solid stem auger o roto percusión entubada.

Se recomienda realizar una perforación de entre 4" a 8" de diámetro para poder instalar pozos de entre 2" a 4" de diámetro (no se recomiendan diámetros mayores, ya que la toma de muestras sería más dificultosa – ver sección siguiente). La profundidad de la perforación deberá ser al menos 2 metros mayor a la profundidad en que se encuentre el nivel freático (considerando el nivel más bajo según diferentes estaciones del año), notando que no se deben instalar pozos que conecten dos unidades hidrogeológicas diferentes (esto puede llevar a una contaminación vertical entre acuíferos).

Una vez realizada la perforación, se debe instalar el pozo que consiste en un tubo de PVC (generalmente), que tiene una sección ranurada (para que entre el agua desde el acuífero) y otra sin ranurar (ciega), y con un tapón en el fondo. Se debe instalar de manera que la sección ranurada coincida con el acuífero, incluyendo 50 cm por sobre el nivel freático; el resto del tubo (hacia arriba) deberá ser ciego.

Luego, se debe rellenar el espacio entre el suelo y el exterior del tubo con un filtro de gravilla lavada y calibrada, preferentemente silícea, que debe cubrir toda la sección ranurada. Sobre el filtro (empaquete de gravilla), con un espesor de alrededor de 1 m, se debe rellenar con bentonita para sellar. Luego se puede rellenar con suelo de la excavación, considerando que los últimos 50 cm debiesen sellarse con cemento, para evitar la entrada de agua y elementos extraños desde la superficie.

3 – Tampoco se debe utilizar agua u otro fluido a no ser que se esté perforando para instalar un pozo. Se debe asegurar también que no se produzcan fugas de aceites o combustible por la máquina perforadora.

El tubo deberá también tener un tapón en el extremo superior y se deberá instalar una caja de protección a nivel del suelo o sobre este, que deberá incluir el nombre del pozo y una marca de referencia, para posteriores mediciones de niveles de agua subterránea.

Un ejemplo de la construcción de un pozo de control se muestra en la Figura 6.

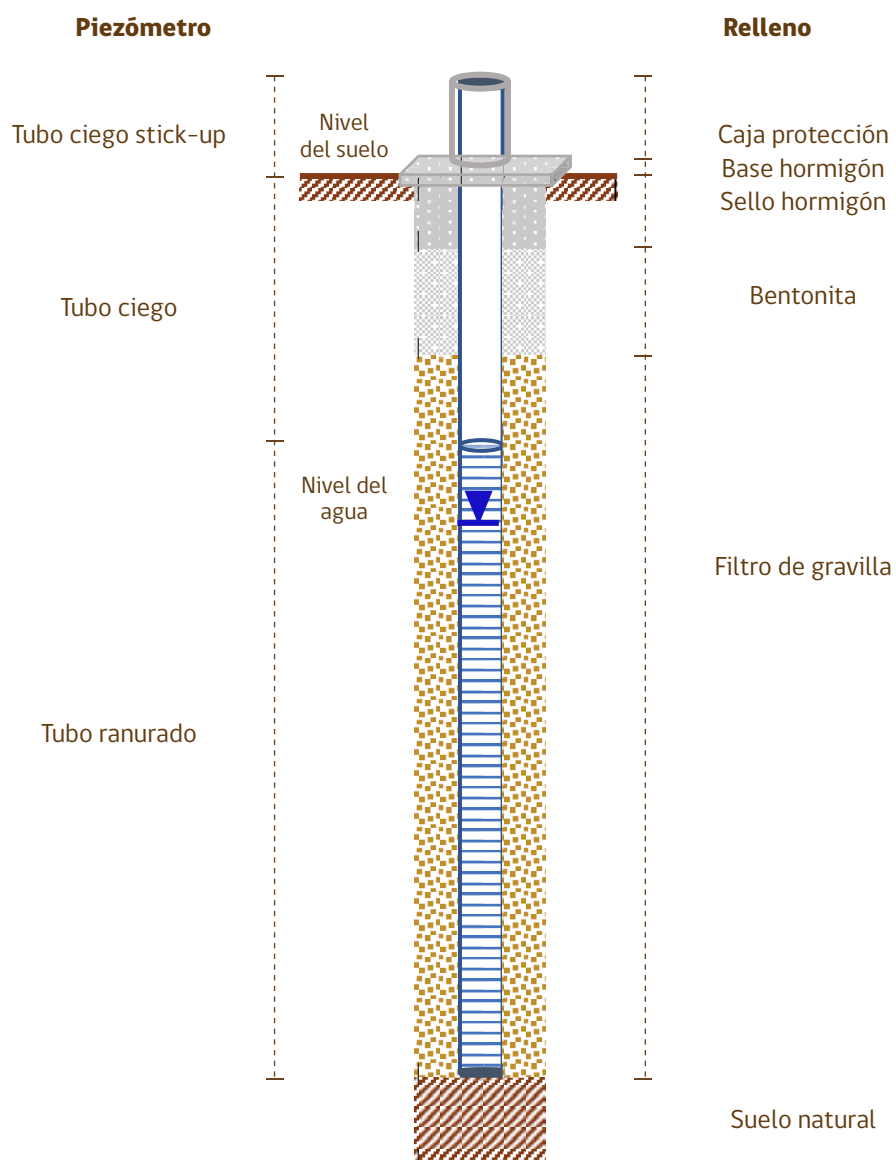


Figura 6 - Ejemplo de la construcción de un pozo de control

La construcción de los pozos debe ser planeada previamente y ser realizada y supervisada por profesionales con experiencia, ya que es posible que durante la instalación se deban realizar ajustes dependiendo de las características del suelo y del acuífero (si es muy permeable o colapsa al realizar la perforación, etc.).

Durante la perforación e instalación de los pozos, se debe registrar sus características constructivas, con especial atención a diámetro de perforación y el diámetro del tubo, la profundidad total, profundidad del tramo ranurado, características del relleno y sellado. Además, se debe registrar las coordenadas del pozo y una descripción general de la litología y el nivel freático.

Posterior a la construcción, se debe realizar el desarrollo de los pozos, que consiste en la limpieza de los materiales que pudiesen haber caído dentro del pozo durante su instalación y material suelto de menor tamaño del filtro.

Una vez finalizados los trabajos en terreno, se recomienda realizar un levantamiento topográfico de todos los pozos de muestreo para obtener las coordenadas de cada punto, además de la elevación⁴. Durante la perforación de los pozos, es posible también tomar muestras del perfil de suelo, de permitirlo la litología y el método de perforación, para caracterizar cualquier contaminación existente de manera vertical.

4.2.2 Toma de muestras

Para el muestreo de agua subterránea, se recomienda esperar al menos una semana luego de la instalación del pozo de monitoreo, para que este pueda estabilizarse.

Previo a la toma de muestras de agua, se realiza una revisión de los niveles freáticos, idealmente mediante una sonda de interfase lo que permitiría comprobar también la presencia o ausencia de hidrocarburo (u otro compuesto) sobrenadante en fase libre. Los datos de niveles sirven, junto con la topografía del sitio, para establecer la piezometría local y el sentido de flujo de las aguas subterráneas (en caso de tener 3 o más pozos en el sector).

La extracción de agua del pozo para el muestreo se puede realizar con varios métodos; los principales se presentan a continuación:

- Tubos bailer: son dispositivos desechables (especie de tubo que permite el muestreo de agua en su interior) que se introducen en el pozo con una cuerda, y se cierra a la profundidad deseada mediante una válvula.

- Bombas: existen del tipo sumergibles, de membrana (bladder), peristálticas, inerciales, entre otras. Se debe seleccionar la adecuada a

4 - Adicionalmente, se pueden realizar pruebas hidrogeológicas (ej. bombeo) para determinar parámetros del acuífero (como velocidad de flujo, entre otros).

las condiciones del sitio y las características del pozo, según el tipo de energía que utiliza, tamaño, altura de agua que levanta, etc. Se debe tener en consideración la instalación de la bomba o manguera en el fondo del pozo, para que se logre la extracción de toda el agua acumulada en este.

Previo al muestreo, se debe realizar una purga del pozo, que consiste en extraer una cantidad suficiente de agua desde el pozo, de manera que el agua que se muestree sea fresca, proveniente del acuífero, y no agua acumulada en el pozo. Para determinar la magnitud de la purga se recomienda seguir los siguientes criterios:

- Extracción de una cantidad de agua correspondiente a dos o tres volúmenes, es decir, 2 o 3 veces la cantidad de agua que almacena el pozo (calculada como el área del tubo por la altura de agua⁵).
- Extracción de agua hasta que los parámetros básicos (pH, conductividad eléctrica, temperatura, etc.) se estabilicen o no fluctúen de manera significativa. Para esto se requiere medidores de parámetros in-situ (ver Anexo 12).

Idealmente se debiese cumplir con ambas condiciones anteriores, sin embargo, dependiendo de la profundidad y del diámetro del pozo, de la recuperación del acuífero y del tiempo disponible en terreno, puede no ser posible la extracción del volumen total del primer criterio.

Luego de la purga del pozo, se debe extraer una muestra de agua fresca desde el pozo para envasarla en recipientes adecuados (ver apartados siguientes para el correcto envasado y rotulado). Se recomienda, además, la medición y registro de parámetros fisicoquímicos básicos de la muestra de agua, mediante un medidor portátil.

El orden de la toma de muestras debe ser desde el punto menos contaminado al más contaminado, dentro de lo posible y según los antecedentes revisados, para evitar contaminación cruzada. Se deberá realizar una limpieza adecuada de todo el equipo utilizado para el muestreo entre una muestra y la siguiente.

5 - Una manera aproximada para obtener la cantidad a purgar (en litros, para pozos de 2") es el restar el nivel freático de la profundidad total del pozo (en metros), y luego multiplicar este valor por 6.



4.3 Muestreo de agua superficial

El muestreo y el análisis para la determinación de la calidad del agua superficial varían con las condiciones del sitio y los elementos a ser medidos. Típicamente, las muestras son recolectadas de modo que representen cualquier cambio en profundidad y a lo ancho del cuerpo de agua o corriente y en cantidad suficiente como para permitir la repetición del análisis.

