



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE



ALCALDIA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
Secretaría Distrital  
Ambiente

# CONTRATO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA No. 00972 DE 2013

---

Informe 4 – Guía para el muestreo y monitoreo  
de suelos con sospecha de contaminación y  
Guía de sospecha in situ

16/12/2014

## Tabla de Contenido

<b>1 CONSIDERACIONES GENERALES .....</b>	<b>1</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>3 INSTRUCTIVO .....</b>	<b>4</b>
CONSIDERACIONES ESPECIALES .....	4
<b>4 ESTUDIO EXPLORATORIO.....</b>	<b>6</b>
<b>5 GUÍA PARA DELIMITAR REGIONES CON SOSPECHA DE CONTAMINACIÓN.....</b>	<b>7</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	7
5.2 INSTRUCTIVO .....	7
5.3 IDENTIFICACIÓN DE REGIONES CON SOSPECHA DE CONTAMINACIÓN Y DE CONTAMINANTES POTENCIALES .....	7
5.3.1 <i>Guía de sospecha in situ</i> .....	9
5.4 ELABORACIÓN MAPA DE REGIONES CON SOSPECHA DE CONTAMINACIÓN .....	11
5.5 DEFINICIÓN DE LAS ÁREAS DE EXPOSICIÓN PARA EL MUESTREO.....	11
5.6 CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS POR FAMILIA .....	13
<b>6 GUÍA PARA MUESTREO DE SUELO CON SOSPECHA DE CONTAMINACIÓN POR COMPUESTOS INORGÁNICOS ÚNICAMENTE .....</b>	<b>15</b>
6.1 INTRODUCCIÓN.....	15
6.2 INSTRUCTIVO .....	15
6.3 DISEÑO DE MUESTREO .....	16
6.3.1 <i>Determinación de número de muestras</i> .....	17
6.3.2 <i>Cantidad de muestra</i> .....	18
6.3.3 <i>Requisitos preliminares al muestreo</i> .....	18
6.4 TOMA DE MUESTRAS .....	22
6.4.1 <i>Almacenamiento y preservación de muestras</i> .....	24
6.5 ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	24
6.5.1 <i>Conformación de la muestra compuesta y homogenización</i> .....	25
6.5.2 <i>Determinación de la necesidad de toma de muestras compuestas adicionales</i> .....	25
6.6 REALIZACIÓN DE INFORME .....	26
6.6.1 <i>Introducción, alcance y objetivos</i> .....	27
6.6.2 <i>Mapa del estudio exploratorio</i> .....	27
6.6.3 <i>Metodología</i> .....	27
6.6.4 <i>Resultados y análisis de resultados</i> .....	27
6.6.5 <i>Conclusiones y recomendaciones</i> .....	27
6.6.6 <i>Anexos</i> .....	28
<b>7 GUÍA PARA MUESTREO DE SUELO CON SOSPECHA DE CONTAMINACIÓN POR COVS ÚNICAMENTE</b>	<b>29</b>
7.1 INTRODUCCIÓN.....	29
7.2 INSTRUCTIVO .....	30
7.3 DISEÑO DE MUESTREO .....	30
7.3.1 <i>Determinación de número de muestras</i> .....	31
7.3.2 <i>Cantidad de muestra</i> .....	33
7.3.3 <i>Requisitos preliminares al muestreo</i> .....	33

7.4	TOMA DE MUESTRAS .....	37
7.4.1	<i>Almacenamiento y preservación de muestras</i> .....	38
7.4.2	<i>Consideraciones especiales</i> .....	40
7.5	ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	41
7.6	REALIZACIÓN DE INFORME .....	41
7.6.1	<i>Introducción, alcance y objetivos</i> .....	41
7.6.2	<i>Mapa del estudio exploratorio</i> .....	41
7.6.3	<i>Metodología</i> .....	41
7.6.4	<i>Resultados y análisis de resultados</i> .....	42
7.6.5	<i>Conclusiones y recomendaciones</i> .....	42
7.6.6	<i>Anexos</i> .....	43
<b>8 GUÍA PARA MUESTREO DE SUELO CON SOSPECHA DE CONTAMINACIÓN POR MEZCLAS Y OTROS COMPUESTOS ORGÁNICOS.....</b>		<b>44</b>
8.1	INTRODUCCIÓN.....	44
8.2	INSTRUCTIVO .....	45
8.3	DISEÑO DE MUESTREO .....	45
8.3.1	<i>Determinación de número de muestras</i> .....	46
8.3.2	<i>Cantidad de muestra</i> .....	50
8.3.3	<i>Requisitos preliminares al muestreo</i> .....	50
8.4	TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES .....	54
8.4.1	<i>Almacenamiento y preservación de muestras superficiales</i> .....	56
8.5	ANÁLISIS DE MUESTRAS SUPERFICIALES.....	56
8.5.1	<i>Conformación de la muestra compuesta y homogenización</i> .....	57
8.5.2	<i>Determinación de la necesidad de toma de muestras compuestas adicionales</i> .....	57
8.6	TOMA DE MUESTRAS SUBSUPERFICIALES .....	58
8.6.1	<i>Almacenamiento y preservación de muestras</i> .....	60
8.6.2	<i>Consideraciones especiales</i> .....	62
8.7	ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	62
8.8	REALIZACIÓN DE INFORME .....	63
8.8.1	<i>Introducción, alcance y objetivos</i> .....	63
8.8.2	<i>Mapa del estudio exploratorio</i> .....	63
8.8.3	<i>Metodología</i> .....	63
8.8.4	<i>Resultados y análisis de resultados</i> .....	63
8.8.5	<i>Conclusiones y recomendaciones</i> .....	64
8.8.6	<i>Anexos</i> .....	64
<b>9 GUÍA DE INVESTIGACIÓN EXHAUSTIVA DE SUELOS .....</b>		<b>66</b>
9.1	INTRODUCCIÓN.....	66
9.2	INSTRUCTIVO .....	66
9.2.1	<i>Desarrollo del modelo conceptual</i> .....	67
9.2.2	<i>Diseño del estudio y determinación de los datos requeridos</i> .....	68
9.2.3	<i>Toma y análisis de muestras de suelo</i> .....	77
9.2.4	<i>Producción de modelo tridimensional de la zona contaminada</i> .....	86

---

9.2.5	Realización de informe .....	87
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>90</b>
	<b>ANEXO A: SEGURIDAD INDUSTRIAL.....</b>	<b>92</b>
	<b>ANEXO B: FORMATOS .....</b>	<b>94</b>

## Índice de Tablas

TABLA 5-1. INDICADORES DE DISTINTOS CONTAMINANTES SEGÚN EL DEPÓSITO O LA MANCHA OBSERVADA EN EL SUELO (APPLIED-ENVIRONMENTAL-RESEARCH-CENTRE 1994).....	9
TABLA 5-2. SEÑALES ESPECÍFICAS DE CONTAMINACIÓN SEGÚN TIPO DE CONTAMINANTE .....	10
TABLA 5-3. LISTA DE SUSTANCIAS CLASIFICADAS POR FAMILIA .....	14
TABLA 9-1. MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA .....	69
TABLA 9-2. NORMAS PARA LAS MUESTRAS REQUERIDAS .....	70
TABLA 9-3. ENVASES RECOMENDADOS Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS SEGÚN EL TIPO DE CONTAMINANTE .....	85

## Índice de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 3-1. INSTRUCTIVO GUÍA ESTUDIO DE SUELOS .....	5
ILUSTRACIÓN 5-1. METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR LA GUÍA PARA DELIMITAR REGIONES CON SOSPECHA DE CONTAMINACIÓN .....	7
ILUSTRACIÓN 5-2. DEFINICIÓN DE ÁREAS DE EXPOSICIÓN (ADAPTADO DE EPA 1992).....	12
ILUSTRACIÓN 5-3. EJEMPLO PARA DETERMINAR EL ÁREA DE EXPOSICIÓN QUE SE VA A MUESTREAR.....	13
ILUSTRACIÓN 6-1. INSTRUCTIVO DE LA GUÍA DE MUESTREO DE COMPUESTOS INORGÁNICOS.....	15
ILUSTRACIÓN 6-2. DISEÑO DE MUESTREO PARA SUELOS SUPERFICIALES. ADAPTADA DE (USEPA 1996) .....	18
ILUSTRACIÓN 7-1. INSTRUCTIVO GUÍA COVs .....	30
ILUSTRACIÓN 7-2. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO SUBSUPERFICIAL (ADAPTADO DE (USEPA 1996) .....	32
ILUSTRACIÓN 7-3. DIVISIONES DE UNA MUESTRA SUBSUPERFICIAL.....	32
ILUSTRACIÓN 8-1. INSTRUCTIVO GUÍA DE MUESTREO DE MEZCLAS Y OTROS COMPUESTOS ORGÁNICOS .....	45
ILUSTRACIÓN 8-2. DISEÑO DE MUESTREO PARA SUELOS SUPERFICIALES. ADAPTADA DE (USEPA 1996) .....	47
ILUSTRACIÓN 8-3. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO SUBSUPERFICIAL (ADAPTADO DE (USEPA 1996).....	48
ILUSTRACIÓN 8-4. DIVISIONES DE UNA MUESTRA SUBSUPERFICIAL .....	49
ILUSTRACIÓN 9-1. INSTRUCTIVO GUÍA ESTUDIO EXHAUSTIVO .....	67
ILUSTRACIÓN 9-2. REQUISITOS DE DISTANCIA PARA LA TOMA DE MUESTRAS.....	72
ILUSTRACIÓN 9-3. DIVISIONES DE UNA MUESTRA SUBSUPERFICIAL .....	74

## 1 Consideraciones Generales

---

El crecimiento poblacional en la ciudad de Bogotá ha incrementado la necesidad de construir vivienda, así como edificaciones de uso comercial e industrial. Sin embargo, la tierra es escasa, lo que ha llevado a las autoridades a contemplar la utilización de suelos que anteriormente fueron utilizados para fines industriales para la construcción de vivienda, edificaciones comerciales o zonas recreacionales. Ya que algunas actividades industriales podrían resultar en la contaminación del suelo, es necesario determinar si el lugar en el que se quiere construir es apto (en términos de contaminación del suelo) para la construcción de vivienda o zonas recreacionales, o si por el contrario, la contaminación presente en este lugar podría representar un riesgo para la salud humana. Así mismo, se debe determinar si algunos predios con contaminación baja pueden ser utilizados para construcción de edificaciones comerciales o industriales, o si estos usos también representarían un riesgo para la salud humana.

La investigación del suelo contaminado o potencialmente contaminado consta de tres fases generales (ISO/AENOR 2010). La primera fase es un estudio preliminar, en donde se utilizan datos históricos y otras fuentes de información secundaria sobre usos pasados y actuales del sitio. De esta investigación se puede deducir el potencial de contaminación y se puede formular una hipótesis sobre la naturaleza del contaminante, su localización y distribución. Si se sospecha que el sitio pudiera estar contaminado, se debe continuar a la segunda fase, la cual consta de un estudio exploratorio que incluye la toma de muestras de suelo, y tiene un carácter más cualitativo que cuantitativo, dado el bajo número de muestras que se toman durante esta fase. Los resultados de esta fase pueden utilizarse para determinar si es necesario continuar con la tercera fase (el estudio exhaustivo), o si por el contrario, el sitio puede ser utilizado para construcción de vivienda, edificaciones comerciales o industriales. El estudio exhaustivo se utiliza para la determinación cuantitativa del contaminante y de su distribución espacial. Este estudio es mucho más costoso y se utiliza para la determinación de requisitos de remediación y el diseño de estrategias específicas para el lugar. Esta guía se enfoca en la segunda fase, el estudio exploratorio, y en la tercera fase, estudio exhaustivo.

Ya que ambos estudios son de carácter intrusivo y requieren la toma de muestras de suelo, en este documento se explica la manera de diseñar el muestreo (puntos, profundidad, etc.) y la de elegir la técnica de recolección de muestras; también se discuten las consideraciones

---

necesarias para el manejo de las muestras hasta que llegan al laboratorio donde se realizan los ensayos analíticos. Los resultados del muestreo son entregados a la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) o ente competente, quien determina las necesidades de monitoreo o remediación según los niveles de referencia establecidos para cada sustancia. Como resultado de esta evaluación se puede decidir sobre la pertinencia de construir en el lugar dadas las condiciones actuales; también se puede establecer la necesidad de realizar un estudio exhaustivo. Como resultado del estudio exhaustivo se puede determinar si el predio puede ser utilizado sin un proceso previo de remediación, o si por el contrario, el predio requiere un proceso de remediación. A través del estudio exhaustivo se pueden determinar el alcance y las necesidades de remediación. Todas las recomendaciones planteadas en esta guía están basadas en estándares o guías internacionales, específicamente la Norma Internacional ISO 10381-5:2005 (ISO/AENOR 2010) y el *Soil Screening Guidance* de la EPA (USEPA 1996)



## 2 Introducción

---

Esta guía consiste en una serie de directrices técnicas de carácter conceptual y procedimental encaminadas a apoyar la gestión y manejo de sitios con sospecha de contaminación en la ciudad de Bogotá. Su propósito principal es proporcionar los lineamientos necesarios para llevar a cabo el estudio de suelos a partir del cual se confirma la sospecha de contaminación y se puede tomar de decisiones para su uso futuro.

Esta guía está dirigida a los usuarios (públicos y privados) que planeen construir cualquier tipo de edificación dentro de la cobertura distrital, sin importar el presente estado del predio en el cual se iniciará el proceso constructivo, es decir si se encuentra baldío o si por el contrario existen instalaciones ya sean industriales, comerciales, de servicios, institucionales, residenciales, entre otras.

