



# Resolución Ministerial

## N° 085-2014-MINAM

Lima, 31 MAR. 2014

Vistos, los Memorandos N° 249, 468 y 563-2013-VMGA/MINAM del Viceministerio de Gestión Ambiental; así como el Informe N° 0080-2013-DGCA-VMGA/MINAM y las Notas Informativas N° 004 y 006-2013-DGCA-VMGA/MINAM de la Dirección General de Calidad Ambiental, que contienen los Informes Técnicos N° 0308, 0309, 690 y 800-2013-DGCA-VMGA/MINAM, y demás antecedentes; y,

### CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, el artículo 31° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, define al Estándar de Calidad Ambiental – ECA, como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas; así como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, los mismos que son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia;

Que, la Primera Disposición Complementaria Final del citado Decreto Supremo, establece que el Ministerio del Ambiente aprobará la Guía para Muestreo de Suelos y la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos;

Que, en virtud a lo señalado, la Dirección General de Calidad Ambiental del Viceministerio de Gestión Ambiental ha elaborado las propuestas de Guía para Muestreo de Suelos y Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos;

Que, la Guía para Muestreo de Suelos tiene como objetivo brindar las especificaciones para el muestreo de sitios contaminados, determinando la presencia, identidad y cantidad de contaminantes presentes, así como la extensión y volumen de sitios contaminados en todo proyecto y/o actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia;

Que, asimismo, la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos tiene como objetivo orientar a los titulares y/o responsables de la descontaminación de sitios contaminados, empresas consultoras y público en general, sobre el desarrollo de las diversas etapas que comprende la elaboración e implementación del Plan de Descontaminación de Suelos – PDS;



Que, estando a la propuesta presentada por la Dirección General de Calidad Ambiental del Viceministerio de Gestión Ambiental, resulta necesaria la aprobación de las mencionadas Guías;

Con el visado del Viceministerio de Gestión Ambiental, la Secretaría General, la Dirección General de Calidad Ambiental y la Oficina de Asesoría Jurídica;

De conformidad con lo dispuesto en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo; y, el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.-** Aprobar la **Guía para el Muestreo de Suelos**, que como Anexo N° 1 forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

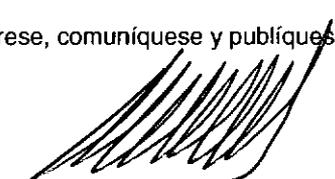
**Artículo 2°.-** Aprobar la **Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos**, que como Anexo N° 2 forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

**Artículo 3°.-** La presente Resolución Ministerial es de aplicación y cumplimiento obligatorio para los procesos de descontaminación de sitios contaminados, en trámite o por iniciarse, independientemente de su ámbito de ejecución.

**Artículo 4°.-** Disponer la publicación de la presente Resolución Ministerial en el Diario Oficial El Peruano.

La presente resolución y sus Anexos serán publicados, asimismo, en el Portal Web Institucional del Ministerio del Ambiente, en la misma fecha de publicación de la presente Resolución Ministerial en el Diario Oficial El Peruano.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

  
**Manuel Pulgar-Vidal Otálora**  
Ministro del Ambiente



# MINISTERIO DEL AMBIENTE

Vice Ministerio de Gestión Ambiental  
Dirección General de Calidad Ambiental

## GUÍA PARA MUESTREO DE SUELOS

En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de  
Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

2014



## ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	2
I. Glosario.....	3
II. Introducción.....	6
1. PLAN DE MUESTREO.....	7
1.1. Consideraciones Generales.....	7
1.2. Estructura del Plan de Muestreo.....	7
1.3. Tipos de muestreo.....	9
1.3.1. Muestreo de Identificación (MI).....	9
1.3.2. Muestreo de Detalle (MD).....	10
1.3.3. Muestreo de Nivel de Fondo (MF).....	11
1.3.4. Muestreo de Comprobación de la Remediación (MC).....	12
2. TÉCNICAS DE MUESTREO.....	14
2.1. Consideraciones generales.....	14
2.2. Para muestras superficiales.....	16
2.3. Para muestras en profundidad.....	17
2.4. Para muestras en la fase gaseosa del suelo.....	19
3. MANEJO DE LAS MUESTRAS.....	21
3.1. Materiales para guardar y transportar muestras.....	21
3.2. Etiquetado.....	21
3.3. Ficha de muestreo.....	22
3.4. Cadena de Custodia.....	22
3.5. Condiciones de seguridad de las muestras.....	23
4. MEDIDAS DE SEGURIDAD OCUPACIONAL DURANTE EL MUESTREO.....	23
5. DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	24
5.1. Consideraciones generales.....	24
5.2. Número mínimo de puntos de muestreo.....	24
5.2.1. Para el Muestreo de Identificación.....	24
5.2.2. Para el Muestreo de Detalle.....	25
5.2.3. Para el Muestreo de Nivel de Fondo.....	26
5.2.4. Para el Muestreo de Comprobación.....	26
6. BIBLIOGRAFÍA.....	27
ANEXOS.....	28



## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación regular: forma de cuadrado.....	12
Ilustración 2: Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación Regular: forma de rectángulo.....	13
Ilustración 3: Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación Irregular.....	13
Ilustración 4: Partición de muestras.....	16
Ilustración 5: Croquis de la toma de muestra de un núcleo de perforación.....	18
Ilustración 6: Ejemplos de dispositivos para la toma de muestras individuales.....	19
Ilustración 7: Ejemplo de la toma de una muestra gaseosa del subsuelo.....	20

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1 Recomendaciones acerca de la aplicabilidad de los patrones de muestreo.....	10
Tabla N° 2: Profundidad del muestreo según el uso del suelo.....	16
Tabla N° 3: Lista de sistemas para la toma de muestras sólidas.....	18
Tabla N°4: Recipientes, temperatura de preservación y tiempo de conservación de muestras ambientales para los análisis correspondientes.....	22
Tabla N° 5: Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación.....	24
Tabla N° 6: Número mínimo de puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle.....	25

## LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 1: Listado de contaminantes que posiblemente se encuentran en sitios donde se realicen actividades potencialmente contaminantes.....	28
Anexo N° 2: Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados.....	31
Anexo N° 3: Ficha de muestreo de suelo.....	36
Anexo N° 4: Orientaciones para la elaboración de planos.....	38

## LISTA DE ACRÓNIMOS

ERSA	: Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente.
ECA	: Estándar de Calidad Ambiental.
ME	: Muestreo Exploratorio.
MD	: Muestreo detallado.
MF	: Muestreo de Fondo.
MC	: Muestreo Comprobatorio.
PDS	: Plan de Descontaminación de Suelos.
UTM	: Universal Transverse Mercator
MINAM	: Ministerio del Ambiente
INDECOPI	: Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.



## I. Glosario

**Área de Potencial Interés:** Extensión de terreno sobre el que se realizarán efectivamente las labores de muestreo. Se trata de áreas identificadas durante la Fase de Identificación en las cuales existe alguna evidencia de potencial contaminación del suelo.

**Cadena de custodia:** Procedimiento documentado de la obtención de muestras, su transporte, conservación y entrega de éstas al laboratorio para la realización de pruebas de análisis físico-químico, realizado por el personal responsable.

**Calidad de suelos:** Es la capacidad natural del suelo de cumplir diferentes funciones: ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales.

Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le otorgan una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénicas.

**Derrame:** Cualquier descarga, liberación, rebose o vertido debido a una práctica inadecuada o hecho accidental de hidrocarburos o líquidos peligrosos en el suelo.

**Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

**Envase:** Recipiente de diferente material, forma y tamaño destinado a contener muestras de suelos para su conducción desde el lugar de muestreo hacia el laboratorio, y que reúne características para conservar las propiedades de la muestra a ser analizadas.

**Geo-referenciación:** Es el procedimiento técnico-científico por el cual se define la localización espacial de un objeto, en un sistema de coordenadas y datum determinado.

**GPS:** Sistema de posicionamiento Global o, NAVSTAR GPS (NAVigation System and Ranging - Global Positioning System, sistema de navegación y determinación de alcance, y sistema de posicionamiento mundial) es el sistema que permite determinar la posición geográfica en cualquier parte del mundo de un objeto, persona o nave y funciona mediante una red de satélites en órbita sobre el planeta.

**Hidrocarburos de fracción ligera (F1):** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono (C5 a C10).

**Hidrocarburos de fracción media (F2):** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre diez y veintiocho carbono (C10 a C28).

**Hidrocarburos de fracción pesada (F3):** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre veintiocho y cuarenta átomos (C28 a C40).

**Modelo Conceptual:** 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.

**Muestra compuesta:** Es aquella constituida por un conjunto de muestras simples (sub muestras), convenientemente mezcladas, y llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis, siendo el resultado un valor analítico medio de la propiedad o compuesto analizado. El número de sub muestras dependerá de la variabilidad de la sustancia o propiedad a analizar en el área de estudio y tiene la ventaja de permitir un muestreo mayor sin aumentar el número de muestras a analizar.



**Muestra simple:** Las muestras colectadas en un tiempo y en un lugar particular son llamadas muestras simples. Este tipo de muestras representa las condiciones puntuales de una muestra de la población en el tiempo que fue colectado. Estas muestras siempre se aplicarán para compuestos orgánicos volátiles (COV's), Hidrocarburos y Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos (BTEX).

**Muestreo dirigido:** Es la actividad por medio de la cual se toman muestras representativas sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y/o es evidente la extensión de la afectación.

**Muestra duplicada para contaminantes volátiles:** Es una muestra que se toma del muestreador, contigua a la muestra original.

**Muestra duplicada para contaminantes no volátiles:** Muestra que se toma después de la homogenización del material del cual se toma la muestra original.

**Muestreo de Identificación:** Es aquel orientado a identificar si el suelo está contaminado. Entiéndase que toda referencia hecha al muestreo exploratorio en el D.S. N° 002-2013-MINAM, se entenderá como referida al muestreo de identificación.

**Muestreo de Detalle:** Es aquel orientado a identificar el área y el volumen del suelo impactado, y de ser el caso, de otros medios afectados por las sustancias señaladas en el D.S. N°002-2013-MINAM.

**Muestreo de Comprobación:** Es aquel orientado a verificar si se alcanzaron los niveles establecidos en el ECA para suelo, los niveles de fondo, los niveles de remediación determinados en el ERSA u otros objetivos de remediación establecidos para suelos.

**Muestreo de Nivel de Fondo:** Es aquel orientado a identificar el nivel de fondo en el suelo.

**Muestra en profundidad:** Muestra obtenida de los horizontes o capas del suelo en donde se ubican y lixivian los contaminantes que se desean evaluar.

**Nivel de fondo:** Concentración en el suelo de los químicos que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la actividad bajo análisis.

**Nivel de Remediación:** Concentración de un químico de interés determinado de manera específica para las condiciones del sitio, a través del estudio de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente.

**Patrón de muestreo:** Es la distribución espacial de los puntos de muestreo en el plano horizontal, para cada sitio en particular en base a las características y el objetivo del muestreo. Los patrones pueden ser i) de distribución uniforme (rejillas regulares, rejillas triangulares, rejillas circulares, sobre una línea, diagonales múltiples), ii) de distribución aleatoria (aleatorios, aleatorios en una rejilla regular, aleatorios desalineados en una rejilla regular), iii) de muestreo con distribución heterogénea (diagonal simple, diagonales cruzadas rotantes).

**Plan de muestreo:** Documento que contiene la información y programación relacionada con cada una de las etapas que conforman el muestreo y señala los criterios para la toma de muestras.

**Punto de muestreo:** Lugar (punto o área determinada) del suelo donde se toman las muestras, sean éstas superficiales o de profundidad.

**Riesgo:** Probabilidad o posibilidad de que un contaminante pueda ocasionar efectos adversos a la salud humana, en los organismos que constituyen los ecosistemas o en la calidad de los suelos y del agua, en función de las características y de la cantidad que entra en contacto con los receptores potenciales, incluyendo la consideración de la magnitud o intensidad de los efectos asociados y el número de individuos, ecosistemas o bienes que, como consecuencia de la presencia del contaminante, podrían ser afectados tanto en el presente como en el futuro.



**Sedimento:** Materiales de depósito o acumulados por arrastre mecánico de las aguas superficiales o el viento depositados en los fondos marinos, fluviales, lacustres y depresiones continentales.

**Sistema de Coordenadas Cartográficas UTM:** Sistema de Coordenadas Transversal Universal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM), identifica un punto de la superficie "terrestre", y tiene como unidad de medida el metro. Es un sistema cilíndrico transversal conforme, secante al globo terráqueo el cual se encuentra relacionado con el elipsoide del Sistema de Referencia Geodésico 1980 - Geodetic Reference System 1980 (GRS80), siendo de utilización más idónea, del cual deriva el WorldGeodeticSystems – WGS84. (Resolución Jefatural N° 112-2006-IGN/OAJ/DGC/J).

**Sitio contaminado:** Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores representa un riesgo a la salud humana o el ambiente.

**Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

**Suelo contaminado:** Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM.

**Textura de suelo:** Es la propiedad física derivada de la composición granulométrica, constituida por arena, limo y arcilla, cuyos diámetros están contempladas en la escala de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.



## II. Introducción

De conformidad con el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM por medio del cual se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, la Guía para Muestreo de Suelos establece especificaciones para: i) determinar la existencia de contaminación en el suelo, ii) determinar la dimensión (extensión horizontal y vertical) de la contaminación, iii) determinar las concentraciones de nivel de fondo, y/o iv) determinar si las acciones de remediación lograron reducir la concentración de los contaminantes en el suelo, de acuerdo a las metas planteadas.

En función al objetivo del muestreo de suelos, la Guía establece los siguientes tipos: muestreo de identificación, muestreo de detalle, muestreo de nivel fondo, y muestreo de comprobación de la remediación. En la Guía se especifica además, diferentes técnicas de muestreo, criterios para la determinación del número de muestras, así como medidas de calidad para la toma y el manejo de muestras de suelos. La Guía no incluye el muestreo de aguas subterráneas y sedimentos en ríos, lagos y mares.

Esta Guía es aplicable para el muestreo de suelos en proyectos nuevos, actividades en curso, y para sitios contaminados en los que la autoridad competente o la entidad de fiscalización ambiental determine que no se cumplieron con los objetivos de remediación previstos en el instrumento de gestión ambiental.



## 1. PLAN DE MUESTREO

Para la realización de cualquier tipo de muestreo, previamente se debe elaborar un plan de muestreo que contenga la información y programación relacionada con los objetivos del muestreo.

Para el plan del muestreo de suelos, es necesario definir claramente los objetivos que permitan un óptimo proceso de levantamiento de la información necesaria para la descripción del sitio, definiendo: i) el área en la que se focalizarán los esfuerzos de muestreo, ii) objetivos del plan de muestro, iii) los tipos de muestreo según los objetivos definidos, vi) la determinación de la densidad, y posición de puntos de muestreo, v) los procedimientos de campo, vi) los métodos de conservación de muestras, y vii) las necesidades analíticas a desarrollarse.

### 1.1. Consideraciones Generales

El plan de muestreo, debe contener por lo menos los siguientes aspectos:

- a) Información básica del suelo (potencialmente) contaminado, comprendiendo los mapas de ubicación, planos de distribución de la infraestructura y construcciones realizadas en el sitio de acuerdo a la evaluación preliminar (investigación histórica e inspección del sitio) descrita en la Guía para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos (PDS).
- b) Resultados de los estudios previos del suelo (potencialmente) contaminado.
- c) Determinación de las Áreas de Potencial Interés. La sustentación de la ubicación y el número de puntos de muestreo, la profundidad y el volumen de muestra a coleccionar.
- d) Personal involucrado precisando las responsabilidades y actividades en cada procedimiento.
- e) La estrategia y procedimiento de toma de muestras a realizar. Tipo y método de muestreo.
- f) Determinación de los parámetros a analizar en las muestras.
- g) Las técnicas, el equipo y los instrumentos a emplearse en el muestreo, que aseguren la homogeneidad y representatividad de las muestras.
- h) Tipo y características de la preservación y conservación de las muestras a emplearse durante el transporte de las mismas al laboratorio.
- i) Medidas de seguridad para el manejo de muestras, que determinen las condiciones óptimas de la calidad del muestreo.
- j) Medidas de seguridad ocupacional a seguir durante el muestreo, lo suficientemente explicitadas para garantizar la salud y seguridad de quienes toman la muestra.
- k) Número mínimo de puntos de muestreo según el tipo de muestreo (Ver Ítem 5.2).

### 1.2. Estructura del Plan de Muestreo

El plan de muestreo de suelos (potencialmente) contaminado debe tener la siguiente estructura básica:



1. Datos generales
  - 1.1. Objetivo del muestreo: Definir de manera precisa las metas que se desean cumplir
  - 1.2. Vías de acceso al sitio: Explicitar el acceso geo-referenciado al sitio de interés
  - 1.3. Resumen de estudios previos: Identificar información relevante de acciones previas realizadas en el sitio de estudio
  - 1.4. Localización geográfica del sitio (UTM WGS 84): Para su respectivo mapeo
  - 1.5. Delimitación de las áreas de interés de muestreo: En base a la información disponible sobre las actividades anteladas o los procesos en curso.
  
2. Planeación y procedimiento del muestreo
  - 2.1. Tipo de muestreo
  - 2.2. Localización, distribución y número de puntos de muestreo
  - 2.3. Profundidad de muestreo
  - 2.4. Tipos de muestras (muestras simples o compuestas, de profundidad o superficiales)
  - 2.5. Estimación del Número total de muestras
  - 2.6. Parámetros de campo
  - 2.7. Equipo de muestreo de suelo
  - 2.8. Medidas para asegurar la calidad del muestreo
  - 2.9. Preservación de las muestras
  - 2.10. Tipo de recipientes y volumen de las muestras
  - 2.11. Plan de salud y seguridad del operario
  - 2.12. Plan de cadena de custodia
  
3. Anexos
  - 3.1. Planos de ubicación<sup>1</sup>
  - 3.2. Plano vial de carreteras, caminos o calles para llegar al sitio y edificaciones<sup>2</sup>.
  - 3.3. Imagen aérea o satelital del sitio de alta resolución (de 15 cm a 60 cm) orto-rectificadas.
  - 3.4. Plano de la zona de estudio e identificación de los puntos de muestreo geo-referenciado en coordenadas UTM.
  - 3.5. Copia de la acreditación y de la aprobación del laboratorio vigente, con el listado de signatarios autorizados.

Fuente: Saval, S. (2011), Curso sobre Remediación de Sitios Contaminados. Encuentro Latinoamericano sobre Remediación de Sitios Contaminados.

El plan de muestreo debe ser entregado impreso y en versión digital editable.



<sup>1</sup> Anexo N° 5: Orientaciones para elaboración de planos

<sup>2</sup> De acuerdo al Clasificador de Rutas del Sistema Nacional de Carreteras. SINAC

### 1.3. Tipos de muestreo

#### 1.3.1. Muestreo de Identificación (MI)

El muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM. El alcance del MI estará definido por los resultados y conclusiones de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio.

En el muestreo de identificación, no se dispone de datos precisos sobre la concentración de compuestos contaminantes en un suelo, sin embargo, para contar con un límite de confianza aceptable, es pertinente realizar un número mínimo de puntos de muestreo.

Los resultados analíticos del MI serán comparados inicialmente con los ECA suelo. Si los valores detectados en el suelo superan los valores del ECA y/o los valores de fondo, se determina que el suelo está contaminado y se procede con la fase de caracterización.

Para la elaboración del muestreo de identificación es necesario utilizar la información de la investigación histórica y la inspección del sitio potencialmente contaminado, que provee de insumos para la elaboración del modelo conceptual inicial, el mismo que debe ser lo suficientemente detallado para identificar claramente las fuentes potenciales o sospechosas de contaminación. La hipótesis de distribución de contaminantes contenidas en el modelo conceptual orientan el diseño del muestreo de identificación.

Se debe tener en consideración los siguientes aspectos al momento de la formulación del Muestreo de Identificación:

- Se determina el Área de potencial Interés sobre la base de la investigación histórica y el levantamiento técnico (inspección) del sitio.
- Los contaminantes (parámetros) que se analicen serán aquellas sustancias químicas de interés toxicológico o ecotoxicológico generados por las actividades y procesos principales, secundarios y auxiliares, que se desarrollan o se desarrollaron en el sitio de estudio (Ver ejemplos de contaminantes por procesos en Anexo N° 1).
- Cuando en base a la investigación histórica y la inspección del sitio se considere que hay información concluyente sobre el origen, fuente y tipo de la posible contaminación del suelo, el número de puntos de muestreo se determinará respetando el número mínimo de puntos de muestreo indicados en la Tabla N° 5, aportando información que valide los resultados obtenidos y enfocado en el área y los compuestos de potencial interés.
- Cuando no se tiene previo conocimiento de la distribución del contaminante se podrá optar primero por una distribución sistemática (Tabla N° 1), por ejemplo una Rejilla regular, en el Área de Potencial Interés, tomando en consideración los puntos de muestreo indicados en la Tabla N° 5. Más información de patrones de muestreo se encuentra en Anexo N° 2.
- La profundidad del muestreo dependerá del tipo de suelo y contaminante a estudiar, y debe ser debidamente justificado, siendo necesario el muestreo a lo largo de la perforación, incluyendo su documentación geológica.
- En casos de perforaciones a diferentes profundidades, las muestras deben ser tomadas por cada metro de profundidad que se perfore, considerando la estratigrafía local. La longitud del núcleo de perforación a muestrear no debe ser mayor a un metro.
- Para puntos de muestreo con profundidades igual o menores a 3 m, todas las muestras tomadas deben ser analizadas.



- En perforaciones o zanjas con una profundidad mayor a 3 m, el número mínimo de muestras a analizar obtenidas por punto de muestreo son 3. Como el objetivo de los análisis químicos es delimitar verticalmente la contaminación, puede ser necesario analizar más de tres muestras.
- Las muestras a ser analizadas deben ser aquellas que presenten mayor evidencia de la presencia del contaminante bajo estudio.
- Las modificaciones al proceso de muestreo de identificación previamente elaborado deberán justificarse, fundamentarse y documentarse.
- Para el control de calidad analítica se debe duplicar el 10% de las muestras a ser analizadas para sitios con superficies menores o igual a 20 ha, y 5% para superficies mayores a 20 ha, que deben ser analizadas en otro laboratorio acreditado.

Con la documentación y los resultados del muestreo de identificación, y establecida la necesidad de proceder con una fase posterior, se elaborará el Estudio de Caracterización, el cual retroalimenta el modelo conceptual<sup>3</sup> y los objetivos del muestreo de detalle.

**Tabla N° 1 Recomendaciones acerca de la aplicabilidad de los patrones de muestreo**

Patrón de muestreo	En identificación y caracterización	En remediación
<b>Con distribución uniforme</b>		
Rejillas regulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas triangulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas circulares	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas o derrames puntuales	Recomendado en sitios donde se aplique una remediación in situ en contaminaciones puntuales
Sobre una línea	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas a lo largo de ductos	Recomendado en sitios donde se aplique una remediación in situ a lo largo de ductos
Diagonales múltiples	Recomendado sólo si se asegura equidistancia entre los puntos	Recomendado sólo si se asegura homogeneidad en el suelo y equidistancia entre los puntos
<b>Con distribución homogénea</b>		
Diagonal cruzadas rotantes	No recomendado	Recomendado sólo en aquellos sitios donde la contaminación es uniforme y se va a dar seguimiento a una atenuación natural

Fuente: Adaptado de SEMARNAT (2010).

### 1.3.2. Muestreo de Detalle (MD)

Tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para determinar el área y volumen (la distribución horizontal y vertical) del suelo contaminado en las áreas de interés determinadas a través de la fase de identificación.

<sup>3</sup> La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA), resume como los componentes principales a ser considerados en el modelo conceptual, la cobertura del suelo, relieve, matriz del suelo, granulometría, solución y vapor del suelo, escombros asociados a los contaminantes.



El muestreo de detalle, cuantifica y delimita las zonas de afectación del suelo y las plumas de propagación en el agua subterránea, tanto en espacio y tiempo, a partir del modelo conceptual redefinido. Caracteriza los medios en relación a factores que influyen en la liberación, migración y comportamiento de los contaminantes, a través de la delimitación y cuantificación de los focos; así el muestreo de detalle deberá también enfocarse a la determinación de las probables rutas y vías de exposición debiendo considerar los posibles puntos de exposición en el caso de que se lleve a cabo una evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA).

Como resultado de la información generada (modelo conceptual final), se establece la necesidad de continuar con los siguientes procesos de gestión de un suelo contaminado: la realización del ERSA (de ser el caso) y, la propuesta de remediación, que podría incluir, entre otras, las siguientes acciones:

- de remoción de contaminantes
- de contención
- de atenuación natural monitorizada
- de restricciones de uso
- de control de riesgo

Para el MD deberá tomarse un número de puntos mínimos de muestreo, las cuales se indican en el Tabla N° 6.

En el caso de que la información obtenida a través del Muestreo de identificación no sea concluyente, se debe realizar un muestreo sistemático lo suficientemente detallado como para justificar la validez estadística asociada al grado de definición de la alteración.

### 1.3.3. Muestreo de Nivel de Fondo (MF)

El objetivo de este muestreo es determinar la concentración de los químicos regulados por el ECA suelo en sitios contiguos al área contaminada, los mismos que pueden encontrarse en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada, siendo aplicable a metales y metaloides.

Cuando se trate de sitios con antecedentes de presencia natural de sustancias potencialmente tóxicas en el sitio en estudio, se deberá tomar muestras fuera del área de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer los niveles de fondo de dichos contaminantes.