Los cambios en la calidad del agua superficial pueden ser bastante rápidos (por ejemplo, como respuesta a las variaciones del clima y las inundaciones). Las muestras de agua tomadas en los cursos de agua se recogen normalmente a intervalos determinados de tiempo. Los sistemas de monitoreo continuo y en tiempo real suministran la información más completa.

Antes de tomar la muestra, se deben registrar las características del cuerpo de agua (por ejemplo: tamaño, profundidad y flujo), y se recomienda la realización de mediciones in-situ de parámetros fisicoquímicos, como pH, conductividad eléctrica, potencial redox, oxígeno disuelto, etc. Es posible también realizar una medición continua en la columna de agua, con medidores que registren también la presión hidrostática.

El muestreo debe realizarse empezando por las ubicaciones situadas aguas abajo y en dirección hacia las ubicaciones situadas aguas arriba, de manera que la alteración que se produce no afecte la calidad de las muestras.

En el caso de esteros y ríos, en general las muestras más representativas son aquellas tomadas a la profundidad donde el flujo es turbulento y el agua está bien mezclada, y donde la posibilidad de asentamientos de sólidos es mínima. Dependiendo de la ubicación del punto de muestreo, la profundidad ideal para tomar la muestra oscila entre el 40% y 60% de la profundidad de la corriente de agua.

En aguas tranquilas, como un lago, las muestras de agua superficial deben tomarse a una profundidad aproximada de un metro, en cuerpos de aguas tranquilas poco profundos, la muestra se toma justo debajo de la superficie o media profundidad. En general, será necesario que el muestro se realice desde un bote. Si los registros de temperatura a distintas profundidades indican una estratificación del agua del lago, entonces se deben tomar muestras simples en cada una de las capas observadas.

En agua marina y de estuarios se deben tener en cuenta las corrientes y las mareas y por tanto el horario del muestreo. Este debe realizarse desde un bote, e iniciarse desde aguas abajo hacia aguas arriba. La estratificación en estuarios es evaluada mediante el registro de la

conductividad/salinidad específica a lo largo de la columna vertical hasta el fondo del estuario.

4.4 Muestreo de sedimentos

Los sedimentos se pueden dividir en sedimentos de fondo y sedimentos de orilla, los primeros son aquellos que permanecen siempre cubiertos por agua, mientras que los de orilla son los que parte del tiempo no han estado cubiertos por agua. En ambos casos, pero sobre todo en el caso de los de orilla, se trata de muestras no estacionarias e inestables.

Entre las definiciones fundamentales a resolver en el muestreo de sedimentos están las relacionadas con la elección del punto en que este se va a realizar. Lógicamente se precisa un punto que reúna condiciones de representatividad. Sin embargo, dado el carácter inestable y estacional del depósito sedimentario, sobre todo en el caso de sedimentos de orilla, esta elección no siempre es sencilla y, en ocasiones, un punto considerado representativo durante un determinado tiempo puede dejar de serlo.

Es importante tener en cuenta que, en función de las estaciones del año, un mismo punto puede presentar diferentes características sedimentarias. Además, se deben tener en cuenta consideraciones respecto al volumen o masa de muestra requerida, a la profundidad y también a la metodología del muestreo, lo que incluye el equipamiento a utilizar.

La toma de decisiones está directamente relacionada con los objetivos del muestreo, con los parámetros que se quiere analizar, el tipo de muestra que se desea obtener, con las características del sedimento, la posible vegetación asociada y las condiciones ambientales, orográficas y de accesibilidad.



Los sedimentos pueden ser colectados a mano con palas o cucharas, y sondas especialmente diseñadas, cuando están a baja profundidad en ríos o arroyos, en los que se puede operar mediante vadeo o en caso contrario mediante equipos más complejos. Estos suelen ser activados para extraer la muestra en forma remota, mediante mensajeros como acontece con las dragas tipo Ekman o Ponar.

Los factores determinantes en la selección de los equipos apropiados son, entre otros:

- Naturaleza del sedimento a colectar (granulometría: arcilla / limo / arena)
- Profundidad de la columna de agua por encima del sedimento.
- Cantidad de sedimento requerido para complementar la totalidad de los análisis a efectuar.
- La magnitud del área del lecho que se desea caracterizar.
- Condiciones hidrológicas reinantes en la zona de muestreo (ejemplo: zona de altas corrientes en ríos y calmas en cuerpos lacustres).
- Posibilidades de operar desde botes, puentes o por vadeo.
- Disponibilidad de equipos auxiliares para operar los equipos muestreadores de tamaño y peso significativo.

4.5 Muestreo de polvo superficial

El muestreo de polvo superficial se realiza principalmente donde este se haya podido depositar sobre superficies rígidas (pavimento, losas, techumbres, etc.), aunque también podría aplicarse en superficies sin cobertura con el cuidado suficiente. El objetivo de este muestreo es obtener el polvo que ha sido depositado en la superficie a muestrear proveniente de alguna fuente conocida, desconocida o supuesta, que



haya sido transportado principalmente por acción del viento. El muestreo consiste en la colección del polvo utilizando herramientas manuales (ej. escobilla y pala de plástico) para luego ser envasado, transportado y analizado según los mismos métodos aplicables para suelos. Es importante, al igual que en el caso de suelos, la identificación exacta del lugar de la muestra además de denotar en este caso sobre qué superficie se está tomando (ej. patio interior cubierto por cerámicas de vivienda).

En el caso de muestrear superficies no cubiertas, se debe tomar las debidas precauciones para no muestrear más que los primeros milímetros del suelo, vale decir utilizando una brocha o escobilla de pelo suave, y cuidando de no presionar la superficie al capturar la muestra.

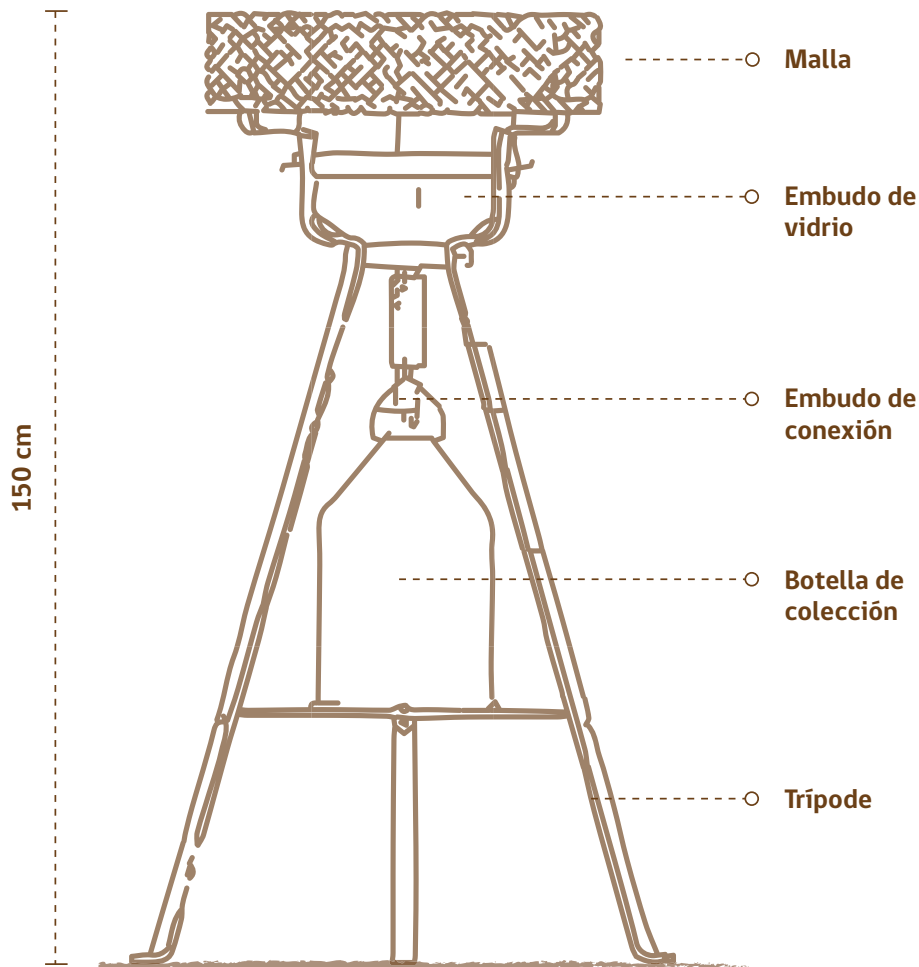
4.6 Muestreo de polvo sedimentable

El polvo sedimentable comprende las partículas emitidas por diversas fuentes y se refiere a partículas con un tamaño entre 10 y 500 μm , y que poseen una velocidad de sedimentación significativa y una permanencia atmosférica breve.

Se recomienda que el muestreo de polvo sedimentable se realice de acuerdo a lo establecido en el documento "Especificaciones técnicas para implementación red de monitoreo material de polvo sedimentable en cuenca de Río Huasco" (CIMM, 1992). Este indica que se debe contar con equipos muestreadores que consisten en un contenedor de acero inoxidable de 50 cm diámetro (área de deposición de aproximadamente 0,2 m^2), donde el colector se monta en una estructura de acero tipo trípode a una altura de 1,5 m. El contenedor de acero debe tener un fondo cónico que termina en una perforación que permite recolectar el polvo sedimentable en una botella plástica, mediante el arrastre o limpieza con agua destilada de las paredes del contenedor. Se debe instalar una malla como protección contra pájaros, hojas u otra materia orgánica. En general estos equipos se mantienen durante un periodo de un mes calendario, con mediciones ininterrumpidas y permanentes.

Para este muestreo, lo que se analiza es la cantidad de material depositado ($\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{día}$), y además los constituyentes de este material, por ejemplo, concentración de metales.

El equipo recomendado corresponde al estándar británico "British Standard Gauge" y se muestra en la Figura 7.