La guía está dividida en varias secciones. La primera sección corresponde al estudio exploratorio a través del cual se pretende confirmar las sospechas de contaminación, que fueron establecidas por medio de un estudio preliminar realizado por la SDA. A su vez el estudio exploratorio comprende una guía para delimitar regiones dentro del predio con sospecha de contaminación (que debe ser aplicada antes de realizar el muestro), y tres guías de muestreo de suelo que serán aplicadas dependiendo de las sustancias que se cree están presentes en el suelo del predio. La segunda parte corresponde al estudio exhaustivo de suelos el cual solo se ejecuta si la SDA lo considera necesario, por supuesto con base en los resultados del estudio exploratorio y los niveles de referencia para los distintos contaminantes. Este estudio busca determinar si existe un riesgo inaceptable para la salud humana y por lo tanto se debe iniciar un proceso de remediación. En el capítulo 3 se explicará en detalle la metodología de esta guía.

### 3 Instructivo

---

Para facilitar el uso de esta guía se desarrolló un diagrama de flujo que permite orientar las actividades mínimas del estudio de suelos contaminados o con sospecha de contaminación (Ver Ilustración 3-1). Para un mejor entendimiento tenga en cuenta:

- Cuadros azules: corresponden a actividades que debe seguir el responsable de la actividad de construcción<sup>1</sup>.
- Cuadros verdes: describen las responsabilidades a cargo de la SDA.
- Cuadros naranjas: corresponden a los productos que deben ser entregados y radicados por parte del responsable de la actividad de construcción de forma directa o a través del consultor contratado.

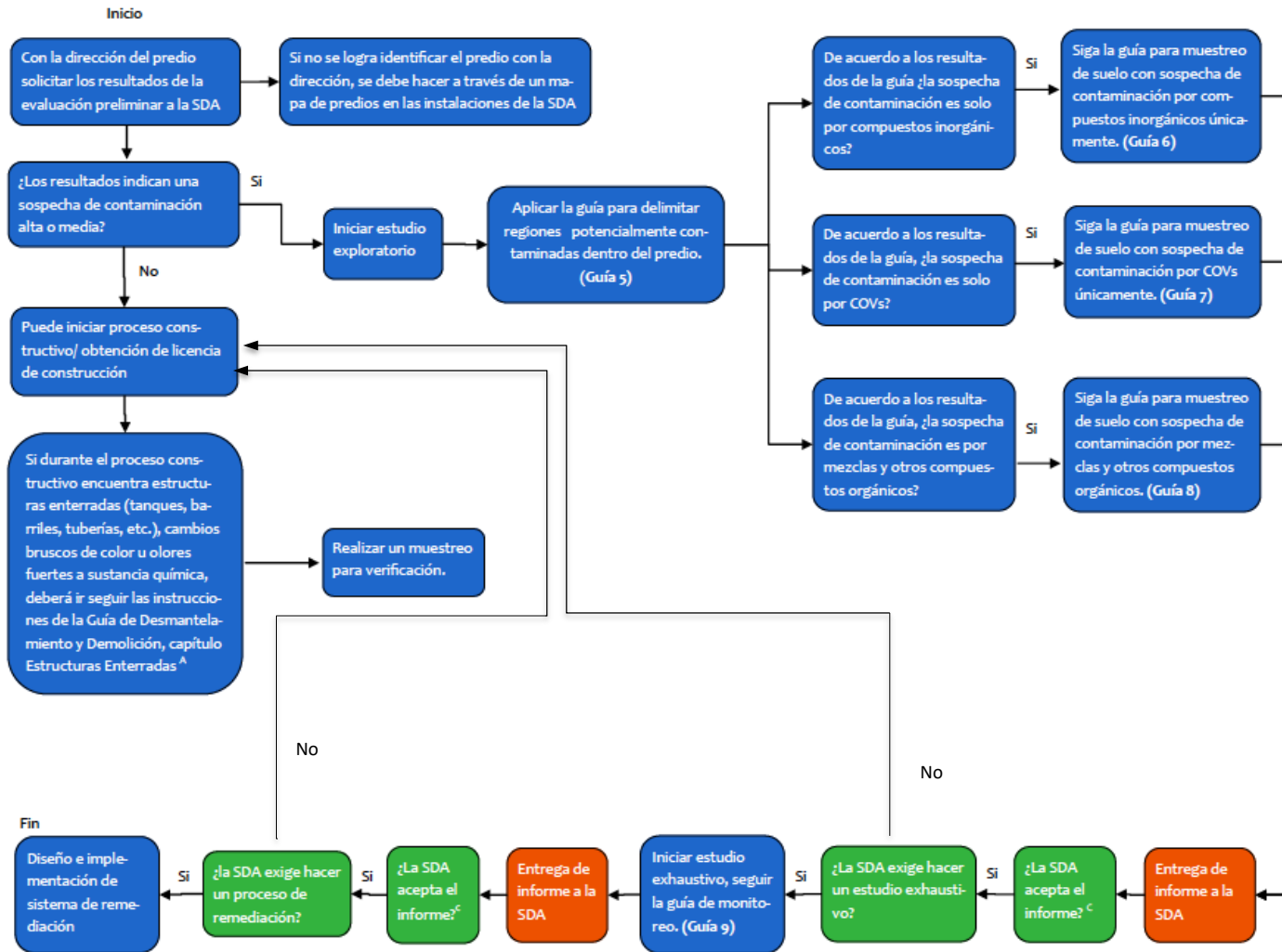
#### **Consideraciones especiales**

Esta guía describe la metodología que se debe seguir para hacer el estudio de los suelos. Sin embargo, ya que mucha de la información secundaria no es suficientemente precisa y en algunos casos es insuficiente, pueden haber situaciones en las que los resultados del estudio preliminar no indiquen que exista sospecha alta o media. En este caso se procederá a construir. Si durante el proceso constructivo se perciben olores a solvente, manchas de aceite en el suelo o se encuentran estructuras como tanques y barriles enterrados, se deben seguir las instrucciones de la Guía de Desmantelamiento y Demolición, capítulo de Estructuras Enterradas, que está disponible en la SDA. Cualquier información adicional que pueda requerir, debe comunicarse directamente con la SDA.

---

<sup>1</sup> Por razones de conocimiento técnico y experiencia en el tema, el constructor deberá contratar un consultor idóneo. El consultor deberá seguir los lineamientos de esta guía independientemente de sus procedimientos técnicos internos.

**Ilustración 3-1. Instructivo Guía Estudio de Suelos**



A: debe contactar a la SDA para que haga entrega de la Guía de Desmantelamiento y Demolición. B: persona natural o jurídica. C: la SDA podrá rechazar el informe si considera que el personal contratado para realizar el estudio exploratorio no es idóneo.

## **4 Estudio Exploratorio**

---

Como se mencionó anteriormente, el estudio exploratorio busca confirmar la sospecha de contaminación de suelo en el predio a evaluar. El estudio exploratorio se realiza en los casos en que los resultados del estudio preliminar entregados por la SDA indiquen sospecha alta o media.

Sin embargo dentro del predio pueden existir zonas con mayor sospecha que otras zonas, así como también pueden estar presentes varias sustancias. Es por esto que es necesario delimitar las regiones con sospecha de contaminación dentro del predio y conocer el tipo de contaminantes en dichas zonas antes de iniciar el muestreo de suelos, para luego poder aplicar las técnicas adecuadas explicadas en las tres guías de muestreo de suelos.

El estudio exploratorio inicia con la delimitación de las zonas con sospecha de contaminación del predio, asociando a cada zona las sustancias que se cree están presentes (ver capítulo 5), y termina con la aplicación de las guías de muestreo de suelo (ver capítulos 6, 7 y 8), lo cual va a depender de los resultados obtenidos en la primera etapa. Es decir que si existe sospecha de contaminación por compuestos inorgánicos únicamente se debe llevar a cabo un muestreo superficial (Ver capítulo 6); si existe sospecha por contaminación de COVs únicamente se debe realizar un muestreo subsuperficial (Ver capítulo 7); y si existe sospecha por contaminación mezclas –mezcla de dos o más sustancias de diferente familia (ver sección 5.6) y otros compuestos orgánicos como pesticidas, compuestos orgánicos semivolátiles, etc., se debe realizar muestreo superficial y subsuperficial (Ver capítulo 8).

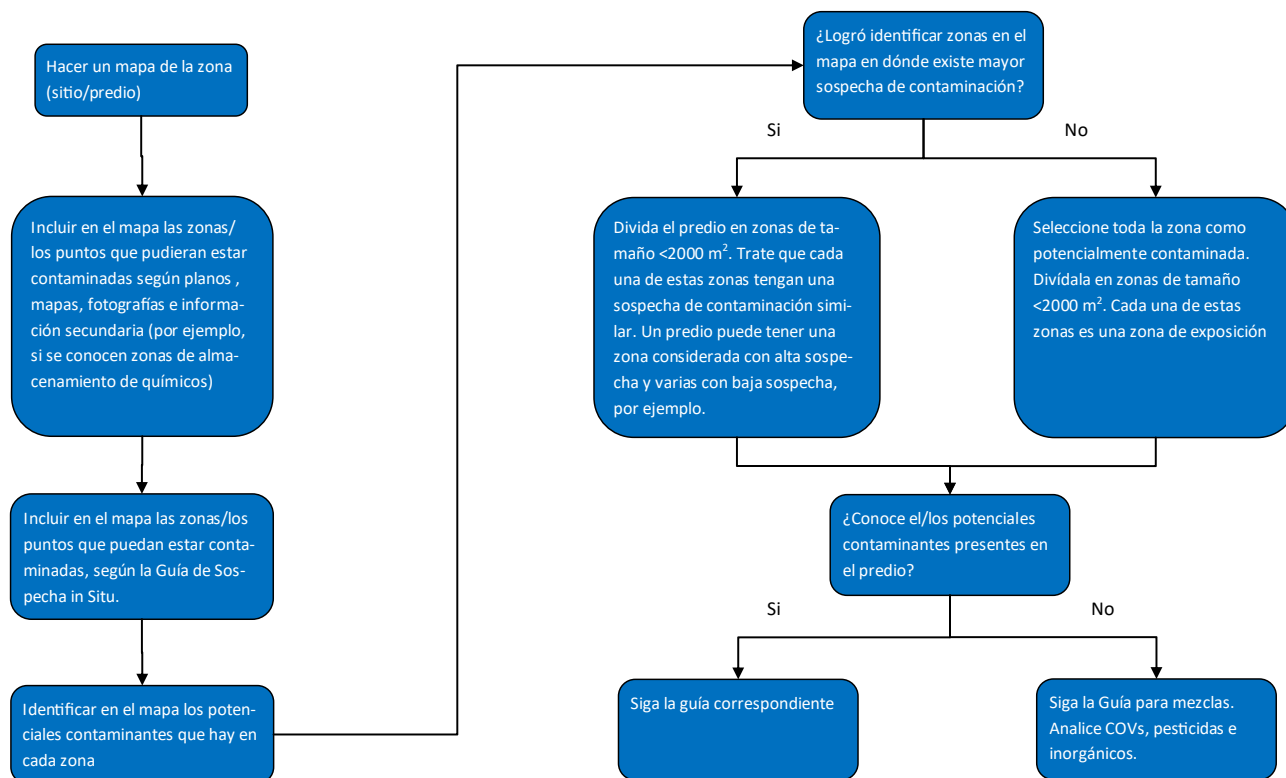
## 5 Guía para delimitar regiones con sospecha de contaminación

### 5.1 Introducción

Esta guía pretende suministrar las herramientas necesarias para delimitar las regiones con sospecha de contaminación, asociar contaminantes potenciales a dichas regiones y definir áreas de exposición de tal modo que se facilite y priorice el muestreo. Como se explica más adelante, esta guía sirve para determinar las zonas (el dónde) que deben ser muestreadas.

### 5.2 Instructivo

Ilustración 5-1. Metodología para desarrollar la guía para delimitar regiones con sospecha de contaminación



### 5.3 Identificación de regiones con sospecha de contaminación y de contaminantes potenciales

En el mapa pueden identificarse tres tipos de regiones: regiones que se sabe están contaminadas, regiones con sospecha de contaminación y regiones que probablemente no están contaminadas.

La razón por la cual es importante identificar las regiones con sospecha de contaminación en el predio y las que probablemente no están contaminadas es porque se quiere priorizar el muestreo, disminuyendo los costos asociados, sobre todo en predios con áreas grandes (mayores a 2000 m<sup>2</sup>).

Para llevar a cabo esta separación de regiones se debe seguir la Guía de Sospecha in Situ, que se explica en la sección 5.3.1. No obstante, para poder aplicar esta guía se debe tener como insumo la lista de contaminantes potenciales del predio, la cual se debe solicitar a la SDA<sup>2</sup>. Esta lista también servirá para la vinculación de contaminantes a dichas zonas. Es decir, la identificación de regiones con sospecha de contaminación y la identificación de contaminantes potenciales son dos procesos que se deben hacer en paralelo.

Adicionalmente para realizar la separación de regiones según sospecha se deben utilizar planos, fotos y cualquier tipo de información secundaria que pueda proporcionar datos sobre los usos específicos del suelo en la zona.

---

<sup>2</sup> Se debe solicitar la lista con la dirección del predio

### 5.3.1 Guía de sospecha in situ

La visita inicial a campo es de gran importancia durante el proceso de identificación de zonas de exposición. Las señales más comunes que pueden observarse son (Applied-Environmental-Reseach-Centre 1994):

1. Inhibición del crecimiento radicular en plantas
2. Brotes, decoloración, necrosis y crecimiento deprimido en las hojas pueden evidenciar la presencia de metales pesados en suelos
3. Color amarillo del pasto
4. Pilas de escombros
5. Depósitos y/o manchas de color
6. Escasez de vegetación o zonas de deforestación
7. Presencia de olores inusuales
8. Acumulación anormal de hojarasca (hojas secas), por disminución de descomposición por parte de los microorganismos.
9. Superficie brillante de algunos cuerpos de agua cercanos al sitio de interés.

Adicionalmente, la información obtenida durante esta primera visita puede dar buena información sobre el tipo de contaminantes que deben ser analizados en el laboratorio. La Tabla 5-1 indica los contaminantes más probables que se encuentran en la zona, según el color del depósito o la mancha encontrada en el suelo.