La estrategia del muestreo de nivel de fondo ha de ser debidamente justificada tanto desde el punto de vista estadístico como desde el punto de vista de la localización de las muestras, usando como ayuda los datos y conclusiones de la Fase de Identificación. Así, la localización del área de muestreo ha de considerar lo siguiente:

- a) El sitio de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio y no debe estar demasiado alejado del mismo.
- b) El sitio de muestreo deberá presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe de estar en la misma área climática y de vegetación.
- c) Las muestras para el nivel de fondo deben ser compuestas, recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes pero con características similares al área de estudio. (Vea también ítem 5.2.3).

Se debe proponer una estrategia de muestreo en base a la Fase de Identificación y los criterios del especialista o empresa calificada.



### 1.3.4. Muestreo de Comprobación de la Remediación (MC)

Tiene como objetivo demostrar que las acciones de remediación implementadas en un suelo contaminado, alcanzaron de forma estadísticamente demostrable, concentraciones menores o iguales a los valores establecidos en el ECA Suelo o los niveles de remediación específicos establecidos en base al Estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA), según su guía correspondiente.

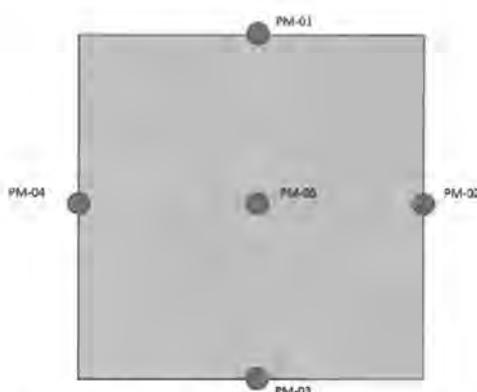
Los resultados serán incorporados en el Informe de culminación de acciones de remediación que será presentado a la entidad de fiscalización ambiental correspondiente.

Es recomendable que antes de la realización de un Muestreo de comprobación de la Remediación (MC) se realice un muestreo preliminar (muestreo que al no ser obligatorio se realiza bajo criterios de la empresa), con la finalidad de tener un buen margen de seguridad que los resultados del MC sean exitosos (el MC se realiza con laboratorio acreditado y en lo posible con la presencia de la autoridad fiscalizadora). Las experiencias recopiladas de otros países muestran que cuando no se realiza un muestreo preliminar entonces es muy probable que ocurran MC subsecuentes.

Para la remediación consistente en la remoción de suelos contaminados se muestra seguidamente el procedimiento para la determinación de los puntos de muestreo en el área de excavación.

#### a. Para áreas de contaminación de forma regular menores a 1 000 m<sup>2</sup>

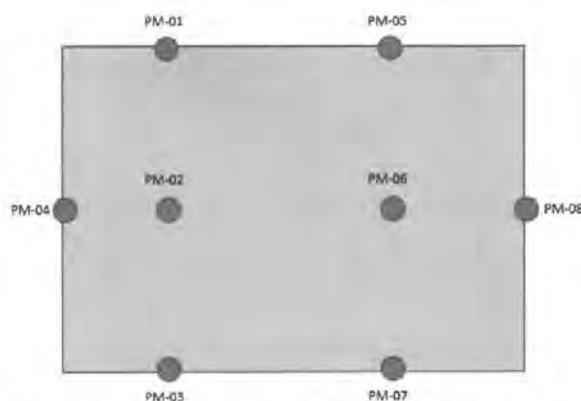
- Cuando el área de contaminación tenga forma regular de un cuadrado, el Número de muestras y distribución, será de una muestra en cada pared (4) y una en el fondo (1), total 5 muestras.



**Ilustración 1:** Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación regular: forma de cuadrado

- Cuando el área de contaminación tenga forma regular de un rectángulo, el Número de muestras y distribución, será de una muestra en cada pared corta (2), dos en cada pared larga (4) y dos en el fondo (2), total 8 muestras.



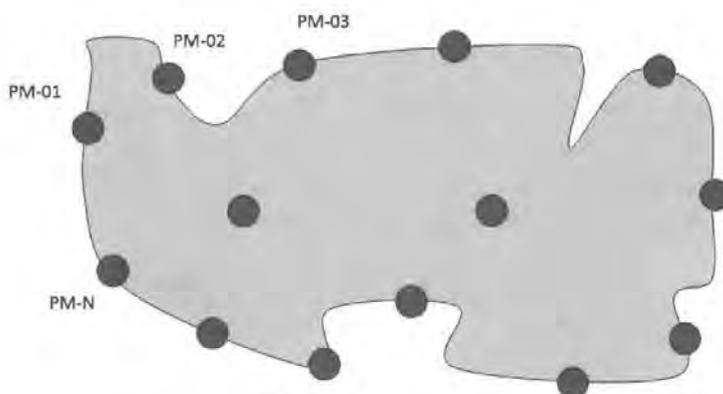


**Ilustración 2:** Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación Regular: forma de rectángulo

En todos los casos se requiere tener un plano de localización.

**b. Para áreas de contaminación de forma irregular menores a 1 000 m<sup>2</sup> y hasta 5 000 m<sup>2</sup>**

- El Número de muestras y distribución, será de una muestra por cada 15 – 20 metros lineales en las paredes del perímetro del área excavada y 2 en el fondo según la superficie (áreas menores a 1 000 m<sup>2</sup>) y 3 o 4 para áreas hasta 5 000 m<sup>2</sup>, según sea el caso.



**Ilustración 3:** Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación Irregular

**c. Para áreas de contaminación de forma regular de 1 000m<sup>2</sup> hasta 9 999 m<sup>2</sup>**

- El número de muestras y distribución será:
  - Una muestra (1) por cada 75 a 100 m lineales en cada pared corta o larga (distancia/75 - 100 = NPM).
  - Dos muestra (2) en el fondo por cada 1 000 m<sup>2</sup>.

**d. Para áreas de contaminación de forma regular de 10 000 m<sup>2</sup> a 150 000m<sup>2</sup>**

- El número de muestras y distribución será:
  - Una muestra (1) por cada 75 a 100 m lineales en cada pared corta o larga (distancia/75-100 = NPM).



- El número de puntos de muestreo (NPM) en el fondo se calculará según la siguiente ecuación.

$$\text{NPM} = 18 + 2.34 * A$$

Donde

**NPM** = Número de puntos de muestreo;  
**A** = Superficie en hectáreas.

Por ejemplo el total de puntos de muestreo para un área de 6,000 m<sup>2</sup> y 750 metros lineales de perímetro es de 12 muestras {2 x (6000 m<sup>2</sup> /1000 m<sup>2</sup>)} en el fondo, más 8 muestras en las paredes (750 m/100 m). En total son 20 puntos de muestreo más 2 duplicados.

Para otras técnicas de remediación como, técnicas *in situ* (extracción de vapores, air – sparging, bioventilación, oxidación/reducción, etc.) o confinamiento/contención (cobertura, instalación de barreras, sistemas de recojo de aguas y lixiviados), se requiere comprobar la eficacia de dichas técnicas mediante un muestreo idóneo a la técnica aplicada.

En el caso de acciones de remediación *in situ* se requiere un número mínimo de puntos de muestreo igual al muestreo de identificación.

En el caso de acciones de confinamiento/contención, la comprobación de la eficiencia de las medidas aplicadas estará en función de los objetivos de remediación trazados, por ejemplo que la fuente de contaminación esté completamente aislada y no se generen lixiviados, polvos y gases, y/o evitando la entrada a aguas superficiales y subterráneas; esta comprobación se podría realizar por ejemplo instalando una cadena de pozos distribuidos transversalmente al flujo del agua subterránea que atraviesa el área remediada.

Cuando la remediación sea por atenuación natural, el muestreo de comprobación tiene como objetivo el cumplimiento de la hipótesis planteada para la recuperación natural del sitio en el tiempo previsto.

## 2. TÉCNICAS DE MUESTREO

### 2.1. Consideraciones generales

El muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio, en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio<sup>4</sup>, constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos.

La técnica del muestreo a aplicar depende, entre otros, del objetivo del estudio, de las condiciones edáficas, meteorológicas, geológicas e hidrogeológicas en el sitio, la profundidad y accesibilidad de la contaminación en estudio y de los requerimientos analíticos acerca de la cantidad y calidad de las muestras.

<sup>4</sup> El análisis de las muestras deberá ser realizado por laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). En tanto no se disponga de laboratorios acreditados se utilizarán los laboratorios aceptados expresamente por las autoridades competentes (D.S.N° 002-2013-MINAM).



Los equipos, las herramientas y los instrumentos a usarse en el muestreo estarán en función de:

- La profundidad máxima a la que se va a tomar la muestra.
- El tipo de textura del suelo.
- El tipo de contaminante (volátil, semivolátil, no volátil) que se presume en el sitio.
- La accesibilidad al punto de muestreo.
- El tamaño de muestra necesaria para los análisis requeridos, con base en la(s) característica(s) o propiedad(es) de interés del contaminante y del sitio, así como las especificaciones de los métodos analíticos.
- Los instrumentos para la colecta de muestras en campo, deben ser fáciles de limpiar, resistentes al desgaste y no deberán contener sustancias químicas que puedan contaminar o alterar las muestras.
- En el caso de contaminantes orgánicos, los instrumentos de muestreo y los envases o contenedores para la conservación de la muestra no deberán contener sustancias químicas que puedan producir interferencias al momento de realizar las pruebas analíticas.
- Cuando se trata de suelos contaminados con metales, se recomienda utensilios de plástico, teflón o acero inoxidable para el muestreo. Los más comunes son: palas rectas y curvas, picos, barrenas y barretas, nucleadores, espátulas, navajas y martillo de geólogo, considerar lápices, marcadores y etiquetas, así como, cinta métrica o flexómetro, planos o fotografías aéreas de la zona con la ubicación tentativa de los puntos de muestreo.
- Durante las actividades de muestreo, es importante incluir como material de apoyo, cartas topográficas, edafológicas, climáticas y geológicas, un plano cartográfico del sitio y mapas de carreteras, con toponimia actualizada. Además, es recomendable incluir una libreta para registrar las acciones de campo, una cámara fotográfica y la cadena de custodia para las muestras.

En zonas de montañas con laderas de diferentes pendientes, el muestreo deberá realizarse considerando la estratificación en ladera alta, media y baja, obteniéndose muestras para cada uno de los estratos identificados.

La toma de muestras debe documentarse detalladamente considerando los siguientes aspectos (Ver Ficha de muestreo de suelo en el Anexo N° 3):

- Datos generales del sitio en estudio (por ejemplo razón social, ubicación, uso principal).
- Datos del punto de muestreo (por ejemplo clave del punto, coordenadas, técnica de muestreo, instrumentos usados, profundidad final, profundidad de la napa freática, operador, etc.).
- Datos de las muestras tomadas (por ejemplo, clave de muestra, profundidad, características organolépticas, textura, cantidad de la muestra tomada, compactación/consistencia, humedad, etc.).
- Comentarios adicionales y ubicación de los puntos de muestreo en un Croquis.

Durante el muestreo las condiciones organolépticas comprenden:

- El color determinado con la Tabla Munsell de colores.
- El olor teniendo cuidado de posibles intoxicaciones por inhalación de agentes contaminantes (por ejemplo olor petroquímico para gasolinas y productos petroquímicos, sulfuroso por presencia de H<sub>2</sub>S, ácido proveniente de relaves mineros, aromático provenientes de hidrocarburos aromáticos como alquitrán, BTEX, dulce para solventes, almendrado para cianuros, etc.).



## 2.2. Para muestras superficiales

Para la toma de muestras superficiales (hasta una profundidad de aproximadamente un metro) se pueden aplicar sondeos manuales. Este sistema es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo, siendo poca la cantidad de suelo que se puede extraer con esta técnica, será necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos. Otras técnicas alternativas para la toma de muestras superficiales pueden ser hoyos o zanjas.

En este tipo de muestras es permisible tomar muestras compuestas. La toma de muestras superficiales no es aplicable para la determinación de sustancias orgánica volátiles.

Grandes volúmenes de muestras (p.e. extraído de zanjas) requieren someterlas a partición, para reducirlas y obtener una muestra compuesta representativa. Para esto se recomienda cuartear la muestra mezclada y repetir el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario (vea también la ilustración 4).



**Ilustración 4: Partición de muestras**  
(Fuente: LFUMerkblatt 3.8/4; 2010, Alemania, adaptado).

Se recomienda en particular la toma de muestras superficiales compuestas para la evaluación de riesgos a la salud humana (p.e. cuando se tiene un contacto directo) o para la flora y fauna. En estos casos se recomienda un muestreo bidimensional, es decir, la toma de sub-muestras (10 – 25 unidades) en un área y una capa determinada y unir las sub-muestras individuales en una muestra compuesta.

El espesor de las capas con respecto al uso del suelo se indica en la Tabla N° 2. El número mínimo de muestras (compuestas) se desprende del área a estudiar de conformidad con el ítem 5.2.

**Tabla N° 2: Profundidad del muestreo según el uso del suelo**

Usos del suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo Agrícola	0 – 30 cm (1)
	30 – 60 cm
Suelo Residencial/Parques	0 – 10 cm (2)
	10 – 30 cm (3)
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0 – 10 cm (2)

- 1) Profundidad de aradura
- 2) Capa de contacto oral o dermal de contaminantes
- 3) Profundidad máxima alcanzable por niños

En casos que se tenga un enlozado, se deberá tomar muestras del suelo que se encuentra por debajo del enlozado.



De acuerdo a los parámetros a analizar se seleccionará el material del instrumento muestreador, recomendándose el uso de acero inoxidable o plástico, evitando el empleo de elementos cromados, pintados o con otro tratamiento de superficie.

Limpie cuidadosamente el área a muestrear de cualquier desecho o escombros superficial (ramas, piedras, residuos, etc.). Cuando éste es abundante se aconseja quitar los primeros cm en un área de 15 cm de radio.

### 2.3. Para muestras en profundidad

En un sitio potencialmente contaminado puede existir también una distribución espacial en profundidad de las sustancias contaminantes. Esta puede resultar de la interacción entre las características y propiedades del suelo a lo largo del perfil con las características y propiedades de las propias sustancias contaminantes. Por ello, es esencial que el muestreo refleje también la posible variabilidad espacial en profundidad de las sustancias contaminantes. De otra forma, las decisiones tomadas pueden no resultar adecuadas.

- La profundidad del muestreo dependerá del tipo de suelo y contaminante a estudiar, y debe ser debidamente justificado, siendo necesario el muestreo a lo largo de la perforación, incluyendo su documentación geológica.
- En casos de perforaciones a diferentes profundidades, las muestras deben ser tomadas por cada metro de profundidad que se perfore, considerando la estratigrafía local. La longitud del núcleo de perforación a muestrear no debe ser mayor a un metro.
- Las muestras del suelo contaminado, siempre serán simples (material colectado en un solo punto de muestreo), a menos que se señale otra especificación dependiendo del contaminante.
- Evitar el uso de fluidos de perforación y la utilización de equipos y recipientes para las muestras, que ocasionen la pérdida de hidrocarburos volátiles y la contaminación cruzada.
- En el proceso de perforación para la obtención de muestras de suelo no se debe inducir a la contaminación de acuíferos o cuerpos de agua subterráneas.
- Cuando se pueda recuperar una muestra del producto contaminante en fase libre (en el caso de compuestos orgánicos como por ejemplo hidrocarburos), debe entregarse dicha muestra al laboratorio junto con las muestras de suelo para la identificación del tipo de compuesto presente.
- Se elegirá el método y equipo para el muestreo de acuerdo a las condiciones geomorfológicas del sitio, el tipo de contaminante, el nivel de la napa freática; así como el tipo y profundidad de muestras a tomarse.
- En el caso exista peligro de que la perforación induzca una contaminación de acuíferos o cuerpos de aguas subterráneas u ocasione un corte hidráulico es requerido sellar el agujero de la perforación con materiales adecuados (p.e. pellets de arcilla, suspensión de bentonita, etc.).
- Una lista de los sistemas comúnmente utilizados para la toma de muestras sólidas, indicando su aplicación y las ventajas e inconvenientes se muestra en la Tabla N° 3.



Tabla N° 3: Lista de sistemas para la toma de muestras sólidas

SISTEMA	APLICACIÓN AL DISEÑO DE MUESTREO	VENTAJAS Y DESVENTAJAS
CALICATAS	Suelo de superficie suave, con profundidad de 0-100 cm	Barato; fácil para usar, capacidad de profundidad limitada.
SONDEOS MANUALES	Suelo duro, con profundidad de 0-100 cm	Relativamente fácil de usar; capacidad de profundidad limitada; costos bajos.
ZANJAS	Todo tipo de suelo, hasta 4m	Fácil de usar, capacidad de profundidad limitada. Requiere del uso de retroexcavadora.
SONDEOS LINER	Suelo arenoso, hasta 20m	Buen rango de profundidad; calificado para el muestreo de suelos con contaminantes volátiles; costos más elevados.
SONDEOS SEMIMECÁNICOS	Suelo rocoso o arenoso, hasta 10m	Buen rango de profundidad; puede requerir de dos a más operadores; costos medios.
SONDEOS MECÁNICOS	Todo tipo de suelo, grandes profundidades	Buen rango de profundidad, generalmente empleado para ganar acceso a horizontes de suelo más profundos; requiere de mano de obra experimentada, costo más elevado.

Referencia: Guía sobre suelos contaminados, Gobierno de Aragón, 2004, adaptado.

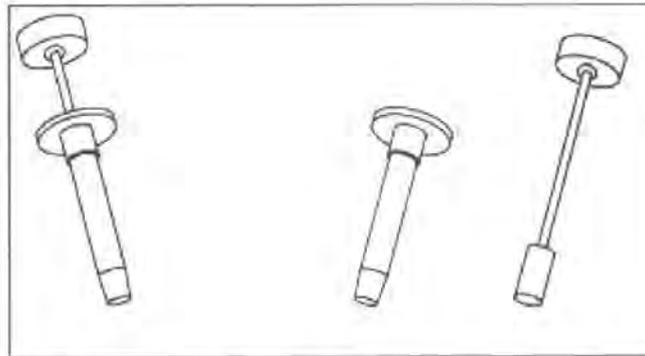
- En caso de perforaciones, la muestra se debe tomar solo del interior del núcleo de perforación, ya que no se puede descartar que en los bordes se encuentren contaminantes. Por lo tanto se recomienda extraer un segmento en forma de cuña del núcleo de perforación como se muestra en la Ilustración 5.



Ilustración 5: Croquis de la toma de muestra de un núcleo de perforación  
(Fuente: LfU-Merkblatt 3.8/4; 2010, Alemania, adaptado)

- La toma de muestras en el caso de la presencia de contaminantes volátiles requiere de procedimientos adecuados para evitar una pérdida de las sustancias en estudio y para conservar la integridad de la muestra. Por ello se requiere la toma de una muestra individual de una parte no afectada y de textura fina (de ser posible) del núcleo de perforación (o de la zanja fresca) a corto plazo. Para la extracción de las muestras existen dispositivos especiales como se muestra en la Ilustración 6. Como alternativa se pueden usar también jeringuillas de plástico cortados.





**Ilustración 6:** Ejemplos de dispositivos para la toma de muestras individuales  
(Fuente: LfU-Merkblatt 3.8/4: 2010, Alemania, adaptado)

- De manera **adicional** al muestreo de profundidad se pueden aplicar técnicas in situ para determinación de contaminantes, por ejemplo, direct push MIP (Membrane Interface Probe). Estas técnicas no sustituyen la toma de muestras de suelos y sus análisis en un laboratorio acreditado.

#### 2.4. Para muestras en la fase gaseosa del suelo

Las muestras (aire de suelo, vapores en el suelo) se toman para medir la concentración de agentes contaminantes volátiles en la fase gaseosa del suelo (BTEX, hidrocarburos clorados y/o fluorados, n-alcenos), siendo importante para la caracterización de estos compuestos en el suelo.

Por las características fisicoquímicas de los contaminantes volátiles (por ejemplo su fugacidad, tendencia de acumularse en estratos con granulación fina) se considera que la determinación de su concentración en la fase sólida del suelo es insuficiente.

La lixiviación y fugacidad de contaminantes volátiles es controlado por varios factores (por ejemplo características fisicoquímicas de la matriz sólida del suelo y de los agentes contaminantes, influencias atmosféricas e hidrogeológicas, interferencias por el proceso del muestreo, etc.) que se tiene que considerar en la interpretación de los resultados y el cumplimiento de altos estándares de calidad.

La extracción de la muestra gaseosa se realiza a través de pozos de extracción, que pueden ser:

- Pozos de extracción temporales (diámetro entre 35 a 80 mm, en pulgadas apto para uso único, bajos costos, instalación de los dispositivos de extracción en el agujero de un sondeo).
- Pozos de extracción estacionarios (diámetros > 80 mm, apto para múltiples muestreos y ensayos de extracción, costos más elevados, instalación de tuberías de plástico o acero con perforaciones en el tramo de muestreo).

Antes y durante la construcción de los puntos de muestreo debe observarse lo siguiente:

- Durante la perforación de un punto de muestreo no debe aplicarse ningún enjuague dentro del mismo.
- Las cuerdas de las brocas de los tubos de perforación no deben aceitarse o engrasarse.
- Solo se deben utilizar equipos de perforación limpios. Antes de cada nueva perforación debe limpiarse el equipo de perforación completa y minuciosamente ya sea mecánicamente o con agua. Compuestos tensoactivos o solventes deben evitarse completamente durante la limpieza del equipo.
- El equipo o herramienta de perforación debe sacarse inmediatamente después de realizada la perforación.



Independiente de qué tipo de pozo sea, es necesario colocar un sello en el espacio superior del pozo entre el suelo y el equipo de muestreo (por ejemplo mangueras o arcilla) y extraer un volumen de aire determinado evitando el ingreso o presencia de aire atmosférico en el agujero que podría falsificar la muestra (ver Ilustración 7).

La temperatura atmosférica durante el muestreo no debe estar por debajo de los 5°C, para evitar resultados atenuados por condensación de contaminantes volátiles en el equipo. Además se recomienda evitar la toma de muestras en momentos de lluvias.

Para la toma de muestra se aceptan métodos directos (por ejemplo envasar la muestra en recipientes como viales de vidrio, botellas de aluminio con depresión "minican", bolsas de plástico), métodos de acumulación (por ejemplo tubillos con carbón activado) o sistemas de medición pasiva.

El equipo básico que se requiere para la extracción de muestras gaseosas abarca:

- Sondeo de extracción.
- Dispositivos de extracción (por ejemplo bombas), que permiten regular el flujo de aire.
- Medidor del flujo de aire.
- Recipientes para colectarlas muestras gaseosas (dependiendo del método de muestreo)
- Dispositivos para medir el contenido de metano, dióxido de carbono, oxígeno y eventualmente ácido sulfhídrico o monóxido de carbono en el flujo de aire.
- Eventualmente dispositivos para medir la concentración de agentes contaminantes directamente en el campo.

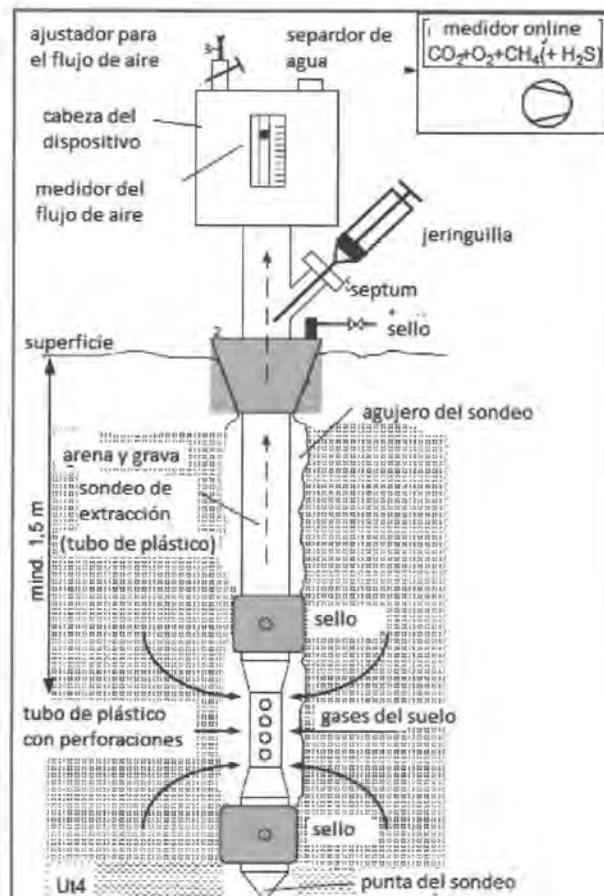


Ilustración 7: Ejemplo de la toma de una muestra gaseosa del subsuelo  
(Fuente: LfU-Merkblatt 3.8/4: 2010, Alemania, adaptado)



Los datos básicos que se tienen que documentar en el muestreo son:

- Datos generales (fecha, hora, lugar, nombre de la persona que ejecute el muestreo).
- Características del punto de muestreo (por ejemplo sellado del superficie, perfil geológico, nivel de la napa freática).
- Datos climáticos (temperatura, presión atmosférica, precipitación antes y durante el muestreo).
- Descripción del pozo de extracción (profundidad del agujero, equipamiento, tipo de sello).
- Sistema/dispositivo de extracción.
- Volumen extraído antes del muestreo.
- Flujo de aire (antes y durante la toma de las muestras).
- Presión inferior.
- Contenido y desarrollo de los componentes principales durante la extracción (metano, dióxido de carbono, oxígeno y eventualmente ácido sulfhídrico o monóxido de carbono), que serán utilizados en el estudio de caracterización y en la evaluación de riesgos a la salud y el ambiente.
- Descripción de los recipientes y/o el procedimiento del muestreo.