4.7 Muestreo de vapores

En los últimos años se han desarrollado numerosos métodos, tanto para la toma de muestras como para la detección y caracterización de gases y vapores en suelo.

- El muestreo de aire ambiente difiere en sus características del muestreo del aire intersticial y suele realizarse cuando puede existir afección de la salud humana (por ejemplo, en ambientes interiores) como consecuencia de la migración de gases o compuestos volátiles desde el emplazamiento a su entorno.

- El objetivo de la toma de muestras de aire intersticial del suelo es obtener muestras representativas de la composición y concentración de los gases presentes a la profundidad del suelo a la que se han tomado las mismas. Para asegurar su representatividad, los equipos de muestreo deben purgarse, recomendándose además extremar las medidas de limpieza de los equipos.

Figura 7 - Equipo de medición de polvo sedimentable

- El muestreo del aire intersticial del suelo ofrece una aproximación a la presencia y distribución de la contaminación de sustancias volátiles y semivolátiles. De esta forma se puede optimizar el posterior muestreo del suelo, orientándolo en función de los resultados de la investigación del aire intersticial.

- La profundidad de toma de muestras no suele superar los 5 metros y tiene varias aplicaciones en sitios donde se han depositado residuos. Un ejemplo de ello son los vertederos o estanques de almacenamiento de combustibles, donde la toma de muestras de aire intersticial aporta información útil para acotar las zonas contaminadas y efectuar una evaluación preliminar de las posibilidades de migración de las sustancias al entorno del emplazamiento, con los consecuentes riesgos de inhalación y/o explosión.

El muestreo del aire intersticial puede llevarse a cabo mediante:

- Sistemas pasivos: consistentes fundamentalmente en materiales o medios absorbentes que se insertan en el suelo (usualmente varillas impregnadas de carbón vegetal o de algún elemento absorbente específico) por un periodo determinado (desde días a semanas). La varilla o elemento colector es posteriormente recuperado y analizado en laboratorio.

- Sondas de muestreo: método consistente en introducir sondas hasta la profundidad del suelo deseada, desde donde se extrae la muestra mediante una bomba para traspasarla posteriormente a un recipiente o medio absorbente adecuado (tubos Tenax, tubos de carbón activo, bolsas Tedlar, otros) que se envía al laboratorio o se analiza en campo mediante analizadores o detectores portátiles.

También es posible muestrear la fase gaseosa en pozos de control contruidos especialmente para tal fin o para gas y agua subterránea. En estos pozos de control sólo es posible el muestreo de compuestos volátiles. Dichos pozos son similares a los realizados para aguas subterráneas en cuanto a los materiales con que se equipan (filtros de grava, sellado, otros), aunque suelen ser de diámetro menor (2,5-5 cm). El muestreo en ellos se realiza normalmente mediante bombas de vacío.

4.8 Control y aseguramiento de calidad

4.8.1 Muestreo

La colección de las muestras se debe realizar con herramientas de muestreo apropiadas: suelos con presencia de especies orgánicas, las herramientas deberían estar hechas de acero inoxidable, y para suelos con presencia de especies inorgánicas deberían estar hechas de polietileno de alta densidad.



Los utensilios y herramientas de muestreo deben ser lavados con agua destilada y otros detergentes en caso de ser necesario, luego de la toma de cada muestra, para evitar la contaminación cruzada de las muestras. La cantidad de muestra dependerá del número y tipo de análisis, según lo que indique el laboratorio. En el caso de suelos y sedimentos, la cantidad requerida de muestra puede variar entre 300 gr y 1 kg de muestra. Se debe tener la precaución de evitar incluir gravas de mayor tamaño, de manera que el volumen efectivo de muestra sea suficiente para realizar los análisis.

Además, se recomienda la toma de muestras en duplicado (tomar dos muestras de la misma porción de suelo), para verificar la precisión de los resultados de los análisis en el laboratorio. En general, se recomienda la colección de duplicados en el 5% de las muestras.

4.8.2 Envasado y conservación de muestras

Los envases utilizados para la conservación de las muestras deben estar limpios (esterilizados), sin embargo, se recomienda la utilización de

envases proporcionados por el laboratorio que realizará los análisis. Los envases deben ser ambientados con la misma muestra previo al envasado (a excepción de aquellos que contengan sustancias preservantes).

Las muestras obtenidas deben ser envasadas en recipientes de volumen y material apropiados según el tipo de análisis a realizar. En general, se utilizan envases de plástico (bolsas o frascos) para análisis de elementos o compuestos inorgánicos (por ejemplo, metales y metaloides), y envases de vidrio (frascos) para análisis de compuestos orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos). En algunos casos, también se requiere que las muestras sean conservadas en envases que absorban luz (por ejemplo, para algunos compuestos volátiles). Además, se debe tomar en consideración la forma de llenado del envase. Por ejemplo, se requiere que para análisis de compuestos volátiles se llene completamente el envase con muestra; por otro lado, los envases para conservar muestras de agua deben ser llenados hasta el cuello de la botella.

En el caso de muestras de agua, para ciertos análisis es necesaria la preservación de las muestras con sustancias químicas (que serán proporcionadas por el laboratorio), y/o la filtración previa al envasado. Por ejemplo, para el análisis de metales disueltos en agua, la muestra debiese ser filtrada en terreno y almacenada con preservantes. En caso de que la filtración no pueda ser realizada en terreno por temas logísticos o de tiempo, no se debe utilizar preservante, y esta información debe ser indicada oportunamente al laboratorio.

Se recomienda siempre consultar con el laboratorio la forma en que deben ser conservadas las muestras.

Los envases deberán ser debidamente sellados y etiquetados al momento de la colección de la muestra. Se recomienda que se incluya en el envase como mínimo la identificación de la muestra (compuesto por punto de muestreo y profundidad), fecha y hora de muestreo.

Los envases con muestras se deberán guardar en cajas de transporte adecuadas para su envío al laboratorio. Para ciertos análisis se requiere que las muestras sean conservadas en frío, lo que se puede conseguir con ice-packs o hielo dentro de una nevera portátil o cooler. Todas las muestras deben quedar registradas en una cadena de custodia, que debe acompañar a las muestras en todo momento hasta el ingreso de estas al laboratorio.

Una vez que las muestras llegan al laboratorio, este generalmente envía un comprobante de ingreso, el que debe ser revisado por los profesionales que realizaron el muestreo, confirmando que la información esté correcta, especialmente con respecto al número de muestras, los análisis a realizar a cada una y su codificación.

4.9 Registro de información en terreno

La información obtenida en terreno debe ser registrada para posterior consulta. Se pueden utilizar hojas o planillas de registro de muestras que contengan la siguiente información:

- Identificación de la muestra, que incluya el punto de muestreo y la profundidad
- Fecha y hora del muestreo
- Características de la muestra, granulometría/textura aparente, color, olor, grado de humedad aparente
- Coordenadas obtenidas mediante GPS
- Presencia de vegetación o raíces (de existir)
- Otros aspectos y observaciones (existencia de afloramientos rocosos, hallazgos ambientales, condiciones climáticas durante la toma de muestra, etc.)
- Nombre de la persona responsable del muestreo

En el caso de calicatas o perforaciones, se debe registrar información del perfil de suelos (textura, color, olor, humedad, presencia de gravas, raíces, agua, etc.), preferentemente en forma esquemática, indicando las profundidades en las cuales se observan cambios, y en las que se colectaron muestras. Además, se debe indicar la profundidad máxima a la que se excavó y la razón (por ejemplo, alcance de la retroexcavadora, presencia de roca dura, etc.).

En algunos casos se requiere una descripción detallada del área de estudio, lo que comprende clima, condiciones atmosféricas, relieve superficial, paisaje, características de erosión, exposición, pendiente, régimen de aguas subterráneas, obras de mejora, vegetación, uso actual e histórico del terreno y alrededores, fuentes de contaminación, y otros elementos de interés.

Además, se recomienda realizar un registro fotográfico de cada punto de muestreo, incluyendo fotos del contexto, del perfil de suelo de la calicata, de la muestra y de los envases.

Cabe notar que, con respecto a la descripción del suelo, no se estima necesario realizar una descripción de tipo agronómico de este, vale decir describir el color según estándar Munsell o la textura de manera estricta según el sistema unificado de clasificación de suelos, salvo que el objetivo también sea justamente una caracterización agronómica adicional a la evaluación de suelos por contaminación, para lo cual se puede utilizar la metodología indicada en la “Pauta para estudio de suelos” del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (2011).

No obstante, es vital diferenciar los tipos de textura aparente y mezclas de estas ya que influirán en la capacidad de transporte de cualquier contaminante potencial. De manera muy resumida se puede indicar lo siguiente como guía para caracterizar la textura:

- Arcilla: Es moldeable al hidratarse, pero muy rígida cuando está seca, se puede observar un brillo después de frotarla con una superficie lisa, in-situ pueden observarse a veces grietas después de procesos de hidratación y secado. No se pueden distinguir particular únicas al tacto.
- Limo: Es moldeable, tiene una consistencia similar a la harina, se asocia generalmente a suelos que reciben o recibieron aporte de sedimentos fluviales. No se pueden distinguir particular únicas al tacto.
- Arena: No es moldeable a no ser que este mezclada con partículas más finas, se pueden distinguir partículas al tacto. Tienen un tamaño máximo de 2 mm.
- Partículas mayores a 2 mm se deben denominar como gravas, piedras o cantos.

Dicho lo anterior, es fundamental que exista consistencia en las caracterizaciones realizadas durante un evento de terreno, para lo cual es posible si más de un profesional está realizando las descripciones se llegue a un acuerdo previo, especialmente en los aspectos anteriormente mencionados.



Anexo 5

Recomendaciones para utilización de instrumentos de medición in-situ

A continuación, se presentan recomendaciones para la utilización de equipos e instrumentos portátiles de medición in-situ que son comúnmente empleados en estudios de sitios contaminados. Estos corresponden a los detectores de fotoionización (PID), analizadores de fluorescencia de rayos X (XRF) y medidores multiparámetros.