**Tabla 5-1. Indicadores de distintos contaminantes según el depósito o la mancha observada en el suelo (Applied-Environmental-Reseach-Centre 1994)**

VERDE	NEGRO	AMARILLO	NARANJA
Sales ferrosas La mayoría de las sales crómicas. Algunas sales de cobre y cobalto Sulfuros férricos Algunas sales de oro y níquel	Hidróxido de cobalto Sulfuro de cobalto Óxidos de cobre, hierro, manganeso y níquel Sulfuro de cobre Sulfuro ferroso Sulfuro de plomo Sulfuro de mercurio Sulfuro de níquel Sulfuro de plata Sulfuro de vanadio	Sales de antimonio Sulfuro de arsénico Cromatos Hidróxidos de cobre Sales de oro Yoduro de plomo Óxido de yodo Sales de mercurio Sales de níquel anhidro. Algunas de sales de plata Sulfuro de estaño Sales de vanadio	Sulfuro de antimonio Sulfuro de cadmio Dicromatos Yoduro de estaño

CAFÉ ROJIZO	ROSA INTENSO	ROSA PALIDO	LILA
Algunos compuestos férricos Arseniato de mercurio Sulfuro de molibdeno Cromato de Plata	La mayoría de compuestos de cobalto	La mayoría de sales de manganeso	Algunas sales de vanadio.
AZUL	BLANCO	NEGRO AZULADO	ROJO
Cloruros Algunas sales de cobre	La mayoría de sales de aluminio, de arsénico, de cadmio, de plomo, de plata, de zinc y de manganeso. Cloruro de mercurio Sulfato de mercurio	Sulfuro de talio	Yoduro de arsénico Algunas sales de cobalto, mercurio y plata Óxido cuproso Óxido de plomo

Si se están buscando contaminantes determinados, se pueden buscar señales específicas, según el contaminante (Ver tabla 5-2).

**Tabla 5-2. Señales específicas de contaminación según tipo de contaminante**

Tipo de contaminante	Indicador
<b>Metales</b>	
Arsénico	Depósitos de color (principalmente blancos), coloración verde
Cadmio	Depósitos de color (blanco, amarillo y anaranjado)
Cromo	Evidencia física de industrias anteriores, escombros de minería/fundición (blanco grisáceo a naranja amarillento), coloración verde
Cobre	Baches de deforestación, cubierta vegetal variable, depósitos de color ( verde, azul, amarillo, rojo, negro), coloración verde (típicos en zonas donde se trabaja madera, carpintería)
Plomo	Baches deforestados, erosión, depósitos de color (blanco, amarillo o negro)
Mercurio	Depósitos de color (blanco, negro)
Zinc	Zonas deforestadas, depósitos de color (usualmente blanco)
<b>Inorgánicos</b>	
Boro	Montículo de cenizas, comúnmente cercano a centrales eléctricas, rango de colores entre rosado y gris.
Cianuro	Color Azul o azul-gris, puede causar tinción de suelo o de los materiales de construcción. Cuando es tiocianato la tinción es roja en el suelo o en los cuerpos de agua. El olor puede describirse como un olor picante o de almendras amargas. También se puede percibir olor a humedad.
Azufre	Cuando hay presencia de sulfato de zinc/cobre el color es blanco, cuando es de cobre el color es azul, los sulfuros se evidencian usualmente en colores negros y el azufre en color blanco amarillo. Puede existir olor a huevo podrido a pH bajo.
<b>Orgánicos</b>	
Hidrocarburos y PAH	A concentraciones mayores a 2000 mg/kg se presenta un color marrón oscuro. Se presentan algunos olores que pueden estar asociados con tolueno, xileno entre otros.
Aceites	Presencia de contenedores de aceites desechados, depósitos viscosos, cambios



	en la estructura del suelo. Color marrón oscuro. Olor a alquitranes o a aceites dependiendo su composición.
PCB	Presencia de transformadores o capacitores.
Pesticidas	Presencia de contenedores desechados o almacenados
Fenoles	Olor a antiséptico
<b>Gases</b>	
Amoniaco	Olor intenso amargo
Metano	Burbujeo en charcos o estanques, emisiones condensados, Suelo compacto con estructura pobre.

Adaptado de (Applied-Environmental-Reseach-Centre 1994)

#### 5.4 Elaboración mapa de regiones con sospecha de contaminación

Es importante que se tenga claridad de la ubicación de las regiones de sospecha de contaminación y de las que probablemente no están contaminadas y de la delimitación de las mismas. Para esto se recomienda realizar un mapa donde se consolide toda la información obtenida. Este mapa estará apoyado por el formato “Formato de identificación de regiones con sospecha de contaminación”<sup>3</sup> (ver anexo 10.1) donde se recomienda también se lleve control de la ubicación de las zonas de interés por medio del registro de coordenadas<sup>4</sup>. Para digelenciar este formato es necesario hacer una visita de campo y se recomienda hacer entrevistas a vecinos y trabajadores de la zona.

#### 5.5 Definición de las áreas de exposición para el muestreo

Para lograr un estudio exploratorio exitoso, se deben identificar las zonas de exposición. Un área de exposición está definida como un área geográfica en donde un individuo podría exponerse a contaminación en el tiempo. Estas áreas deben ser rectangulares (si la topografía lo permite). Dichas áreas deben tener una extensión inferior a 2000 m<sup>2</sup>, así que si se tiene un área mayor a 2000 m<sup>2</sup> se debe dividir en áreas iguales menores a 2000 m<sup>2</sup>. Por ejemplo, si se tiene un área de 3200 m<sup>2</sup> se debe dividir en dos de 1600 m<sup>2</sup>, o si se tiene un área de 1000 m<sup>2</sup>, ésta se puede tomar directamente como un área de exposición.

Como se mencionó antes, solo se va a muestrear las regiones con sospecha de contaminación, las cuales son definidas a través de la aplicación de la guía de sospecha in situ y de la utilización

<sup>3</sup> El formato se encuentra en el anexo A

<sup>4</sup> Se recomienda utilizar un GPS

información secundaria. Por lo tanto, solo se tomarán las áreas de exposición que encierren por lo menos una región con sospecha de contaminación<sup>5</sup> (Ver Ilustración 5-2).

Ilustración 5-2. Definición de áreas de exposición (Adaptado de EPA 1992)



**Ejemplo:** se tiene un predio con un las siguientes características:

- Tres zonas identificadas en el predio
- Dos regiones que probablemente no están contaminadas
- Área con sospecha de contaminación de 6000 m<sup>2</sup>

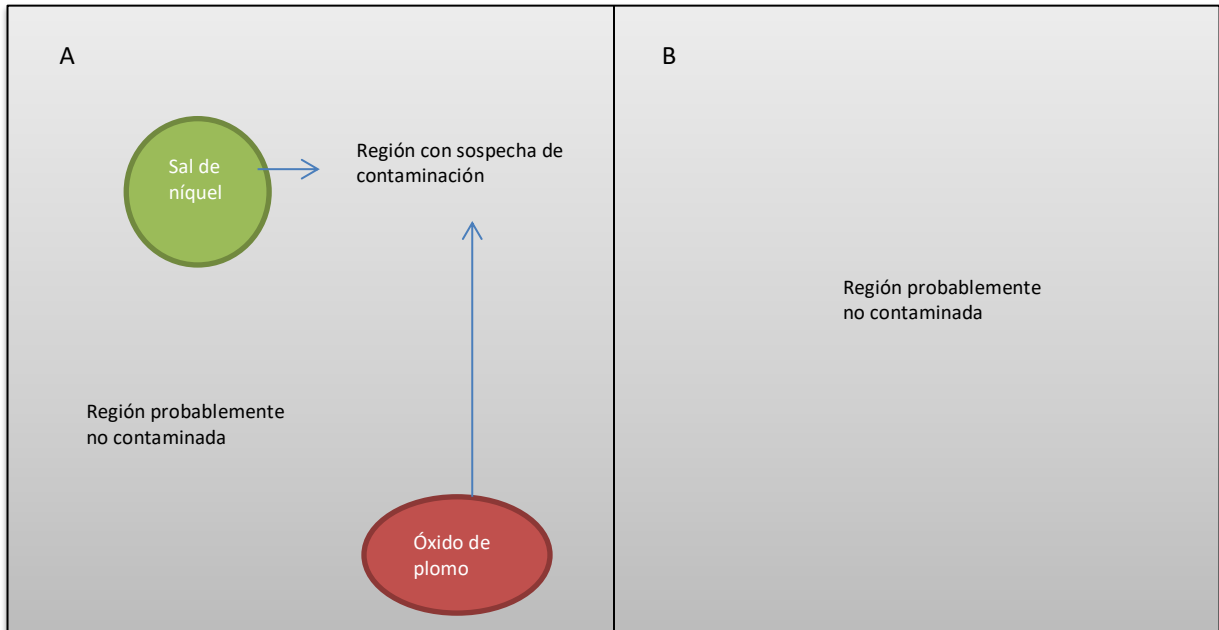
Los pasos a seguir para saber qué área de exposición se debe muestrear son los siguientes:

1. Dividir la zona con sospecha de contaminación en cuatro áreas de exposición (<2000 m<sup>2</sup>). Es decir que se tienen cuatro áreas de 1500 m<sup>2</sup> cada una.
2. Determinar si en las áreas de exposición se encuentra al menos una región con sospecha de contaminación. Suponiendo que la distribución de las regiones es cómo se muestra en la **Error! Not a valid bookmark self-reference.**, solamente se debe tomar el área A como área de exposición para muestreo.
3. Determinar cuál guía se debe seguir, dependiendo de los contaminantes que se creen están presentes en dichas zonas (Ver

<sup>5</sup> En caso de identificar zonas con alta sospecha y baja sospecha en el mismo predio, se recomienda que áreas de exposición separen las dos zonas, de forma tal que durante el muestreo no se mezclen muestras de una zona con baja sospecha con muestras de una zona con alta sospecha.

4. Tabla 5-3).

Ilustración 5-3. Ejemplo para determinar el área de exposición que se va a muestrear



### 5.6 Clasificación de sustancias por familia

Con el fin de orientar al usuario sobre la elección de la guía según las sustancias identificadas en el procedimiento anterior, se muestra a continuación la lista de sustancias agrupadas por familia (Tabla 5-3).

Una vez identificadas las áreas de exposición y los distintos contaminantes potenciales, el siguiente paso a seguir es el muestreo. Solo se realiza muestreo de las áreas de exposición con sospecha de contaminación del suelo. Si la zona de exposición presenta sospecha de contaminación por inorgánicos únicamente, debe seguir la guía que se encuentra en el capítulo 6. En caso de que la zona presente sospecha de contaminación por COVs únicamente, debe seguir la guía del capítulo 7. Si existe sospecha de contaminación por compuestos distintos a COVs e inorgánicos, o si existe sospecha de contaminación por sustancias que incluyan compuestos orgánicos volátiles, semivolátiles y/o inorgánicos, se debe seguir la guía que se encuentra en el capítulo 8. Esta última guía también se debe aplicar cuando no se logren identificar los contaminantes potenciales, y se debe analizar las muestras para COVs, pesticidas y compuestos inorgánicos.



**Tabla 5-3. Lista de sustancias clasificadas por familia**

Compuestos inorgánicos – Guía 6	Compuestos Orgánicos Volátiles -Guía 7	Otros compuestos orgánicos -Guía 9	
Antimonio	Acetona	Aldrín	Endrin
Arsénico	Benceno	Antraceno	Fluoranteno
Bario	Bromodichlorometano	Benzo(a)antraceno	Fluoreno
Berilio	Bromoformo	Benzo(k)fluoranteno	Heptaclor
Cadmio	Tetracloruro de carbono	Benzo(c)fluoranteno	Heptaclor Epoxido
Cinc	Clorobenceno	Ácido benzóico	Hexaclorobenceno
Cobalto	Dibromoclorometano	Benzo(a)pireno	-HCH( -BHC)
Cobre	Cloroformo	Bis(2-cloroetil)éter	-HCH ( -BHC)
Cromo	1,2-Diclorobenceno	Di(2-etilhexil) ftalato(DEHP)	-HCH (Lindano)
Manganeso	1,4-Diclorobenceno	Butanol	Hexaclorociclopentadieno
Mercurio	1,1-Dicloroetano	Butil bencil ftalato	Hexacloroetano
Molibdeno	1,2-Dicloroetano	Carbazol	Indeno(1,2,3-cd)pireno
Níquel	1,1-Dicloroetileno	Disulfuro de carbono	Isoforon
Plomo	c/s-1,2-Dicloroetileno	Clordane	Mercurio
Selenio	Trans-1,2-Dicloroetileno	p-Cloroanilina	Metoxicloro
Talio	1,2-Dicloropropano	2-Clorofenol	2-Metilfenol (o-cresol)
Vanadio	1,3-Dicloropropeno	Criseno	Nitrobenceno
Vanadio	Etil benceno	DDD	V-Nitrosodifenilamina
Antimonio	Hexacloro-1,3-butadieno	DDE	V-Nitrosodi-n-proplamina
	Bromometano	DDT	Pentaclorofenol
	Diclorometano	Dibenzoantraceno	Fenol
	Naftaleno	Di-n-butil ftalato	Pireno
	Estireno	3,3-Diclorobenzidina	1,1,2,2-Tetracloroetano
	Tolueno	2,4-Diclorofenol	Tetracloroetileno
	1,2,4Triclorobenceno	2,4-Acido Diclorofenoxiacético	Toxafeno
	1,1,1-Tricloroetano	Dieldrin	2,4,5-Triclorofenol
	1,1,2-Tricloroetano	Dietilftalato	2,4,6-Triclorofenol
	Tricloroetileno	2,4-Dimetilfenol	PCBs
	Acetato de vinilo	2,4-Dinitrofenol	
	Cloruro de vinilo	2,4-Dinitrotolueno	
	m-Xileno	2,6-Dinitrotolueno	
	o- Xileno	Di-n-octil ftalato	
	p- Xileno	Endosulfan	

Es factible que en un mismo predio se encuentren zonas con sospecha de distintos contaminantes. En estos casos es posible que se utilice una guía en una zona del predio y otra guía en una zona cercana.