### 3. MANEJO DE LAS MUESTRAS

Es necesario observar ciertas consideraciones en el manejo de las muestras, sin embargo, es pertinente cumplir con los protocolos establecidos por los laboratorios respecto a la recolección y conservación de las muestras para su análisis.

#### 3.1. Materiales para guardar y transportar muestras

Las características del recipiente deben ser compatibles con el material del suelo y los agentes contaminantes en estudio a muestrear (ver Tabla N°4), deben ser resistentes a la ruptura y evitar reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación.

Debe evitarse en lo posible el uso de agentes químicos para conservar muestras de suelo, salvo que las metodologías lo estipulen. Para su conservación es conveniente mantenerlas en lugares frescos (4 a 6 °C), aplicables en contaminantes orgánicos.

El volumen del contenedor debe ser aproximadamente el mismo de la muestra, a fin de minimizar el espacio vacío.

Cuando se trate de COV's o elementos volátiles, no es recomendable la toma de muestras de suelos por trasvase debido a las pérdidas y subestimaciones a las que estas últimas conducen, esto es aún más importante y válido si se pretende realizar una evaluación de riesgos del sitio.

#### 3.2. Etiquetado

- La etiqueta debe ser colocada en un lugar visible y no sobrepasar el tamaño del recipiente y adherida adecuadamente para evitar su pérdida.
- La etiqueta que acompañe a la muestra, debe contar con la siguiente información como mínimo: número o clave única de identificación, lugar del muestreo, nombre del proyecto, y la fecha y hora del muestreo, nombre de la empresa así como las iniciales de la persona que toma la muestra.
- La impresión de los datos en la etiqueta, debe realizarse con tinta indeleble.
- Inmediatamente de la toma de muestra se debe proceder al etiquetado y registro de la muestra.



**Tabla N°4:** Recipientes, temperatura de preservación y tiempo de conservación de muestras ambientales para los análisis correspondientes.

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de conservación
Compuestos Orgánicos Volátiles COV's	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón	4º C	14 días
BTEX			
Hidrocarburos Fracción Ligera			
Hidrocarburos Fracción Media			
Hidrocarburos Fracción Pesada			
Compuestos Orgánicos Semivolátiles COSV's y Plaguicidas			
Metales Pesados y Metaloides	Bolsas de polietileno densa	Sin restricciones	Sin restricciones
Mercurio (Hg)	Frasco de vidrio con tapa de teflón que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis	4ºC	14 días
PCB	Viales de vidrio con cierre de Teflón	4ºC	14 días
PAH	Viales de vidrio con cierre de Teflón	4ºC	14 días

### 3.3. Ficha de muestreo

Documento que recoge información levantada en campo, que incluye la técnica de muestreo, las condiciones del punto de muestreo y una descripción de las muestras tomadas (Ver Anexo N° 3).

### 3.4. Cadena de Custodia

La documentación de la cadena de custodia debe contener al menos:

- El número de la hoja de custodia proporcionada por el laboratorio acreditado.
- El nombre de la empresa y del responsable del muestreo.
- Los datos de identificación del sitio (coordenadas UTM).
- La fecha y hora del muestreo.
- Las claves de las muestras.
- Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
- Los análisis o la determinación requerida.
- El número de envases.



- Observaciones.
- Identificación de las personas que entregan y reciben en cada una de las etapas de transporte, incluyendo fecha y hora.

La cadena de custodia en original y dos copias debe acompañar a las muestras desde su obtención, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio. El laboratorio debe incluir una copia de esta cadena con los resultados del análisis, la copia debe estar firmada por todos los participantes en el proceso de muestreo y por la persona del laboratorio que recibe las muestras para su análisis.

### 3.5. Condiciones de seguridad de las muestras

- Considerar los pre-tratamientos in situ de las muestras, según determinadas operaciones requeridas como por ejemplo el filtrado, adición de reactivos, de preservantes, etc.
- El traslado de la muestra deberá ser realizado con los cuidados requeridos para evitar su deterioro, para ello deben ser embaladas asegurando la completa inmovilidad de los recipientes que las contienen durante el transporte.
- Las muestras que requieran temperatura y condiciones de almacenamiento especial deben ser transportadas en contenedores adecuados.
- El traslado de las muestras al laboratorio se debe hacer dentro de los plazos recomendados.
- Para la seguridad y limpieza en la manipulación de la muestra, se debe incluir guantes de látex-k, agua deionizada, lentes de seguridad, toallas de papel, mascarilla para polvos y franelas. Usar etiquetas adheribles, marcador indeleble, cinta adhesiva y bolígrafos.
- No se deben analizar muestras cuyos sellos hayan sido violados.

## 4. MEDIDAS DE SEGURIDAD OCUPACIONAL DURANTE EL MUESTREO

El levantamiento de información y muestras en un emplazamiento contaminado debe considerar los aspectos relacionados con el riesgo a la salud y la seguridad del personal que interviene en su desarrollo, así como de la población local si la hubiere y que puede verse afectada, debiéndose tener en consideración los siguientes aspectos:

- Considerando que las muestras pueden tener propiedades tóxicas, corrosivas, explosivas e inflamables, debe evitarse el contacto a través de la piel o las mucosas. Una protección mínima implica el uso de gafas de seguridad, de guantes de látex o de otro tipo (dependiendo de los potenciales contaminantes), de botas aislantes, protectores auditivos, ropa adecuada y uso de explosímetros.
- Acciones de contingencia frente a ingestión accidental de medios contaminados (suelos, aguas, alimentos, etc.)
- Inhalación de gases o vapores presenten o que se desprendan durante el muestreo pudiéndose emplear mascarillas y respiradores de oxígeno cuando el muestreo se realiza en pozos o áreas cerradas, y en cúmulos de residuos químicos, para ello deberán usarse detectores automáticos de gases, tubos colorimétricos.
- Prevención a la exposición a peligros físicos durante las actividades de muestreo y/o uso de la maquinaria y equipos tales como detectores de canalizaciones y tuberías enterradas.
- Exposición a riesgos eléctricos, fuego o explosiones, para ello es necesario el uso de ropa protectora especial.

Se deberá seguir los procedimientos, protocolos y directivas que están establecidas en las normas sobre seguridad e higiene a nivel nacional.



## 5. DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

### 5.1. Consideraciones generales

La hipótesis planteada acerca de la distribución espacial de la contaminación en el emplazamiento debe orientar la distribución y selección de los puntos de muestreo, de allí que sea pertinente la división de la zona en estudio en áreas de potencial interés en función a la probabilidad de encontrar contaminación.

Se debe identificar aquellas áreas que presenten una distribución similar en cuanto a la contaminación (zonas con afectación localizada y zonas en las que se sospeche afectación no localizada), discriminadas de aquellas en las que se tiene constancia de que nunca fueron utilizadas con fines industriales dentro del emplazamiento (zonas no probable de afectación). Así el esfuerzo se debe centrar en las áreas donde haya mayor incertidumbre o mayor probabilidad de existencia de contaminantes y en la que la variabilidad de la distribución de la contaminación sea mayor.

### 5.2. Número mínimo de puntos de muestreo

Un punto de muestreo es la ubicación espacial geo-referenciada del lugar donde se va a coleccionar las muestras sean éstas superficiales o en profundidad.

#### 5.2.1. Para el Muestreo de Identificación

El número mínimo de puntos de muestreo se determina en función de cada área de potencial interés dentro del predio de estudio, según lo establecido en la Tabla N° 5, que abarca el número total de los puntos de muestreo, tanto superficial (área de toma de muestras compuestas) como de profundidad.

Tabla N° 5: Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo de Identificación

Área de potencial interés (Ha)	Puntos de muestreo en total
0,1	4
0,5	6
1	9
2	15
3	19
4	21
5	23
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Nota: para áreas superiores a las 100 hectáreas se deberá determinar el número mínimo de puntos de muestreo con la siguiente ecuación:



$$N = 0.1X + 40$$

Dónde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo

X =Superficie en hectáreas

El número total puntos de muestreo estará distribuido entre puntos de muestreo superficiales y de profundidad. Dicha distribución estará en función de las características del sitio, de la distribución supuesta de los contaminantes y de las rutas de exposición en estudio.

### 5.2.2. Para el Muestreo de Detalle

El número de puntos de muestreo de detalle está en función a los objetivos señalados en el ítem 1.3.2, en el caso de que con el muestreo de identificación y los análisis correspondientes hayan determinado que el suelo está contaminado.

La representatividad del muestreo debe justificarse adecuadamente de forma técnica de acuerdo a las características del sitio.

Para asegurar una calidad mínima de la caracterización se requiere un **número mínimo de puntos de muestreo** adicionales en torno a los puntos provenientes del Muestreo de Identificación que hayan superado el ECA para suelos o los Niveles de Fondo (Ver Tabla N° 6).

Por ejemplo, en el muestreo de identificación se realizaron 10 puntos de muestreo de los cuales resultaron mediante análisis 4 que superaban el ECA Suelos o niveles de fondo, en consecuencia para el muestreo de detalle se requerirán, según Tabla N° 6, 9 puntos de muestreo adicionales.

El número mínimo de puntos de muestreo representan el "mínimo de calidad" y por ello en la ejecución de una caracterización deberán tomarse muestras de un número igual o mayor de puntos de muestreo. Solo en casos particulares el mínimo es adecuado, por regla común se requiere de un número mayor de puntos de muestreo.

**Tabla N° 6:** Número mínimo de puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle

Puntos del MI > ECA o Nivel de Fondo	Puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle
1	4
2	6
3	7
4	9
5	11
6	13
7	14
8	16
9	18
10	20
15	28
20	37
25	46
50	90

MI = Muestreo de Identificación



Cuando se requiera calcular un número mínimo de puntos de muestreo que no estén contemplados en la tabla se deberá utilizar la siguiente ecuación.

$$N = 1.75X + 2$$

Dónde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo en el Muestreo de Detalle

X = Puntos de muestreo del MI que superaban los ECA suelos o Niveles de Fondo

### 5.2.3. Para el Muestreo de Nivel de Fondo

En el caso del muestreo de fondo, se considera como punto de muestreo un área donde se obtendrán sub-muestras representativas para la conformación de una muestra compuesta. Como se señaló en el ítem 1.3.3, para el muestreo de fondo se considera un mínimo de tres puntos de muestreo en áreas homogéneas con características orográficas, geológicas, climáticas y de vegetación similares. En áreas de estudio heterogéneas con las características mencionadas, se deben duplicar el número de puntos de muestreo.

### 5.2.4. Para el Muestreo de Comprobación

El muestreo dependerá de las acciones de remediación ejecutadas conforme al PDS, en consecuencia se deberá tener criterios y protocolos que permitan abordar la variedad de dichas acciones.

En la presente Guía se ha considerado en el Ítem 1.3.4 los criterios para el muestreo de comprobación en actividades de remediación concerniente a excavación o remoción del suelo contaminado.

Para otras actividades de remediación, tales como técnicas de mitigación *in situ*, confinamiento, encapsulado, atenuación natural o restricciones de uso; la comprobación de la eficacia de su aplicación estará en función de las medidas propias de la técnica, en consecuencia se debe de tomar en consideración las recomendaciones de cada técnica.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

- INECC-CCA, (2010). Guía para Elaborar Planes de Muestreo Representativos. México p.43
- LFU-MERKBLATT (2010) 3.8/4: Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer, Stand: 15. Alemania .
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA- Ministerio de Medio Ambiente (2007) guía técnica de aplicación del RD 9/2005.Relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. Versión Web. [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion\\_ambiental/publicaciones/guia\\_tecnica\\_contaminantes\\_suelo\\_declaracion\\_suelos\\_tcm7-3204.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion_ambiental/publicaciones/guia_tecnica_contaminantes_suelo_declaracion_suelos_tcm7-3204.pdf).
- MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE- AGÊNCIA DE AGUAS (2011) Guía Nacional de Coleta e Preservação de amostras- Brasília 325 p.
- USDA (1993) Soil Survey Manual. Soil survey Division Staff. <http://soils.usda.gov/technical/manual/proposedchanges.html>.
- SAVAL S. (2011) Curso sobre Remediación de Sitos Contaminados. Encuentro Latinoamericano sobre Remediación de Sitos Contaminados.
- SABROSO G. C.; PASTOR E., A. (2004) Guía sobre Suelos Contaminados. CEPYME-Aragón, Gobierno de Aragón, España. 109 p.
- SEMARNAT (2003) Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. México, 21 p.
- SEMARNAT (2006) Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra NMX-AA-132-SCFI-2006.
- SEMARNAT (2010) Guía Técnica para orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitos Contaminados. México, 217 p.



## ANEXOS

### Anexo N° 1: Listado de contaminantes que posiblemente se encuentran en sitios donde se realicen actividades potencialmente contaminantes

RAMO	TIPO	PROCESOS ESPECÍFICOS	PRINCIPALES CONTAMINANTES
Cuero	Curtiembre	Procesos de tratamiento de cuero ovino, bovinos y equinos, particularmente curtido al cromo, nevado de ovinos (plomo), desengrase (Percloroetileno), pre tratamiento con biocidas y fungulcidas (Pentaclorofenol, entre otros).	COV, Fenoles, Formaldehido, MP, Hidrocarburos
	Peletería fina	Curtido de pieles finas con curtientes inorgánicos (cromo y arsénico).	COV, Fenoles, Formaldehido, MP, Hidrocarburos
Metalúrgica	Depósito de chatarra	Depósito y desguace de chatarra: artículos metálicos ferrosos y no ferrosos en desuso o averiados (ej: vehículos, equipamiento eléctrico). Quemadas, derrames y accidentes.	D&F, Fenoles, MP, PCB
	Fundición no ferrosa	Fundición de chatarra de plomo, bronce, estaño, aluminio, y otros metales no ferrosos.	COV, D&F, Fenoles, Ftalatos, MP, Hidrocarburos
	Galvanoplastia	Tratamiento de piezas metálicas, entre otros: Cromado y Pasivado (Cr), Cadmiado (Cd), Galvanizado (Zn), Niquelado (Ni).	D&F, Fenoles, HC, MAH, MP
	Industria Automotriz	Fabricación de automotores, motocicletas y bicicletas, o piezas para este fin (incluye procesos específicos como galvanizados).	COV, MP, Hidrocarburos
	Mecanizado	Torneado, fresado, rectificado, trefilado y otros procesos de mecanizado industrial de piezas ferrosas y no ferrosas	COV, D&F, Fenoles, Ftalatos, HC, MP, Hidrocarburos, agentes desengrasantes
	Siderúrgica	Fabricación de acero a partir de mineral o chatarra de hierro, incluye fundición de hierro, mecanizado de palanquilla de hierro y procesos de laminado. Productos de acero y aleaciones (Cr, As).	COV, D&F, Fenoles, MP, PAH, PCB, Hidrocarburos
	Transformadores y capacitores	Fabricación, reparación o mantenimiento de transformadores y capacitores eléctricos.	D&G, MP, PCB
Minerales no metálicos	Asbesto	Extracción de minerales de asbesto, y fabricación de artículos (ej: fibrocemento).	Asbesto, COV Fenoles, Ftalatos, MP
	Cerámico	Fabricación industrial de artículos cerámicos. Ej: uso de aditivos de ladrillos refractarios (AS, Cr).	MP
	Vidrio	Fabricación industrial de artículos de vidrio. Uso de aditivos: decoloración (As), vidrioado cerámico (Pb), pigmentos (Cd, Cr), espejos (Hg).	MP, Arsénico, Plomo, Cadmio, Cromo, Mercurio
Minerales metálicos	Extractiva	Minería y procesamiento de minerales metálicos. Ej: contaminantes metálicos presentes en los residuos.	COV, D&F, Fenoles, Ftalatos, MAH, MP, Hidrocarburos
Energía	Depósito de combustible	Sistema de almacenamiento de combustible (derivados del petróleo) para su distribución. Incluyendo las estaciones de servicio. Derrames y pérdidas y manejo de fondos de tanque.	COV, HC, Fenoles, MAH, MP, PAH, Hidrocarburos, BTEX, solventes, aceites y grasas.
	Derivados de petróleo	Fabricación de derivados de petróleo excluyendo las operaciones realizadas en refinería. Incluyendo la fabricación de alcohol, petroquímicos, lubricantes, entre otros.	Fenoles, Ftalatos, HC, MP, PBC, Hidrocarburos, BTEX, solventes, aceites y grasas.
	Refinería	Procesamiento de petróleo para la fabricación de combustible y otros derivados. Uso de aditivos y catalizadores (ej: Pb como antidetonante gasolina).	D&F, Fenoles, Ftalatos, MP, PCB, Hidrocarburos, BTEX, solventes, aceites y grasas.
	Usina de	Sistema de transformadores y condensadores eléctricos.	PCB, D&F



Guía para Muestreo de Suelos

RAMO	TIPO	PROCESOS ESPECÍFICOS	PRINCIPALES CONTAMINANTES
	transformación eléctrica	Mantenimiento o cambio de aceite dieléctrico. Derrames y otros accidentes.	
Textil	Terminación	Operaciones de limpieza y tratamiento especial de tejidos. Limpieza PCE (Solvente y agentes de limpieza). Teñido y estampado industrial de fibras (uso de colorantes, pigmentos y mejoradores del baño de tinción). As (mordiente). Textil CR (colorante. Medio de tinción).	COV, HC, Fenoles, Formaldehidos, Ftalatos, MAH, MP, Plaguicidas
Varios	Accidentes químicos	Vertidos no intencionales de sustancias y productos químicos durante su transporte y/o almacenamiento.	(varios)
	Soporte y mantenimiento de transporte aéreo, marítimo y terrestre	Puertos, aeropuertos y otras terminales de carga de pasajeros y mercancías. Talleres de reparación y mantenimiento ferroviario, aéreo, transporte carretero, entre otros.	COV, Fenoles, MAH, MP, PCB, Hidrocarburos, desechos aceitosos.
	Depósito de químicos	Depósito de productos químicos.	(varios)
	Fabricación artesanal de ladrillos	Manejo de residuos industriales y domésticos como combustibles o en la mezcla de composición del adobe (ej: viruta de cuero).	(varios)
	Lavanderías, tintorerías y actividades relacionadas	Operaciones de limpieza en seco mediante químicos (solventes y agentes de limpieza).	COVs como cloroformo y tetracloroetano, varios solventes
	Laboratorios	Institutos educacionales y de investigación	Ácidos inorgánicos, solventes, metales pesados, varios químicos
Residuos	Incinerador	Incineradores hospitalarios, crematorios y similares para la destrucción de residuos. Disposición final cenizas y materiales no combustibles tratamiento de aguas de lavado de gases.	COV, D&F, MP, Hidrocarburos
	Quemas	Quema a cielo abierto de conductores eléctricos y otro tipo de cables. Entre otros Pb (aislación), Cd (aislación plástica), D&F (no intencional).	COV, D&F, MP, Hidrocarburos
	Saneamiento	Sistemas de tratamiento de efluentes domésticos que integran efluentes de las actividades mencionadas anteriormente. Disposición final de barros.	(varios)
	Hospitales	Formaldehido, solventes, mercurio, óxido de etileno, químicos para quimioterapia, entre otros.	(varios)
	Rellenos de RSI	Disposición final de residuos industriales. Incluye el relleno de grandes depresiones naturales y/o artificiales con residuos industriales (canteras, bañados, lagunas, otras depresiones).	(varios)
	Vertederos RSU	Enterramiento de residuos urbanos. Incluye el relleno de grandes depresiones naturales y/o artificiales con residuos domésticos (canteras, bañados, lagunas, otras depresiones).	(varios)
	Tratamiento y reciclaje de residuos	Instalaciones o actividades informales para el tratamiento o clasificación de residuos peligrosos. Incluye: depósito y desguace de baterías plomo ácido, tratamiento y acondicionamiento de residuos de accidentes químicos, entre otros.	(varios)
Química	Baterías	Armado de baterías plomo-ácido. Pb (componente en placas, rejillas y electrolito), As (componente menos aleaciones Pb).	MP
	Caucho	Uso de aditivos en la fabricación de artículos de caucho, ebonita y caucho sintético.	Fenoles, Formaldehido, Ftalatos, MAH, MP, PCB, Hidrocarburos
	Celulosa	Fabricación de pasta de celulosa, fundamentalmente uso de productos clorados en el blanqueo.	COV, D&F, Fenoles, Formaldehidos, Ftalatos, MP, PCB, Hidrocarburos



## Guía para Muestreo de Suelos

RAMO	TIPO	PROCESOS ESPECÍFICOS	PRINCIPALES CONTAMINANTES
	Cloro, soda	Plantas de fabricación de cloro y soda caustica, particularmente proceso de electrolisis de salmuera con celdas de mercurio.	D&F, MP
	Fertilizante	Fabricación, formulación, envasado y/o depósito de fertilizantes fosfato. Cd (componente menor en minerales fosfato).	MP
	Papel y cartón	Disposición final de residuos de papel y cartón, y barros de sistema de tratamiento de efluentes.	CV, C&F, Fenoles, Formaldehidos, Ftalatos, MP, PCB, Hidrocarburos
	Explosivos	Fabricación de explosivos para uso civil o militar.	Fenoles, For4maldehidos, Ftalatos, HC, MP
	Pintura	Fabricación y formulación de pinturas, colorantes, pigmentos, barnices, plastificantes, tintas y otros afines. Hg (acetato de Fenil-Hg solvente, pigmentos), Pb (Octoato Pb secante, pigmentos, minio pintura antioxidante), Cr (pigmentos y colorantes), Cd (pigmentos y colorantes), As (pigmentos y colorantes).	COV, Fenoles, Ftalatos, HC, MP, PAH, Hidrocarburos, Metales (como cromo, cadmio, plomo y zinc), COVs, cloroformo, etil benceno, solventes
	Plaguicidas	Fabricación, formulación, envasado y/o depósito de plaguicidas (insecticidas, herbicidas, funguicidas, otros) de uso doméstico, agrícola, veterinario y forestal.	COV, Fenoles, Formaldehidos, HC, MP, PAH, Plaguicidas
	Plástica	Fabricación de artículos plásticos a partir de resinas, principalmente uso de aditivos y pigmentos (ej: Cd como estabilizante y pigmento, Cr como pigmento, estearatos y ftalatos de Pb como estabilizantes, PCB como pirorretardante).	COV, Fenoles, Ftalatos, MP, PCB, Hidrocarburos
	Productos inorgánicos	Síntesis química y formulación de productos inorgánicos. Fabricación de productos químicos de uso industrial agropecuario y doméstico.	(varios)
	Productos orgánicos	Síntesis química y formulación de productos orgánicos. Fabricación de productos químicos de uso industrial, agropecuario y doméstico.	(varios)
	Tratamiento de madera	Tratamiento industrial de madera, impregnación con preservantes (CCA, Pentaclorofenol, Creosota), arsénico, cromo, cobre.	COV, D&F, Fenoles, Formaldehido, Ftalatos, MP, PAH, Plaguicidas, Hidrocarburos
	Cosméticos	Producción de Cosméticos, y procesos secundarios como almacenamiento de insumos, productos caducados.	Metales pesados, solventes, ácidos.

Fuente: Guía Técnica para Orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados. SEMARNART – MÉXICO.

### Referencias de contaminantes:

**Asbestos:** Crisotilo, crocidolita, otros.

**COV:** Compuestos Orgánicos Volátiles

**D&F:** Dioxinas (Dibenzo-p-dioxinas policloradas) y Furanos (Dibenzofuranospoliclorados). Las emisiones no intencionales incluyen también PCB y HCB (Hexaclorobenceno)

**Fenólicos:** Fenol y Compuestos Fenólicos

**Ftalatos:** Grupo de sustancias Ftalatos

**HC:** Hidrocarburos Clorados

**MAH:** Hidrocarburos Aromáticos Monocíclicos (ej: Benceno, Tolueno, Xileno)

**PAH:** Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (ej: Benzopireno)

**MP:** Incluye alguno de los metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Pb, entre otros)

**PCB:** Bifenilos policlorados

**Plaguicidas:** Incluye carbamatos, plaguicidas clorados, organofosforados, piretroides, entre otros

**Hidrocarburos:** En sus diferentes fracciones

**Varios:** Incluye alguno de los anteriores



**Anexo N° 2: Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados**

Establece los pasos necesarios para el desarrollo de acciones que conduzcan a la determinación de los suelos contaminados en una secuencia que oriente hacia el logro de los objetivos trazados.

**Muestreo dirigido o a juicio de expertos**

Muestreo que se lleva a cabo sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y es evidente la extensión de la afectación.

**Muestreo estadístico**

Muestreo realizado de acuerdo modelos matemáticos, y se usa para comprobar de manera homogénea la presencia o ausencia y distribución de contaminantes en el suelo. El muestreo se realiza en toda el área posiblemente contaminada pudiendo hacerse de manera aleatoria estratificada y sistemática.

- a) **Sistemático:** también conocido como muestreo regular, en este tipo se reduce la variabilidad de las muestras debido a que su levantamiento sigue un patrón geométrico específico (retícula), tomando las muestras a intervalos regulares y cubren de forma uniforme el sitio a muestrear (Fig. 1 y Fig. 2). Es conveniente para estimar con precisión las zonas críticas, patrones espaciales en dos o tres dimensiones y tendencias, calcular volúmenes de material contaminado y no requiere de conocimiento previo del sitio.
- b) **Aleatorio estratificado:** cuando se dispone de información previa y el sitio presenta características geográficas diferenciadas, es necesario estratificar o subdividir en subgrupos las muestras que tienen homogeneidad en el terreno y en cada estrato se aplica un muestreo aleatorio simple de manera independiente.
- c) **Aleatorio simple:** recomendado para áreas homogéneas menores a 5 hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la extensión del sitio. Se caracteriza por permitir todas las combinaciones posibles de puntos de muestreo. Los puntos de muestreo se enumeran en un plano cartesiano (Xi, Yj). La selección de éstos se realiza por medio de una tabla de números aleatorios lo cual garantiza que cada punto tenga la misma probabilidad de ser seleccionado.