De manera general, antes de utilizar cualquier equipo de medición en terreno, se debe:

- Determinar si el equipo es capaz de detectar los contaminantes de interés o medir los parámetros que se requieren con un nivel aceptable de precisión.
- Tener un conocimiento adecuado de los métodos de uso del instrumento, sus limitaciones y las condiciones del lugar que puedan afectar a los resultados, revisando además detalladamente las instrucciones de uso proporcionadas por el fabricante y aspectos de seguridad.
- Realizar calibración del equipo (y registro de los datos de calibración) para las sustancias o parámetros que se miden.

5.1 Uso de PID

Los detectores de fotoionización (PID, por su sigla en inglés) portátiles son instrumentos que se utilizan comúnmente para el monitoreo de gases para la detección de compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros contaminantes atmosféricos. Permite además la medición de estos compuestos en la fase gaseosa de una muestra de suelo, por lo que es utilizado para la detección de contaminantes volátiles (por ejemplo, hidrocarburos de cadenas de carbono cortas) en estudios de sitios contaminados de manera in-situ. Esto puede ser útil, por ejemplo, para determinar preliminarmente la extensión del impacto de un derrame combustible reciente, y para seleccionar los puntos (o profundidades) de muestreo para análisis en laboratorio.

El detector de fotoionización funciona mediante la emisión de luz ultravioleta (UV) sobre un gas o muestra de aire. Cuando los compuestos orgánicos volátiles presentes en la muestra absorben la luz ultravioleta, pueden ionizarse, es decir, perder electrones, creando iones positivos y electrones libres. El detector mide la corriente de iones resultante, que es proporcional a la concentración de los compuestos orgánicos presentes. Este tipo de detector es sensible a una amplia gama de compuestos, lo que lo hace útil en entornos donde se necesita la detección de múltiples sustancias volátiles.

Para la medición de volátiles, en primer lugar, se debe coleccionar una muestra de suelo fresca e introducirla dentro de un envase relativamente hermético (por ejemplo, una bolsa tipo ziploc). Luego de encender el equipo, se debe introducir, a través una pequeña abertura del envase, el sensor (lámpara) y el filtro externo, cuidando que estos no entren en contacto directo con la muestra de suelo, sino que con la fase gaseosa dentro del envase. El PID marcará en su pantalla la lectura de concentración de compuestos volátiles en ppm. Se debe tomar en consideración que la muestra de suelo debe ser fresca, es decir, que haya estado el menor tiempo posible en contacto con el aire, de manera que los compuestos volátiles de la muestra sigan presentes al momento de la medición. Se debe tratar también de romper los agregados (terrones) de suelo, mientras se realiza la medición.

Al utilizar detectores de fotoionización (PID) en estudios de sitios contaminados, es importante tener en cuenta varias consideraciones para garantizar mediciones precisas y confiables. Las consideraciones más relevantes se presentan a continuación:

- Los PID son sensibles a una amplia gama de compuestos orgánicos volátiles (COV). Antes de su uso, es vital conocer la lista de compuestos que puede detectar el equipo y asegurarse de que sea apropiado para el objetivo buscado.
- Los detectores PID deben calibrarse regularmente utilizando gases de referencia o patrones certificados para garantizar mediciones precisas a lo largo del tiempo. La frecuencia de calibración dependerá de la aplicación y las recomendaciones del fabricante.
- Algunas sustancias químicas pueden interferir con las lecturas del PID, produciendo mediciones incorrectas. Es importante conocer la presencia potencial de interferencias y, cuando sea necesario, utilizar técnicas adicionales o realizar las correcciones adecuadas.
- Las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, pueden afectar el rendimiento del PID. Se debe asegurar la operación del detector dentro de los rangos especificados por el fabricante y, cuando sea necesario, tomar medidas para compensar las variaciones.

- Se debe realizar un mantenimiento regular del detector, que incluya la limpieza de la ventana del sensor y la comprobación de las condiciones generales del instrumento. Esto ayuda a garantizar un funcionamiento adecuado y prolonga la vida útil del equipo.
- Se deben conocer los límites de detección del detector para los compuestos específicos de interés para interpretar adecuadamente los resultados.
- Se debe seguir las prácticas de seguridad apropiadas, lo que incluye el uso adecuado de equipo de protección personal y un conocimiento de los posibles riesgos asociados con los compuestos que se evaluarán.

5.2 Uso de XRF

La fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica analítica utilizada para la cuantificación de metales y metaloides en muestras sólidas. Funciona emitiendo radiación de rayos X sobre la muestra, lo que produce fluorescencia de los elementos presentes en ella, la que es detectada por el instrumento e interpretada según los espectros elementales identificados. No obstante su gran utilidad, se deben tener en consideración tres limitaciones técnicas principales:

- La fluorescencia de rayos X se ve afectada por el agua en la muestra generando que la intensidad de los espectros sea menor y por lo tanto se obtengan concentraciones más bajas.
- Los espectros de fluorescencia son característicos de cada elemento, pero hay elementos que poseen espectros similares generando que el equipo no pueda interpretarlos correctamente, lo que da lugar a resultados sobre o sub estimados.
- Los rayos X emitidos por el equipo poseen una muy baja penetración en la muestra, por lo que en muestras heterogéneas los resultados pueden variar considerablemente.

La versión portable de XRF se emplea especialmente en el estudio de suelos contaminados, permitiendo mediciones rápidas en terreno de muestras de suelo, polvo, sedimentos o relaves. Entre las ventajas del XRF se incluye la obtención de concentraciones de múltiples elementos en tiempo real, siendo útil en situaciones de screening, emergencia y toma de decisiones en terreno. Sin embargo, es necesario considerar la posibilidad de falsos positivos o falsos negativos, entendiéndose estos como reportes de la presencia de metales que no se encuentran en las muestras o ausencia de estos cuando sí existen, respectivamente. Aunque es capaz de detectar varios metales pesados simultáneamente, pueden existir interferencias que afecten la exactitud y precisión del método.



Los resultados indicados por un XRF portátil en terreno son semi cuantitativos, y no debiesen tomarse decisiones sobre el estado de contaminación de un sitio basadas únicamente en estos resultados.

Se recomienda realizar varias mediciones en un área particular para revisar la variabilidad de los resultados al menos una vez por día, y donde el material analizado aparezca tener diferentes características u origen. Se debe considerar establecer un programa de verificación donde se envíen muestras de distintos suelos o materiales presentes en el sitio a análisis de laboratorio por métodos certificados, y/o se envíen a verificación las muestras que indiquen niveles cercanos al nivel de referencia elegido para el o los contaminantes de interés. Al menos se debe considerar una muestra para verificación, siendo el ideal analizar un 5% de las muestras.

La US EPA ha desarrollado una metodología para guiar el análisis XRF (US EPA, 2023⁶) que contiene metodologías para preparación de la muestra en terreno, realización de muestras control, duplicados, blancos y mediciones de precisión. Se recomienda, en lo posible, seguir los lineamientos establecidos en esta guía para minimizar los efectos de las limitaciones de la técnica. Por otro lado, existen diversas marcas de equipos XRF portátiles y, aunque el funcionamiento teórico sea similar entre modelos, es esencial que se evalúe previamente a las mediciones

6 - <https://www.epa.gov/quality/field-x-ray-fluorescence-measurement>

en terreno el desempeño del equipo en la medición de concentraciones para matrices sólidas. Una investigación a nivel nacional (Carkovic, A. et al., 2016⁷) para suelos, polvos y relaves indicó que metales como el arsénico, cobalto, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc pueden ser medidos mediante XRF de manera confiable, pero teniendo en cuenta los límites de cuantificación (LQ) para cada elemento. A modo de ejemplo, en el estudio citado, el LQ del arsénico fue de 36 (mg/kg) (para los suelos analizados y el equipo utilizado), lo que corresponde a un valor elevado para este metal, considerando que las normas de referencias internacionales para suelos urbanos indican un nivel menor (por ejemplo, el nivel de la norma canadiense de 12 mg/kg).

Se debe tomar en cuenta, además, que el instrumento presentará resultados para más de 50 elementos según sea el modelo del equipo, pero como fue indicado no todos los elementos son confiables ni precisos. De forma similar es crucial seguir las instrucciones de uso de la pistola de XRF y tener en cuenta los requisitos mínimos de seguridad. Aunque la emisión de radiación por el equipo es baja, se debe ser consciente de los riesgos que esto implica y tener en consideración al menos lo siguiente:

- Nunca se debe apuntar el equipo hacia sí mismo u otras personas
- Se debe realizar cursos de protección radiológica y con la certificación respectiva
- Se recomienda el uso personal de dosímetros para medir exposición a rayos X
- Utilizar Elementos de Protección Personal
- El personal observador debe mantener distancia mientras se realiza el análisis
- Durante el análisis la ventana del equipo debe cubrir la superficie del material

Por último, se debe cumplir con la legislación vigente sobre instalaciones radiactivas, equipos generadores de radiaciones y protección radiológica.

5.3 Uso de medidores multiparámetros

Un medidor multiparámetro es un dispositivo de medición que está diseñado para medir varias propiedades o parámetros fisicoquímicos de un medio específico, como el agua. Estos dispositivos suelen combinar múltiples sensores o sondas en un solo instrumento, permitiendo la medición simultánea de diversas variables. Los parámetros que son más usualmente medidos en aguas utilizando un medidor multiparámetro son los siguientes:

- pH: La acidez o alcalinidad de una solución.
- Conductividad: La capacidad de un medio para conducir corriente eléctrica, que está relacionada con la concentración de iones en el agua.
- Temperatura: La medida de la energía térmica en el medio.

7 - Carkovic, A. et al. 2016. Active and legacy mining in an arid urban environment: challenges and perspectives for Copiapo, Northern Chile

- Oxígeno disuelto: La cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua, esencial para la vida acuática.
- Potencial Redox (ORP/Reducción-Oxidación): La medida de la capacidad de un sistema para reducir u oxidar sustancias químicas.
- Turbidez: La medida de la claridad del agua, que se ve afectada por partículas suspendidas.
- Salinidad: La concentración de sales disueltas en el agua.