## 6 Guía para muestreo de suelo con sospecha de contaminación por compuestos inorgánicos únicamente

### 6.1 Introducción

Esta guía tiene como propósito proporcionar al usuario las herramientas conceptuales necesarias para llevar a cabo un muestreo de suelo superficial, el cual consiste en la toma de muestras de suelo, usualmente hasta una profundidad de 2 cm. Por lo general las especies inorgánicas, especialmente los metales, tienden a permanecer en el suelo superficial y se van diluyendo en el agua lluvia a medida que pasa el tiempo. Por este motivo, encontrar estas sustancias en muestras de suelo superficial, generalmente indica la posibilidad de la presencia de dichos contaminantes en la zona subsuperficial. Ya que este estudio es de carácter exploratorio, el hallazgo de estos compuestos en la zona superficial en concentraciones elevadas, ya sería un indicador de la necesidad de un estudio exhaustivo.

### 6.2 Instructivo

Ilustración 6-1. Instructivo de la guía de muestreo de compuestos inorgánicos



### 6.3 Diseño de muestreo

Por lo general, el suelo superficial está definido como los primeros 2 cm de profundidad (USEPA 1996), ya que es la capa de suelo donde el ser humano tiene la mayor parte del contacto, principalmente al estar expuesto a través de tres rutas de exposición: ingestión de partículas, absorción dérmica e inhalación de partículas. Por lo tanto la toma de muestras solo se realizará a dicha profundidad. En esta fase se recomienda tomar muestras compuestas. Estas muestras están conformadas por una mezcla de muestras individuales recolectadas de diferentes sitios. Se recomienda utilizar este tipo de muestras en esta fase del estudio, ya que reduce en un gran porcentaje los costos del análisis de las muestras. El promedio de las concentraciones obtenido para las muestras compuestas puede ser utilizado como un valor conservativo del promedio de la concentración del sitio, o como un estimativo de los contaminantes en el área.

Dentro del diseño del muestreo es necesario definir el **dónde**, el **cuándo** y el **cómo**. El **dónde** corresponde a la determinación de zonas de exposición a partir de la identificación de regiones con sospecha de contaminación. Sin embargo también se debe determinar la ubicación exacta de los puntos de muestreo. Esto se explica en la sección 6.3.1.

El **cuándo** hace referencia al momento en el cual se encuentra listo el predio para tomar las muestras. Esto depende del estado en el que se encuentre el predio, es decir si se encuentra construido o baldío. No obstante, se supone que los predios en donde se realiza un estudio exploratorio, posteriormente se llevará a cabo un proceso constructivo; es decir que si el predio tiene alguna edificación, esta tendrá que ser desmantelada y demolida, luego, el predio estará baldío. En este sentido, lo que realmente importa en el escenario del predio construido (en el caso del predio baldío no existe ninguna restricción para iniciar el muestreo), es saber si el muestreo se debe hacer antes o después de los procesos de desmantelamiento y demolición. La recomendación de esta guía es esperar, si es posible, hasta cuando la edificación haya sido desmantelada y no se encuentre habitada.

El **cómo** explica el procedimiento para tomar las muestras, que va desde la determinación del número de muestras hasta la homogenización de las muestras en el laboratorio. En las próximas secciones se aborda este tema.

### 6.3.1 Determinación de número de muestras

Antes de explicar cómo calcular el número de muestras es importante mencionar que para el estudio exploratorio se sugiere tomar muestras compuestas<sup>6</sup>. Esto debido a que se pretende obtener un promedio de la concentración del contaminante en la zona de exposición. Adicionalmente la mezcla física que ocurre al tomar muestras compuestas permite el muestreo de un área bastante grande mientras que mantiene los costos bajos.

Para calcular el número de muestras necesarias se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inicialmente se debe realizar la toma de 6 muestras compuestas (N) de 4 especímenes (C) o muestras individuales cada una. Por lo tanto el área de exposición debe ser dividida en 4 segmentos de áreas iguales: A, B, C y D (Ver Ilustración 6-2)<sup>7</sup>. Por ejemplo un área de 2000 m<sup>2</sup> se debe dividir en 4 áreas de 500 m<sup>2</sup>.
2. En cada uno de los segmentos se localiza y georreferencian 6 puntos al azar. De esta manera, se tendrán 24 puntos en total: 1 A, 2 A, 3 A,..., 4 D, 5 D y 6 D (Ver Ilustración 6-2).

Es posible que luego del análisis de las muestras se determine que es necesario tomar una o más muestras adicionales en cada cuadrante. Esto se explica en la sección 6.5.2.

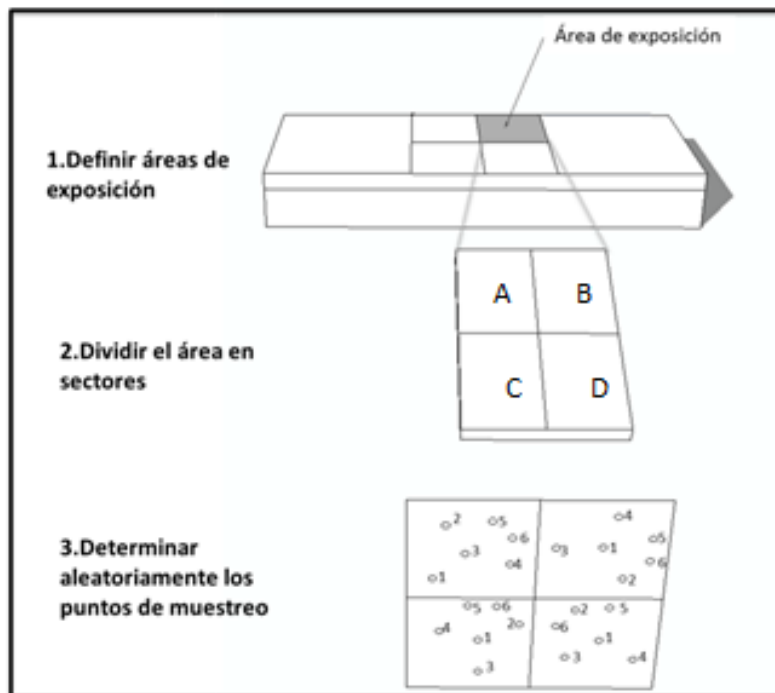
---

<sup>6</sup> Según la Norma Técnica Colombiana sobre la gestión ambiental del suelo y la toma de muestras de suelo para determinar contaminación, una muestra compuesta es una mezcla de varias muestras simples que se toman al azar en distintos sitios de un área de muestreo o áreas representativas.

<sup>7</sup> Los resultados de las concentraciones obtenidas serán evaluados por la SDA quien determinará si el número de muestras fue suficiente o si se necesitan más. La cantidad de muestras depende del coeficiente de variación (CV) de las concentraciones de las muestras individuales según la variabilidad espacial y analítica del contaminante (sección 6.5.2). Para más información dirigirse al **Technical Background Document** del **Soil Screening Guidance** de la EPA (USEPA 1996).



Ilustración 6-2. Diseño de muestreo para suelos superficiales.  
Adaptada de (USEPA 1996)



### 6.3.2 Cantidad de muestra

La cantidad de suelo extraído en cada uno de los 24 puntos ubicados en la zona de exposición debe ser suficiente para realizar submuestras y homogeneización de la muestra antes de realizar los análisis. Para estos análisis químicos se deben obtener aproximadamente 500 g de muestra de suelo superficial compuesta (ISO/AENOR 2010). Todas las muestras deben ser del mismo tamaño para mantener la representatividad estadística. Las muestras deben ser homogenizadas en el laboratorio apropiadamente antes del proceso analítico, en especial si el contaminante es sólido o muy viscoso.

### 6.3.3 Requisitos preliminares al muestreo

Luego de determinar el número de muestras compuestas, número de especímenes, ubicación de la toma de estas muestras y la cantidad, se prosigue a tomar las muestras. Sin embargo, este trabajo de campo implica hacer una serie de preparativos antes de realizar el muestreo. Es

importante que durante la fase de preparación se listen los recursos (humanos, materiales, equipos, y otros requisitos de operación) que se serán necesarios a lo largo del muestreo.

### 6.3.3.1 Requisitos de materiales<sup>8</sup>

La lista de materiales necesarios para el muestreo se describe a continuación:

- ✓ Esfero
- ✓ Cuaderno para notas
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Formatos para diligenciar: formato de perforaciones y formato de cadena de custodia.
- ✓ Marcador permanente
- ✓ *Stickers* para marcar las muestras
- ✓ Envases de vidrio ámbar con tapa (26 envases c/u de 250-300 ml)
- ✓ Equipo para muestrear (palas o barrenos)
- ✓ Espátula de acero inoxidable
- ✓ Agua potable (1 litro por cada muestra tomada)
- ✓ Agua destilada (1 litro por cada muestra tomada)
- ✓ Jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo)
- ✓ Cubierta plástica con orificio 30 cm de diámetro
- ✓ Nevera (s)
- ✓ Pilas de hielo
- ✓ Bolsas plásticas para aislar las muestras del hielo

### 6.3.3.2 Requisitos de documentación

- En lo posible debe haber un miembro del equipo marcando las muestras y tomando fotos y documentando, mientras que otro miembro del equipo toma las muestras. Esto ayudará a reducir la probable contaminación cruzada.
- Durante las perforaciones se debe diligenciar el formato de perforaciones y toma de muestra de suelo (Ver Anexo 10.3).
- Cada muestra debe tener un *sticker* de identificación donde especifica el número de la muestra (por ejemplo 1-A-3, que se referiría a la muestra 1, cuadrante A, del área de

---

<sup>8</sup> Esta lista no incluye la lista de implementos personales que deben usar las personas encargadas de realizar el muestreo. Esto se incluye en el anexo de seguridad industrial

exposición No. 3), la ubicación (georreferenciar), la fecha y el nombre de la persona responsable de tomar la muestra.

- Con el fin de llevar un registro de los responsables de la manipulación de las muestras, se debe llevar un registro a través de la cadena de custodia; un instrumento de control de calidad, en el cual se documenta el camino de las muestras desde la recolección hasta los análisis en laboratorio indicando el responsable en cada trámite. Allí se debe especificar el cambio de custodia registrando las firmas del anterior y nuevo responsable, las empresas, fecha, hora y estado de las muestras (CETESB-GTZ 2001). Cada persona firmante en la cadena de custodia queda legalmente responsable por el contenido de las muestras. Cuando el laboratorio recibe las muestras debe recibir una copia de la cadena de custodia, revisando las condiciones de cada uno de los contenedores y si están abiertos, rotos, no tienen material adentro o se observa cualquier alteración el laboratorio debe comunicarse con la persona que tomó las muestras para verificar la información y si es necesario solicitar el envío de una nueva muestra. Así mismo, el laboratorista indica en la custodia cuándo recibió las muestras y en qué estado estaban. Las muestras deben ser enviadas al laboratorio refrigeradas en una nevera donde se transporta también un envase plástico lleno de agua. Lo primero que debe hacer el laboratorista al recibir las muestras es verificar que la temperatura del agua que viene en el envase plástico de la misma nevera de las muestras sea menor o igual a 6 grados centígrados. Si esto no se cumple, no se puede verificar la preservación de las muestras y todas las muestras deberán ser tomadas nuevamente. El formato de la cadena de custodia se anexa a esta guía (ver Anexo 10.2), este debe ser entregado junto con el informe a la SDA.

### 6.3.3.3 Requisitos técnicos

- La recolección de las muestras se puede realizar de manera manual o mecánica. En caso de elegir un equipo electromecánico hay que asegurar la llegada de corriente eléctrica al lugar del muestreo (ISO/AENOR 2010).
- Se debe seleccionar el equipo adecuado para la toma de muestras según las condiciones del lugar (acceso al lugar). Para el muestreo superficial se sugieren dos equipos:

- **Palas:** el método más simple y directo para recolectar muestras es mediante palas. Estas son aptas para utilizar en la mayoría de suelos superficiales pero no en el caso de suelos subsuperficiales ya que a profundidades mayores a 50 cm se dificulta la recolección. Mediante este método se obtienen de manera sencilla muestras disturbadas (CETESB-GTZ 2001)
- **Barrenos:** existen diferentes tipos de barreno y la decisión de usar uno u otro depende principalmente de la clase de suelo. Entre los principales se encuentran el barreno de rosca, el de balde (estándar, para barro y para arena), el holandés y el plano. A nivel general los barrenos son muy poco efectivos recogiendo material granulado o poco compacto, a excepción del barreno para arenas. El de tipo Holandés es de uso común para profundidades hasta de 1,5 m.
- Si se encuentran perforaciones que se llenan de agua por condiciones del terreno, el agua se debe retirar y dejar secar para tomar la muestra de suelo. Si la perforación se llena de agua constantemente se debe optar por un muestreo de agua, y no se debe intentar tomar muestra de suelo ya que puede tener contaminación transportada por el agua desde otro lugar.

#### 6.3.3.4 Requisitos de seguridad industrial

- La contaminación cruzada se produce cuando el resultado de la concentración de sustancia presente en una muestra es alterada debido a los procedimientos de muestreo. La mejor manera de reducir la contaminación cruzada es realizando un exhaustivo proceso de limpieza de los equipos de muestreo (palas o barrenos)<sup>9</sup> luego de obtener una muestra. Este proceso de limpieza se debe realizar antes de iniciar el muestreo. Puede involucrar remoción física, neutralización o remoción química de la sustancia e incluso desinfección o esterilización del equipo (CETESB-GTZ 2001).
  - Remover el suelo adherido con una espátula o escobilla.
  - Lavar con agua potable y jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo).
  - Enjuagar cuidadosamente con agua potable.
  - Enjuagar cuidadosamente con agua destilada.