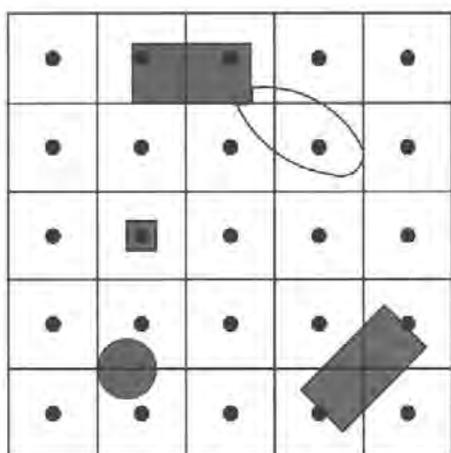


Fig.1. Esquema de distribución sistemática de puntos de muestreo utilizando una malla cuadrada. Las áreas demarcadas son aquellas consideradas sospechosas de ser contaminadas.

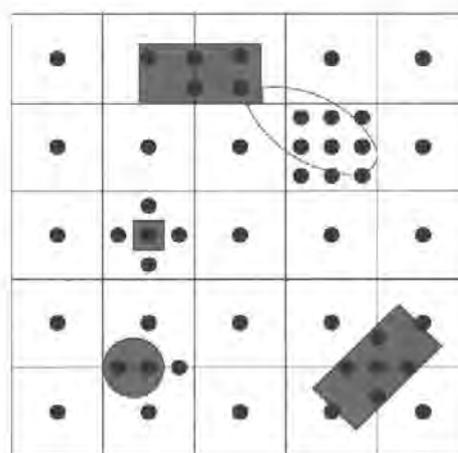


Fig.2. Esquema de distribución sistemática de puntos de muestreo y densificación de puntos previamente identificados como áreas sospechosas de contaminación (áreas sombreadas).



Los patrones de muestreo se refieren a las diferentes formas en las que se pueden distribuir los puntos de muestreo en el plano horizontal, para cada sitio en particular, conociendo sus características y el motivo del muestreo. En este anexo se refieren tres tipos de patrones de muestreo: con distribución uniforme, con distribución aleatoria y con distribución heterogénea.

**Patrones de muestreo con distribución uniforme:**

- Rejillas regulares
- Rejillas triangulares
- Rejillas circulares
- Sobre una línea
- Diagonales múltiples

**Patrones de muestreo con distribución aleatoria (éstos son referidos en muestreos estadísticos):**

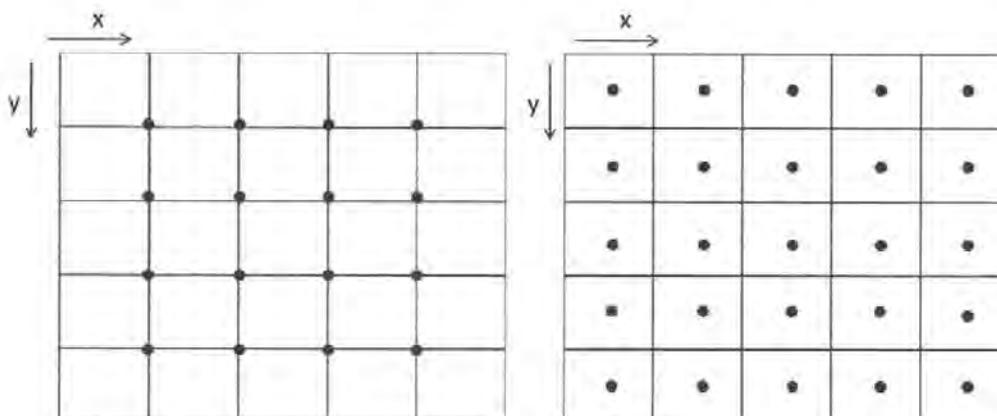
- Aleatorios
- Aleatorios en una rejilla regular
- Aleatorios desalineados en una rejilla regular

**Patrones de muestreo con distribución heterogénea:**

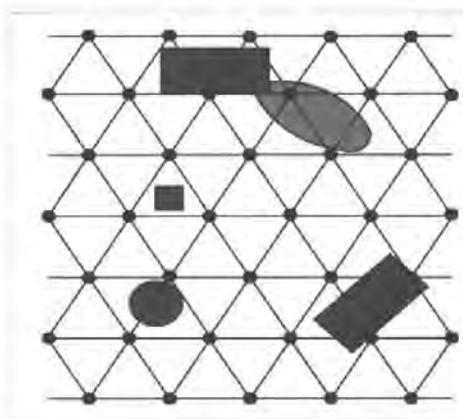
- Diagonal simple
- Diagonales cruzadas rotantes
- Irregular en forma de N, S, E o W
- Zigzag
- Zigzag transverso

A continuación se describen todos los patrones hasta ahora reportados, con la finalidad de que el lector pueda contar con elementos para decidir o rechazar su aplicación, según los objetivos del muestreo.

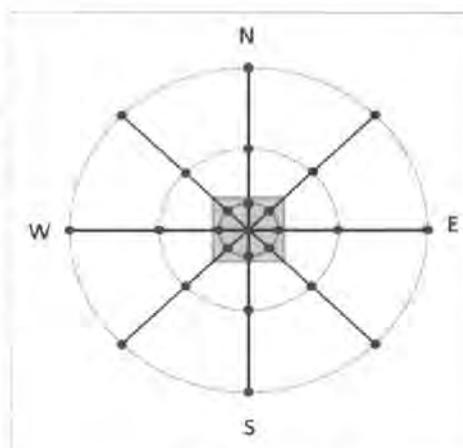
**Rejillas regulares.** En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas y perpendiculares equidistantes, permitiendo que todas las celdas tengan las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera las celdas son más pequeñas. Se marca un punto en cada celda, ya sea al centro o en las intersecciones, pero en todas las celdas los puntos deben quedar en el mismo lugar.



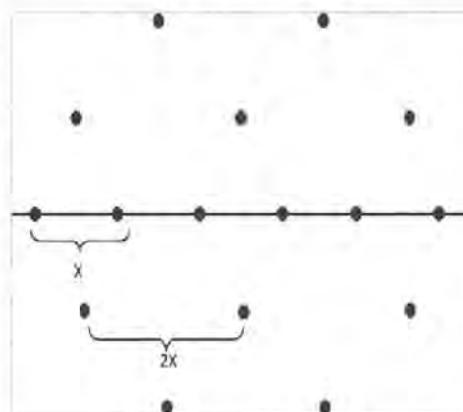
**Rejillas triangulares.** En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas equidistantes tratando de conformar triángulos equiláteros, todos con las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera la rejilla es más cerrada. Cuando en este patrón se marca un punto en el centro de cada celda, éste queda rodeado por 3 puntos que se encuentran a la misma distancia  $dx$ , entonces se puede calcular el radio no muestreado ( $r = (dx/3)(\sqrt{3})$ ), así como el área circular no muestreada ( $A = \pi r^2 = \pi dx^2/3$ ).



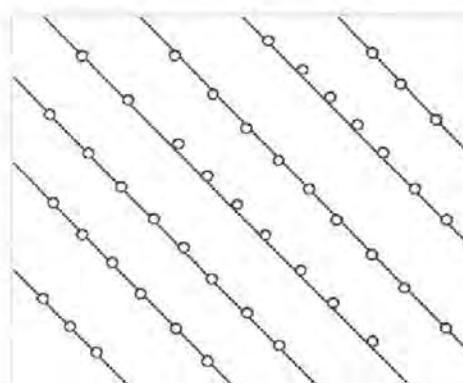
**Rejilla circular.** Es de utilidad para delimitar la zona contaminada en instalaciones donde existen tanques de almacenamiento o se conoce la fuente que corresponde a un solo punto. Para determinar la influencia se trazan círculos concéntricos, cuya separación es función del detalle que se requiera. Se trazan líneas rectas considerando los 8 puntos cardinales principales y se ubican los puntos de muestreo en las intersecciones. Se espera que con esta rejilla las mayores concentraciones de contaminantes se ubiquen en el centro.



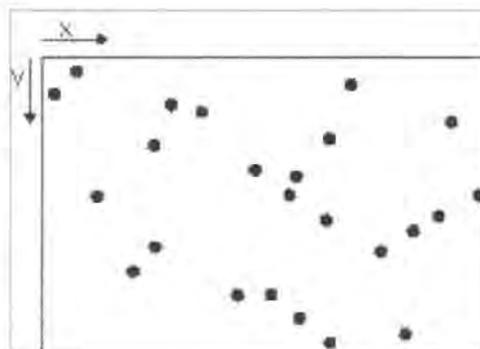
**Sobre una línea.** En el caso de que la contaminación siga una línea recta, como en aquellos referidos a fugas de ductos, los puntos de muestreo pueden ser marcados para cubrir la zona impactada y las zonas aledañas. Para ello se marca una línea recta sobre la tubería y puntos separados una distancia "x" y en líneas auxiliares paralelas se incluyen puntos traslapados, separados a una distancia "x", o "2x". Los puntos de las líneas auxiliares pueden estar salteados. La separación de las líneas auxiliares está en función del detalle que se pretenda para el estudio.



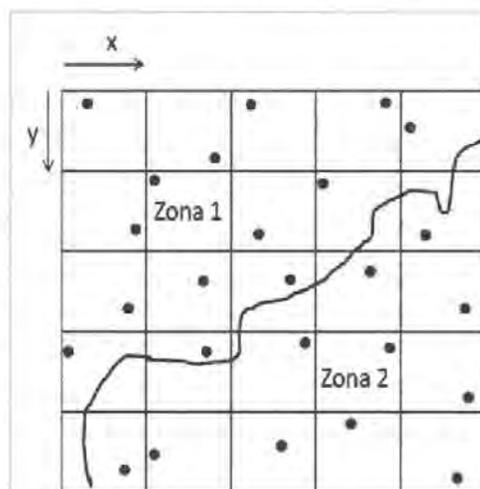
**Diagonales múltiples.** En el plano se traza una diagonal central y líneas paralelas, sobre las cuales se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Es deseable que la separación de las líneas sea similar a la distancia entre los puntos en una misma línea; entre mayor detalle sea requerido, las distancias serán más cortas.



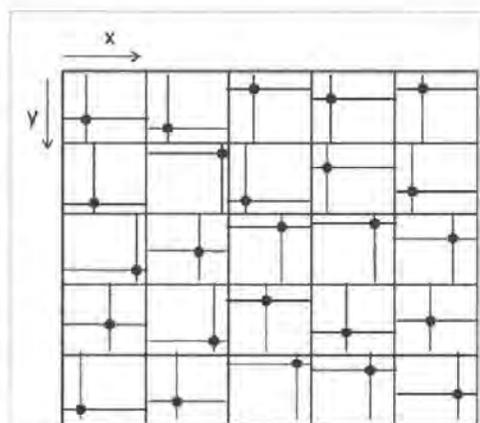
**Aleatorio.** Este es uno de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Los puntos de muestreo se eligen al azar, con ayuda de programas de cómputo o tablas estadísticas, no importa la distribución de instalaciones, ni los antecedentes del sitio. Este patrón es muy irregular, no sigue ninguna lógica. Pueden quedar manchas de contaminación en los espacios vacíos y pasar desapercibidas durante el muestreo.



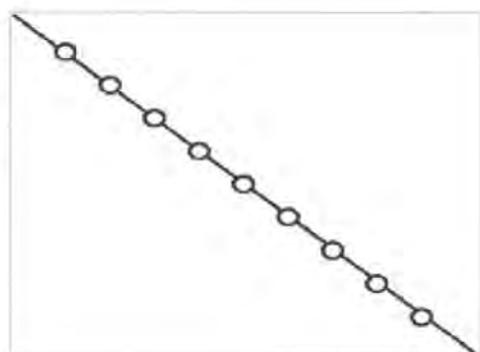
**Aleatorio sobre rejilla regular.** En inglés se conoce como "estratified". Este es otro de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Para marcar los puntos de muestreo se crea una rejilla regular en el plano, se elige un número igual de puntos distribuidos aleatoriamente en cada celda, con ayuda de una tabla de números aleatorios o con programas de cómputo; el plano se divide en zonas. Este patrón tiene la desventaja de que algunos puntos pueden quedar muy cercanos y otros muy alejados, en los espacios vacíos pueden pasar desapercibidas contaminaciones puntuales.



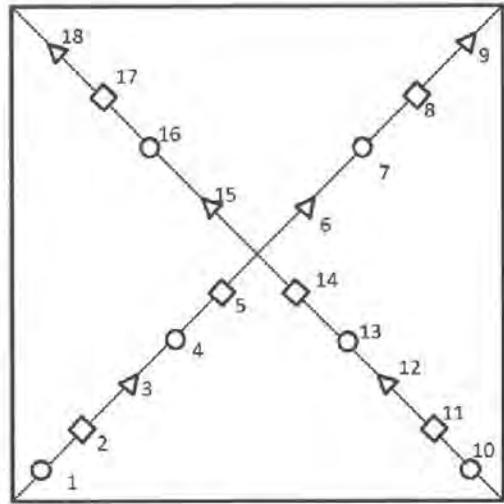
**Aleatorio desalineado sobre rejilla regular.** Este patrón es también empleado en los métodos estadísticos. Este patrón es similar al anterior, la diferencia radica en que en algunas celdas la coordenada "x" se mueve al azar, y en el resto de las celdas se mueve la coordenada "y", o viceversa. El patrón tiene las mismas desventajas que el aleatorio sobre rejilla regular, en el sentido de que algunos puntos pueden quedar muy cercanos y otros muy alejados, en los espacios vacíos pueden pasar desapercibidas contaminaciones puntuales.



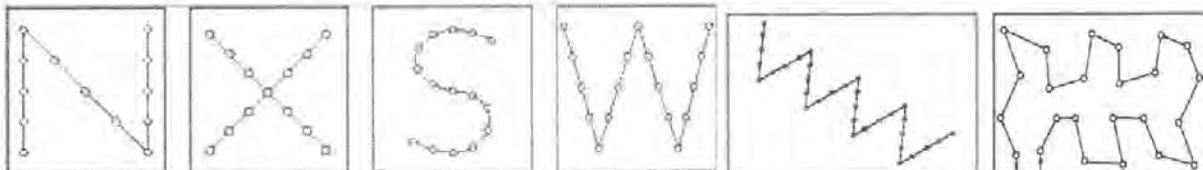
**Diagonal simple.** Sobre el plano se traza una línea diagonal, sobre la cual se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Este patrón no permite resultados representativos.



**Diagonales cruzadas rotantes.** Este patrón de muestreo es de utilidad en sitios que se deben estar monitoreando en forma permanente para obtener información de los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo aquellos donde se está dando seguimiento a una atenuación natural. Este arreglo se recomienda para superficies en forma cuadrada, sobre el plano se marcan dos líneas diagonales perpendiculares a partir de los vértices. Sobre cada línea se marcan los puntos de muestreo como se muestra en la siguiente figura, en los muestreos subsiguientes se hace una rotación de las diagonales de 45°, en el sentido de las manecillas del reloj, manteniendo fijo el punto central. De esta forma se pueden hacer 8 muestreos consecutivos para cubrir toda el área. Cuando las dimensiones y forma del área de estudio permiten acomodar varios cuadrados, será necesario tomar muestras de las intersecciones de los cuadrados, donde los puntos 9 y 10 del primer cuadrado están cercanos a los puntos 1 y 18 del cuadrado siguiente, respectivamente.



**Muestreo irregular en forma de N, S, X o W.** En superficies en forma cuadrada se dibujan las letras referidas y sobre las líneas se marcan los puntos de muestreo tratando de que sean equidistantes, sin embargo, estos patrones no permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.



**Zig-zag.** Sobre el plano, se dibuja una línea en zig-zag, y sobre ésta se marcan los puntos de muestreo, tratando de que sean equidistantes. Al igual que en el caso anterior, estos patrones no permite resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.

**Zig-zag transverso.** Sobre el plano se marca una línea en zig-zag irregular tratando de que cubra toda la superficie de estudio, y sobre ésta, se marcan los puntos de muestreo, tratando de que sean equidistantes. Estos patrones tampoco permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde pueden existir contaminaciones puntuales.

Para cualquiera de los patrones de muestreo que se pretenda aplicar, es muy importante contar con un plano acotado del sitio de estudio, con la finalidad de marcar los puntos y obtener sus respectivas coordenadas para posteriormente confirmarlos en el propio sitio con ayuda de un geoposicionador.

**Nota:** El geoposicionador puede tener errores importantes en áreas pequeñas por lo tanto en sitios que no son de grandes dimensiones es necesario recurrir a los levantamientos topográficos con estaciones totales para tener un buen grado de certidumbre



Anexo N° 3: Ficha de muestreo de suelo

**Datos generales:**

Nombre del sitio en estudio:	Departamento:
Razón social:	Provincia:
Uso principal:	Dirección del Predio:

**Datos del punto de muestreo:**

Nombre del punto de muestreo:	Operador: (empresa/persona):
Coordenadas: X: Y: (UTM, WGS84)	Descripción de la superficie: (pe. asfalto, cemento, vegetación)
Temperatura (°C):	Precipitación (si/no, intensidad):
Técnica de muestreo: (p.e. sondeo manual/semi-mecánico/mecánico, zanja, etc.)	Instrumentos usados:
Profundidad final: (en metros bajo la superficie)	Napa freática : (si/no, profundidad en m)
Instalación de un pozo en el agujero: (si/no, descripción):	Relleno del agujero después del muestreo: (si/no, descripción):

**Datos de las muestras:**

Clave de la muestra:									
Fecha:									
Hora:									
Profundidad desde: (en metros bajo la superficie)									
Profundidad hasta: (en metros bajo la superficie)									
Características organolépticas:									
Color:									
Olor:									



#### Anexo N° 4: Orientaciones para la elaboración de planos

El Levantamiento Topográfico comprende la geolocalización con GPS, de alta precisión para la elaboración de planos geo-referenciados en coordenadas UTM, en los que se señale los puntos de muestreo (perforaciones) que resulten necesarios para determinar el volumen del suelo contaminado y la profundidad de excavación. Debe incluir al menos lo siguiente:

1. Trazo y nivelación a base de equipo topográfico estableciendo ejes y referencias permanentes, debiéndose marcar referencias a nivel superficial horizontales y verticales,
2. La unidad de medida es el metro cuadrado (o el metro)
3. Se utilizará el sistema de proyección en coordenadas UTM
4. La utilización del equipo de GPS de alta precisión en el sitio deben estar incluido en la memoria fotográfica del sitio.
5. El levantamiento debe de estar ligado a la red geodésica nacional Activa del Instituto Geográfico Nacional.
6. Un banco de nivel en el sitio con GPS de alta precisión.
7. Deberán ubicarse en planos: la infraestructura existente en el sitio; la trayectoria de ductos, estructuras subterráneas (en caso de existir); colindancias y vías de comunicación aledañas; identificación de áreas contaminadas; curvas de nivel; establecimiento de banco de nivel y puntos de control al interior y fuera del predio; puntos de muestreo; modelos de distribución horizontal de la contaminación con los hidrocarburos y otros contaminantes.
8. En la elaboración de planos en AUTOCAD deberá considerarse lo siguiente:
  - a. Los planos no deben moverse de su origen.
  - b. Los planos no deben estar escalados.
  - c. Los planos (en particular el modelo) no deben estar rotados
  - d. Los ejes de los planos (en particular el modelo) no deben estar rotados.
  - e. Los planos deben de ser coincidentes en escala y forma con las fotografías aéreas.
  - f. Se deberá entregar un plano por separado exclusivamente con el límite del predio como polilínea cerrada.
  - g. Se deberá entregar los planos de edificaciones y estructuras por tipo (cada tipo de estructura en un layer, por ejemplo en un layer banquetas, en otro layer edificios, en otro layer drenajes) como polilíneas cerradas.



# MINISTERIO DEL AMBIENTE

Vice Ministerio de Gestión Ambiental  
Dirección General de Calidad Ambiental

## GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES DE DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS

En el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que aprueba los  
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

2014



## ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
I. GLOSARIO .....	3
II. INTRODUCCIÓN .....	6
1. FASE DE IDENTIFICACIÓN .....	8
1.1. EVALUACIÓN PRELIMINAR .....	8
1.1.1. INVESTIGACIÓN HISTÓRICA.....	9
1.1.2. LEVANTAMIENTO TÉCNICO DEL SITIO .....	11
1.1.3. MODELO CONCEPTUAL INICIAL.....	13
1.2. MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN .....	13
1.3. MUESTREO DE NIVEL DE FONDO.....	14
1.4. INFORME DE IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS.....	14
2. PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS .....	16
2.1. FASE DE CARACTERIZACIÓN .....	16
2.1.1. ESTRATEGIA PARA EL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN .....	16
2.1.2. MUESTREO DE DETALLE.....	16
2.1.3. EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD Y EL AMBIENTE .....	17
2.2. PROPUESTA DE ACCIONES DE REMEDIACIÓN .....	17
2.3. CONTENIDO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS .....	19
BIBLIOGRAFÍA .....	30
ANEXOS.....	31



## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Documentos de consulta y fuentes para la investigación histórica.....	9
Tabla N° 2: Posibles preguntas durante la entrevista .....	11
Tabla N° 3: Guía de aspectos y preguntas claves para el levantamiento técnico .....	12
Tabla N° 4: Estructura del Informe de Identificación de Sitios Contaminados .....	15
Tabla N° 5: Contenido de un Plan de Descontaminación de Suelos .....	19

## LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 1: Flujograma para elaboración de PDS.....	32
Anexo N° 2: Formato de cuestionario – Fase de Identificación .....	33
Anexo N° 3: Elementos orientativos.....	35
Anexo N° 4: Ejemplo de Esquemas del modelo conceptual.....	39
Anexo N° 5: Formato de tabla de presentación de resultados del Muestreo.....	41
Anexo N° 6: Orientaciones para el levantamiento topográfico .....	42
Anexo N° 7: Matriz de determinación para el análisis de alternativas de remediación .....	43

## LISTA DE ACRÓNIMOS

ERSA	Evaluación de Riesgo a la Salud y al Ambiente.
ECA	Estándar de Calidad Ambiental.
EO	Elemento Orientativo
IGA	Instrumento de Gestión Ambiental
IGP	Instituto Geofísico del Perú
INDECOPI	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.
LMP	Límite Máximo Permisible
MD	Muestreo detallado.
MI	Muestreo de Identificación o Exploratorio.
MF	Muestreo de Fondo.
MC	Muestreo de Comprobación
MINAM	Ministerio del Ambiente
PDS	Plan de Descontaminación de Suelos.
SISCO	Sistema de Información sobre Sitios Contaminados
UTM	Universal Transverse Mercator



## I. GLOSARIO

**Área de Potencial Interés:** Extensión de terreno sobre el que se realizarán efectivamente las labores de muestreo. Se trata de áreas identificadas durante la Fase de Identificación en las cuales existe alguna evidencia de potencial contaminación del suelo.

**Agua Subterránea:** Se consideran aguas subterráneas las que dentro del ciclo hidrológico, se encuentran en la etapa de circulación o almacenadas debajo de la superficie del terreno y dentro del medio poroso, fracturas de las rocas u otras formaciones geológicas, que para su extracción y utilización se requiere la realización de obras específicas.

**Autoridad competente:** Entidad del Estado del nivel nacional, regional o local que con arreglo a sus atribuciones y según lo disponga su normativa específica ejerce competencia en materia de evaluación de impacto ambiental, en el marco de lo establecido por la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, y demás disposiciones complementarias o modificatorias.

**Bioacumulación:** Concentración resultante acumulada en el ambiente o en los tejidos de organismos a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos por todas las rutas de exposición por ejemplo por aire, agua, suelo, sedimento y alimento.

**Caracterización de sitios contaminados:** Determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación.

**Contaminante:** Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.

**Evaluación de riesgos a la salud y el ambiente:** Es el estudio que tiene por objeto definir si la contaminación existente en un sitio representa un riesgo tanto para la salud humana como para el ambiente, así como los niveles de remediación específicos del sitio en función del riesgo aceptable y las acciones de remediación que resulten necesarias.

**Fracción de hidrocarburos F1 o hidrocarburos fracción ligera:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre cinco y diez átomos de carbono ( $C_5$  a  $C_{10}$ ). Los hidrocarburos fracción ligera deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasavión, gasolvente, gasolinas, gas nafta.

**Fracción de hidrocarburos F2 o hidrocarburos fracción media:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre diez y veintiocho átomos de carbono ( $C_{10}$  a  $C_{28}$ ). Los hidrocarburos fracción media deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, gasóleo, diesel, turbosina, queroseno, mezcla de creosota, gasavión, gasolvente, gasolinas, gas nafta.

**Fracción de hidrocarburos F3 o hidrocarburos fracción pesada:** Mezcla de hidrocarburos cuyas moléculas contengan entre veintiocho y cuarenta átomos de carbono ( $C_{28}$  a  $C_{40}$ ). Los hidrocarburos fracción pesada deben analizarse en los siguientes productos contaminantes: mezcla de productos desconocidos derivados del petróleo, petróleo crudo, combustóleo, parafinas, petrolatos, aceites derivados del petróleo.

**Materiales y residuos peligrosos:** Aquellos que por sus características fisicoquímicas y/o biológicas o por el manejo al que son o van a ser sometidos, pueden generar o desprender polvos, humos, gases, líquidos, vapores o fibras infecciosas, irritantes, inflamables, explosivos,



corrosivos, asfixiantes, tóxicos o de otra naturaleza peligrosa o radiaciones ionizantes en cantidades que representan un riesgo significativo para la salud, el ambiente o a la propiedad.