Los multiparámetros pueden ser utilizados para realizar mediciones directamente en el medio, por ejemplo, en un cuerpo de agua superficial (lago, ríos, etc.) o en aguas subterráneas (mediante pozo de monitoreo), para lo cual muchas veces las sondas cuentan con cables de variadas longitudes. Además, se pueden utilizar para realizar mediciones a una muestra de agua ya colectada. Dependiendo del modelo del medidor, es posible también realizar mediciones continuas que se van registrando y guardando en la memoria del equipo.



Para el correcto uso de los medidores multiparámetros en agua, y para obtener mediciones precisas y confiables, se deben tener en cuenta algunas consideraciones; las que se detallan a continuación.

- Se deben realizar calibraciones regulares para cada parámetro que mida el medidor. La frecuencia de calibración dependerá de la estabilidad de los sensores y las condiciones del agua. Se debe seguir las instrucciones del fabricante. Como mínimo, los equipos se deben calibrar antes de cada día de terreno.
- Se debe almacenar y transportar el medidor correctamente según las recomendaciones del fabricante. Algunos sensores pueden dañarse si no se almacenan adecuadamente o si están expuestos a condiciones extremas.
- Los sensores deben ser limpiados regularmente según las instrucciones del fabricante para evitar la acumulación de sedimentos, bioincrustaciones u otros contaminantes que puedan afectar las mediciones.
- Se debe verificar periódicamente la condición de los electrodos y sensores, reemplazando o recalibrando cualquier sensor que muestre signos de desgaste o deterioro.
- Se debe operar el medidor en las condiciones ambientales recomendadas por el fabricante. Las temperaturas extremas, la luz solar directa y otros factores pueden afectar las mediciones.
- Se debe tener en cuenta la posible presencia de interferencias o compuestos químicos en el agua que puedan afectar las mediciones. Algunos contaminantes pueden influir en la exactitud de ciertos parámetros.
- Se deben realizar un mantenimiento preventivo según las recomendaciones del fabricante. Esto puede incluir la sustitución de partes consumibles, la limpieza de conexiones y la actualización del firmware.
- Se recomienda llevar un registro de todas las calibraciones, mediciones y mantenimientos realizados. Esto es esencial para la trazabilidad y la documentación de la calidad de los datos.
- Se debe verificar la validez de los datos recopilados comparándolos con valores de referencia conocidos o realizando mediciones adicionales para confirmar la coherencia de estos.

Anexo 6

Contaminantes asociados por actividad potencialmente contaminante

A continuación, se detallan los contaminantes mínimos a considerar para cada actividad potencialmente contaminante.

Nº	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/ subactividades/ instalación	Contaminantes asociados
1	Industria de cemento (portland, siderúrgicos, y puzolánicos), hormigón, asfalto y fibrocemento	Fabricación de cemento-clinkerización Co-incineración Fabricación de hormigón, asfalto y fibrocemento	Metales y metaloides Cambios en acidez y alcalinidad en suelos Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) en fabricación de asfalto Hidrocarburos totales del petróleo (TPH en fracciones F1 a F4) y BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) donde existan tanques de combustibles
2	Reciclaje de baterías de plomo-ácido e industriales	Fundición y refinado	Metales y metaloides (especialmente plomo, cadmio y níquel) PAH donde exista incineración
3	Reciclaje de residuos electrónicos y pilas	Desmontaje y trituración Depósito de residuos	Metales y metaloides

N°	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/ subactividades/ instalación	Contaminantes asociados
4	Reciclaje y valorización de residuos	Reciclaje de aceites usados de motores Procesos químicos como: pirólisis, gasificación, otros Reciclaje de partes de autos-desarmaduría (autos y chatarras) Otra valorización o reciclaje que implique sustancias químicas en sus acciones y/o procesos Reciclaje de plásticos	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX Dioxinas y furanos especialmente donde exista incineración de residuos Otros contaminantes dependiendo del tipo de residuo (ej. sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS))
5	Formulación o fabricación de productos químicos	Producción de productos orgánicos básicos: materias primas para plásticos, resinas, cauchos sintéticos y fibras sintéticas, disolventes y materias primas de detergentes, colorantes y pigmentos; producción de fertilizantes y plaguicidas (incluidos herbicidas, fungicidas e insecticidas); producción de plásticos, resinas, cauchos sintéticos, fibras sintéticas y celulósicas; y productos farmacéuticos (fármacos y medicamentos); y producción de jabones, detergentes, productos limpiadores, perfumes, cosméticos y otros productos de perfumería Producción de pinturas, barnices y lacas Producción de productos químicos como líquidos para abrillantar, explosivos, adhesivos, tintas, películas fotográficas y productos para revelado	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX PAH Dependiendo del producto, también considerar: Compuestos clorados (PCE, TCE, triclorometano) Pesticidas organoclorados (DDT, dieldrin, clordano, etc.) Fenoles Se recomienda análisis de espectro amplio de compuestos orgánicos volátiles (COV) y semivolátiles (SCOV) en muestras seleccionadas.
6	Sitios de maniobras militares o campos de tiro	Almacenamiento y uso de sustancias peligrosas	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX PFAS (en lugares de prácticas de control de incendios)

N°	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/ subactividades/ instalación	Contaminantes asociados
7	Disposición de residuos sólidos	Relleno sanitario Vertederos Basural (sobre terrenos de 1.000 m ²)	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX Dioxinas y furanos y PAH (si existe incineración de residuos) Al menos amonio, nitratos, coliformes (agua subterránea). Se recomienda análisis de iones mayores y menores para detectar alteraciones
8	Desarrollo minero de petróleo y gas	Exploración y extracción de petróleo Depósitos de almacenamiento de combustibles Procesos de almacenamiento y refino en refinerías Pacios de estanques con capacidad sobre 1,1 m ³ Transporte de petróleo y sus derivados	TPH en fracciones y BTEX PAH Solventes clorados (TCE, PCE) si existe almacenamiento de estos
9	Industria forestal	Industria de la celulosa y/o el papel Aserraderos y remanufacturas de madera Elaboración de tableros	Dioxinas y furanos Metales y metaloides Fenoles Pesticidas clorados
10	Estaciones de servicio de combustibles	Estanques de almacenamiento Cambio de combustibles y aceites	TPH en fracciones y BTEX PAH
11	Talleres mecánicos	Cambios de piezas y combustibles	TPH en fracciones y BTEX PAH
12	Industria de la curtiembre	Preparación, curtido y teñido de pieles de peletería	Metales y metaloides, especialmente Cr VI Fenoles
13	Fabricación de muebles a nivel industrial	Acabado, pintado y barnizado	TPH en fracciones y BTEX Solventes clorados (TCE, PCE)

Nº	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/ subactividades/ instalación	Contaminantes asociados
14	Puertos	Stockpile concentrado de cobre Stockpile de sustancias sólidas peligrosas Almacenamiento de combustibles Estaciones de combustible Almacenamiento de sustancias peligrosas líquidas (por ejemplo, ácido sulfúrico) Operaciones de trasvasije de hidrocarburos	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX PAH Dependiendo del producto, también considerar compuestos clorados (PCE, TCE, triclorometano) Se recomienda análisis de espectro amplio de compuestos orgánicos volátiles (COV) y semivolátiles (SCOV) en muestras seleccionadas.
15	Extracción y procesamiento de mineral cobre, plata, molibdeno y oro	Prospección minera Explotación de yacimiento mediante método subterráneo y método a cielo abierto Chancado de material Concentración de minerales de cobre mediante método de flotación Transporte, acondicionamiento y disposición de relaves Lixiviación y recuperación de cobre Lixiviación y recuperación de oro-plata Stockpile abiertos Fundición de cobre	Metales y metaloides Cambios en acidez o alcalinidad del suelo Azufre (método LECO) y sulfato Evaluar aplicabilidad de test ABA (sulfuro, generación de ácido, capacidad de neutralización)
16	Disposición de residuos mineros masivos	Relaves Botaderos de estériles, marinas o minerales de baja ley Botadero de rípios de lixiviación Botadero de escorias de fundición	Metales y metaloides Cambios en acidez o alcalinidad del suelo Evaluar aplicabilidad de test ABA (sulfuro, generación de ácido, capacidad de neutralización) Cianuro en minería de oro histórica En fundiciones o botaderos de escoria: TPH en fracciones PAH

N°	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/ subactividades/ instalación	Contaminantes asociados
17	Extracción y procesamiento de mineral de hierro y acero	Producción de coque de carbón (coquificación) Preparación del mineral (p.ej., sintetizar y formar pelotillas) Producción de hierro y acero Fundición, laminación y acabado Fabricación de productos metálicos diversos	Metales y metaloides TPH en fracciones PAH Se recomienda análisis de espectro amplio de compuestos orgánicos volátiles (COV) y semivolátiles (SCOV), además de solventes clorados (TCE, PCE), en muestras seleccionadas
18	Extracción y procesamiento de mineral de carbón	Extracción subterránea y superficial	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX PAH Azufre (método LECO) y sulfato Evaluar aplicabilidad de test ABA (sulfuro, generación de ácido, capacidad de neutralización)
19	Extracción y procesamiento de mineral de plomo	Extracción subterránea Producción primaria y refinación	Metales y metaloides
20	Minería no metálica	Procesamiento de yodo y sus derivados Procesamiento de diatomita, ácido bórico Procesamiento de litio, nitrato, potasio Extracción y procesamiento de azufre Extracción y procesamiento de minerales silíceos Extracción de zeolitas	Metales y metaloides Cambios en alcalinidad o acidez del suelo
21	Generación de energía eléctrica > 3MW	Reservas geotérmicas Generación por biomasa o biogás Central termoeléctrica Otros generadores	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX PAH Bifenilos policlorados (PCB) en plantas de más de 20 años de antigüedad