---

<sup>9</sup> Existen unas coberturas desechables que pueden evitar la contaminación cruzada

- Se deben utilizar guantes limpios para la obtención de cada muestra y los guantes que se usan para la extracción de las muestras en ningún momento deben entrar en contacto con las muestras extraídas.
- Tenga en cuenta que todo material extraído debe disponerse de manera adecuada (CETESB-GTZ 2001); si se encuentra contaminación por encima de los niveles de referencia el suelo debe disponerse como RESPEL, lo que significa que en algunos casos puede requerir ir a un relleno de seguridad o un incinerador, lo que incrementará los costos; si las concentraciones de los contaminantes en el suelo se encuentran por debajo de los niveles de referencia, el suelo extraído se puede disponer como residuo común. Por este motivo se debe evitar tomar más material que el que se necesita para realizar los análisis.
- Para todas las perforaciones y toma de muestras se debe seguir un programa de seguridad industrial para el personal que realiza las actividades (ver Anexo D).

#### 6.4 Toma de muestras

De acuerdo a los resultados obtenidos en las secciones anteriores, se deben tomar 24 muestras; cada muestra compuesta (de 4) debe tener 500 g, lo que significa que cada muestra individual debe ser de por lo menos 125 g. Esto para conformar las 6 muestras compuestas. Sin embargo, por cuestiones de control de calidad se recomienda tomar 2 muestras adicionales (una muestra marcada y una muestra control) de 500 g cada una. Las muestras para el control de calidad son muestras adicionales que se toman principalmente para determinar la variabilidad de las concentraciones en las muestras tanto en campo como en laboratorio. A continuación se describen las muestras de control de calidad (USEPA 2013).

- **Muestra marcada**

Las muestras marcadas se usan para controlar la calidad del laboratorio. Estas muestras se obtienen mediante la adición de una concentración conocida de la sustancia de interés a una muestra obtenida de un lugar similar al sitio de interés pero que se sepa o se sospeche que no se encuentra contaminado. Se sugiere enviar al menos una de estas muestras a cada laboratorio involucrado en los análisis (USEPA 2013).

- **Muestra control**

Este tipo de muestra pretende hallar la concentración que se encuentra de forma natural en el terreno de estudio. Para ello se debe realizar el muestreo en un lugar similar al sitio de interés pero que se sepa o se sospeche que no se encuentra contaminado (USEPA 2013). Se sugiere tomar una muestra de este tipo por cada 24 muestras recolectadas durante el estudio.

Una vez determinado el número de muestras totales, se procede a tomar las muestras. Antes de iniciar el muestreo se debe verificar que los equipos se encuentren limpios. El procedimiento de la toma de muestras depende del equipo seleccionado. Esto se explica a continuación.

### **Palas**

Para hacer el muestreo con palas se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, etc.) en un área aproximada de 30 cm de diámetro alrededor del punto.
2. Colocar una cubierta plástica (bolsa plástica) con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.
3. Con una pala limpia retirar la muestra de suelo desde la superficie hasta la profundidad de muestra deseada (2 cm).
4. Con una espátula de acero inoxidable limpia retirar una fina capa del material que entró en contacto con la pala.
5. Almacenar las muestras en frascos de vidrio ámbar.

### **Barrenos**

Para hacer el muestreo con barrenos se recomienda utilizar el siguiente procedimiento:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, etc.) en un área aproximada de 30 cm de diámetro alrededor del punto.

2. Colocar una cubierta plástica (bolsa plástica) con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.
3. Montar el barreno.
4. Barrenar removiendo periódicamente el material en el borde del hoyo para evitar que regrese a éste al retirar el barreno.
5. Retirar lentamente y con cuidado el barreno cuando éste esté lleno o se haya alcanzado la profundidad deseada (2 cm).
6. Almacenar las muestras en frascos de vidrio ámbar.

#### **6.4.1 Almacenamiento y preservación de muestras**

La manipulación de las muestras luego de su recolección es de gran importancia en la conservación de sus características in situ y por lo tanto en la validación de los resultados que posteriormente llevarán a tomar una decisión. La alteración en las muestras puede deberse a contaminación externa (e.g. recipientes sucios, movilización de contaminantes desde el material del recipiente, absorción de contaminantes del aire), pérdida de sustancias (e.g. volatilización, difusión en las paredes del recipiente) o reacciones químicas y biológicas (CETESB-GTZ 2001).

Las muestras deben ser almacenadas en frascos de vidrio ámbar. Se deben mantener a una temperatura  $\leq 6$  °C. Para esto las muestras en sus envases deben almacenarse en una nevera que contiene hielo (se debe tener una, o varias neveras con el tamaño suficiente para almacenar el número total de muestras). Las muestras o el hielo deberán ser aisladas en bolsas plásticas para evitar que el hielo derretido moje los frascos o pueda contaminar las muestras de alguna manera.

Luego del almacenamiento se transportan las muestras al laboratorio seleccionado en el menor tiempo posible (las muestras pueden durar máximo 48 horas en la nevera) para realizar el análisis de muestras.

### **6.5 Análisis de muestras**

Las muestras deben ser enviadas a un laboratorio acreditado para el análisis de suelos contaminados. Adicionalmente, el laboratorio debe asegurar que sus límites de detección para

los compuestos que van a analizar se encuentran por debajo de los niveles de referencia para uso doméstico.

El análisis de muestras requiere la mezcla de las muestras individuales para conformar las muestras compuestas y posteriormente homogenizarlas. Esto se explica en la sección 6.5.1.

### **6.5.1 Conformación de la muestra compuesta y homogenización<sup>10</sup>**

Para conformar las muestras compuestas, se mezcla cantidades iguales de las muestras individuales obtenidas en los 4 segmentos. Por ejemplo para la muestra compuesta No. 1, se mezclan los 4 especímenes de los puntos 1 A, 1 B, 1 C y 1 D. Este proceso es realizado en el laboratorio y debe seguir los siguientes pasos:

1. Mezclar cada una de las muestras individuales previamente.
2. Agrupar los especímenes en contenedores diferentes de a 2 unidades. Es decir, 1 A y 1 B en un contenedor, 1 C y 1 D en otro contenedor.
3. Mezclar completamente hasta que el material se vea homogéneo.
4. Una vez el material se vea homogéneo, las dos mitades pueden unirse (1AB y 1CD)
5. Mezclar hasta que todo el material se vea homogéneo.
6. Seguir el mismo procedimiento para las muestras 2, 3, 4, 5 y 6.

Las 6 muestras compuestas se deben analizar por área de exposición para determinar si el contaminante está presente y sus concentraciones.

### **6.5.2 Determinación de la necesidad de toma de muestras compuestas adicionales<sup>11</sup>**

Una vez obtenidos los resultados del muestreo, se debe determinar si el número de muestras tomadas es suficientemente representativo para el predio. Para realizar este análisis se debe determinar el coeficiente de variación (CV), el cual se calcula de la siguiente manera:

$$CV = \frac{2S}{X}$$

Dónde:

X corresponde a la concentración promedio de las muestras compuestas (1, 2, 3, 4, 5 y 6) [mg/kg]

<sup>10</sup> Este procedimiento se debe realizar en el laboratorio acreditado.

<sup>11</sup> Metodología basada en *Soil Screening Guidance* (EPA 1996)



---

S corresponde a la desviación estándar de las concentraciones de las muestras compuestas [mg/kg]

- Si el  $CV \leq 2.5$ , el número de muestras tomadas fue adecuado.
- Si  $2.5 < CV \leq 3$ , se debe tomar una muestra individual adicional en cada cuadrante (A, B, C, D), y se debe analizar como muestra compuesta No. 7.
- Si  $3 < CV \leq 3.5$ , se deben tomar 2 muestras compuestas individuales adicionales en cada cuadrante (A, B, C, D), y analizarlas como muestras compuestas 7 y 8.
- Si  $CV > 3.5$ , se debe tomar 3 muestras compuestas individuales adicionales en cada cuadrante (A, B, C, D), y analizarlas como muestras compuestas 7, 8 y 9.

Cuando la concentración de las muestras es muy baja, el CV tiende a infinito. En estos casos se debe dividir el nivel de referencia para uso doméstico en 2. Si el promedio de las concentraciones medido en las muestras es menor al nivel de referencia para uso doméstico dividido 2 (para cada una de las sustancias de interés), no será necesario obtener más muestras de esta zona de exposición.

Esta metodología permite mantener el error tipo “falso negativo” a una tasa del 5% (solo en el 5% de los casos se asume que la contaminación del suelo está por debajo del nivel de referencia, cuando en realidad se encuentra por encima). También se logra mantener el error tipo “falso positivo” por debajo del 20% (solo en el 20% de los casos, la contaminación del suelo se asume que está por encima de los niveles de referencia cuando en realidad se encuentra por debajo).

Es importante tener en cuenta que el número de muestras requerido puede variar según el contaminante. Por ejemplo, si el contaminante A tiene un  $CV=2$ , pero para el B el  $CV=3$ , se debe tomar un número de muestras representativo para B, es decir 7 muestras compuesta por área de exposición. En este caso, el contaminante A no tiene que ser analizado en la muestra compuesta No. 7, pero el B sí.

## 6.6 Realización de informe

El informe que debe ser entregado a la SDA debe contener el mapa de la zona de estudio, la metodología seguida los resultados obtenidos y las conclusiones. El documento debe tener 5 capítulos, como se describe a continuación.

### **6.6.1 Introducción, alcance y objetivos**

Este primer capítulo tiene como objetivo introducir al lector al problema, presentar el objetivo del estudio y describir brevemente lo que se planea lograr al realizar esta fase del estudio.

### **6.6.2 Mapa del estudio exploratorio**

El capítulo 2 debe incluir el mapa realizado al iniciar el estudio exploratorio. Se debe explicar por qué se escogieron las zonas potenciales de contaminación y cuál es la hipótesis inicial respecto a la situación del predio.

### **6.6.3 Metodología**

Este capítulo describe la planificación y la justificación de la estrategia del estudio, así como la descripción de la ejecución del trabajo, incluyendo procedimientos de muestreo, número y tipo de muestras, lugares de muestreo, tiempos de toma de muestra y metodologías de análisis de muestras. Adicionalmente debe incluir observaciones y describir situaciones en las que haya sido necesario cambiar la metodología propuesta o en donde se hayan encontrado problemas para realizar las actividades.

### **6.6.4 Resultados y análisis de resultados**

En esta sección se describen los resultados por medio de tablas o gráficas. Se debe reportar la variabilidad entre duplicados (de laboratorio), así como comparación con muestras de referencia. Adicionalmente se debe presentar una tabla en donde se comparen las concentraciones medidas en campo con los niveles de referencia para uso doméstico y para uso industrial. Se debe resaltar sobre las tablas los valores que excedan los niveles de referencia propuestos.

### **6.6.5 Conclusiones y recomendaciones**

En esta sección se deben incluir conclusiones con respecto a las hipótesis iniciales descritas en el mapa del estudio exploratorio. Por ejemplo, si la hipótesis inicial planteaba que la mayor contaminación se encontraba en alguna sección específica del predio, y los resultados fueron consistentes con la hipótesis, esto debe resaltarse en esta sección. Así mismo, si en la hipótesis se predecía la presencia de un contaminante específico en la zona y este no fue encontrado, esto debe describirse en esta sección. Se deben plantear conclusiones sobre los potenciales

usos del suelo según las concentraciones encontradas y la comparación con los niveles de referencia. Se recomienda comparar las concentraciones obtenidas de las muestras superficiales compuestas con dos veces el nivel de referencia para cada contaminante de interés. Si las concentraciones de **todas** las muestras compuestas se encuentran por debajo de dos veces el nivel de referencia, no se requiere hacer estudio exhaustivo. Esta decisión se puede tomar únicamente si se han seguido todos los pasos recomendados en esta guía, y teniendo en cuenta que el número de muestras es adecuado, según el CV.

### 6.6.6 Anexos

Se debe anexar los archivos que respalden lo documentado en el informe, además de los papeles contractuales que sustentan la validez del muestreo. Estos son los documentos que como mínimo se debe adjuntar.

- ✓ Formato de identificación de regiones con sospecha de contaminación diligenciado
- ✓ Formato cadena de custodia diligenciado
- ✓ Formato de perforaciones y toma de muestra del suelo diligenciado
- ✓ Fotos del muestreo
- ✓ Soportes de la acreditación del laboratorio
- ✓ Tabla con niveles de detección (mg/l) del laboratorio
- ✓ Reporte de resultados entregados por el laboratorio