**Modelo Conceptual:** 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.

**Muestreo de Identificación:** Es aquel orientado a identificar si el suelo está contaminado o no. Entiéndase que toda referencia hecha al muestreo exploratorio en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, se entenderá como referida al muestreo de identificación.

**Muestreo de Detalle:** Es aquel orientado a identificar el área y el volumen del suelo impactado, y de ser el caso, de otros medios afectados por las sustancias señaladas en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

**Muestreo de Comprobación:** Es aquel orientado a comprobar si se alcanzaron con los ECA para suelo, los niveles de fondo, los niveles de remediación determinados en el ERSA u otros objetivos de remediación establecidos.

**Muestreo de Nivel de Fondo:** Es aquel orientado a identificar el nivel de fondo en el suelo.

**Nivel de Fondo:** Concentración en el suelo de los químicos regulados que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la actividad bajo análisis.

**Nivel de Remediación:** Concentración de un químico de interés determinado de manera específica para las condiciones del sitio, a través del estudio de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente.

**Plan de Descontaminación de Suelos:** Instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad remediar los impactos ambientales originados por una o varias actividades pasadas o presentes en los suelos. Los tipos de acciones de remediación que se podrán aplicar, sola o en combinaciones, son: acciones de remediación para la eliminación de los contaminantes del sitio, acciones para evitar la dispersión de los contaminantes, acciones para el control del uso del suelo, y acciones para monitoreo del sitio contaminado. La presentación del Plan de Descontaminación de Suelos no exime de la responsabilidad de elaborar y presentar ante la autoridad competente, los demás instrumentos de gestión ambiental propios de la actividad.

**Puntos de Exposición:** Lugares 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).

**Remediación:** Tarea o conjunto de tareas a desarrollarse en un sitio contaminado con la finalidad de eliminar o reducir contaminantes, a fin de asegurar la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas.

**Riesgo:** Probabilidad o posibilidad de que un contaminante pueda ocasionar efectos adversos a la salud humana, en los organismos que constituyen los ecosistemas o en la calidad de los suelos y del agua, en función de las características y de la cantidad que entra en contacto con los receptores potenciales, incluyendo la consideración de la magnitud o intensidad de los efectos asociados y el número de individuos, ecosistemas o bienes que, como consecuencia de la presencia del contaminante, podrían ser afectados tanto en el presente como en el futuro.

**Sitio contaminado:** Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones tal que en función del uso actual o previsto del sitio y sus alrededores represente un riesgo a la salud humana o el ambiente.



**Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

**Suelo contaminado:** Suelo cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM.

**Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

**Suelo comercial:** Suelo en el cual, la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

**Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual, la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

**Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas: incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.



## II. INTRODUCCIÓN

La Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos (PDS) establece lineamientos para la actuación de los titulares de actividades extractivas, productivas o de servicios, responsables naturales o jurídicos, públicos o privados de la descontaminación de suelos contaminados, y para lo cual deben elaborar el PDS como un instrumento de gestión ambiental<sup>1</sup>, conforme lo establece el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

La necesidad de la elaboración de un Plan de Descontaminación de Suelos, se deriva en general de la evidencia de que un sitio supera los ECA para suelo o los niveles de fondo, calificándose como suelo contaminado; siendo necesario para determinar esta condición el desarrollo de la evaluación preliminar del sitio y del muestro de identificación en las áreas de potencial interés.

Determinada la necesidad de elaboración de un PDS, procede el muestreo de detalle, el estudio de caracterización, y cuando corresponda el estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA), que junto a la propuesta de acciones de remediación forman parte integrante del Plan de Descontaminación de Suelos.

Todos estos estudios tienen como finalidad establecer las actividades a realizar en el sitio contaminado, causantes de los daños ambientales; los sucesos que condujeron a la contaminación del suelo, el subsuelo y la napa freática, las condiciones hidrogeológicas que prevalecieron en el sitio con base a informaciones documentales, si existen; así como las relaciones de posesión y uso pasado y presente del predio o predios en los cuales se localice el sitio contaminado.

De esta manera, para la aplicación de los ECA para suelo a todo proyecto o actividad que genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia, se identifican 3 fases claramente diferenciadas<sup>2</sup> según los objetivos que persiguen, éstas son:

- a) Fase de identificación (Previo a la elaboración del PDS)
- b) Fase de caracterización (Elaboración del PDS)
- c) Fase de remediación (Posterior al PDS)

Con este propósito, la Guía provee información para la identificación de suelos contaminados, así como para determinar la magnitud de la contaminación del suelo y definir las propuestas de acciones de remediación orientadas a eliminar los riesgos a la salud y el ambiente o reducirlos a niveles aceptables; incluyéndose además detalles del contenido del Informe de Identificación de Sitios Contaminados y del Plan de Descontaminación de Suelos, ambos a ser presentados a la autoridad competente.

La estructura de la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos (PDS) permite su aplicación por parte de los titulares de proyectos nuevos, actividades en curso, y para sitios contaminados en los que la autoridad competente o la entidad de fiscalización

<sup>1</sup> D.S. N° 08-2005-PCM, Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, Art. 62°

<sup>2</sup> Ver Anexo N° 1 Flujoograma para la elaboración del PDS



ambiental determine que no se cumplieron con los objetivos de remediación previstos en el instrumento de gestión ambiental.

La implementación de las acciones de remediación corresponde a la Fase de remediación, la cual queda fuera del alcance de la presente Guía.



## 1. FASE DE IDENTIFICACIÓN

La Fase de identificación, tiene por objeto determinar si un sitio supera o no los ECA para Suelo o los niveles de fondo. Para su desarrollo se debe realizar una evaluación preliminar que comprende la investigación histórica y el levantamiento técnico del sitio; y sobre esta base se ejecuta el **muestreo de identificación o exploratorio**. Los parámetros que se analicen serán aquellas sustancias químicas de interés toxicológico o ecotoxicológico generados por la actividad presente o pasada, en el sitio de estudio.

### 1.1. EVALUACIÓN PRELIMINAR

La condición actual de un sitio es consecuencia de las actividades que en el mismo se han desarrollado. El conocimiento de su historia permite resolver si es necesario continuar con las siguientes etapas de investigación que confirmen o descarten la contaminación en el suelo.

Una forma eficaz de obtener evidencias de contaminación del suelo es a través de una investigación histórica del sitio y sus actividades. En esta sección se brindan procedimientos y criterios para ejecutar esta tarea.

La evaluación preliminar, tiene como objetivo recopilar, complementar y validar información requerida para determinar:

- Las áreas de potencial interés,
- Los parámetros a ser analizados en los suelos,
- Los esfuerzos de muestreo, entre otros.

Este proceso permite reconstruir detalladamente el pasado del sitio para:

- Confirmar los indicios que clasifican al sitio como potencialmente contaminado (denuncias, uso de suelo industrial o disposición de residuos, etc.).
- Conocer las operaciones desarrolladas (principales y secundarias o auxiliares) en el sitio para definir la naturaleza de la potencial contaminación, los contaminantes, las distintas rutas, vías de exposición y los efectos adversos observados en el ambiente o los efectos potenciales que pudieran presentarse.
- Delimitar las áreas que pueden estar contaminadas y requieren de un Muestreo de Identificación (MI).
- Elaborar recomendaciones que orienten las etapas subsecuentes, en forma de un modelo conceptual y la definición del alcance del Muestreo de Identificación, y de ser el caso las recomendaciones específicas para investigaciones técnicas (caracterización).

#### Procedimiento secuencial de la evaluación preliminar y planeamiento estratégico

- Identificar fuentes primarias – las causas de la contaminación
- Caracterizar focos o fuentes secundarias – calificar la contaminación
- Definir las vías y rutas de exposición y receptores - propagación de los contaminantes y bienes a proteger (estimación del riesgo).
- Juntar la información y modelar los escenarios de exposiciones potenciales relevantes – desarrollo de un modelo conceptual inicial.



Escenario de exposición:



A través de la revisión de documentos y de entrevistas con referentes calificados, el investigador deberá hacer los mayores esfuerzos en conocer la evolución cronológica de los usos del suelo hasta el presente. Para optimizar ambas tareas, se sugiere definir una estrategia de búsqueda y fijar plazos convenientes. En el Anexo N° 3 se brindan algunos Elementos Orientativos (EO) para el desarrollo de la evaluación preliminar.

Toda la información recopilada ha de ser usada para la preparación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados.

#### 1.1.1. INVESTIGACIÓN HISTÓRICA

Esta tarea consiste en reunir y revisar documentos sobre el sitio y sus actividades, para obtener la siguiente información:

- Evolución cronológica de los usos y ocupación del sitio
- Tipos y ubicación en el sitio de los principales procesos productivos y operaciones desarrollados en cada actividad.
- Características y gestión de las emisiones a la atmósfera, efluentes líquidos y residuos sólidos generados por cada actividad.
- Eventos significativos ocurridos en el sitio, que pudieran haber provocado un impacto sobre el mismo.

No es común encontrar registros específicos sobre el sitio, pero el investigador deberá consultar la mayor cantidad de fuentes para obtener un conocimiento amplio, contrastar estos datos y validarlos. En la Tabla N° 1 se presenta una lista de algunos documentos que se pueden consultar y la información relevante a obtener.

**Tabla N° 1: Documentos de consulta y fuentes para la investigación histórica**

Tipo de documento	Información relevante
Mapas, planos, fotografías aéreas o imágenes satelitales de alta definición.	Ubicación del sitio, superficie ocupada, topografía e hidrología, usos del suelo en el sitio y su entorno para distintos años.
Registros geológicos e hidrogeológicos.	Características geológicas e hidrogeológicas locales y regionales, aptitud y usos locales del agua subterránea.
Revistas y libros que brinden referencias históricas sobre la localidad y sus actividades productivas.	Uso y ocupación del suelo en la localidad.
Registros de la actividad y producción industrial y agropecuaria.	Datos históricos de producción en las actividades de interés: materias primas y productos, volúmenes de producción,



Tipo de documento	Información relevante
	tecnologías y procesos.
Registros de disposición final de residuos sólidos municipales y peligrosos.	Localización de áreas de disposición final de residuos dentro y fuera del sitio.
Registros de incendios y accidentes químicos.	Identificación de áreas afectadas por accidentes en el sitio y su entorno
Registros de quejas y denuncias de vecinos (posibles perjuicios producidos por las actividades que se han desarrollado en el sitio).	Identificación de potenciales impactos ambientales generados por las actividades desarrolladas en el sitio.
Licencias y autorizaciones.	Identificación de procesos y operaciones, su ubicación dentro del sitio, potenciales impactos ambientales y de salud generados por las actividades desarrolladas en el sitio.
Registros de denuncias de accidentes laborales, intoxicaciones y otras afecciones a la salud vinculadas al sitio.	Identificación de potenciales impactos en la salud generados por las actividades desarrolladas en el sitio.
Registro de conflictos laborales en las actividades desarrolladas en el sitio	Identificación de cambios en los procesos productivos (clausuras, suspensión temporal de actividades, cambios de tecnología, variación en volúmenes de producción), y en las condiciones de salud laboral.

Las fuentes de información histórica de un sitio pueden ser:

1. **Fuentes documentales oficiales:** Propietario del predio<sup>3</sup>, instituciones y entidades gubernamentales a nivel regional, y municipal para la obtención de los registros de agua, electricidad y drenaje, procedimientos por denuncias y sanciones, registro público de la propiedad.
2. **Fuentes documentales no oficiales:** Universidades, empresas consultoras, periódicos, revistas, registros de la empresa sobre los eventos relacionados con la contaminación en el sitio, expedientes, autorizaciones de construcción, permisos de descarga u otros.
3. **Fuentes no documentales válidas:** Como por ejemplo entrevistas a ex trabajadores y pobladores del sitio o empleados municipales.

**NOTA:** Tales documentos e informaciones pueden ser solicitados mediante comunicación formal, o acceso a la información pública por sus diversas vías. Es recomendable guardar constancia de las solicitudes de información y sus respuestas.

### Entrevistas

Las entrevistas son herramientas para buscar información que valide o mejore el conocimiento obtenido a través de la revisión de documentos, y de la inspección del sitio.

Frecuentemente, es la única forma de obtener información sobre las actividades debido a la ausencia de registros, y por lo tanto es el único paso substancial de la investigación. En cualquier caso, la revisión de documentos, las entrevistas y la inspección del sitio forman parte de un proceso interactivo de búsqueda y validación, que se retro-alimenta a medida que se va obteniendo mayor información.

<sup>3</sup> Diagramas de flujo de procesos y sus modificaciones a lo largo del tiempo, registros de producción, materias primas utilizadas, productos producidos, residuos generados, registros de ocurrencias fugas, layout, accidentes, identificación de las sustancias químicas de interés, entre otros.



Los entrevistados deberán ser referentes calificados por su relación con el sitio y las actividades, por ejemplo:

- Personas vinculadas directamente a las actividades desarrolladas en el sitio, actualmente o en el pasado: operarios, personal de jerarquía, representantes legales y empresarios, sindicatos, clientes y proveedores.
- Vecinos, propietarios, o habitantes actuales y anteriores del sitio.
- Historiadores, periodistas y otros referentes con amplios conocimientos de la localidad y su historia.
- Especialistas y referentes locales en la temática ambiental.

Es conveniente establecer previamente las consultas que se van a realizar durante la entrevista, para lo cual se sugieren las preguntas clave presentadas en la Tabla N° 2.

**Tabla N° 2: Posibles preguntas durante la entrevista**

*¿Cuál ha sido su relación con el sitio y las actividades?  
¿Qué actividades se desarrollan/ han desarrollado en el sitio? ¿Durante qué período?  
¿Qué personal emplea/ empleaba cada actividad?  
¿Conoce en la localidad alguna filial, sucursal o área de operaciones de estas actividades fuera del sitio?  
¿Quién es el propietario del sitio?  
¿Conoce alguna actividad similar que se desarrolle o se haya desarrollado en la localidad?  
¿El sitio ha sufrido modificaciones en su morfología? ¿Qué edificaciones se han construido, cuál ha sido su uso y donde están ubicadas?  
¿Han ocurrido accidentes y eventos notables concernientes a la salud ocupacional (incendios, derrames)?  
¿Cuáles eran/ son las emisiones a la atmósfera, los efluentes líquidos y residuos sólidos de las actividades?  
¿Cómo han sido/ son manejadas?  
¿Dónde se ubican los puntos de vertido de los efluentes líquidos de cada actividad?  
¿Han existido/ existen áreas de depósito, tratamiento o disposición final de residuos, por ejemplo, rellenos sanitarios, botaderos, etc.?  
¿Cómo se conducían/ conducen las aguas pluviales?  
¿El sitio ha sufrido/ sufre inundaciones?  
¿Los vecinos del sitio se han visto afectados y han presentado quejas por las actividades?  
¿Quién o qué institución podría brindar información adicional?  
Entre otras*

Es necesario dejar registro de todas las entrevistas para su consulta cada vez que sea necesario, y para que otros investigadores cuenten con este material. Para ello es útil tomar notas y, si es posible usar una grabadora cuando el entrevistado no presente objeciones.

### **1.1.2. LEVANTAMIENTO TÉCNICO DEL SITIO**

Luego de haber realizado la investigación histórica del sitio, se tiene un conocimiento general sobre la actividad desarrollada; pero no en todos los casos y por diferentes razones (ej. falta de registros o testimonios) es posible obtener información. Una vez agotadas las posibilidades y las fuentes de información, con base en la información recabada se debe realizar el levantamiento técnico del sitio (inspección del sitio).

El objetivo de esta etapa es obtener información precisa que sirva de sustento para la planificación del muestreo de identificación y de ser el caso, de la fase posterior de caracterización; para la identificación de los usos actuales del sitio y del entorno; los receptores humanos, ambientales y ecológicos; y la identificación de los usos pasados.

La inspección del sitio incluye entre otras cosas: el recorrido del sitio, la memoria fotográfica del sitio durante el recorrido, el levantamiento topográfico de los límites del predio o predios,



la localización de estructuras y construcciones, la identificación de todos los componentes, estructuras, instalaciones y obstáculos físicos que influyen en la localización de los puntos de muestreo, la descripción y localización de todas las áreas con antecedentes de manejo de sustancias potencialmente contaminantes, la descripción de las características hidrogeológicas del suelo con base a la información documental, la descripción de los depósitos, apilamientos o hallazgos de residuos depositados, entre otros aspectos relevantes del sitio.

El levantamiento técnico del sitio cumple varias funciones: confirmar y complementar la información ya recopilada, y recabar en la medida de lo posible la información faltante.

Antes de realizar la inspección al sitio, es necesario planificar la inspección, con el objetivo de centrar la atención en los aspectos claves a levantar.

Para cada sitio en particular, la información a levantar será diferente y específica dependiendo de la información previa obtenida. Para ayudar en la etapa de inspección, existen una serie de preguntas que deben responderse durante la inspección al sitio (ver Tabla N° 3 y Anexo N° 2), en el caso de que no se puedan responder todas las preguntas, es importante que se aclare si esto ha sido por falta de información disponible. Durante la inspección del sitio, es importante que se tomen registros fotográficos que acompañen la información levantada.

**Tabla N° 3: Guía de aspectos y preguntas claves para el levantamiento técnico**

- ¿Cómo se ingresa al sitio? ¿El acceso es controlado o está limitado?*
- ¿Qué actividades se observan en el sitio y su entorno al momento de la inspección? (recreativa, residencial, agrícola, comercial, industrial) ¿Está abandonado?*
- ¿Es un "área de paso" para vecinos?*
- ¿Existe cubierta vegetal del suelo?*
- ¿Cuál es la superficie aproximada del sitio?*
- ¿Existen construcciones en el sitio? ¿En qué condición se encuentran las instalaciones y cuál es su función?*
- ¿Existen evidencias de áreas de disposición final de residuos en el sitio? Ubicar y describir las áreas identificadas.*
- ¿Se observan residuos sólidos en áreas exteriores del sitio o al interior de edificios?*
- ¿Cuenta con equipos transformadores o capacitores? (Año de fabricación)*  
*Ubicar y describir las áreas identificadas. Identificar los residuos, las condiciones de depósito, y estimar su volumen.*
- ¿Existen evidencias de derrames en el sitio? Ubicar y describir las áreas identificadas.*
- ¿Existen tanques de combustible o de otros productos químicos en áreas exteriores o al interior de edificios?*
- ¿Hay personas habitando en el sitio? Describir esta población: N° de familias, distribución por edades, situación socio-económica, actividades laborales.*
- ¿Se crían animales para consumo humano en el sitio y su entorno? ¿Qué animales?*
- ¿Existen áreas de cultivo para consumo humano en el sitio y su entorno? Ubicar y describir las áreas identificadas.*
- ¿Existen cuerpos de agua próximos o que atraviesen el sitio? (ríos, lagunas, arroyos, cochas, etc.) ¿Cuál es su uso? (recreativo, pesca, consumo humano, etc.).*
- ¿Existen pozos de extracción de agua subterránea en el sitio o su entorno?*
- ¿Se utiliza el agua subterránea para consumo humano, de animales o productivo?*
- ¿Existen áreas recreativas y de reunión de niños<sup>4</sup> en el sitio o en el entorno? Ubicar y describir las áreas identificadas.*  
*Realice una descripción general de la topografía, morfología y vegetación del sitio.*  
*Entre otras preguntas.*



<sup>4</sup> Actividades recreativas como por ej. parques, y clubes deportivos, incluyendo instituciones educativas como guarderías y escuelas, etc.

En la inspección, se puede tomar como indicios:

- Ausencia de vida salvaje (pájaros y animales) y/o de vegetación
- Olores extraños
- Vegetación estresada o muerta
- Coloración o decoloración de suelos y pisos
- Impermeabilización deficiente
- Suelo retirado del local
- Amontonado en pilas
- Disposición de cilindros desordenadas
- Constatación de derrames o fugas.

### 1.1.3. MODELO CONCEPTUAL INICIAL<sup>5</sup>

Existen diferentes maneras de elaborar un modelo conceptual inicial del sitio, puede ser una descripción gráfica o una descripción esquemática de la relación entre la fuente de la contaminación y los receptores vulnerables potenciales las cuales van acompañadas de descripciones escritas.

El modelo conceptual incluye:

- Fuente de los contaminantes críticos seleccionados.
- Receptores de la contaminación.
- Rutas de exposición (mecanismos de transporte).
- Vías de exposición.
- Posible migración de los contaminantes de un medio físico a otro y su posible migración fuera de los límites del sitio de estudio.
- Otros factores de estrés diferentes a los contaminantes evaluados.
- Factores que modifiquen el efecto de los contaminantes sobre los receptores por ejemplo el estado nutricional de los organismos receptores, la temperatura, salinidad y pH del medio, presencia de materia orgánica, aporte de sedimentos.

En los modelos conceptuales iniciales se indican las posibles consecuencias negativas al ambiente y a las poblaciones expuestas a los contaminantes críticos. Durante el desarrollo del estudio de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente, el modelo conceptual inicial puede ser modificado con el propósito de que se incorporen nuevos elementos o se consideren solo aquellos elementos relevantes para la determinación de las acciones de remediación. Ver también Anexo 3 – Elemento Orientativo N° 7.

## 1.2. MUESTREO DE IDENTIFICACIÓN

El alcance del muestreo de identificación o exploratorio ha de quedar definido por los resultados y conclusiones de la evaluación preliminar. El muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los ECA para suelo y/o los niveles de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM.

Aquellas sustancias identificadas en los procesos principales, secundarios o auxiliares del sitio en estudio, que por el momento no se encuentran reguladas por el Anexo N° 1 del ECA para suelo, y que son considerados potenciales contaminantes, también deben ser analizadas como parte del Muestreo de Identificación.



<sup>5</sup> Ver Anexo N° 4

El diseño del plan de muestreo de acuerdo a lo que establece la Guía para muestreo de suelos, debe proporcionar información para identificar el número total de muestras necesarias a coleccionar en un área bajo condiciones específicas (distancia estimada de la fuente de contaminación, localización geográfica, condiciones climáticas, entre otros), para caracterizar de forma preliminar la dispersión de la contaminación. A lo largo del proceso de diseño de muestreo, la eficiencia del uso de tiempo, dinero, y los recursos humanos son consideraciones críticas para su elaboración.

Los resultados del muestreo de identificación servirán para el desarrollo del plan de descontaminación de acuerdo a lo que establece el artículo 10° del D.S. N° 002-2013-MINAM..

### 1.3. MUESTREO DE NIVEL DE FONDO

El objetivo de este muestreo es determinar la concentración de los químicos regulados por el ECA Suelo en sitios contiguos al área contaminada, los mismos que pueden encontrarse en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada, siendo aplicable a metales y metaloides.

Quando se trate de sitios con antecedentes de presencia natural de sustancias potencialmente tóxicas en el sitio en estudio, se deberá tomar muestras fuera del área de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer niveles de fondo de dichos contaminantes.

Para el desarrollo del muestreo de nivel de fondo aplicar la **Guía para muestreo de suelos**.

### 1.4. INFORME DE IDENTIFICACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

El informe consigna los resultados de la evaluación preliminar y del muestreo de identificación. En el caso de que los resultados del muestreo de identificación indicaran de que los valores del ECA para suelo y/o niveles de fondo hayan sido superados, el informe se ha de complementar con una propuesta de actividades para la ejecución de la fase de caracterización, la que puede incluir el estudio de evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA).

El informe debe ser remitido en versión física (el número de ejemplares será determinado por la Autoridad Competente) y en versión electrónica (PDF y formatos editables).

El informe debe incluir los resultados de los parámetros de interés que no estando regulados por el Anexo N° 1 del ECA para suelo, han sido evaluados; debiendo precisar los estándares internacionales tomados como referencia para estos parámetros en función al escenario de exposición (por ejemplo el uso del suelo o las matrices de interés). La Autoridad Competente evaluará la pertinencia de la aplicación del estándar internacional utilizado.



La estructura del informe se describe a continuación:

**Tabla N° 4: Estructura del Informe de Identificación de Sitios Contaminados**

CONTENIDO
<p><b>1. Información documental del predio (actual e histórico) (EO 1)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del sitio (nombre oficial y denominación popular)</li> <li>• Ubicación del sitio (incluye dirección y coordenadas geo-referenciadas)</li> <li>• Usos del suelo actual e histórico</li> <li>• Título de Propiedad, contratos de arrendamiento, concesiones, u otras</li> <li>• Mapa de Procesos</li> <li>• Cuadros de materia prima, productos, subproductos, residuos</li> <li>• Sitios de disposición y descargas</li> <li>• Informes de monitoreo dirigidos a la autoridad</li> <li>• Estudios específicos dentro del predio</li> <li>• Procedimientos administrativos a los que se vio sometido el predio</li> </ul>
<p><b>2. Características generales naturales del sitio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geológicas (estructura, estratigrafía, litología)</li> <li>• Hidrogeológicas</li> <li>• Hidrológicas (localización de pozos, datos de potenciometría, profundidad de nivel de agua, calidad del agua, zonas de recarga y descarga)</li> <li>• Topográficas</li> <li>• Datos climáticos (precipitación, temperatura, dirección predominante del viento, velocidad de viento).</li> <li>• Cobertura vegetal</li> </ul>
<p><b>3. Fuentes potenciales de contaminación (EO 2 y EO 3)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fugas y derrames visibles</li> <li>• Zonas de tanques de combustibles, insumos químicos, etc.</li> <li>• Áreas de almacenamiento de sustancias y residuos</li> <li>• Drenajes</li> <li>• Zonas de carga y descarga</li> <li>• Áreas sin uso específico, y otros</li> </ul>
<p><b>4. Focos potenciales (EO 4 y EO 5)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Priorización y validación</li> <li>• Mapa de los focos potenciales (mapa de riesgos)</li> </ul>
<p><b>5. Vías de propagación y puntos de exposición (EO 7)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características del uso actual y futuro</li> </ul>
<p><b>6. Características del entorno (EO 6)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes en el entorno</li> <li>• Focos y vías de propagación (agua subterránea, aire)</li> </ul>
<p><b>7. Plan de Muestreo de Identificación</b></p>
<p><b>8. Resultados del Muestreo de Identificación</b></p>
<p><b>9. Modelo Conceptual Preliminar (inicial) (EO 7+ fuentes y foco fuera del predio)</b></p>
<p><b>10. Propuesta de actividades en la Fase de Caracterización*</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluye el cronograma de actividades para la elaboración del PDS</li> </ul>
<p><b>11. Anexos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planos topográficos de la ubicación de puntos de muestreo, ubicando aquellas que superan los ECA para suelo y/o los niveles de fondo</li> <li>• Planos de las instalaciones (normalmente 1:10000), geo-referenciados y orto-correctos.</li> <li>• Memoria fotográfica</li> <li>• Documentos que sustenten la investigación preliminar</li> <li>• Entrevistas</li> </ul>

\* Sólo en el caso de que se excedan los niveles ECA para suelos o los Niveles de Fondo en la Fase de Identificación, se propondrá la propuesta de actividades de la Fase de Caracterización para el desarrollo del PDS.