Nº	Actividades potencialmente contaminantes	Procesos/ subactividades/ instalación	Contaminantes asociados
22	Maestranzas, astilleros y centros de mantenimientos de aeronaves	Mantenimiento de ferrocarriles, metro Astilleros Centros de mantenimiento de aeronaves	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX PAH
23	Tratamiento y revestimiento de metales	Proceso de galvanoplastia	Metales y metaloides incluyendo cromo VI
24	Mal manejo de sustancias peligrosas	Plantas de tratamiento de agua residuales y servidas Industrias con estanques de almacenamiento de hidrocarburos Accidente de transporte que abarque un área >300 m ² y que no se hayan implementado medidas de limpieza	Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX Fenoles Compuestos clorados (TCE, PCE, triclorometano) Se recomienda análisis de COV y SCOV de desconocerse el compuesto
25	Otra actividad contaminante con evidencia directa de contaminación en suelo	Almacenamiento de material asbesto Almacenamiento inadecuado y/o accidentes y/o cierre inadecuado con materiales peligrosos, incluyendo elementos radiactivos Almacenamiento, uso y manejo de sustancias químicas peligrosas en industrias como: fabricación de azulejos y baldosas de cerámica, fabricación de vidrios y producto de vidrio, producción de gas, industria pesquera, y otra industria que involucre almacenamiento uso y manejo de sustancias químicas. Otra actividad sin un plan de cierre o cierre adecuado que puede generar contaminación del suelo.	Asbestos (requiere evaluación especializada) Depende del material peligroso. Se recomienda análisis de COV y SCOV de desconocerse el compuesto Elementos radioactivos requieren de evaluación especializada Depende del material peligroso. Se recomienda análisis de COV y SCOV de desconocerse el compuesto Metales y metaloides TPH en fracciones y BTEX Se recomienda análisis de COV y SCOV de desconocerse el compuesto

Fuente: Elaboración propia en base a Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes (Ministerio del Medio Ambiente – Fundación Chile, 2012), Guía técnica de buenas prácticas ambientales para el cierre de centrales a carbón (GIZ – Inodú. s.f) y Guía para muestreo de suelos (Ministerio del Ambiente de Perú, 2014)

Anexo 7

Medidas de control inmediatas

Las metodologías incluidas en esta Guía se refieren casi exclusivamente a aspectos de riesgos crónicos a la salud. No obstante, algunos sitios pueden contemplar adicionalmente riesgos agudos, para los cuales se debe referir a la autoridad relevante (generalmente la autoridad sanitaria).

Existen casos también donde la existencia de una fuente de riesgo es evidente, mas posiblemente no constituiría un riesgo agudo. En este caso, se debiesen establecer medidas de control provisionarias en el intertanto se avanza con las siguientes fases de la investigación, considerando que este puede ser un proceso de larga duración.

Estas medidas de control provisionarias en general consisten en disposiciones administrativas o de ingeniería simple, diseñadas para eliminar, en el corto plazo, las vías de exposición de ingestión, contacto dérmico e inhalación de partículas para receptores on-site, las que podrían incluir las siguientes:

- Instalación de un cercado que impida el acceso al sitio.
- Remoción rápida de compuestos que se puedan con el tiempo infiltrar a aguas subterráneas o escurrir a cuerpos de agua.
- Implementación de señalética indicando riesgos por contaminación.

Anexo 8

Lineamientos para monitoreo en sitios

El monitoreo en sitios contaminados contempla la medición de concentraciones de analitos o características fisicoquímicas relevantes en diferentes matrices potencialmente afectadas (suelos, aguas, polvo, etc.) dentro de un sitio o sus alrededores, realizado para evaluar el cumplimiento de objetivos ambientales definidos. En este sentido, el

monitoreo ambiental se recomienda en los siguientes casos:

1) Se está ejecutando una actividad potencialmente contaminante (APC) que contempla un aspecto de riesgo particular según una evaluación de Fase I⁸.

2) Se está ejecutando un proceso de remediación y/o manejo y se desea evaluar el desempeño de las acciones que se están realizando.

En la Tabla 4 se presentan los factores de riesgo que podrían dar origen a la necesidad del establecimiento de un programa de monitoreo y las matrices recomendadas a analizar. Cabe notar que la información de abajo es solo indicativa, y que cada caso se debe evaluar en su propio mérito.

Factor de riesgo principal	Factor de riesgo secundario	Matriz a analizar	Industria
Presencia de tanques enterrados de combustible u otros químicos	Mas de 15 años de antigüedad de tanques	Aguas subterráneas	Estaciones de servicio Complejos industriales varios
Presencia de tanques superficiales de combustible u otros químicos	Mas de 15 años de antigüedad de tanques Marcas de corrosión Suelo sin cobertura Presencia de cuerpos de agua en las cercanías	Aguas superficiales y subterráneas	Complejos industriales varios
Lugares de disposición de residuos	Uso de aguas subterránea para fines potable, de riego o de bebida de animales	Agua subterránea	Vertederos Rellenos sanitarios
Acopios de material fino expuestos al ambiente (ej. relaves)	Clima árido Presencia de sectores habitados en las cercanías	Suelos, sedimentos, aguas superficiales, polvo superficial y sedimentable	Relaves Proceso de chancado

Cabe notar que el diseño de planes de monitoreo es un tema complejo que debe ser tratado por un profesional idóneo, y que los requerimientos indicados son solo un punto de partida, pudiendo existir además documentos específicos nacionales o internacionales (estándares, guías, etc.) que se refieran a la materia, los que debiesen consultarse según sea apropiado.

8 - Se recomienda también considerar la pertinencia de establecer un programa de monitoreo donde se planee realizar una APC con un factor de riesgo significativo en el futuro a modo de establecer condiciones base.

Tabla 4 – Factores de riesgo que podrían ameritar monitoreo

Se debiese considerar siempre como objetivo del monitoreo la obtención de información para determinar la cadena fuente-ruta-receptor donde, de manera muy resumida, se considera el tipo de fuente (los analitos a medir), la ruta (por qué medio se transportan los contaminantes y cuál es el alcance potencial de estos, y cuál sería la vía de exposición), receptor (qué tipo de receptor se está evaluando y el tiempo de exposición a los contaminantes).

Se debe considerar establecer siempre al menos una ubicación en sectores donde no se espere un impacto (o donde este se espere en menor medida) con la finalidad de tener datos comparativos. Adicionalmente, de ser posible, se debe realizar monitoreo también en el punto donde se encuentre el receptor.

En cuanto al agua subterránea, se debe comenzar con una evaluación inicial de los antecedentes disponibles, tales como la geología, pozos existentes, etc. Se debiesen establecer como mínimo tres puntos de monitoreo (pozos) para poder determinar la dirección de flujo de agua subterránea. Además, se debe siempre considerar un pozo aguas arriba de la potencial fuente, para poder establecer las condiciones antes y después de esta. Los pozos deben capturar agua de un acuífero determinado (como base el superior) no mezclando diferentes unidades hidrogeológicas (por el riesgo de contaminación cruzada).

Para el agua superficial y sedimentos, se deben evaluar como mínimo 2 ubicaciones, vale decir, un punto aguas arriba y otro aguas abajo de la fuente potencial (siendo el ideal un mínimo de 3 puntos, contemplando además una ubicación directamente en la dirección potencial de impacto de la fuente).

Finalmente, las ubicaciones para el muestreo de polvo sedimentable y de polvo superficial se deben corresponder con la dirección predominante del viento, y hacia donde existan receptores sensibles identificados.

En el Anexo 4 se presenta más información con respecto a los métodos de muestreo para diferentes matrices (agua subterránea, polvo sedimentable, etc.).

En el caso de monitoreo para evaluar el desempeño de un programa de remediación o manejo, se debe primeramente identificar cuáles serán los parámetros se deben medir para determinar el progreso de la remediación y/o manejo, los que pueden incluir:

- Disminución en la concentración de analitos de interés.
- Condiciones fisicoquímicas apropiadas para la degradación de contaminantes (temperatura, oxígeno, pH, conductividad, etc.).
- Concentración de subproductos indicativos de degradación de contaminantes (ej. mayor presencia de TPH de cadenas altas vs TPH de

cadena bajas).

- Concentración de nutrientes y aceptores de electrones (carbono orgánico, manganeso, sulfato).
- Cantidad y tipo de especies degradadoras (en el caso de una biodegradación).

En el caso de la concentración de analitos de interés, se debe establecer un criterio de cumplimiento dado por un valor objetivo. Para otros parámetros, se deben establecer rangos óptimos según literatura o condiciones propias del sitio. En ambos casos, se debe llevar registro de los resultados obtenidos evaluando tendencias para realizar los ajustes necesarios.

Cabe notar que la ejecución de un programa de remediación o manejo también puede requerir de un monitoreo para evaluar una potencial afectación de diferentes matrices por las mismas actividades de remediación o manejo. Esto es especialmente importante cuando se realizan movimientos de tierra que pueden suspender polvo con presencia de contaminantes y afectar a receptores cercanos.

Anexo 9

Recomendaciones para elección de profesionales

Como indicado en varios puntos de Guía Metodológica, es vital que los procesos de evaluación, remediación y manejo de sitios contaminados sean realizados por profesionales competentes en la materia, y que tengan conocimientos y/o experiencia en el tema.

Algunas características clave para la elección de profesionales para la gestión de sitios contaminados son las siguientes:

- Conocimientos y experiencia previa acreditada en gestión de sitios contaminados.
- Estudios y/o certificaciones en áreas como ciencias del medio ambiente, geología, ingeniería, química, entre otras relacionadas.
- Conocimientos en aspectos normativos ambientales.
- Capacidades de gestión de proyectos, lo que incluye gestionar plazos, presupuestos y recursos de manera eficiente, además de tener comunicación fluida con los clientes y con proveedores de servicio necesarios para las consultorías.

Algunas preguntas que pueden servir para guiar la elección de profesionales o consultores podrían ser:

- ¿Cuántos años de experiencia posee en consultoría de sitios contaminados?
- ¿Podría proporcionar ejemplos de proyectos similares en los que hayan trabajado anteriormente?
- ¿Cuál es su experiencia específica en el tipo de contaminación que afecta el sitio?
- ¿Qué enfoque o metodología sería utilizada para evaluar y remediar este tipo de contaminación?
- ¿Qué legislación ambiental podría aplicar en este caso?
- ¿Qué recursos y equipos serían utilizados para llevar a cabo este proyecto en particular?
- ¿Podría proporcionar referencias de clientes anteriores con proyectos similares?
- ¿Podría proporcionar una estimación de tiempo para completar el proyecto y los hitos asociados?