---

## 7 Guía para muestreo de suelo con sospecha de contaminación por COVs únicamente

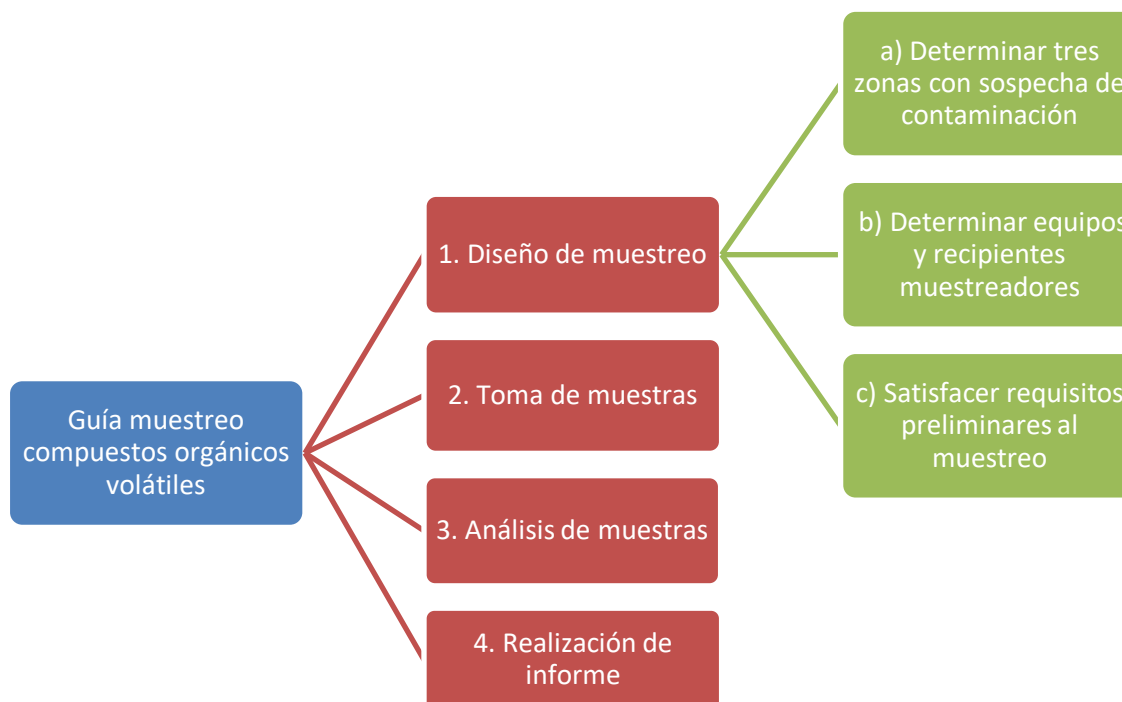
---

### 7.1 Introducción

Esta guía tiene como propósito proporcionar al usuario las herramientas conceptuales necesarias para llevar a cabo un muestreo subsuperficial, el cual consiste en la toma de muestras del subsuelo, usualmente hasta 3 m de profundidad o hasta encontrar el nivel freático. Es posible que en sitios contaminados, los contaminantes volátiles, en especial los compuestos orgánicos volátiles (COV), migren a la atmosfera fácilmente del suelo superficial. Por lo tanto, es más probable encontrar este tipo de contaminantes en el subsuelo. De igual forma, es importante resaltar que los compuestos orgánicos volátiles (incluyen aromáticos con peso molecular bajo, hidrocarburos, hidrocarburos halogenados, cetonas, acetatos, nitrilos, acrilatos, y éteres) en el subsuelo pueden generar un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente a través de la inhalación o por la migración a un acuífero. Dado que algunos COV son potencialmente mutagénicos, carcinogénicos y/o teratogénicos, son factores importantes para la evaluación del riesgo en suelos con sospecha de contaminación. Ya que este estudio es de carácter exploratorio, el hallazgo de compuestos orgánicos volátiles en la zona subsuperficial en concentraciones elevadas, es un indicador de la necesidad de un estudio exhaustivo del suelo.

## 7.2 Instructivo

Ilustración 7-1. Instructivo Guía COVs



## 7.3 Diseño de muestreo

Por lo general, el suelo subsuperficial está definido como la capa de suelo por debajo de la zona superficial hasta el nivel freático o la zona saturada. El ser humano puede estar expuesto a contaminantes que se encuentran en esta capa de suelo a través de inhalación de compuestos volátiles o ingestión de agua contaminada.

Dentro del diseño del muestreo es necesario definir el **dónde**, el **cuándo** y el **cómo**. El **dónde** corresponde a la determinación de zonas de exposición a partir de la identificación de regiones con sospecha de contaminación. Se debe determinar la ubicación exacta de los puntos de muestreo como se explica en la sección 7.3.1.

El **cuándo** hace referencia al momento en el cual se encuentra listo el predio para tomar las muestras. Esto depende del estado en el que se encuentre, es decir si el predio se encuentra construido o baldío. No obstante, se supone que los predios en donde se realiza un estudio exploratorio, posteriormente se llevará a cabo un proceso constructivo; es decir que si el

predio tiene alguna edificación, esta tendrá que ser desmantelada y demolida, luego, el predio estará baldío. En este sentido, lo que realmente importa en el escenario del predio construido (en el caso del predio baldío no existe ninguna restricción para iniciar el muestreo), es saber si el muestreo se debe hacer antes o después de los procesos de desmantelamiento y demolición. La recomendación de esta guía es esperar, si es posible, hasta cuando la edificación haya sido desmantelada y no se encuentre habitada.

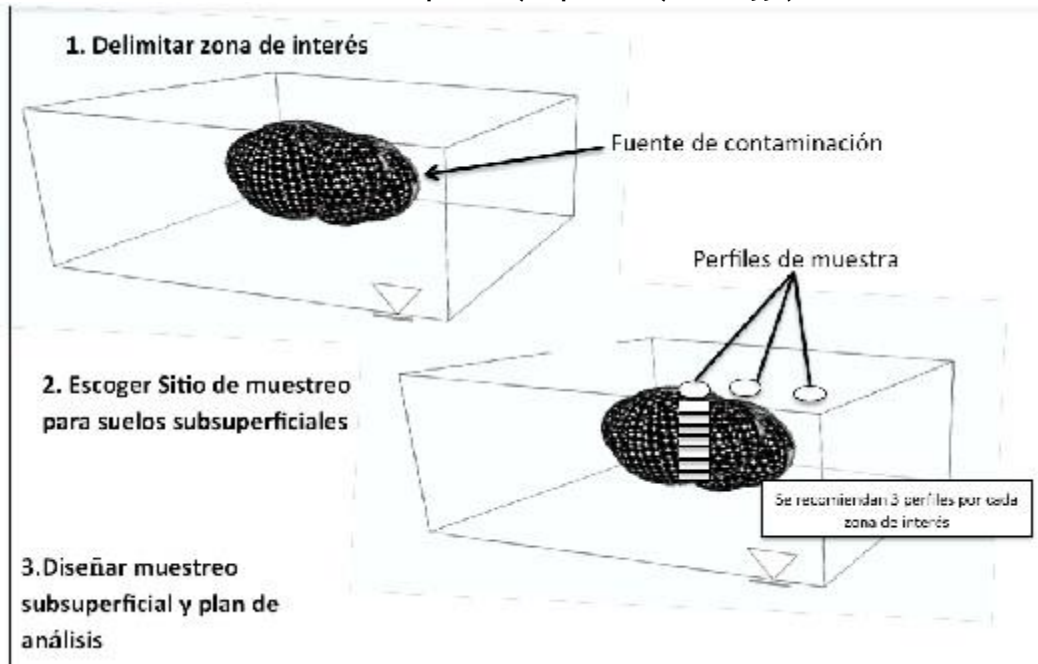
El **cómo** explica el procedimiento para tomar las muestras, que va desde la determinación del número de muestras hasta la manipulación de las muestras en el laboratorio. En los próximos capítulos se aborda este tema.

### **7.3.1 Determinación de número de muestras**

La metodología utilizada para el muestreo de suelos subsuperficiales se enfoca en la recolección de la información necesaria para determinar la volatilización y la migración de los contaminantes a las aguas subterráneas. Para lograr esto, es necesario determinar las concentraciones de contaminantes a diferentes profundidades para cada una de las muestras (ver Ilustración 7-2).

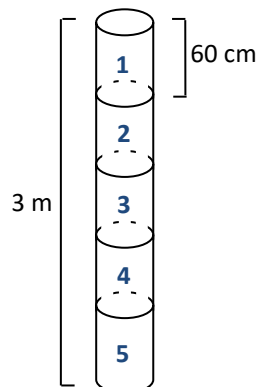
Con base en la información secundaria que se tiene o análisis de COV en superficie, se debe elegir la zona en donde se sospeche que se encuentra la mayor concentración de contaminantes. Un lote contaminado puede tener más de una zona con sospecha de contaminación (por ejemplo, una zona donde se encontraba una caldera es una zona de origen para hidrocarburos, en otra zona donde hubo derrame de solventes es otra zona de origen). Se debe tener en cuenta que algunos compuestos pueden no ser perceptibles en la superficie. Por este motivo se recomienda **utilizar ayudas como cromatógrafos portátiles y detectores de compuestos orgánicos volátiles** (FID: ionizador de llama, PID: fotoionizador, OVA: analizador de vapor orgánico, entre otros), para la identificación de zonas de origen. Así mismo, información sobre prácticas pasadas pueden ayudar a determinar zonas de origen.

Ilustración 7-2. Toma de muestras de suelo subsuperficial (adaptado de (USEPA 1996))



Se deben tomar mínimo tres (3) perfiles o núcleos de suelo. La distancia entre los perfiles debe ser menor a 30 metros (ISO/AENOR 2010). Para la obtención de muestras de suelo subsuperficial se recomienda el uso de muestreadores de cuchara partida con “liners” (muestreadores tubulares del cual se obtiene un perfil del suelo de la profundidad deseada). El muestreo será realizado hasta una profundidad de 3 m, o hasta alcanzar el nivel freático (USEPA 1996). **El muestreo no puede realizarse por debajo del nivel freático.**

Ilustración 7-3. Divisiones de una muestra subsuperficial



Los perfiles de suelo serán divididos en segmentos iguales, por lo general de una longitud de aproximadamente 60 cm. De esta forma, de una muestra de suelo de 3 m de profundidad se van a obtener 5 muestras discretas (1, 2, 3, 4 y 5). En cada segmento, sin perturbar el perfil, se debe tomar cada submuestra de suelo para análisis de COV. En algunos casos, dependiendo del muestreador, después de tomar la muestra, esta se debe transferir inmediatamente a un contenedor especial para preparar las submuestras (ver más detalles en la sección 7.4.1)

Se debe calcular el promedio de la concentración en la muestra de suelo promediando los resultados analíticos obtenidos para cada una de las muestras discretas (1, 2, 3, 4 y 5). En aquellos casos en que por algún motivo no se puedan obtener muestras discretas cada una de la misma longitud, el promedio de la concentración deberá calcularse teniendo en cuenta la longitud de cada uno de los segmentos de las muestras discretas, obteniendo un promedio normalizado por longitud:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n l_i c_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$$

En donde  $l_i$  es la longitud del segmento  $i$  y  $c_i$  es la concentración del segmento  $i$

### 7.3.2 Cantidad de muestra

La cantidad de suelo extraído debe ser suficiente para extraer las submuestras y duplicados antes de realizar los análisis. Cada análisis de COV requiere una muestra de aproximadamente 5g de suelo, según el tipo de muestreador seleccionado. El diseño y los objetivos de la investigación de muestreo deben tener en cuenta que el tamaño de la muestra es extremadamente pequeño y que no se hace mezcla de la muestra, lo cual puede afectar la representatividad de la muestra para COV en comparación con muestras con mayores volúmenes recolectados para otros contaminantes.

### 7.3.3 Requisitos preliminares al muestreo

Luego de determinar el número de muestras compuestas, número de especímenes, ubicación de la toma de estas muestras y la cantidad, se prosigue a tomar las muestras. Sin embargo, este trabajo de campo implica satisfacer una serie de requisitos antes de realizar el muestreo. Es



importante que a partir de los requisitos se listen los recursos (humanos, materiales, equipos, y otros requisitos de operación) que se deben adquirir.

#### 7.3.3.1 Requisitos de materiales<sup>12</sup>

La lista de materiales necesarios para el muestreo se describe a continuación:

- Esfero
- Cuaderno para notas
- Marcador permanente
- Stickers para marcar las muestras
- Equipos para toma de muestra (sistema manual o de percusión, liner)
- Muestreadores para COV (En Core®, jeringas, espátulas o corta-núcleos en acero inoxidable)
- Viales de 40 ml con septa de teflon y tapa plástica de rosca para garantizar un sello hermético
- Agua potable (1 litro por cada muestra tomada)
- Agua destilada (1 litro por cada muestra tomada)
- Jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo)
- Cubierta plástica con orificio 30 cm de diámetro
- Nevera (s)
- Hielo
- Bolsas plásticas para aislar el hielo de las muestras

#### 7.3.3.2 Requisitos de documentación

- En lo posible debe haber un miembro del equipo marcando las muestras y tomando fotos y documentando, mientras que otro miembro del equipo toma las muestras. Esto ayudará a reducir una posible contaminación cruzada.
- Durante las perforaciones se debe diligenciar el formato de perforaciones y toma de muestra de suelo (Ver Anexo A).

---

<sup>12</sup> Esta lista no incluye la lista de implementos personales que deben usar las personas encargadas de realizar el muestreo, esto se incluye en el anexo de seguridad industrial.

Los elementos que estén en contacto con la muestra debe ser preferiblemente de vidrio, acero inoxidable, acero y/o latón. Cualquier otro material debe ser usado sólo si se ha demostrado su equivalencia (ASTM D4547-09).

- Cada muestra debe tener un *sticker* de identificación donde especifica el número de la muestra (por ejemplo 1-A, que se referiría a la muestra 1, núcleo A, la ubicación (georreferenciar), la fecha y el nombre de la persona responsable de tomar la muestra.
- Con el fin de llevar un registro de los responsables de la manipulación de las muestras, se debe llevar un registro a través de la cadena de custodia; un instrumento de control de calidad, en el cual se documenta el camino de las muestras desde la recolección hasta los análisis en laboratorio indicando el responsable en cada trámite. Allí se debe especificar el cambio de custodia registrando las firmas del anterior y nuevo responsable, las empresas, fecha, hora y estado de las muestras (CETESB-GTZ 2001). Cada persona firmante en la cadena de custodia queda legalmente responsable por el contenido de las muestras. Cuando el laboratorio recibe las muestras debe recibir una copia de la cadena de custodia, revisando las condiciones de cada uno de los contenedores y si están abiertos, rotos, no tienen material adentro o se observa cualquier alteración el laboratorio debe comunicarse con la persona que tomó las muestras para verificar la información y si es necesario solicitar el envío de una nueva muestra. Así mismo, el laboratorista indica en la custodia cuándo recibió las muestras y en qué estado estaban. Las muestras deben ser enviadas al laboratorio, refrigeradas en una nevera donde se transporta también un envase plástico lleno de agua. Lo primero que debe hacer el laboratorista al recibir las muestras es verificar que la temperatura del agua que viene en el envase plástico de la misma nevera de las muestras sea menor o igual a 6 grados centígrados. Si esto no se cumple, no se puede verificar la preservación de las muestras y todas las muestras deberán ser tomadas nuevamente. El formato de la cadena de custodia se anexa a esta guía (ver Anexo A), este debe ser entregado junto con el informe a la SDA.