## 2. PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS

Cuando se determine la existencia de un sitio contaminado derivado de las actividades extractivas, productivas o de servicios, el titular debe presentar el Plan de Descontaminación de Suelos (PDS), el cual es aprobado por la autoridad competente. El PDS abarca la fase de caracterización y las propuestas de acciones de remediación.

La **fase de caracterización** procede cuando los resultados de la fase de identificación determinan que se supera los ECA para suelo o los niveles de fondo. Tiene por objeto determinar la extensión y profundidad de la contaminación del sitio, y comprende el desarrollo del muestreo de detalle, el estudio de caracterización, el estudio de evaluación de riesgo a la salud y el ambiente (ERSA) cuando corresponda, que junto a la propuesta de acciones de remediación, conforma el **Plan de Descontaminación de Suelos (PDS)**, que debe ser presentado a la autoridad competente para su evaluación y aprobación.

### 2.1. FASE DE CARACTERIZACIÓN

Tal como se indicó está conformado por el estudio de caracterización, el muestreo de detalle y el estudio de evaluación de riesgo a la salud y el ambiente (ERSA) cuando corresponda.

#### 2.1.1. ESTRATEGIA PARA EL ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN

Con la información recopilada en la fase de identificación, y habiendo realizado el modelo conceptual inicial del sitio contaminado, se debe planificar el proceso de intervención para la caracterización del sitio, determinando las concentraciones de los contaminantes en el suelo, las posibles rutas de exposición, y en base a ello determinar la posible contaminación de componentes ambientales como aguas superficiales y/o subterráneas y la fase gaseosa del suelo en la atmósfera circundante. La aplicación de una planeación dinámica permite correcciones durante el proceso de caracterización conforme se va ganando conocimientos.

Objetivos principales de la estrategia de caracterización son:

- Determinar la profundidad y extensión de la contaminación del sitio en estudio.
- Comprobar o descartar sospechas de contaminación (sustancias y focos) fuera y dentro del sitio.
- Retroalimentar el Modelo Conceptual (ver Anexo N° 4), considerando las rutas, vías de exposición y los efectos en los receptores.
- Conocer la posibilidad de contaminación procedente de otras fuentes no asociadas al sitio.

Como resultado de la información generada, se establece la necesidad de continuar con los siguientes procesos de gestión de un suelo contaminado: la realización del ERSA (de ser el caso) y la propuesta de acciones de remediación.

#### 2.1.2. MUESTREO DE DETALLE

Tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para determinar el área y volumen (la distribución horizontal y vertical) de los contaminantes del suelo en las áreas de interés determinadas a través de la fase de identificación.



El muestreo de detalle, cuantifica y delimita las zonas de afectación del suelo y las plumas de propagación en el agua superficial o subterránea, tanto en espacio y tiempo, a partir del modelo conceptual redefinido. Caracteriza los medios en relación a factores que influyen en la liberación, migración y comportamiento de los contaminantes, a través de la delimitación y cuantificación de los focos; así el muestreo de detalle deberá también enfocarse a la determinación de las probables rutas y vías de exposición debiendo considerar los posibles puntos de exposición en el caso de que se lleve a cabo una ERSA.

### 2.1.3. EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD Y EL AMBIENTE

Es el estudio que tiene por objeto definir si la contaminación existente en un sitio representa un riesgo tanto para la salud humana como para el ambiente, así como los niveles de remediación (NR) específicos del sitio en función del riesgo aceptable y las acciones de remediación que resulten necesarias.

Los estudios de evaluación de riesgo a la salud y el ambiente (ERSA) no tienen como objeto el justificar la no realización de acciones de remediación, sino determinar técnicas de remediación aptas para mitigar los riesgos a la salud y el ambiente a un nivel aceptable. La ERSA se elabora a través del modelo conceptual del sitio, considerando la toxicidad, las características físico-químicas, la distribución, los mecanismos de liberación y de transporte de los contaminantes infiriéndose las posibles rutas y vías de exposición así como los receptores potenciales dentro del sistema.

De acuerdo a la Segunda Disposición Complementaria del D.S. N° 002-2013-MINAM, la elaboración del Estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente se realiza en base a la Guía para la elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente.

## 2.2. PROPUESTA DE ACCIONES DE REMEDIACIÓN

La propuesta de acciones de remediación se elabora con base en el estudio de caracterización de sitios contaminados y, de ser el caso, en el estudio de evaluación de riesgo a la salud y el ambiente (ERSA).

Los tipos de acciones de remediación que se podrán aplicar, sola o en combinaciones, son: acciones de remediación para la eliminación de los contaminantes del sitio, acciones para evitar la dispersión de los contaminantes, acciones para el control del uso del suelo, y acciones para el monitoreo del sitio contaminado.

Las acciones de remediación en orden de prioridad incluyen (entre otras):

1. Acciones físicas directas (tratamiento, remoción o destrucción de contaminantes) u
2. Otras soluciones para la gestión del riesgo (tales como la construcción de barreras físicas para el aislamiento o contención de los contaminantes, atenuación natural monitoreada etc.).

Estas acciones no necesariamente comprenden la aplicación de técnicas que reconviertan el sitio a sus condiciones originales (restauración), sino la remediación del suelo para un uso determinado en condiciones seguras.

Para la elección de las acciones de remediación se debe evaluar la viabilidad de las posibles alternativas de remediación y determinarlas en función al:



- Análisis de las mejoras técnicas disponibles
- Análisis de sostenibilidad de alternativas
- Análisis de Ecoeficiencia
- De ser el caso: Resultados de ensayos de laboratorio y/o ensayo piloto
- Análisis de costo/efectividad (opcional)

Más detalles para la elaboración del análisis de viabilidad se señalan en el capítulo 2.3.

Seleccionada una alternativa de remediación, para su ejecución se requiere de, una planificación detallada, considerando:

- Descripción detallada y representación gráfica de las acciones de remediación
- Plan de control y de monitoreo en la ejecución
- Plan de muestreo de comprobación
- Cronograma de ejecución de actividades
- Propuestas de medidas de seguimiento
- Estimación de costos

En la elaboración de las propuestas de acciones de remediación, se debe considerar entre otros, los siguientes puntos:

- Si se remueven los suelos contaminados durante los procesos de tratamiento, se almacenarán y manejarán en lugares o superficies, de manera tal que se evite la lixiviación y la filtración de contaminantes en suelos.
- Cuando las acciones de remediación se lleven a cabo en el sitio de la contaminación, se deberá contar con un sistema de captación de lixiviados y no deberán aplicarse proceso o medida de tratamiento alguno en el que se involucren soluciones de agentes químicos o biológicos que transfieran de manera descontrolada los contaminantes de un medio a otro.
- Cuando en las acciones de remediación se empleen métodos o técnicas que liberen vapores, se deberá contar con el sistema de captación correspondiente.
- Los polvos y gases que se emitan como resultado de tratamientos térmicos en la remediación no excederán las concentraciones establecidas en los ECA de aire y/o los LMP.
- La disposición final de los suelos tratados que hayan cumplido con los ECA para suelo, los NF y/o los NR establecidos, podrá realizarse en los sitios que de común acuerdo se establezcan entre la autoridad competente y el responsable.
- En caso de que el suelo contaminado haya sido excavado para su confinamiento, el sitio deberá ser rellenado con material semejante al de la localidad y conforme a la topografía del sitio.
- Cuando deba excavar o removerse el suelo contaminado para llevar a cabo las acciones de remediación, no deberá quedar remanente de contaminación en el sitio de acuerdo con los ECA para suelo, NF o los NR (de ser el caso) establecidos en la propuesta de remediación.
- La adición de microorganismos al suelo se realizará, únicamente, cuando se haya comprobado en campo su necesidad y eficacia.



Se considerará que los suelos son tratados a un lado del sitio (on-site), cuando el tratamiento se realiza sobre un área adyacente al sitio contaminado o sobre un área dentro del sitio contaminado, previa remoción del suelo y materiales semejantes a suelos.

Serán suelos tratados fuera del sitio (off-site), cuando se remueve el suelo y los materiales semejantes a suelos contaminados a un lugar fuera de aquél donde se ubican, para someterlos a tratamiento en instalaciones fijas autorizadas.

Son materiales semejantes a suelos todos aquéllos que por sus propiedades mecánicas, físicas y químicas presenten semejanzas con los suelos contaminados, tales como lodos de presas, lodos y sedimentos de cárcamos<sup>6</sup>, tanques de almacenamiento, entre otros.

### 2.3. CONTENIDO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS

En la Tabla N° 5 se presenta los elementos que forman parte del Plan de Descontaminación de Suelos, y documentos anexos.

Tabla N° 5: Contenido de un Plan de Descontaminación de Suelos

CONTENIDO
<b>1. Datos generales</b>
1.1. Nombre y/o Razón Social del que presenta el PDS
1.2. Nombre y firma del representante legal (en su caso)
1.3. Domicilio para recibir notificaciones
1.4. Datos de las empresas (consultoras, laboratorios, etc.) que intervinieron en la elaboración del PDS
<b>2. Estudio de Caracterización</b>
<b>2.1. INFORMACIÓN DEL SITIO CONTAMINADO</b>
2.1.1. Ubicación del sitio contaminado
2.1.2. Descripción del sitio contaminado
2.1.3. Uso actual del sitio contaminado
2.1.4. Descripción de las condiciones climáticas, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas
2.1.5. Levantamiento técnico y topográfico de las condiciones del sitio
<b>2.2. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DEL MUESTREO DE DETALLE</b>
2.2.1. Descripción del trabajo en campo
2.2.2. Resultados de campo
2.2.3. Resultados analíticos
<b>2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DISPONIBLES</b>
2.3.1. Modelo Conceptual
2.3.2. Estimación del área y volumen del suelo contaminado
2.3.3. Conclusiones y recomendaciones
<b>3. Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) - Opcional<sup>7</sup></b>
<b>4. Propuestas de Acciones de Remediación</b>
4.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA REMEDIACIÓN
4.2. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LAS ACCIONES (ALTERNATIVAS) DE REMEDIACIÓN
4.2.1. Análisis de mejores técnicas disponibles
4.2.2. Análisis de la sostenibilidad de las alternativas
4.2.3. Análisis de ecoeficiencia de las propuestas

<sup>6</sup> Fosa que se hace en el suelo para capturar agua pluvial o tratada para posteriormente ser bombeada a algún sitio.

<sup>7</sup> Basarse en la Guía para Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente



CONTENIDO	
4.2.4.	Resultados de ensayos de laboratorio y/o ensayo piloto
4.2.5.	Análisis de costo/efectividad (opcional)
4.2.6.	Propuesta seleccionada de acciones de remediación
4.3.	PLANIFICACIÓN DETALLADA DE LA PROPUESTA SELECCIONADA
4.3.1.	Descripción de las acciones de remediación
4.3.2.	Plan de control y de monitoreo en la ejecución
4.3.3.	Plan de muestreo de comprobación
4.3.4.	Plan de manejo de residuos
4.3.5.	Cronograma de ejecución de actividades
4.3.6.	Propuestas de medidas de seguimiento
4.4.	ESTIMACIÓN DE COSTOS
5.	Anexos
5.1.	Planos
5.2.	Plan de muestreo de detalle
5.3.	Documentación del muestreo de detalle
5.4.	Tablas y representación gráfica de los resultados
5.5.	Memoria fotográfica del sitio y de los trabajos efectuados (caracterización )
5.6.	Documentos de procesos administrativos
5.7.	Hojas técnicas y de seguridad de insumos

### Descripción del contenido del Plan de Descontaminación de Suelos

#### 1. Datos Generales

Los puntos del 1 al 4 son datos que no requieren mayor detalle.

#### 2. Estudio de Caracterización

##### 2.1. INFORMACIÓN DEL SITIO CONTAMINADO

##### 2.1.1. Ubicación del Sitio Contaminado

- Departamento, provincia, municipio, centro poblado, localidad.
- Si el sitio está localizado en un área urbana además: Urbanización y dirección.
- Si el sitio está localizado en un área rural: Nombre de localidad más cercana.
- Si el sitio se encuentra en una vía de comunicación: kilómetro en ducto o kilómetro en carretera o información similar.
- Se deberán establecer las coordenadas UTM (WGS 84) del polígono del predio en estudio en áreas industriales y dentro del polígono la localización de las áreas contaminadas.
- Se deberán establecer las coordenadas UTM (WGS 84) del polígono de todo el sitio contaminado en el caso de áreas no urbanas (por ejemplo concesiones mineras y lotes petroleros) geo-referenciados mediante polígonos con 9 puntos como mínimo.

##### 2.1.2. Descripción del sitio

Resultados del Informe de Identificación de Sitios Contaminados e investigaciones anteriores, debe considerar:

- Las características del terreno.
- Fechas relevantes como periodos de operación, fecha de cierre de operaciones, fecha de clausura u otras fechas importantes.
- Tipo de instalación.
- Motivo o causa de la contaminación de cada área afectada.
- Tipo de contaminante por área.



- *Residuos depositados en el sitio.*
- *Instalaciones remanentes en el sitio.*
- *Ordenamiento territorial: Zonificación urbana y/o clasificación de tierras*
- *Aspectos socio – económicos: Servicio básicos del entorno, sistemas de producción, acceso a servicio de salud e incidencia de enfermedades, percepción de la población sobre la contaminación del sitio.*
- *Área Natural Protegida: Si o no, nombre.*
- *Zona de veda y de protección de agua, señalar si pertenece a cabera de cuenca.*

#### 2.1.3. Uso actual del sitio contaminado

*Debe señalarse todas las actividades que se desarrollan en el sitio y/o los fines para los cuales se destinan las distintas áreas del predio.*

#### 2.1.4. Descripción de las condiciones climáticas, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas

*Descripción en base a información documental de las condiciones climáticas<sup>8</sup>, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas.*

#### 2.1.5. Levantamiento técnico y topográfico de las condiciones del sitio

*Incluye entre otras:*

- *El recorrido del sitio.*
- *El levantamiento topográfico (Anexo N°6) de los límites del predio o predios.*
- *La identificación y localización de todos los componentes, estructuras, edificios, cimentaciones y sus condiciones instalaciones superficiales y subterráneas existentes como drenajes, líneas de conducción, túneles, y obstáculos físicos que influyen en la localización de los puntos de muestreos.*
- *La descripción de todas las áreas con antecedentes de manejo de sustancias potencialmente contaminantes.*
- *La descripción de los depósitos, apilamientos o hallazgos de residuos depositados en el sitio.*
- *Existencia de un sellado superficial del sitio, tipo de sellado (por ejemplo asfalto, concreto, bloques, empedrados, etc.) y porcentajes de áreas selladas y áreas no selladas.*
- *Inclinación y morfología del terreno.*

### 2.2. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DEL MUESTREO DE DETALLE

#### 2.2.1. Descripción del trabajo en campo

- *Periodo de la realización del muestreo de detalle.*
- *Puntos y técnicas de muestreo (indicar profundidad y extensión).*
- *Número y listado de las muestras tomadas.*
- *Otros medios o matrices muestreadas (aguas superficiales y/o subterráneas, gases en el suelo).*
- *Justificación en caso de modificación o alteración de la ejecución del plan de muestreo de detalle.*
- *Mediciones en campo (técnicas, dispositivos utilizados, y parámetros de análisis).*

#### 2.2.2. Resultados de campo

- *Observaciones organolépticas.*
- *Perfiles edáficos y geológicos identificados.*

<sup>8</sup> Incluye: Precipitación media mensual, media anual, media estacional: temporada de lluvias, temporada de estiaje, temperatura media mensual, evaporación media, y dirección de vientos predominantes



- Niveles freáticos determinados en campo.
- Fuentes de contaminación observados en campo.
- Otras observaciones de campo, dependiendo de la técnica de muestreo.
- Resultados de las mediciones en campo (en caso de que una prueba de campo incluya toma de muestras, la presentación de los resultados se diferenciará de otros análisis de laboratorio).

### 2.2.3. Resultados Analíticos

Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes y otros parámetros químicos, físicos y biológicos en las muestras de suelos y otros medios o matrices en estudio (de ser el caso).

Los resultados son de fácil comprensión cuando se les resume ordenadamente en una tabla (Ver Anexo N° 5), que muestre:

- a) La denominación de la muestra.
- b) La fecha de muestreo.
- c) El punto de muestreo del cual fue extraída la muestra.
- d) La profundidad a la que fue tomada la muestra en metros.
- e) Los valores de concentración de los contaminantes que rebasan y los que no rebasan los valores establecidos en los ECA para suelos, y si la concentración está por debajo del límite de detección, indicar la abreviatura [ <LD ] "Debajo de Limite de Detección".

Otras informaciones relevantes, con respecto a los resultados analíticos que puede contener el informe, son:

- a) Método analítico por parámetro analizado.
- b) La fecha de ingreso al laboratorio.
- c) La fecha de análisis químicos.
- d) El número máximo de días para transporte y análisis indicado por el método de análisis.
- e) La preparación de la muestra efectuada.
- f) Los días de almacenamiento.
- g) La temperatura de almacenamiento.
- h) Diferencia de días entre muestreo y análisis.

Es importante recalcar que:

- Las hojas que emite el laboratorio acreditado de los resultados químicos individuales deben estar membretadas y firmadas; y
- La cadena de custodia que emite el laboratorio acreditado o el responsable del muestreo debe estar membretada y firmada.

## 2.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DISPONIBLES

### 2.3.1. Modelo Conceptual

De acuerdo a la fase de identificación, el modelo conceptual será retroalimentado, para ello se debe tomar en cuenta las siguientes actividades.

- Identificación de los contaminantes potenciales.
- Identificación y caracterización de las fuentes de contaminación.
- Identificación de los mecanismos de migración a través de los medios afectados (suelo, agua subterránea, agua superficial, biota, sedimentos y aire).
- Establecer las condiciones del nivel de fondo para cada medio afectado.
- Identificar y caracterizar los receptores potenciales.



- *Determinar los límites del área en estudio o las condiciones de contorno.*

*El nivel de complejidad de un modelo conceptual es definido por la complejidad del área y de los datos disponibles. Al iniciar la investigación de un área contaminada, el modelo conceptual debe ser definido lo antes posible.*

*Al final de la caracterización, el modelo conceptual deberá contener información suficiente para dar soporte al modelo de exposición que será adoptado de ser el caso en la evaluación de riesgo a la salud y el ambiente.*

*Todas estas informaciones que describen la liberación de los contaminantes, migración de los contaminantes y exposición de los receptores, deben ser descritas e integradas en el modelo conceptual, indicando las incertidumbres que permanecen presentes al final de su elaboración.*

*Con base en el refinamiento del modelo al final de cada etapa, evaluar si las incertidumbres resultantes llegaron a niveles aceptables para permitir una toma de decisión.*

*El modelo conceptual debe necesariamente identificar todas las informaciones que necesitan ser levantadas en la próxima etapa del proceso de investigación.*

*Investigación del nivel de fondo:*

- *Establecer la variación en la concentración natural en el suelo.*
- *Establecer la variación en la concentración natural, que puede ser atribuida a la fuente o a otras fuentes.*
- *Evaluar en cuánto la contaminación excede la concentración natural*

*Caracterización de la Fuente:*

- *Localización*
- *Límites*
- *Volumen*

*El posicionamiento de la fuente en los mapas debe ser preciso, incluyendo escala e indicación de orientación (norte; sur), caso disponible, la duración y tasa de liberación de contaminantes.*

*Identificar los caminos de migración de la contaminación:*

- *Distinguir entre caminos ya confirmados y potenciales.*
- *Mecanismos de liberación de los contaminantes de las fuentes primarias y secundarias.*
- *Mecanismos de transporte.*
- *Puntos de exposición.*

*Agua Subterránea<sup>9</sup> – contaminantes sólidos o líquidos que entraron en contacto con el agua subterránea:*

- *Espesor de la zona no saturada.*
- *Velocidad del agua subterránea.*
- *Presencia o proximidad de puntos de descarga, nacientes de agua, afloramientos, u otras condicionantes de flujo (preferencial).*
- *Flujos verticales acentuados (ascendente o descendente).*
- *Aguas artesianas.*
- *Pozos de bombeo.*



<sup>9</sup> En relación a las aguas subterráneas, el tema debe ser gestionado bajo los procedimientos que establezca la Autoridad Nacional de Agua y a falta de éstos, se aceptaran procedimientos reconocidos por entidades internacionales reconocidas.

*Descripción de la geología e hidrogeología (identificación de caminos preferenciales):*

- Agua superficial y sedimentos.
- Los valores de la permeabilidad de los estratos muestreados.
- Perfil del suelo (la sucesión de estratos).
- Cuerpo de agua en contacto directo con la fuente de contaminación.
- Mecanismo de transporte válido de la fuente para el cuerpo de agua.
- Análisis químicos que indican alteración de la calidad.
- La distancia desde la superficie del suelo al nivel del napa freática (aguas someras o cuerpos de aguas colgados) y/o al nivel del acuífero productor.
- Descarga de efluentes o drenaje superficial contaminado.
- Pluma disuelta o en fase libre descargando en el cuerpo de agua.
- En caso de una afectación en aguas subterráneas incluir: dirección del flujo dada a partir de las alturas piezométricas del sitio y el tipo de acuífero (confinado, semi-confinado, abierto, etc.).
- Grado de escurrimiento superficial, método de cálculo y memoria de cálculo.

*Aire:*

*Contaminación del suelo superficial o subsuperficial, agua subterránea, superficial, u otro medio capaz de liberar gases o partículas para el aire.*

*Fuente primaria que libera por el aire contaminación que alcanza otros medios.*

*Suelo:*

*Suelo contaminado que puede entrar en contacto con los receptores potenciales por contacto dérmico, inhalación de partículas o ingestión accidental.*

*Biota:*

- Bioacumulación
- Bioconcentración

*En el Anexo N° 4 se presenta ejemplo de esquemas de Modelo Conceptual.*

#### *2.3.2. Estimación del área y volumen de suelo contaminado*

*Estimar áreas o sub-áreas, la profundidad y el volumen del suelo contaminado, de ser el caso diferenciado por diferentes agentes contaminantes. Los resultados deben presentarse en tablas y planos.*

#### *2.3.3. Conclusiones y recomendaciones*

*Definidas las áreas y volúmenes de suelo contaminado, se determinan la necesidad de implementar acciones de remediación o complementar la fase de caracterización con el Estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente.*

### **3. Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) - Opcional**

*La Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) se elabora en base a la guía correspondiente.*

### **4. Propuestas de Acciones de Remediación**

#### **4.1. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LA REMEDIACIÓN**

*Los objetivos de la remediación tienen como finalidad asegurar, que al cumplir con la remediación no quede ningún riesgo inaceptable para la salud humana y/o el ambiente.*



Estos objetivos son en función del modelo conceptual, o de ser el caso la ERSA, considerando:

- Los ECA para Suelo, los niveles de fondo y/o los niveles de remediación establecidos por la ERSA.
- Potenciales riesgos de contaminación a otros medios (agua y aire).

En el caso de que sea previsible un futuro uso más sensible del sitio, por ejemplo un uso residencial o agrícola en una zona comercial/industrial, se debe considerar el uso futuro en la determinación del objetivo de remediación.

#### 4.2. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LAS PROPUESTAS DE ACCIONES DE REMEDIACIÓN

En el caso de que se consideren más de una alternativa de remediación, incluir el análisis realizado de la viabilidad de las diferentes propuestas de acciones de remediación.

En el desarrollo de las propuestas de remediación se deben excluir propuestas de acciones de remediación que no cumplan con los siguientes criterios:

- Obtención de los objetivos de remediación
- Factibilidad técnica
- Pertinencia jurídica

Es útil representar el análisis de viabilidad en una matriz de determinación, como la señalada en el Anexo N° 7.

El análisis de viabilidad de las propuestas remanentes debe considerar:

##### 4.2.1. Análisis de mejores técnicas disponibles, considerando

- La aptitud de la técnica con respecto a los contaminantes, tipo de suelos, materiales, y características del sitio.
- La eficacia con respecto al objetivo de la remediación.
- Impactos en las personas que se encuentran en el área de influencia.
- Requerimiento de autorizaciones relacionadas a la implementación de las acciones de remediación.
- Requerimientos de medidas de higiene y seguridad ocupacional.
- Opciones de acciones complementarias.

##### 4.2.2. Análisis de la sostenibilidad de las alternativas, considerando

- Necesidad de seguimiento de las acciones implementadas después de la remediación.
- Capacidad de vigilancia/monitoreo del sitio remediado (de ser necesario).
- Duración de las medidas, con respecto a la alternativa más eficiente.