Anexo 10

Participación de actores relevantes en la gestión de sitios

La participación de diversos actores es un componente esencial de la gestión de sitios contaminados, que se puede dar (y se recomienda) en todas las fases y etapas indicadas en esta Guía, ya sea en la evaluación y en la remediación o manejo. La participación implica no solo el acceso a la información y divulgación con fines de promover la transparencia, sino que, además, el involucramiento activo de distintas personas u organismos en los procesos de evaluación puede ser un aporte relevante para el entendimiento del sitio en estudio y, en consecuencia, para la toma de decisiones.

A modo de ejemplo, la participación de la comunidad puede darse en instancias que se presentan en la siguiente tabla. Este listado no es exhaustivo y se pueden identificar otras dentro de la gestión de sitios.

Proceso de gestión	Tipo de participación	Descripción
Actualización de catastro	Consulta	Obtención de información para identificar y priorizar sitios con potencial presencia de contaminantes en el contexto de la actualización del catastro. Los actores relevantes pueden ser profesionales de servicios públicos (locales o regionales), como municipalidades.
Fase I	Consulta	Obtención de información general del sitio, principalmente de la actividad actual o histórica y del medio. Los actores relevantes pueden ser trabajadores (actuales o antiguos), vecinos, etc.
Fase II – Caracterización del sitio	Consulta	Obtención de información sobre el sitio, ya sea de la actividad actual o histórica, del medio y de los receptores (y sus patrones de actividad), como apoyo para la elaboración del modelo conceptual, además de información de estudios previos realizados. Los actores relevantes pueden ser profesionales de servicios públicos (locales o regionales), como municipalidades, miembros de la academia y de organizaciones no gubernamentales, etc.

Proceso de gestión	Tipo de participación	Descripción
Fase II – Evaluación confirmatoria	Consulta / Informativa	Obtención de información para el diseño y planificación del plan de muestreo; como también apoyo en la ejecución de este, de ser posible. Divulgación de resultados del estudio y comunicación del riesgo (si corresponde). Los actores relevantes pueden ser profesionales de servicios públicos (locales o regionales), como municipalidades, y vecinos.
Fase III	Informativa	Divulgación de resultados del estudio y comunicación del riesgo (si corresponde). Los actores relevantes pueden ser profesionales de servicios públicos (locales o regionales), como municipalidades, y vecinos.
Remediación/ manejo	Consulta / Informativa	Identificación de potenciales futuros usos del sitio para la evaluación de alternativas de remediación/manejo. Comunicación de los planes de remediación/manejo: plazos, implicancias, acciones concretas, avances. Especial relevancia tiene la comunicación del seguimiento y medidas de planes de manejo a futuros usuarios. Los actores relevantes pueden ser profesionales de servicios públicos (locales o regionales), como municipalidades, vecinos, futuros usuarios, etc.

Los aspectos principales que se deben tener en consideración para la participación de la comunidad en la gestión de sitios contaminados son los siguientes:

- Identificación de actores relevantes para cada proceso.
- Identificación de las instancias de participación.
- Planificación del acercamiento a la comunidad.
- Participación de la comunidad de manera oportuna.
- Elaboración y difusión de material informativo.
- Sistematización de resultados de la participación e incorporación a los productos de los procesos de gestión.

Lo anterior está en línea con el Acuerdo de Escazú, que recalca la importancia de la participación amplia del público y el acceso a la información y los procedimientos judiciales y administrativos para promover el desarrollo sostenible. También alienta la adopción de medidas a nivel regional, nacional, subnacional y local para promover el acceso a la información ambiental, la participación pública en la toma de decisiones ambientales y el acceso a la justicia en asuntos ambientales cuando sea necesario.

Tabla 5 – Participación en los distintos procesos de gestión de sitio

Anexo 11

Métodos de análisis recomendados

El criterio más relevante para la elección de métodos de análisis es que el laboratorio que los realice esté acreditado por el estándar NCh 17025 o ISO 17025 para las matrices y los ensayos a realizarse. Los laboratorios acreditados tienen procedimientos de análisis basados en métodos validados internacionalmente. No obstante, se debe considerar que los laboratorios realizan variaciones a los métodos internacionales y que pudiesen existir diferentes métodos (acreditados) para los mismos análisis entre laboratorios, los que podrían dar resultados diferentes. Es importante considerar entonces que la aplicabilidad del método de análisis dependerá de la matriz y del objetivo para el cuál se plantea el análisis, por lo que siempre se debe revisar que el método sea el apropiado. Por ejemplo, en general para análisis ambientales, se recomienda que la matriz de suelo sea tamizada y no chancada previo al análisis, ya que lo que interesa es la fracción del contaminante adsorbida a la matriz, y no aquellos que están en su matriz interna.

Aun si los métodos están acreditados y están recomendados para los mismos fines ambientales, pudiesen existir diferencias entre laboratorios. Es por esto que, en caso de que se deba muestrear en un sitio que ya posea resultados de análisis, se deben analizar estas muestras idealmente con el mismo laboratorio (y mismos métodos), de manera de mantener la consistencia entre los resultados. En caso de que no haya disponibilidad en el mercado de cierto análisis acreditado por NCh 17025 o ISO 17025, se recomienda que el método de análisis al menos esté basado en métodos recopilados por organismos como USEPA, Standard Methods, ASTM⁹ y CCME¹⁰ (hidrocarburos) u otra metodología internacionalmente validada y justificada. Es importante mencionar, que entre los laboratorios también existe una diferencia en los métodos de digestión química, que se utiliza mayoritariamente en la preparación de muestras para diferentes métodos analíticos, lo que muchas veces a pesar que tienen métodos de laboratorio similares, los resultados son diferentes.

No se incluyen métodos analíticos específicos para cada contaminante, dada la gran cantidad de estos. Sin embargo, se recomiendan los siguientes documentos de referencia:

9 - American Society for Testing and Materials

10 - Canadian Council of Ministers of the Environment

• Guidance Manual for Environmental Site Characterization in Support of Environmental and Human Health Risk Assessment Volume 4 Analytical Methods (Canadian Council of Ministers of The Environment)¹¹

• Index to EPA Test Methods (USEPA)¹²

11 - https://ccme.ca/en/res/guidancemanual-environmentalsitecharacterization_vol_4_epn1557.pdf

12 - <https://www.epa.gov/measurements-modeling/index-epa-test-methods>



Anexo 12

Aspectos de seguridad para los trabajos en terreno

Todas las actividades realizadas en terreno (visitas de inspección, muestreo, instalación de pozos, etc.) tienen asociados distintos riesgos que deben ser controlados y así prevenir accidentes y/o enfermedades. Los principales riesgos en la realización de estas actividades se asocian a accidentes vehiculares, lesiones por equipo/maquinaria en movimiento (retroexcavadora, perforadora), daño a la audición por alto nivel de ruido, caídas, torceduras, exposición a contaminantes, quemaduras, insolación y deshidratación.

Para evitar estos riesgos, en primer lugar, los profesionales en terreno deberán utilizar Elementos de Protección Personal (EPP) adecuados. Los EPP a utilizar dependerán de las condiciones del terreno, los tipos de instalaciones existentes, el tipo de contaminantes, los requerimientos particulares en caso de sitios activos. En general, se debiesen considerar los siguientes EPP:

Elemento de protección personal	Indicaciones de uso mínimas
Casco	Trabajo con maquinaria (retroexcavadora, perforadora), trabajo en interiores (plantas industriales).
Zapatos de seguridad (con punta de fierro)	Trabajo con maquinaria (retroexcavadora, perforadora), trabajo en interiores (plantas industriales). En caso de trabajo en barro, considerar botas con punta de fierro.
Zapatos de terreno (caña media o alta)	Recomendado en todas las instancias cuando se trabaja sin maquinaria.
Lentes de seguridad	Trabajo en exteriores con exposición al sol y/o a polvo o gases; trabajo en interiores con exposición a polvo o gases.
Chaleco geólogo reflectante	Recomendado en todas las instancias.
Ropa de trabajo adecuada (mangas y pantalones largos)	Recomendado en todas las instancias para protección frente a contaminantes, sol, elementos de trabajo, etc. Considerar ropa especial en caso de condiciones de lluvia, frío, etc.

Elemento de protección personal	Indicaciones de uso mínimas
Gorro para el sol	Recomendado en todas las instancias cuando se trabaja sin maquinaria.
Guantes de trabajo	Trabajo con maquinaria, elementos de muestreo.
Guantes desechables (nitrilo, látex o vinilo)	Recomendado en todas las instancias al realizar muestreo de suelos, aguas, sedimentos, polvo y manipulación de sustancias químicas, para protección frente a contaminantes.
Protector auditivo	Trabajo con maquinaria (perforadora), trabajo en interiores (plantas industriales).
Bloqueador solar	Trabajo en exteriores y además dentro de vehículos.
Respirador de polvo y gases, o mascarilla	Trabajo en exteriores e interiores de plantas industriales, con exposición a sustancias químicas volátiles o polvo.

Otras consideraciones particulares que se deben tener en cuenta, principalmente al trabajar con maquinaria, son las siguientes:

- En caso de trabajar en espacios públicos, señalizar y delimitar con conos y cintas de peligro el área de trabajo.
- Establecer un responsable de la comunicación con el operador de la retroexcavadora o perforadora, de manera que sea solo una persona la que dé indicaciones. La comunicación con el operador debe ser clara y fluida. Los trabajadores deben mantener una distancia prudente a la maquinaria, fuera del rango de movimiento de esta, mientras se encuentre encendida. Solo una vez que la máquina esté detenida y el operador de esta haya indicado que es seguro, se puede acercarse a la calicata.
- En caso de realizar excavaciones o calicatas, se debe comprobar la estabilidad de esta previo a acercarse, para evitar riesgos por derrumbes. Nunca se debe ingresar a una calicata a tomar muestras de suelo, a menos que la profundidad de esta sea pequeña, las paredes sean estables y se construya un acceso por una de las caras con una pendiente leve. La calicata deberá ser tapada inmediatamente luego del muestreo.
- Se deben respetar los reglamentos, restricciones e indicaciones de seguridad dispuestas por el titular cuando se realicen trabajos dentro de un sitio activo. Considerar particularmente los límites de velocidad internos, EPP necesarios, preferencia durante la conducción, requisitos especiales para el ingreso y reglas de comportamiento.
- Se deben respetar siempre los límites de velocidad y las demás normas del tránsito, al conducir hacia y dentro de un sitio.