### 7.3.3.3 Requisitos técnicos

- La recolección de las muestras se puede realizar de manera manual o mecánica. En caso de elegir un equipo electromecánico hay que asegurar la llegada de corriente eléctrica al lugar del muestreo (ISO/AENOR 2010).
  - Se debe seleccionar el equipo adecuado para la toma de muestras según las condiciones del lugar (acceso al lugar). Para el muestreo subsuperficial se recomiendan equipos tubulares. Son instrumentos de muestreo en forma

cilíndrica que son utilizados principalmente para la recolección de muestras no disturbadas, manteniendo sus características físicas y químicas originales. Son introducidos mediante percusión o presión ya sea de manera manual o mecánica. Existen recolectores tubulares acanalados, de media caña, sólidos y sólidos de pared fina. De manera general estos recolectores son poco efectivos en suelos con gran cantidad de material grueso. Se recomienda utilizar *liners* para la extracción del material (CETESB-GTZ 2001). Los *liners* son recomendados también para reducir la probabilidad de contaminación cruzada.

- Si se encuentran perforaciones que se llenan de agua por condiciones del terreno, el agua se debe retirar y dejar secar para tomar la muestra de suelo. Si la perforación se llena de agua constantemente se debe optar por un muestreo de agua, y no se debe intentar tomar muestra de suelo ya que puede tener contaminación transportada por el agua desde otro lugar.

#### 7.3.3.4 Requisitos de seguridad industrial

- La contaminación cruzada se produce cuando el resultado de la concentración de sustancia presente en una muestra es alterada debido a los procedimientos de muestreo. La mejor manera de reducir la contaminación cruzada es realizando un exhaustivo proceso de limpieza de los equipos de muestreo (palas o barrenos)<sup>13</sup> luego de obtener una muestra. Este proceso de limpieza se debe realizar antes de iniciar el muestreo. Puede involucrar remoción física, neutralización o remoción química de la sustancia e incluso desinfección o esterilización del equipo (CETESB-GTZ 2001).
  - Remover el suelo adherido con una espátula o escobilla.
  - Lavar con agua potable y jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo).
  - Enjuagar cuidadosamente con agua potable.
  - Enjuagar cuidadosamente con agua destilada.
- Se deben utilizar guantes limpios para la obtención de cada muestra y los guantes que se usan para la extracción de las muestras en ningún momento deben entrar en contacto con las muestras extraídas.

<sup>13</sup> Existen unas coberturas desechables que pueden evitar la contaminación cruzada

- Tenga en cuenta que todo material extraído debe disponerse de manera adecuada (CETESB-GTZ 2001); si las concentraciones de contaminantes se encuentran por debajo de los niveles de referencia, el suelo extraído se puede disponer como residuo común. Si se encuentra contaminación por encima de los niveles de referencia, el suelo se debe disponer como RESPEL, y en algunos casos puede requerir ir a un relleno de seguridad o un incinerador, lo que incrementará los costos. Por este motivo se debe evitar tomar más material que el que se necesita para realizar los análisis.
- Para todas las perforaciones y toma de muestra se debe elaborar un programa de seguridad industrial para el personal que realiza las actividades (ver Anexo D).

#### 7.4 Toma de muestras

Las muestras de suelo subsuperficial se pueden obtener por medio de técnicas manuales o mecánicas y por empuje directo o perforación. Lo más recomendable para muestreo de COV en el suelo es utilizar técnicas en las cuales se obtenga un perfil de suelo en forma cilíndrica no disturbada. Es preferible que todas las herramientas de muestreo recolecten la muestra de suelo dentro de un revestimiento de paredes delgadas en forma cilíndrica llamado liner.

- Muestreador Large Bore® (LB) es un barril sólido de empuje directo equipado con un pistón utilizado principalmente para la recolección de muestras discretas del subsuelo. Después de que el LB® está equipado con el pistón, la punta de corte y el liner, se inserta en el suelo. El muestreador se conduce a la profundidad de muestreo deseada, en ese momento se retira el pasador de tope del pistón, liberando el punto de empuje. El muestreador LB® se empuja en el suelo a una distancia igual a la longitud del muestreador LB®. La sonda que está pegada al muestreador LB®, se retira del subsuelo. Después de la recuperación, el muestreador LB® se retira de la sonda, se retira el cabezal de la unidad para permitir la extracción del liner y la muestra de suelo.
- Muestreador MacroCore® es igualmente un barril sólido de empuje directo equipado con un pistón que se utiliza principalmente para recolectar muestras, ya sea continua o discreta del subsuelo. El muestreador MC® es capaz de recuperar un núcleo contenido en un liner extraíble.
- Cuchara partida continua: la cuchara partida continua es una cuchara de gran diámetro que se introduce en la columna de suelo dentro de un cilindro hueco. Esta cuchara

usualmente tienen un diámetro de 3 a 5 pulgadas (7.6 a 12.7 cm) y una longitud de 5 o 10 pies (1.5 o 3 m), aunque los muestreadores de 5 pies son los más comunes. Después de que la cadena sinfín ha avanzado en la columna de suelo la longitud del muestreador se devuelve a la superficie. El muestreador se retira del interior del cilindro hueco y la cuchara partida se abre para la toma de muestras.

Para hacer muestreos con estos equipos se recomienda seguir la siguiente metodología:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, grava, etc.) en un área aproximada de 30cm de diámetro alrededor del punto. La medición de la profundidad de la muestra comienza en la parte superior del suelo, inmediatamente después de cualquier material eliminado.
2. Colocar una cubierta plástica con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.
3. Instalar el recolector.
4. Introducir el recolector (por presión o percusión).
5. Retirar lentamente y con cuidado el recolector cuando se haya alcanzado la profundidad máxima o deseada.
6. Tomar la muestra y retirar una fina capa del material en sus caras superior e inferior para eliminar posible contaminación que pudiera resultar durante el muestreo. Cuando se usa un recolector acanalado debe removerse también todo el material que se encuentra en la parte abierta (i.e. fuera del canal).
7. Almacenar y manipular las muestras cuidadosamente para evitar volatilización.
8. Descontaminar los equipos antes de tomar la próxima muestra.

#### **7.4.1 Almacenamiento y preservación de muestras**

La manipulación de las muestras luego de su recolección es de gran importancia en la conservación de sus características *in situ* y por lo tanto en la validación de los resultados que posteriormente llevarán a tomar una decisión. La alteración en las muestras puede deberse a contaminación externa (e.g. recipientes sucios, movilización de contaminantes desde el material del recipiente, absorción de contaminantes del aire), pérdida de sustancias (e.g. volatilización, difusión en las paredes del recipiente) o reacciones químicas y biológicas (CETESB-GTZ 2001).

Los liners no se deben usar para el almacenamiento de muestras a las cuales se les va a analizar COVs ya que no tienen sellos herméticos. La recolección y manejo de las muestras debe garantizar la mínima pérdida de COV por volatilización o biodegradación<sup>14</sup>. La segmentación de las muestras y el envasado de las submuestras debe hacerse en el menor tiempo posible (<10 s) para reducir pérdidas de COV por volatilización (ASTM D4547-09).

Las muestras a las que se les analizarán COV, deben ser recolectadas en muestreadores tipo En Core<sup>®15</sup>, Purge-and-Trap Soil Sampler<sup>®</sup>, o jeringas con un tubo al interior para la recolección de la muestra. Si se usan jeringas, la muestra se debe transvasar en un recipiente con sello hermético (vial de vidrio ambar de 40 ml pre-preparado) inmediatamente para reducir las pérdidas por volatilización. Se recomienda que los viales de 40 mL se preparen y se pesen previamente en el laboratorio donde se hará el análisis de COV. Cuando se usa el En Core<sup>®</sup>, se debe tapar inmediatamente el extremo abierto después de asegurarse que las superficies de sellado estén limpias. Las muestras para análisis de COV también se pueden recoger con un muestreador convencional (corta-núcleos o espátula en acero inoxidable). Para obtener una muestra sin perturbaciones se debe introducir el corta-núcleos o la espátula en una superficie recién expuesta de suelo y retirando el muestreador una vez esté lleno, inmediatamente se debe pasar la muestra al recipiente de almacenamiento (vial de vidrio ambar de 40 ml pre-preparado). Se debe asegurar que la superficie donde se sella la muestra esté limpia para garantizar el sello hermético.

Las muestras de suelo para análisis de COV se deben preparar para el envío y el análisis al laboratorio de la siguiente manera:

- *Muestreador En Core<sup>®</sup>* - la muestra se tapa, se sella, y se introduce en la bolsa de aluminio original. Todas las bolsas de papel de aluminio que contienen los muestreadores En Core<sup>®</sup> se colocan en una bolsa plástica y se sellan con cinta de custodia, si es necesario.
- *Jeringa* - añadir la muestra en el vial de 40 ml pre-preparado, no debe quedar cabeza con aire para evitar la volatilización. Asegure los recipientes en una bolsa de plástico.

<sup>14</sup> La biodegradación de los COV está dominada por procesos aerobios que se dan cuando la muestra se expone a la atmósfera.

<sup>15</sup> Muestreador En Core es una patente de En Novative Technologies Inc.

No utilice un sello de custodia en el envase; colocar el sello de custodia en la bolsa plástica.

Nota: Cuando se utilizan las jeringas, es importante que no quede aire atrapado antes de la extrusión, ya que esto afectará negativamente a la muestra.

- Espátulas en acero inoxidable - añadir la muestra en el vial de 40 ml pre-preparado, no debe quedar cabeza con aire para evitar la volatilización. Asegure los contenedores en una bolsa de plástico. No utilice un sello de custodia en el envase; colocar el sello de custodia en la bolsa plástica.

Las muestras se deben mantener a una temperatura  $\leq 6$  °C. Para esto las muestras en sus envases deben almacenarse en una nevera que contiene hielo (se debe tener una, o varias neveras con el tamaño suficiente para almacenar el número total de muestras). Las muestras o el hielo deberán ser aisladas en bolsas plásticas para evitar que el hielo derretido moje los frascos o pueda contaminar las muestras de alguna manera.

Luego del almacenamiento se transportan las muestras al laboratorio seleccionado en el menor tiempo posible (las muestras pueden durar máximo 48 horas en la nevera) para realizar el análisis de muestras.

#### **7.4.2 Consideraciones especiales**

En algunos casos durante el proceso de extracción de las muestras de suelo profundas se pueden encontrar estructuras enterradas, tanques que contienen líquidos desconocidos o barriles de almacenamiento llenos o vacíos. En estos casos se debe enviar el suelo que cubre dicha estructura para análisis.

- Sea muy cuidadoso para no romper la estructura, ya que esto puede resultar en el derrame de alguna sustancia contaminante.
- En el caso que la estructura se encuentre muy cercana a la superficie del suelo, y no pueda tomar muestra de suelo de esa zona, busque una zona cercana para tomar otra muestra.
- Si encuentra un tanque de almacenamiento que contiene líquido, tome una muestra del líquido y envíela para análisis.



- Deje indicado en el reporte final el lugar en donde encontró la estructura y una descripción de lo encontrado.
- Si hay una capa de relleno sobre el suelo (por ejemplo ladrillo molido), este relleno no debe ser enviado para análisis. Solo debe enviar el suelo que se encuentra debajo. De todas maneras, deje indicado en su reporte la condición de dicho relleno; indique si se detectan olores fuertes, si el relleno está manchado o si se observan líquidos aceitosos cubriendo el material de relleno

## 7.5 Análisis de muestras

Las muestras deben ser enviadas a un laboratorio acreditado para el análisis de suelos contaminados. Adicionalmente, el laboratorio debe asegurar que sus límites de detección para los compuestos que van a analizar se encuentran por debajo de los niveles de referencia para uso doméstico. En caso que el laboratorio no esté acreditado para el análisis de suelos contaminados, el proceso de análisis debe ser acompañado por algún funcionario de la Secretaría Distrital de Ambiente.

## 7.6 Realización de informe

El informe que debe ser entregado a la SDA debe contener el mapa de la zona de estudio, la metodología seguida los resultados obtenidos y las conclusiones. El documento debe tener 5 capítulos, como se describe a continuación.

### 7.6.1 Introducción, alcance y objetivos

Este primer capítulo tiene como objetivo introducir al lector al problema, presentar el objetivo del estudio y describir brevemente lo que se planea lograr al realizar esta fase del estudio.

### 7.6.2 Mapa del estudio exploratorio

El capítulo debe incluir el mapa realizado al iniciar el estudio exploratorio. Se debe explicar porque se escogieron las zonas potenciales de contaminación y cuál es la hipótesis inicial respecto a la situación del predio.

### 7.6.3 Metodología

Este capítulo describe la planificación y la justificación de la estrategia del estudio, así como la descripción de la ejecución del trabajo, incluyendo procedimientos de muestreo, número y tipo



de muestras, lugares de muestreo, tiempos de toma de muestra y metodologías de análisis de muestras. Adicionalmente debe incluir observaciones y describir situaciones en las que haya sido necesario cambiar la metodología propuesta o en donde se hayan encontrado problemas para realizar las actividades.

#### 7.6.4 *Resultados y análisis de resultados*

En esta sección se describen los resultados por medio de tablas o gráficas. Se debe reportar la variabilidad entre duplicados (de laboratorio), así como comparación con muestras de referencia. Adicionalmente se debe presentar una tabla en donde se comparan las concentraciones obtenidas con los niveles de referencia para uso doméstico y uso industrial.

En el caso de las muestras subsuperficiales, el promedio de cada uno de los núcleos (3 m, normalizados por longitud) debe ser comparado con el nivel de referencia (USEPA 1996). La concentración normalizada por longitud para cada núcleo se debe calcular haciendo la sumatoria de las concentraciones de cada segmento del núcleo (c), multiplicada por su longitud (l) y dividiendo la sumatoria por la longitud total del núcleo.