##### 4.2.3. Análisis de Ecoeficiencia de las medidas propuestas, considerando:

- Generación, aprovechamiento y eliminación de residuos (durante la remediación).
- Consumo de energía.
- Generación de gases de efecto invernadero (GEI): CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>
- Consumo de recursos naturales: por ejemplo agua, suelo.

##### 4.2.4. Resultados de ensayos de laboratorio y/o ensayo piloto (de ser el caso).

- Diseño del ensayo piloto.
- Análisis químicos a realizar.



- *Plan de muestreo del ensayo piloto.*
- *Resultados del ensayo piloto y conclusiones con respecto a la viabilidad de la técnica de remediación bajo estudio.*

#### *4.2.5. Análisis de costo/efectividad (opcional)*

*Opcionalmente se puede presentar un análisis de costo/efectividad de las propuestas (alternativas) de remediación. Este análisis no tiene como finalidad excluir alternativas de remediación por costos altos, es más bien, un criterio pertinente en la comparación de dos alternativas de remediación, que resulten similares bajo los otros criterios de viabilidad.*

#### *4.2.6. Propuesta seleccionada de acciones de remediación*

*Recomendar y fundamentar una propuesta de remediación en base a los resultados del análisis de viabilidad.*

### **4.3. PLANIFICACIÓN DETALLADA DE LA PROPUESTA SELECCIONADA**

#### *4.3.1. Descripción de las acciones de remediación*

- *Nombre de la técnica o proceso de remediación.*
- *Orden de aplicación de las técnicas o procesos de remediación a aplicar.*
- *Áreas del sitio contaminado donde se aplicará cada técnica o proceso.*
- *Descripción de cada paso a realizar u operación unitarias que conforman el proceso de la remediación.*
- *Objetivos específicos a alcanzar en cada paso u operación de remediación.*
- *Diagramas de flujo de las operaciones a realizar durante la remediación que muestren los flujos de masa de suelos, de los contaminantes y de los insumos.*
- *Puntos críticos donde se pueden generar emisiones a la atmósfera, descargas de agua contaminada, subproductos y residuos peligrosos y los volúmenes aproximados de generación.*
- *Resultados de las pruebas de adecuación de campo de las técnicas de remediación especiales, en su caso.*
- *La indicación del destino final del suelo ya tratado dentro del predio y fuera del sitio.*
- *Descripción de obras civiles involucradas en la remediación en especial de aquellas que requieran mantenimiento para garantizar un nivel de riesgo aceptable.*
- *Especificaciones técnicas y de materiales para la aplicación de medidas constructivas de reducción de la exposición en especial las especificaciones constructivas de obra civil, las especificaciones de la calidad de los materiales utilizados en dichas obras y las especificaciones del plan de mantenimiento de dichas obras de ser necesario.*

#### *4.3.2. Plan de control y de monitoreo en la ejecución*

*Medidas de supervisión internas para garantizar la calidad y eficacia de las obras de remediación con respecto a:*

- *El manejo del suelo en la excavación, la separación y reposición.*
- *Tratamiento del suelo y de las aguas subterráneas, desgasificación o extracción de vapores del suelo.*
- *Medidas de seguridad e higiene ocupacional*
- *Muestreo y análisis de acompañamiento a las obras de remediación.*

#### *4.3.3. Plan de Muestreo de Comprobación*

*De conformidad con lo establecido en la Guía de Muestreo de Suelos:*

#### *4.3.4. Plan de manejo de residuos*



*El cronograma calendarizado de desalojo de los residuos incluyendo aquellos residuos que las operaciones o acciones de remediación pudieran generar (de ser el caso) y su manejo.*

#### 4.3.5. Cronograma de ejecución de actividades

*Cronograma calendarizado de los trabajos a realizar, incluyendo el programa de transporte, de reubicación o de movimiento de suelos.*

#### 4.3.6. Propuestas de medidas de seguimiento

*Plan de monitoreo después de las obras de remediación en los diferentes medios afectados, para probar la sostenibilidad con respecto a la eficacia de las acciones de remediación implementadas.*

### 4.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS

*Estimación de costos de remediación, considerando:*

- *Mano de obra*
- *Materiales, insumos y equipos*
- *Consumo de agua y energía*
- *Manejo, tratamiento y disposición de residuos*
- *Muestreo y análisis*
- *Servicios de ingeniería*
- *Planificación y supervisión*
- *Etc.*

## 5. Anexos

### 5.1. PLANOS<sup>10</sup>

*El número de planos requeridos debe basarse en los resultados obtenidos en función a los objetivos planteados en el Plan Descontaminación de Suelos. Los planos elaborados deben ser sinópticos y contar con la información relevante.*

*Todos los planos deben contener como información técnica: Nombre de proyecto, persona que solicita, autor, escala del plano, nombre del plano, fecha de elaboración, de verificación y de firma y orientación geográfica (N, S, E, O), geo-referenciados con coordenadas UTM (WGS 84) y orientación geográfica.*

- **Plano de ubicación del área en estudio** a nivel nacional y provincial.
- **Planos de Detalle**, a una escala tal que permita apreciar la información requerida.
- **Plano del área en estudio**, donde se muestren:  
*Los principales accidentes como lo son accidentes topográficos, carreteras, puentes, caminos, vías férreas, poblaciones más cercanas, asentamientos humanos más cercanos, ríos, lagos, u otros cuerpos de aguas superficiales cercanos cuando éstos existan. Predio o predios que conforman el sitio contaminado.*
- **Los planos de instalaciones**, considerando:  
*Instalaciones y equipos (presentes y pasados).  
Depósitos o almacenes de residuos, depósitos o almacenes de materiales peligrosos, Tuberías aéreas y subterráneas.  
Líneas de conducción de electricidad, agua y otros servicios, en caso de verse afectadas o ser necesaria su protección o transferencia durante las acciones de remediación.  
Caminos de acceso y de servicios.*



<sup>10</sup> Considerando lo establecido en Anexo N° 6

*Instalaciones o construcciones subterráneas de otra índole.*

- **Plano de ubicación de puntos de muestreo en el área en estudio**, considerando todos los puntos de muestreo disponibles (fase de identificación y de caracterización, de ser el caso de otros estudios):  
*Las características propias dentro del sitio y sus colindancias como caminos de acceso, calles, instalaciones, edificios, drenajes elevaciones de terreno (de ser necesario), etc.*  
*Áreas contaminadas y áreas no contaminadas de suelo.*  
*De ser el caso, cuerpos de agua superficiales afectados, aledaños al sitio.*  
*Los puntos de muestreo en el sitio con las denominaciones que se den en los resultados de los análisis químicos del contaminante.*
- **Planos isométricos de concentraciones y migración del contaminante en el suelo y subsuelo:** Planos que muestren la distribución de los contaminantes por estrato en dos dimensiones, geo-referenciados, a color, en los que se señalen los valores que rebasen los establecidos en el ECA suelo, o en su caso los niveles de remediación específicos del sitio determinados a través de un estudio de riesgos a la salud y el ambiente.
- **Planos isométricos de vista superficial y de vista lateral** de la migración del contaminante en suelo, subsuelo y napa freática.
- **Planos isométricos de vista superficial y de vista lateral** que muestren la estructura y estrato del suelo, subsuelo y napa freática.

#### 5.2. Plan de Muestreo de Detalle

El plan deberá ceñirse a los procedimientos establecidos en la Guía de Muestreo para Suelos, siendo el contenido principal:

- La definición de las responsabilidades y actividades del personal involucrado en cada procedimiento.
- La sustentación de la ubicación y el número de puntos de muestreo, la profundidad y el volumen de muestra a colectar.
- La estrategia y tipo de muestreo a realizar.
- Las técnicas, el equipo y los instrumentos a emplearse en el muestreo.
- Los resultados del levantamiento técnico del sitio.
- El tipo de los recipientes para conservar las muestras, el tipo y características de la preservación y conservación de las muestras a emplearse durante el transporte de las muestras al laboratorio.
- Los procedimientos de aseguramiento de la calidad incluyendo tipo de muestras para asegurar la calidad del muestreo, del transporte y de las pruebas analíticas.
- Las medidas de seguridad a seguirse durante el muestreo y manejo de muestras, lo suficientemente explicitadas para asegurar la calidad del muestreo y del personal.

#### 5.3. Documentación del muestreo de detalle

Incluye cadena de custodia, fichas de campo, certificados de laboratorio, entre otros.

#### 5.4. Tablas y representación gráfica de los resultados

Presentar los resultados de la fase de caracterización, considerando toda la información obtenida previamente de una forma sinóptica, en tablas, diagramas y representaciones gráficas.

#### 5.5. Memoria fotográfica del sitio y trabajos efectuados en la fase de caracterización



*Se refiere al archivo fotográfico que muestra las características relevantes del sitio con respecto a la evaluación de la contaminación y sus riesgos. La memoria fotográfica deberá cubrir:*

- *Los trabajos efectuados de perforación, en su caso.*
- *La toma de muestras.*
- *La forma de almacenamiento de la muestra.*
- *Edificaciones, en su caso.*
- *Infraestructura como son drenajes, líneas de conducción, instalaciones de servicios, y calles aledañas.*
- *Particularidades del sitio.*
- *Accesos al sitio y sus colindancias.*
- *Imágenes que muestren la extensión de los daños en suelos y edificaciones, accidentes topográficos, características especiales del sitio como arriba se señalan, medidas de emergencia/urgencia aplicadas, medidas de contención del peligro. Todas las imágenes deben estar numeradas y contar con explicación o referencia a pie de imagen.*

#### *5.6. Documentos de procesos administrativos*

- *Indicación de si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los mismos (cargo de recepción de la información cursada a la autoridad del agua).*
- *Licencias y/o permisos otorgados al predio para sus operaciones y procesos.*
- *Procesos sancionadores pasados o en curso.*

#### *5.7. Hojas técnicas y de seguridad de insumos*

*En el caso de aplicar sustancias químicas y/o biológicas (microorganismos) en la fase de remediación en el suelo, las aguas subterráneas y/o la fase gaseosa del suelo, se deben adjuntar las hojas técnicas y de seguridad de estas sustancias.*



## BIBLIOGRAFÍA

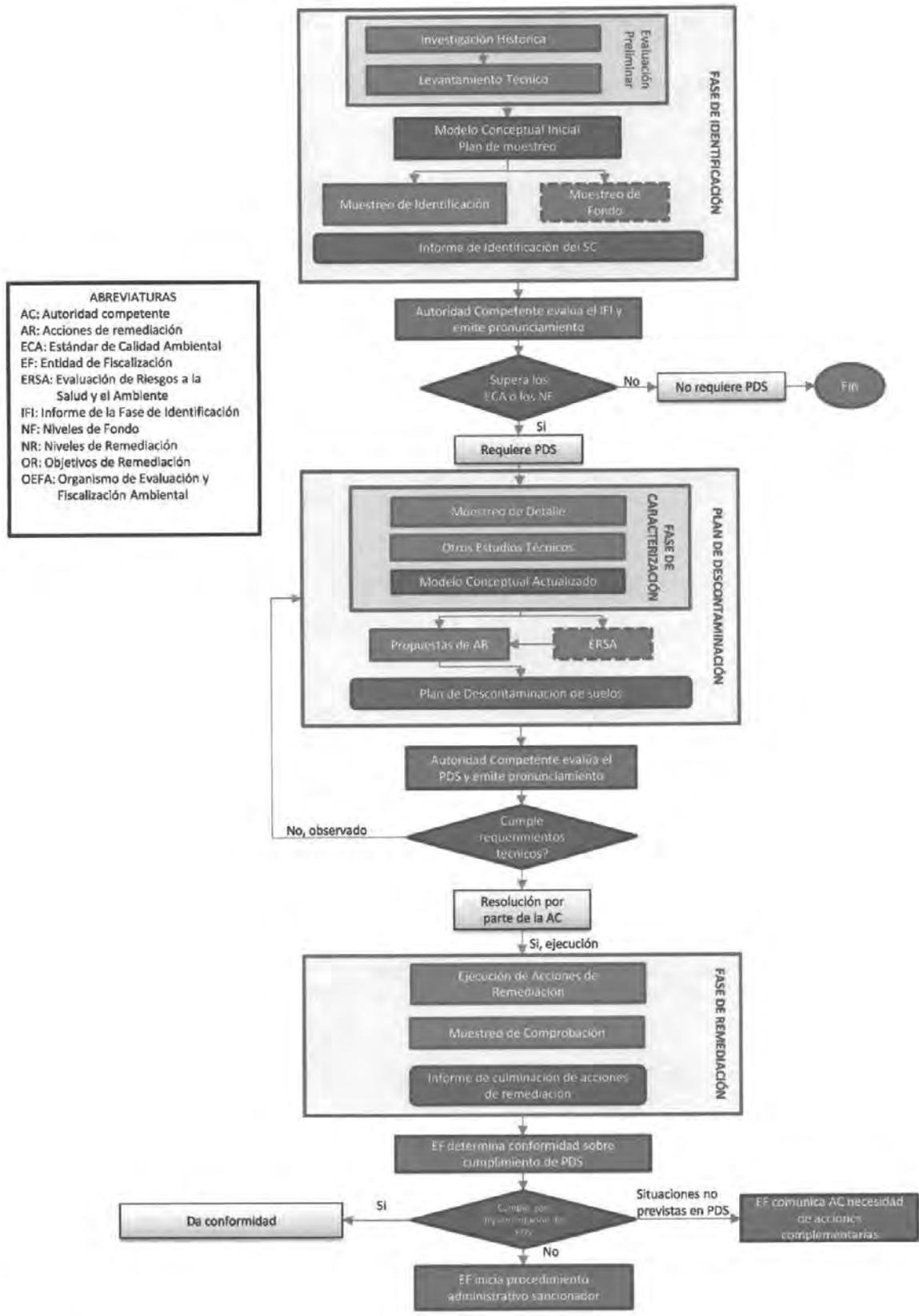
- Guía Técnica para Orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados. SEMARNART – MÉXICO. 2010.
- Guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados. Dr. Ulises Ruiz Saucedo. SEMARNAT- MÉXICO. 2006.
- Guía para la Identificación y Evaluación Preliminar de Sitios Potencialmente Contaminados. Ing. Quím. Pablo Gristo e Ing. Quím. Ana Salvarrey. DINAMA- URUGUAY. 2006.
- Guía Metodológica para la Gestión de Suelos con Potencial Presencia de Contaminantes. Fundación Chile. 2012.
- Avaliação preliminar do solos 5000. Projeto CETESB – GTZ. BRASIL. 1999.
- Amostragem do solo 6300. Projeto CETESB – GTZ. BRASIL. 1999.
- Módulo de capacitación: “Gestión de Sitios Contaminados. PhD. Geólogo Andreas Marker. Diplomado Internacional de especialización Avanzada en Gestión y Tecnologías Ambientales. SENATI. 2012.
- Petroleum Hydrocarbons And Chlorinated Hydrocarbons Differ In Their Potential For Vapor Intrusion. Office of Underground Storage Tanks, Washington, D.C. 20460. [www.epa.gov/oust](http://www.epa.gov/oust). EPA – Marzo 2012.



## ANEXOS



Anexo N° 1: Flujograma para elaboración de PDS



**Anexo N° 2: Formato de cuestionario – Fase de Identificación**

*Observación: Este cuestionario es un ejemplo que puede ser modificado, en función de cada situación particular según tipos de actividades/emprendimientos.*

**1. Datos e informaciones sobre el sitio y su histórico de uso**

**1.1. Histórico de la ocupación y uso**

**1.1.1. Propietarios conocidos:**

- a) .....
- b) .....
- c) .....

**1.1.2. Ramo productivo actual y pasado (marcar uso principal de periodo más largo)**

Actividad actual:..... a partir.....

Uso /actividad industrial anterior:.....desde.....hasta.....

Uso /actividad industrial anterior:.....desde.....hasta.....

**1.2. Informaciones complementarias**

**1.2.1. Existe licencia de funcionamiento?**

.....  
.....

**1.2.2. Relato sobre advertencias, infracciones y multas**

.....  
.....

**1.2.3. Relato sobre accidentes:**

.....  
.....

**2. Informaciones técnicas**

**2.1. Informaciones generales sobre el funcionamiento de la industria/ emprendimiento (USO PRINCIPAL MÁS LARGO)**

¿Cuántos empleados?

.....

¿Existen pozos, cisternas en el terreno?

.....

¿Se observan enfermedades ocupacionales durante el funcionamiento?

.....

**2.2. Informaciones sobre la producción, las materias-primas, los insumos y combustibles.**

¿Productos que salieron de la industria?

.....

¿Materia-prima, insumos y sustancias?

.....

¿Piezas de metal: pinturas o superficies galvanizadas?

.....

Hornos, fundición, tratamiento con calor, calderas? Dónde (anexar fotografías)

.....

**Emisiones atmosféricas:** Había chimenea? Salía humo de la fábrica

.....

**¿Líquidos/ combustibles:** Recipientes como tanques, bacías, baños?

.....



bomba y tanque de combustible? ubicación, anexas fotografías y llenar la tabla abajo

	<u>Recipiente</u>	<u>¿Contiene /qué líquido contenía?</u>	<u>¿Aún existe?</u>
1.	_____	_____	_____
2.	_____	_____	_____
3.	_____	_____	_____

**Casa de fuerza eléctrica/cabina primaria:** existe/ existía transformador? describir estado de conservación del piso

**Generador de electricidad:** tanque de combustible. Describir estado de conservación del piso

**2.3. Informaciones sobre residuos, efluentes y accidentes.**

Como han tratado y destinado los efluentes y sobras líquidas de la producción? Indicar la ubicación en los croquis, añadir fotografía.

Como han tratado y destinado los residuos y sobras sólidas de la producción? Indicar la ubicación en los croquis, añadir fotografía.

**Accidentes:** Pérdidas accidentales de líquidos o explosiones? dónde?

**2.4. Observaciones sobre inconformidades ambientales en el sitio**

Manchas en el piso en áreas diferentes de las descritas? Describir, marcar en el mapa

Pozo, recipientes, alcantarillas, aguas vertidas, canaletas, tubería con presencia de líquidos nocivos, aceites con olor químico? Describir, marcar en el mapa

**3. Croquis de la Planta Industrial (lay-out de la industria) y/o flujo grama**

Llevar una ampliación de foto aérea de gran escala para el campo para usar como base de anotaciones de los locales visitados en la industria y marcar los locales de disposición de residuos, depósitos/almacenes de materias-primas, insumos y combustibles, instalaciones de tratamiento de efluentes, de abastecimiento de energía (generadores, transformadores), calderas y unidades de producción.

**Alternativa:** diseñar los alrededores vecinos de la propiedad y la planta baja de los predios en el área libre abajo.



**Anexo N° 3: Elementos orientativos**

**ELEMENTOS ORIENTATIVOS – EOs:**

Son orientaciones para recolectar y sistematizar la información requerida para la evaluación preliminar del sitio contaminado. Son identificados como tablas y sirven para estructurar, paso a paso la información. Los evaluadores pueden optar por su uso o de otros elementos que los apoyen en la realización de la evaluación preliminar.

**ELEMENTO ORIENTATIVO N° 1: Eventos importantes históricos**

Año	Evento importante del desarrollo de las actividades industriales con relevancia al medio ambiente	Documento de referencia
1968	Ampliación de las calderas	Licenciamiento otorgado por ...
....	Salidas accidentales de efluentes	Multa establecida por...
	.....	.....

**ELEMENTO ORIENTATIVO N° 2: Resumen de información sobre los procesos productivos**

Unidades de proceso principales	Materia prima	Productos y subproductos	Insumos combustibles	residuos
Platos Granuladores a húmedo.	<b>1975:</b> Superfosfato simple– SSP; sulfato de amonio; cloruro de potasio; MAP; pirofilita; superfosfato triple TSP; Bórax; sulfato de zinc (1975). <b>1979:</b> Todos los anteriores + urea;+ DAP –diamonía fosfato; + sulfato de magnesio;+ sulfato y óxido de Zn	NPK granulados	vapor	
Lavado de tractores; mantenimiento y abastecimiento de vehículos y tractores; pintura y electricidad				Aceite diesel
Sección de insecticidas Molino Raymond	No determinado (Mención en 1972)			Sin evidencias, única mención en texto



**ELEMENTO ORIENTATIVO N° 3: Documentación de análisis fotogramétrico**

Rastreo de la historia de un sitio con la ayuda de fotos aéreas. Utilizando la metodología de análisis estereoscópico (3D) para mejorar la detección de elementos morfológicos (pozos, huecos, agujeros, montes, colinas, desmontes) en la foto (necesidad de pares de fotografías aéreas a una escala mayor de 1: 15.000, dependiendo del propósito del análisis). Análisis multi-temporal comparando los tiempos de varios de los sobrevuelos con el propósito de trazar el desarrollo de un sitio determinado en relación con su uso como sitio de producción industrial o sitio de descarte de residuos sólidos. Documentación en forma de tabla y el mapa y/o Superposiciones con foto. Investigación y calibración de campo.

En el caso de contar con la información para el análisis estereoscópico, se podrá usar imágenes satelitales de alta resolución, los cuales pueden ser analizados o verificados con información de campo.

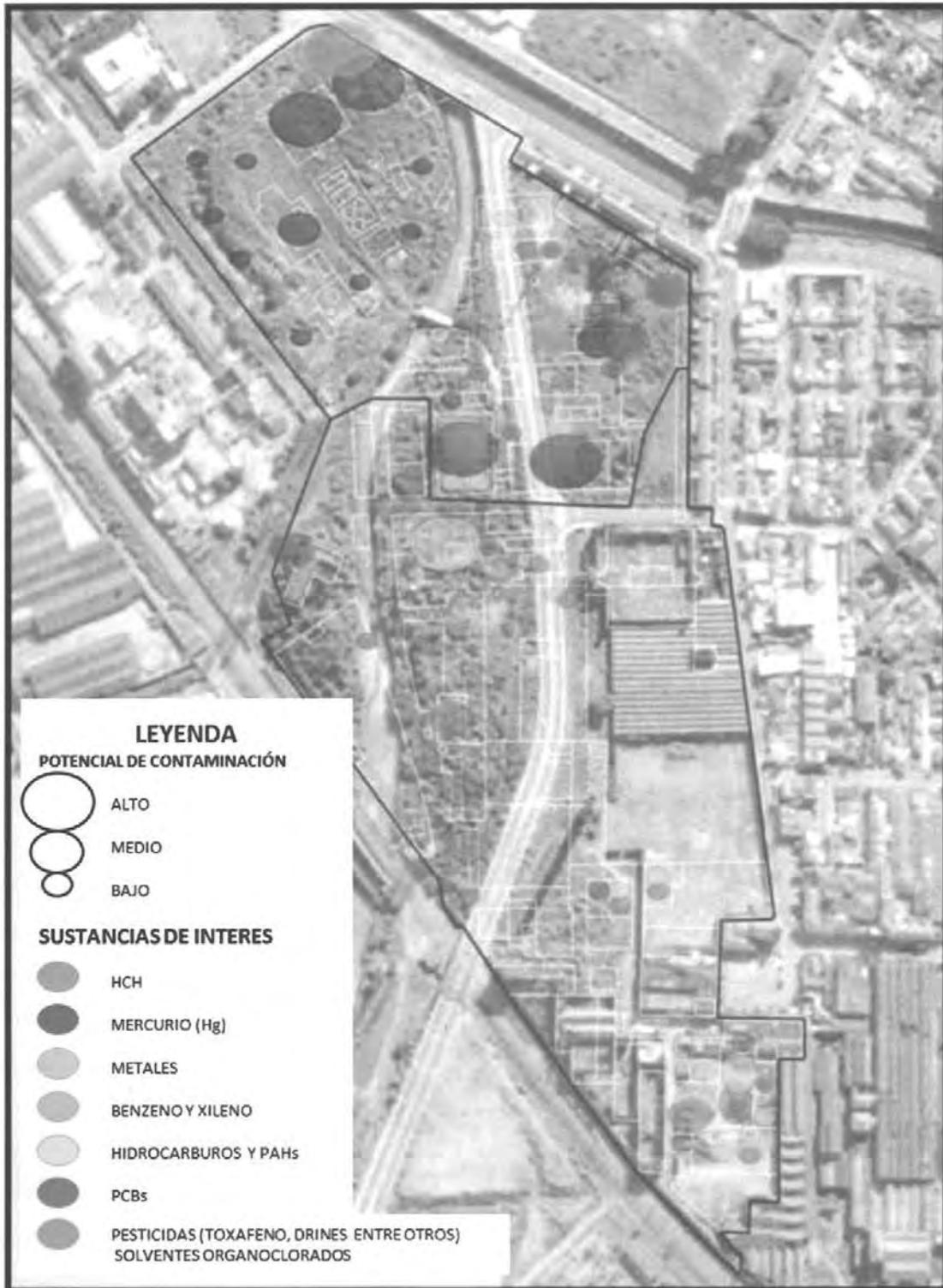
**ELEMENTO ORIENTATIVO N° 4: Caracterización y ponderación de focos potenciales**

Nivel evidencia	Descripción
<b>Confirmado</b> +++	El foco está probado en campo y su existencia se infiere del análisis de los procesos industriales (diagrama de flujo + planta baja). Ejemplo: se pueden observar manchas en el piso y el local aparece en la planta baja (lay out) como un área de desengrase de metales.
<b>Probable</b> ++	El foco sólo se menciona en el diagrama de flujo o plano, no hay indicios en el campo
<b>Posible</b> +/-	El foco se cita a menudo, sin mención específica. Ejemplo: la existencia de un local de desengrase se menciona en algunos documentos o en la entrevista, pero no aparece en el diagrama de flujo o de planta en la industria
<b>Sin evidencias (no confirmado):</b>	La evidencia es débil, sólo una mención o sugerencia

N. en mapa	Foco potencial	Substancia de interés + relevante	Clasificación según evidencia
39	Producción de Vicsafeno	Epicloridrina, toxafeno, (canfeno), tetracloruro de carbono,	+++
38	Antiguo depósito de benceno y xileno	Benceno y xileno	+++
	Antigua Producción de HCH	Isómeros de HCH, benceno, cloro	+++
22	Taller de baterías	Plomo, grasas	+/-



**ELEMENTO ORIENTATIVO N° 5:** Mapa de focos potenciales de contaminación y sus posibles sustancias de interés.



**ELEMENTO ORIENTATIVO N° 6:** Caracterización y ponderación de los focos potenciales fuera del predio

N. mapa	Foco potencial fuera	Substancia de interés + relevante	Clasificación seg. evidencia
39	Gasolinera	Hidrocarburos, gasolina, benceno	+++

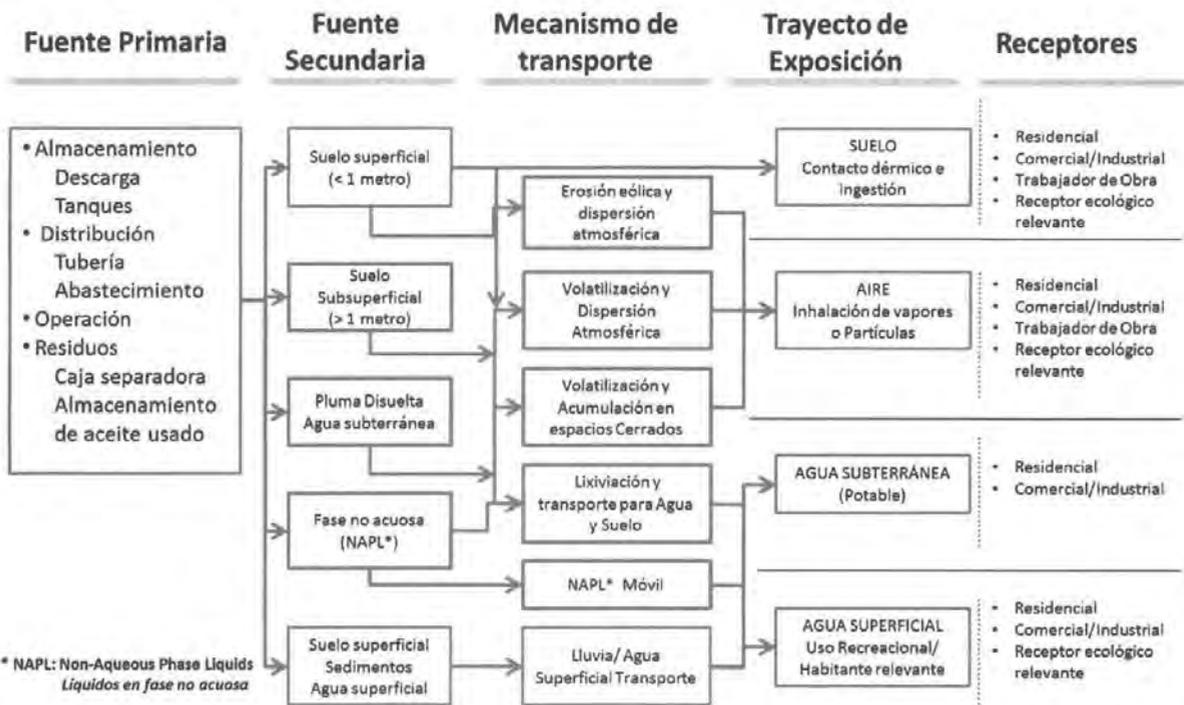
**ELEMENTO ORIENTATIVO N° 7: Modelo conceptual inicial**

La representación gráfica debe indicar las direcciones del viento, la dirección de las aguas freáticas, delimitación del predio, y los posibles focos de contaminación por importancia y sustancia.