Tabla 6 – Elementos de protección personal e indicaciones de uso

Se recomienda siempre previo a la realización de trabajos en terreno realizar un análisis de riesgos por un profesional capacitado para esto, de manera de identificar los peligros y riesgos existentes y tomar las medidas necesarias para controlarlos. En todo caso, se deben cumplir con toda la normativa vigente asociada a prevención de riesgos laborales.



Anexo 13

Cálculo de la ingesta media diaria para vías de exposición

A continuación, se presentan las fórmulas que permiten calcular la ingesta media diaria para las vías de exposición de ingestión, inhalación y contacto dérmico con suelo. Los valores recomendados para los factores de exposición utilizados en estas fórmulas se presentan en el Anexo 14.

Ingestión de suelo

La ingestión de suelo está asociada a diversas actividades que generalmente tienen lugar en el ambiente exterior pero también puede ocurrir en ambientes interiores, siempre que sea efectivo asumir que se produce la movilización de partículas de suelo contaminado en forma de polvo y que éste alcanza un espacio interior ocupado por receptores.

La expresión siguiente permite calcular la ingesta media diaria asociada a la ingestión accidental (o voluntaria, en el caso de niños) de suelo o polvo con presencia de contaminantes:

$$I_s = \frac{C_s * 10^{-6}}{PE} * \frac{FE * DE * TI_s}{P}$$

Donde:

I_s = Ingesta media diaria de contaminante debido a ingestión de suelo o polvo contaminado (mg/kg·día)

C_s = Concentración del contaminante en el suelo (mg/kg)

TI_s = Tasa de ingestión de suelo o polvo contaminado (mg/día)

P = Peso corporal (kg)

FE = Frecuencia de exposición (días/año)

DE = Duración de la exposición (años)

PE = Periodo de exposición (día), calculado para compuestos no cancerígenos, como la duración de la exposición (DE , años) por 365 (días/año); y para compuestos cancerígenos como el periodo vital (PV , años) por 365 (días/año).

10^{-6} = Conversor de unidad de masa (kg/mg)

Para evaluar la ingesta ajustada por edad (es decir, no solo para un adulto o un niño, sino que para un periodo que incluya ambos ciclos de vida), el segundo término de la fórmula (es decir, $FE \cdot DE \cdot TI_s / P$) debe calcularse para cada receptor (niño y adulto, con sus respectivos factores de exposición) y sumarse, para luego multiplicarlo por el primer término de la fórmula. Además, en este caso, para el cálculo del periodo de exposición (PE), se debe considerar la duración de la exposición (DE) como la suma de los DE de niño y adulto, para compuestos no cancerígenos; o el periodo vital (PV), para compuestos cancerígenos.

Inhalación de partículas

La expresión siguiente permite calcular la ingesta asociada a la inhalación de partículas de suelo o polvo contaminado.

$$I_p = \frac{C_s * FE * DE * TE}{PE * 24} * \left(\frac{1}{PEF} \right)$$

Donde:

I_p = Ingesta media diaria de contaminante debido a inhalación de partículas en el aire (mg/m³)

C_s = Concentración del contaminante en el suelo (mg/kg)

PEF = factor de emisión de partículas (m³/kg)

FE = Frecuencia de exposición (días/año)

DE = Duración de la exposición (años)

TE = Tiempo de exposición (horas/día)

PE = Periodo de exposición (día), calculado para compuestos no cancerígenos, como la duración de la exposición (DE, años) por 365 (días/año); y para compuestos cancerígenos como el periodo vital (PV, años) por 365 (días/año).

24 = Conversor de unidad de tiempo (horas/día)

Contacto dérmico con suelo

La exposición por contacto dérmico con suelo contaminados puede tener lugar tanto en ambientes exteriores como interiores. El segundo supuesto se considerará siempre que sea posible asumir que se produce la movilización de partículas de suelo contaminado en forma de polvo y que éste alcanza un espacio interior ocupado por receptores.

La dosis absorbida por contacto dérmico con suelo con presencia de contaminantes puede estimarse mediante la expresión siguiente:

$$I_{ds} = \frac{C_s * 10^{-6} * ABS_d}{PE} * \frac{FE * DE * SD * FA}{P}$$

Donde:

I_{DS} = Dosis absorbida media diaria debido a contacto dérmico con polvo o suelo contaminado (mg/kg·día)

C_s = Concentración del contaminante en el suelo (mg/kg)

SD = Superficie dermal expuesta (cm²/día)

FA = Factor de adherencia suelo-piel (mg/cm²)

ABS_d = Fracción del contaminante absorbido dermalmente (adimensional)

P = Peso corporal (kg)

FE = Frecuencia de exposición (días/año)

DE = Duración de la exposición (años)

PE = Periodo de exposición (día), calculado para compuestos no cancerígenos, como la duración de la exposición (DE , años) por 365 (días/año); y para compuestos cancerígenos como el periodo vital (PV , años) por 365 (días/año).

10^{-6} = Conversor de unidad de masa (kg/mg)

Para evaluar la dosis absorbida ajustada por edad (es decir, no solo para un adulto o un niño, sino que para un periodo que incluya ambos ciclos de vida), el segundo término de la fórmula (es decir, $FE \cdot DE \cdot SD \cdot FA / P$) debe calcularse para cada receptor (niño y adulto, con sus respectivos factores de exposición) y sumarse, para luego multiplicarlo por el primer término de la fórmula. Además, en este caso, para el cálculo del periodo de exposición (PE), se debe considerar la duración de la exposición (DE) como la suma de los DE de niño y adulto, para compuestos no cancerígenos; o el periodo vital (PV), para compuestos cancerígenos.

Para vías de exposición para otras matrices específicas (por ejemplo, agua, vapores o alimentos), se recomienda revisar las fórmulas en el Calculador de Riesgo (Chemical Risk Calculator) de RAIS o en Ecuaciones para niveles de referencia (Regional Screening Levels (RSLs) – Equations¹³) de la USEPA.

Anexo 14

Factores de exposición recomendados

A continuación, se presenta una recomendación de los principales factores de exposición para el cálculo de ingesta media diaria para las vías ingestión, inhalación y contacto dérmico con suelo. Estos valores fueron obtenidos de RAIS (Risk Assessment Information System) que sistematiza los datos de distintos documentos de la USEPA.

13 - https://rais.ornl.gov/cgi-bin/prg/RISK_search?select=chem

Parámetro	Escenario residencial	Escenario Industrial	Unidad
Frecuencia de Exposición (FE)	350	250	días/año
Duración Exposición (DE) – adulto	20	20	años
Duración Exposición (DE) – niño	6	–	años
Tiempo de exposición (TE)	24	8	horas/día
Tasa de ingesta de suelo (IS) – adulto	100	100	mg/día
Tasa de ingesta de suelo (IS) – niño	200	–	mg/día
Superficie dermal expuesta (SD) – adulto	6032	3527	cm ² dermis/día
Superficie dermal expuesta (SD) – niño	2373	–	cm ² dermis/día
Factor de adherencia dérmica (FA) – adulto	0,07	0,12	mg/cm ² dermis
Factor de adherencia dérmica (FA) – niño	0,2	–	mg/cm ² dermis
Factor de emisión de partículas (PEF) ¹⁴	1,36*10 ⁹	1,36*10 ⁹	m ³ /kg
Peso corporal (P) – adulto	80	80	kg
Peso corporal (P) – niño	15	–	kg
Periodo vital (PV) (para compuestos cancerígenos)	70	70	años

Es importante mencionar, que en Chile es la Autoridad Sanitaria quien debe definir los Factores de Exposición. Para mayor información sobre los factores de exposición y la metodología de evaluación de riesgos en general, y en particular si se requiere evaluar vías de exposición en matrices distintas a suelo o para receptores específicos, se recomienda revisar las siguientes fuentes de información:

• Risk Assessment Information System (RAIS). s/f. RAIS Chemical PRG Calculator User's Guide. Disponible en: https://rais.ornl.gov/tools/rais_chemical_prg_guide.html

¹⁴ – Se indica valor por defecto dado por la USEPA y RAIS, sin embargo, este parámetro proviene de una ecuación que depende de variados factores, por lo que para mayor información se recomienda revisar: https://rais.ornl.gov/documents/SSG_nonrad_supplemental.pdf

• USEPA. 2024. Regional Screening Levels (RSLs) – User's Guide. Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide>

• USEPA. 2011. Exposure Factors Handbook: 2011 Edition. Disponible en: <https://www.epa.gov/expobox/exposure-factors-handbook-2011-edition>

• USEPA. 2004. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual. Disponible en: <https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-rags-part>

• USEPA. 2002. Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. Disponible en: https://rais.ornl.gov/documents/SSG_nonrad_supplemental.pdf

• Comunidad de Madrid, España. 2004. Guía de análisis de riesgos para la salud humana y los ecosistemas. Disponible en: https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/cma-mam-_guia_analisis_riesgos_salud_humana_y_ecosistemas.pdf

Los factores indicados debiesen revisarse para realización de cada evaluación de riesgos, de manera que estos se ajusten a la realidad del sitio en estudio y los receptores expuestos (tiempos de exposición, características de los receptores, etc.). Podrá complementarse con información, a nivel regional o nacional, de encuestas de salud desarrolladas por la Autoridad Sanitaria.



GUÍA METODOLÓGICA PARA LA

Gestión de **sitios** **Contaminados**