EJEMPLO: Modelo Conceptual - PRODUCCIÓN DE VICSAFENO Y HCH TÉCNICO			
Focos (área abajo o alrededor de)	Vías de propagación y Exposición Relevante	Sustancias Relevantes	Receptores
Unidad de producción de HCH Técnico (mezclado en el suelo)	Suelo - contacto directo	Isómeros de HCH, [clorobenceno]	Trabajadores y futuros habitantes
	Agua subterránea		Usuarios del acuífero superior
	Dispersión superficial (inundaciones) / Agua superficial		Vecinos
Tanque de benceno	Agua subterránea	Benceno	Usuarios del acuífero superior
	Gases en suelo ascendente - aire ambiente		Futuros habitantes en ambientes confinados junto al suelo
Vicsafeno (mezclado en el suelo)	Sólido mezclado en el suelo - contacto directo	Toxafeno, canfenoclorado y metabolitos.	Trabajadores y futuros habitantes
	Suelo / Agua subterránea		Usuarios del acuífero superior
Vicsafeno (impregnado en los escombros)	Escombros - contacto directo	Toxafeno, posibles metabolitos	Trabajadores
Epicloridrina (DNAPL)	Suelo / Agua subterránea	Metabolitos [alilcloruros, glicerilo-dicloritrina]	Eventuales usuarios del acuífero superior y acuífero profundo.
Canfeno (sólido menos denso que el agua)	Suelo - contacto directo	Canfeno (metabolitos)	Eventuales usuario del acuífero superior, futuros trabajadores y usuarios
	Posible impregnación en los escombros		
Tetracloruro de carbono	Agua subterránea	Tetracloruro de carbono, metabolitos (tetracloruro, fosgeno, cloroformo)	Eventuales usuarios del acuífero superior y acuífero profundo.
Tanque de xileno	Agua Subterránea	Xileno, [ácidos de catíon dicarbono e metilbenzoácidos]	Usuarios del acuífero superior
	Gases en suelos ascendente - aire ambiente		Futuros habitantes en ambientes confinados junto al suelo



Anexo N° 4: Ejemplo de Esquemas del modelo conceptual



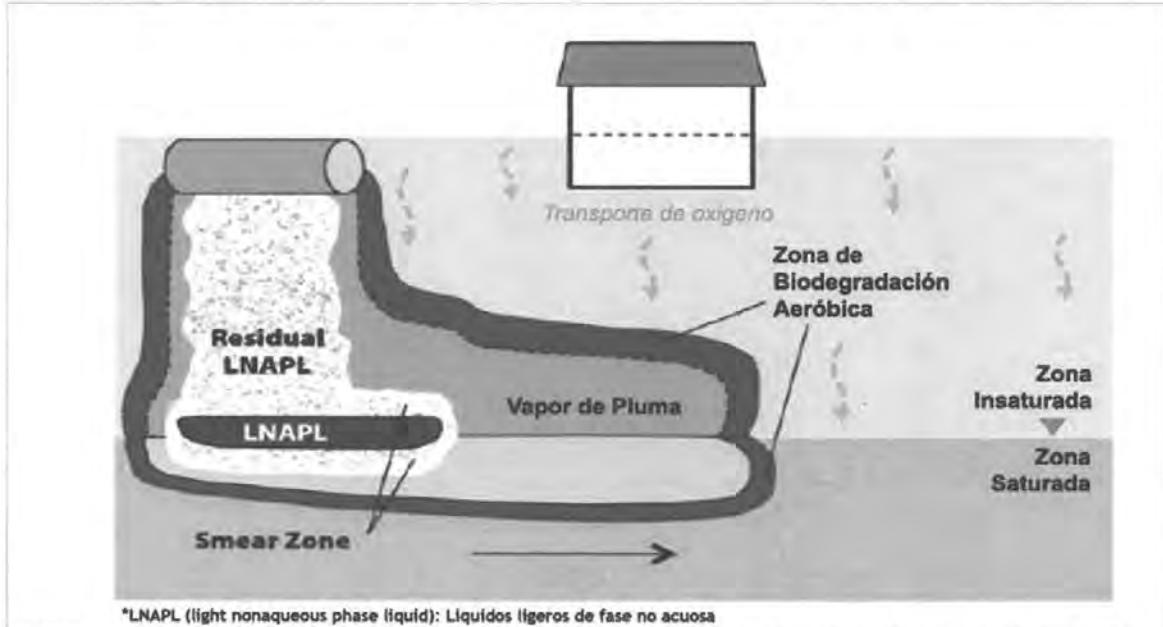
Fuente: CETESB. 2011



Fuente: Andreas Marker. 2012

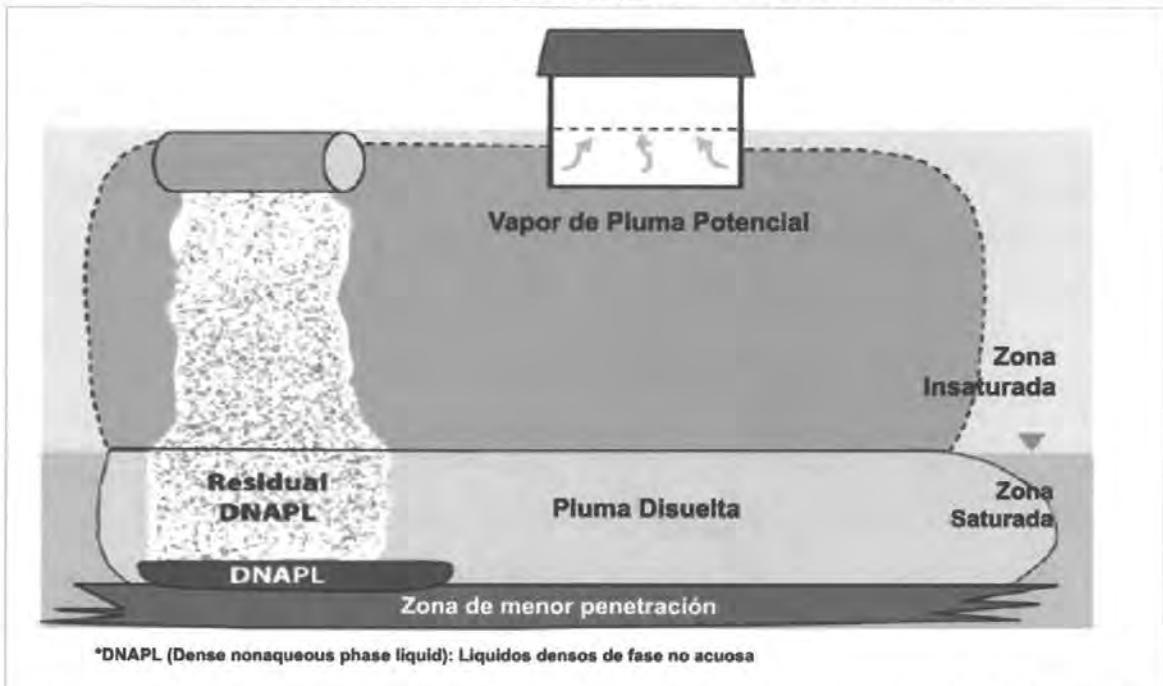


**Modelo conceptual típico del transporte de hidrocarburos de petróleo**



La Biodegradación aeróbica de los hidrocarburos de petróleo a lo largo del perímetro de la pluma de vapor y la pluma disueltas limita la difusión de contaminantes en el subsuelo. El transporte de oxígeno efectivo (flechas discontinuas) mantiene las condiciones aeróbicas en la zona de biodegradación. Los LNAPL (líquidos ligeros de fase no acuosa) del petróleo se acumulan en la franja capilar entre las zonas saturadas y no saturadas. FUENTE: EPA 2012<sup>11</sup>

**Modelo conceptual típico del transporte de solventes clorados**



La biodegradación de los disolventes clorados es anaeróbica y por lo general más lenta que la biodegradación de los derivados del petróleo, de modo que el vapor y plumas disueltas a menudo migran más lejos que las plumas de los derivados del petróleo. Los disolventes clorados pueden migrar como un pluma de DNAPL (líquido denso en fase no acuosa). Los DNAPL pueden caer por debajo del nivel freático, acumulándose en este caso sobre una capa menos permeable. FUENTE: EPA 2012<sup>12</sup>.



<sup>11</sup> Petroleum Hydrocarbons And Chlorinated Hydrocarbons Differ In Their Potential For Vapor Intrusion. Office of Underground Storage Tanks, Washington, D.C. 20460. [www.epa.gov/oust](http://www.epa.gov/oust). EPA – Marzo 2012.



**Anexo N° 5: Formato de tabla de presentación de resultados del Muestreo**

Ejemplo de llenado

CLAVE (ID) de la muestra	Fecha de muestreo	Prof. (m)	Coordenadas UTM		500	5000	6000	0.03	0.37	0.082	11
			X	Y							
PM130-4.80 m		4.8	623,118	2,463,439	HTP-F1	HTP-F2	HTP-F3	B	T	EB	X
PM140-4.80 m		4.8	622,822	2,463,609	47.74	78.19	371.28	0.74	0.74	0.74	2.22
PM140-4.80 m Dup.		4.8	622,822	2,463,609	47.94	74.71	366.47	0.74	0.74	0.74	2.21
PM1-4.80 m		4.8	621,832	2,461,360	45.03	30.73	373.95	0.75	0.75	0.75	2.25
PM4-4.80 m		4.8	622,051	2,461,446	54.11	33.50	396.82	0.80	0.80	0.80	2.39
					39.48	53.68	364.33	0.73	0.73	0.73	2.19

PM : Punto de Muestreo

MS : Materia seca

Prof. : Profundidad

Dup. : Duplicado

HTP F1 : Fracción de Hidrocarburos F1

HTP F2 : Fracción de Hidrocarburos F2

HTP F3 : Fracción de Hidrocarburos F3

B : Benceno

T : Tolueno

EB : Etil benceno

X : Xileno

**Anexo N° 6: Orientaciones para el levantamiento topográfico**

Comprende la geolocalización con GPS, de alta precisión para la elaboración de planos georeferenciados en coordenadas UTM, en los que se señale los puntos de muestreo (perforaciones) que resulten necesarios para determinar el volumen del suelo contaminado y la profundidad de excavación. Debe incluir al menos lo siguiente:

1. Trazo y nivelación a base de equipo topográfico estableciendo ejes y referencias permanentes, debiéndose marcar referencias a nivel superficial horizontales y verticales,
2. La unidad de medida es el metro cuadrado (o el metro)
3. Se utilizará el sistema de proyección en coordenadas UTM
4. La utilización del equipo de GPS de alta precisión en el sitio deben estar incluido en la memoria fotográfica del sitio.
5. El levantamiento debe de estar ligado a la red geodésica nacional del Instituto Geográfico Nacional del Ministerio de Defensa
6. Un banco de nivel en el sitio con GPS de alta precisión.
7. Deberán ubicarse en planos: la infraestructura existente en el sitio; la trayectoria de ductos, estructuras subterráneas (en caso de existir); colindancias y vías de comunicación aledañas; identificación de áreas contaminadas; curvas de nivel; establecimiento de banco de nivel y puntos de control al interior y fuera del predio; puntos de muestreo; modelos de distribución horizontal de la contaminación con los hidrocarburos y otros contaminantes.
8. En la elaboración de planos en AUTOCAD deberá considerarse lo siguiente:
  - a. Los planos no deben moverse de su origen.
  - b. Los planos no deben estar escalados.
  - c. Los planos (en particular el modelo) no deben estar rotados
  - d. Los ejes de los planos (en particular el modelo) no deben estar rotados.
  - e. Los planos deben de ser coincidentes en escala y forma con las fotografías aéreas.
  - f. Se deberá entregar un plano por separado exclusivamente con el límite del predio como polilínea cerrada.

Se deberá entregar los planos de edificaciones y estructuras por tipo (cada tipo de estructura en un layer, por ejemplo en un layer banquetas, en otro layer edificios, en otro layer drenajes) como polilíneas cerradas.



**Anexo N° 7: Matriz de determinación para el análisis de alternativas de remediación**

Criterio/Subcriterio	Meta	Ponderación	Escala
<b>Criterio 1: Análisis de mejores técnicas disponibles</b>  <b>Subcriterio 1.1:</b> La aptitud de la técnica con respecto a los contaminantes, tipo de suelos, materiales, y características del sitio	Determinar una técnica de remediación, que es idóneo con respecto a los contaminantes, tipo de suelos, materiales y características del sitio; disminuir el riesgo técnico;	60%  10%	0 = Técnica innovadora (no es técnica óptima actual) 1 = Técnica óptima actual, pero pocas experiencias en casos parecidos 2 = Técnica óptima actual, con experiencias positivas en casos parecidos, pero éxito es dependiendo mucho de las características específicas en el sitio 3 = Técnica óptima actual, con muchas experiencias positivas en sitios parecidos 4 = Técnica óptima actual, éxito es mayormente independiente de las características específicas en el sitio
<b>Subcriterio 1.2:</b> La eficacia con respecto al objetivo de la remediación	Máxima eficacia con respecto al objetivo de la remediación	25%	0 = Sitio remediado alcanza los objetivos de remediación 1 = Sitio remediado supera los objetivos de remediación 2 = Sitio remediado supera ostensible los objetivos de remediación
<b>Subcriterio 1.3:</b> Impactos en las personas que se encuentran en el área de influencia	Disminuir los impactos en las personas que se encuentran en el área de influencia de la remediación; como impactos se entienden contaminación acústica, polvos, perturbación del tráfico y otros molestias causado por las acciones de remediación;	5%	0 = Considerables impactos 1 = Impactos, parecido a obras de construcción según la costumbre local 2 = No impactos relevantes



Guía para la elaboración de los Planes de Descontaminación de Suelos

Criterio/Subcriterio	Meta	Ponderación	Escala
<b>Subcriterio 1.4:</b> Requerimiento de autorizaciones relacionadas a la implementación de las acciones de remediación	Disminuir el requerimiento de autorizaciones relacionadas a la implementación de las acciones de remediación	2%	0 = Necesidad de involucrar a más que 5 autoridades administrativas 1 = Necesidad de involucrar de 3 a 5 autoridades administrativas 2 = Necesidad de involucrar a máximo 2 autoridades administrativas
<b>Subcriterio 1.5:</b> Requerimientos de medidas de higiene y seguridad ocupacional	Disminuir los requerimientos de medidas de higiene y seguridad ocupacional; minimizar los riesgos para los trabajadores de las obras de remediación	8%	0 = Se requieren exigentes medidas de higiene y seguridad ocupacional 1 = Se requieren medidas de higiene y seguridad ocupacional, parecidas en obras de construcción civil 2 = No se requieren relevantes medidas de higiene y seguridad ocupacional
<b>Subcriterio 1.6:</b> Opciones de acciones complementarias (después de la remediación)	Conservar opciones de acciones complementarias después de la remediación	10%	0 = No hay opciones de acciones complementarias 1 = Hay limitadas opciones de acciones complementarias 2 = Hay (ilimitados) opciones de acciones complementarias
<b>Criterio 2: Análisis de la sostenibilidad de las alternativas</b>		<b>20%</b>	
<b>Subcriterio 2.1:</b> Necesidad de seguimiento de las acciones implementadas después de la remediación	Disminuir la necesidad de seguimiento de las acciones implementadas después de la remediación	5%	0 = Se requieren extensos medidas de seguimiento (por ej. a largo tiempo) 1 = Se requieren medidas de seguimiento 2 = No se requieren medidas de seguimiento
<b>Subcriterio 2.2:</b> Capacidad de vigilancia/ monitoreo del sitio remediado (de ser necesario)	Conservar la capacidad de vigilancia/monitoreo del sitio remediado	5%	0 = No hay la posibilidad de vigilar/monitorear el sitio remediado 1 = Las posibilidades de vigilancia/monitoreo son limitadas 2 = No hay limitaciones relevantes para la vigilancia/monitoreo del sitio remediado, o no es necesario

Criterio/Subcriterio	Meta	Ponderación	Escala
<b>Subcriterio 2.3:</b> Duración de las medidas, con respecto a la alternativa más eficiente	Disminuir la duración de las medidas de remediación, con respecto a la alternativa más eficiente	10%	Escala relativa, determinación en comparación con las otras técnicas propuestas 0 = Duración menor 1 = Duración entre menor y mayor 2 = Duración mayor
<b>Criterio 3: Análisis de Ecoeficiencia de las medidas propuestas</b>		<b>20%</b>	
<b>Subcriterio 3.1:</b> Generación y eliminación de residuos (durante la remediación)	Disminuir la generación y la necesidad de eliminar residuos; en este caso no se cuenta como residuos los suelos o materiales re-depositados en el sitio; criterio relativo en comparación con las otras técnicas	2%	Escala relativa, determinación en comparación con las otras técnicas propuestas 0 = Se generan altas cantidades de residuos 1 = Se generan medianas cantidades de residuos 2 = Se generan pocas cantidades/nada de residuos
<b>Subcriterio 3.2:</b> Aprovechamiento de residuos (durante la remediación)	Maximizar el aprovechamiento de residuos; en este caso no se cuenta como residuos los suelos o materiales re-depositados en el sitio;	3%	Escala relativa, determinación en comparación con las otras técnicas propuestas 0 = La tasa de aprovechamiento es alto o se generan pocos/nada de residuos 1 = La tasa de aprovechamiento es mediano 2 = La tasa de aprovechamiento es poco/no hay aprovechamiento de residuos
<b>Subcriterio 3.3:</b> Consumo de energía	Disminuir el consumo de energía; criterio relativo en comparación con las otras técnicas	5%	Escala relativa, determinación en comparación con las otras técnicas propuestas 0 = El consumo de energía es alto 1 = El consumo de energía es mediano 2 = El consumo de energía es bajo



Criterio/Subcriterio	Meta	Ponderación	Escala
<b>Subcriterio 3.4:</b> Generación de gases de efecto invernadero (GEI): CO2 y CH4	Disminuir la generación de gases de efecto invernadero (GEI)	5%	Escala relativa, determinación en comparación con las otras técnicas propuestas 0 = La generación de GEI es alto 1 = La generación de GEI es mediano 2 = La generación de GEI es bajo
<b>Subcriterio 3.5:</b> Consumo de recursos naturales: por ejemplo agua, suelo	Disminuir el consumo de recursos naturales	5%	Escala relativa, determinación en comparación con las otras técnicas propuestas 0 = El consumo de recursos naturales es alto 1 = El consumo de recursos naturales es mediano 2 = El consumo de recursos naturales es bajo



Ejemplo:

Matriz de determinar la viabilidad de propuestas de remediación			Ejemplo*					
			Puntos según escala			Puntos ponderados		
Criterio/Subcriterio	Ponderación	Puntos max	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<b>Criterio 1: Análisis de mejores técnicas disponibles</b>								
<b>Subcriterio 1.1:</b> La aptitud de la técnica con respecto a los contaminantes, tipo de suelos, materiales, y características del sitio	10%	4	4	3	3	10.0	7.5	7.5
<b>Subcriterio 1.2:</b> La eficacia con respecto al objetivo de la remediación	25%	2	2	0	0	25.0	0.0	0.0
<b>Subcriterio 1.3:</b> Impactos en las personas que se encuentran en el área de influencia	5%	2	2	1	1	5.0	2.5	2.5
<b>Subcriterio 1.4:</b> Requerimiento de autorizaciones relacionadas a la implementación de las acciones de remediación	2%	2	1	1	0	1.0	1.0	0.0
<b>Subcriterio 1.5:</b> Requerimientos de medidas de higiene y seguridad ocupacional	8%	2	0	1	1	0.0	4.0	4.0
<b>Subcriterio 1.6:</b> Opciones de acciones complementarias (después de la remediación)	10%	2	2	1	1	10.0	5.0	5.0
<b>Criterio 2: Análisis de la sostenibilidad de las alternativas</b>								
<b>Subcriterio 2.1:</b> Necesidad de seguimiento de las acciones implementadas después de la remediación	5%	2	2	1	0	5.0	2.5	0.0
<b>Subcriterio 2.2:</b> Capacidad de vigilancia/monitoreo del sitio remediado (de ser necesario)	5%	2	2	1	1	5.0	2.5	2.5

Matriz de determinar la viabilidad de propuestas de remediación			Ejemplo*					
Criterio/Subcriterio	Ponderación	Puntos max	Puntos según escala			Puntos ponderados		
			Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Subcriterio 2.3: Duración de las medidas, con respecto a la alternativa más eficiente	10%	2	0	2	1	0.0	10.0	5.0
<b>Criterio 3: Análisis de Ecoeficiencia de las medidas propuestas</b>								
Subcriterio 3.1: Generación y eliminación de residuos (durante la remediación)	2%	2	0	2	1	0.0	2.0	1.0
Subcriterio 3.2: Aprovechamiento de residuos (durante la remediación)	3%	2	2	0	1	3.0	0.0	1.5
Subcriterio 3.3: Consumo de energía	5%	2	0	2	1	0.0	5.0	2.5
Subcriterio 3.4: Generación de gases de efecto invernadero (GEI): CO2 y CH4	5%	2	0	1	2	0.0	2.5	5.0
Subcriterio 3.5: Consumo de recursos naturales: por ejemplo agua, suelo	5%	2	0	2	1	0.0	5.0	2.5



**En este ejemplo la Alternativa 1 resulta la más idónea**

**Suma: 64.0 49.5 39.0**

\*) Caso ejemplo: Contaminación de suelo con hidrocarburos hasta 5 m de profundidad y contaminación secundario de las aguas subterráneas con BTEX

**Alternativa 1:** Excavación completa del suelo contaminado, atenuación natural de la contaminación en las aguas subterráneas

**Alternativa 2:** Excavación superficial del suelo contaminado, contención de la contaminación más profunda con muralla de baja permeabilidad, atenuación natural de la contaminación en las aguas subterráneas

**Alternativa 3:** Excavación superficial del suelo contaminado, bombeo y tratamiento de la contaminación en las aguas subterráneas