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n a_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$$

En el caso en que todos los segmentos del núcleo sean de la misma longitud, simplemente se debe calcular el promedio de las concentraciones de todos los segmentos del mismo núcleo. **En el caso en donde la concentración promedio (normalizada por longitud) de cualquiera de los núcleos exceda el nivel de referencia, se debe realizar una evaluación exhaustiva.**

#### 7.6.5 *Conclusiones y recomendaciones*

En esta sección se deben incluir conclusiones con respecto a las hipótesis iniciales descritas en el mapa del estudio exploratorio. Por ejemplo, si la hipótesis inicial planteaba que la mayor contaminación se encontraba en alguna sección específica del predio, y los resultados fueron consistentes con la hipótesis, esto debe resaltarse en esta sección. Así mismo, si en la hipótesis se predecía la presencia de un contaminante específico en la zona y este no fue encontrado, esto debe describirse en esta sección. Se deben hacer recomendaciones para el potencial uso

---

del suelo según los resultados encontrados y la comparación con los niveles de referencia. En el caso de las muestras de suelo subsuperficial, si cualquiera de las concentraciones (normalizadas por longitud) de los núcleos excede el nivel de referencia específico para alguna de las sustancias investigadas, se recomienda hacer un estudio exhaustivo de la zona.

### **7.6.6 Anexos**

Se debe anexar los archivos que respalden lo documentado en el informe, además de los papeles contractuales que sustentan la validez del muestreo. Estos son los documentos que como mínimo se debe adjuntar.

- ✓ Formato No. 1 diligenciado
- ✓ Formato cadena de custodia diligenciado
- ✓ Formato de perforaciones y toma de muestra del suelo diligenciado
- ✓ Fotos del muestreo
- ✓ Soportes de la acreditación del laboratorio
- ✓ Tabla con niveles de detección (mg/l) del laboratorio
- ✓ Reporte de resultados entregados por el laboratorio

---

## **8 Guía para muestreo de suelo con sospecha de contaminación por mezclas y otros compuestos orgánicos**

---

### **8.1 Introducción**

Esta guía tiene como propósito proporcionar las herramientas conceptuales necesarias al usuario para llevar a cabo un muestreo superficial y subsuperficial. El muestreo superficial consiste en la toma de muestras de suelo, usualmente hasta una profundidad de 2 cm (ver Guía para muestreo de suelo con sospecha de contaminación por compuestos inorgánicos únicamente). El muestreo subsuperficial consiste en la toma de muestras del subsuelo, usualmente hasta 3 m de profundidad o hasta encontrar el nivel freático (ver Guía para muestreo de suelo con sospecha de contaminación por COVs únicamente).

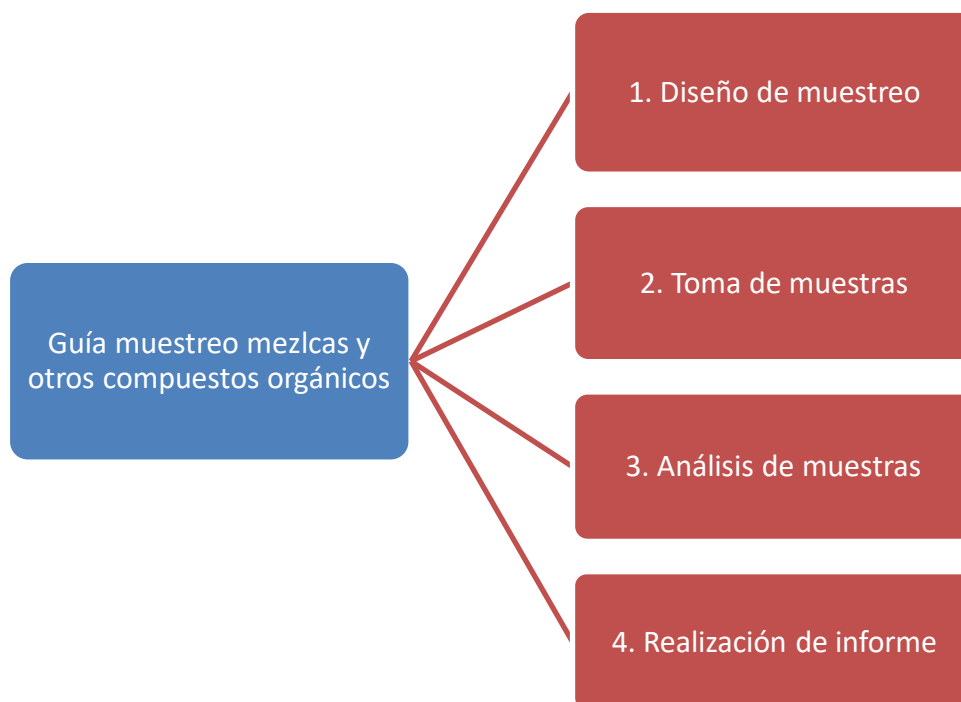
Esta guía se debe aplicar en dos casos: 1) cuando se sospecha que existe contaminación por dos o más sustancias de familias diferentes, como inorgánicos y COVs y 2) cuando se sospeche que existe contaminación por compuestos orgánicos diferentes a los COVs (ver

Tabla 5-3).

Es importante mencionar que en ambos casos mencionados anteriormente se deben realizar los dos tipos de muestreos de manera secuencial. Primero se debe realizar el superficial, y luego el subsuperficial.

## 8.2 Instructivo

Ilustración 8-1. Instructivo Guía de muestreo de mezclas y otros compuestos orgánicos



## 8.3 Diseño de muestreo

Dentro del diseño del muestreo es necesario definir el **dónde**, el **cuándo** y el **cómo**. El **dónde** corresponde a la determinación de zonas de exposición a partir de la identificación de regiones con sospecha de contaminación. Se debe determinar la ubicación exacta de los puntos de muestreo como se explica en la sección 8.3.1.

El **cuándo** hace referencia al momento en el cual se encuentra listo el predio para tomar las muestras. Esto depende del estado en el que se encuentre, es decir sí el predio se encuentra

construido o baldío. No obstante, se supone que los predios en donde se realiza un estudio exploratorio, posteriormente se llevará a cabo un proceso constructivo; es decir que si el predio tiene alguna edificación, esta tendrá que ser desmantelada y demolida, luego, el predio estará baldío. En este sentido, lo que realmente importa en el escenario del predio construido (en el caso del predio baldío no existe ninguna restricción para iniciar el muestreo), es saber si el muestreo se debe hacer antes o después de los procesos de desmantelamiento y demolición. La recomendación de esta guía es esperar, si es posible, hasta cuando la edificación haya sido desmantelada y no se encuentre habitada.

El **cómo** explica el procedimiento para tomar las muestras, que va desde la determinación del número de muestras hasta la homogenización de las muestras en el laboratorio. En las próximas secciones se aborda este tema.

### 8.3.1 Determinación de número de muestras

#### 8.3.1.1 Muestreo superficial

Antes de explicar cómo calcular el número de muestras es importante mencionar que para el estudio exploratorio se sugiere tomar muestras compuestas<sup>16</sup>. Esto debido a que se pretende obtener un promedio de la concentración del contaminante en la zona de exposición. Adicionalmente la mezcla física que ocurre al tomar muestras compuestas permite el muestreo de un área bastante grande mientras que mantiene los costos bajos.

Para calcular el número de muestras necesarias se debe seguir los siguientes pasos:

1. Inicialmente se debe realizar la toma de 6 muestras compuestas (N) de 4 especímenes (C) o muestras individuales cada una. Por lo tanto el área de exposición debe ser dividida en 4 segmentos de áreas iguales: A, B, C y D (Ver Ilustración 6-2)<sup>17</sup>. Por ejemplo un área de 2000 m<sup>2</sup> se debe dividir en 4 áreas de 500 m<sup>2</sup>.

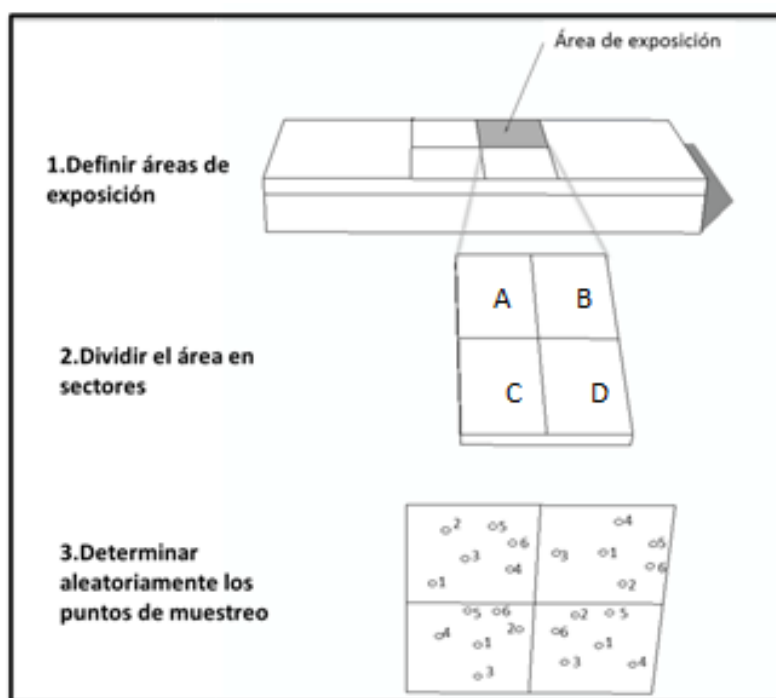
<sup>16</sup> Según la Norma Técnica Colombiana sobre la gestión ambiental del suelo y la toma de muestras de suelo para determinar contaminación, una muestra compuesta es una mezcla de varias muestras simples que se toman al azar en distintos sitios de un área de muestreo o áreas representativas.

<sup>17</sup> Los resultados de las concentraciones obtenidas serán evaluados por la SDA quien determinará si el número de muestras fue suficiente o si se necesitan más. La cantidad de muestras depende del coeficiente de variación (CV) de las concentraciones de las muestras individuales según la variabilidad espacial y analítica del contaminante. Para más información dirigirse al **Technical Background Document** del **Soil Screening Guidance** de la EPA (USEPA 1996).

- En cada uno de los segmentos se localiza y georreferencian 6 puntos al azar. De esta manera, se tendrán 24 puntos en total: 1 A, 2 A, 3 A,..., 4 D, 5 D y 6 D (Ver Ilustración 6-2).

Es posible que luego del análisis de las muestras se determine que es necesario tomar una más muestras adicionales en cada cuadrante. Esto se explica en la sección 8.5.2.

**Ilustración 8-2. Diseño de muestreo para suelos superficiales.**  
 Adaptada de (USEPA 1996)



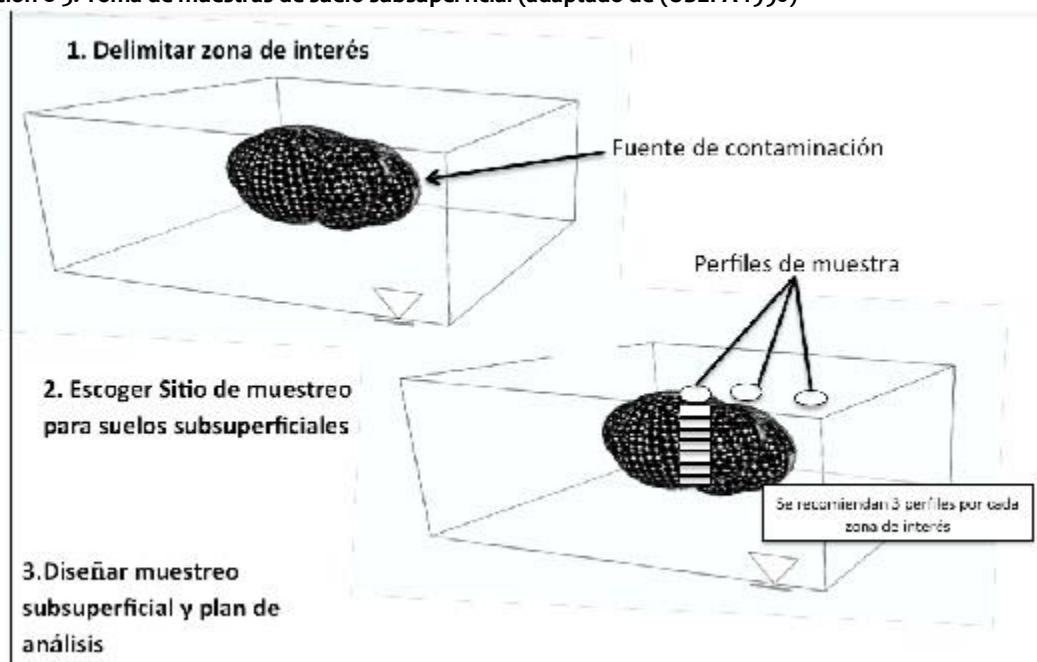
### 8.3.1.2 Muestreo subsuperficial

La metodología utilizada para el muestreo de suelos subsuperficiales se enfoca en la recolección de la información necesaria para determinar la volatilización y la migración de los contaminantes a las aguas subterráneas. Para lograr esto, es necesario determinar las concentraciones de contaminantes a diferentes profundidades para cada una de las muestras (ver Ilustración 7-2).

Con base en la información secundaria que se tiene, concentraciones de estas sustancias obtenidas durante el muestreo superficial o análisis de COV en superficie, se debe elegir la zona en donde se sospeche que se encuentra la mayor concentración de contaminantes. Un lote

contaminado puede tener más de una zona con sospecha de contaminación (por ejemplo, una zona donde se encontraba una caldera es una zona de origen para hidrocarburos, en otra zona donde hubo derrame de solventes es otra zona de origen). Se debe tener en cuenta que algunos compuestos pueden no ser perceptibles en la superficie. Por este motivo se recomienda **utilizar ayudas como cromatógrafos portátiles y detectores de compuestos orgánicos volátiles** (FID: ionizador de llama, PID: fotoionizador, OVA: analizador de vapor orgánico, entre otros), para la identificación de zonas de origen. Así mismo, información sobre prácticas pasadas pueden ayudar a determinar zonas de origen. Los resultados obtenidos del muestreo de suelo superficial pueden también ser bastante útiles, especialmente en el caso de contaminación por pesticidas, PCBs y sustancias semivolátiles en general.

Ilustración 8-3. Toma de muestras de suelo subsuperficial (adaptado de (USEPA 1996))

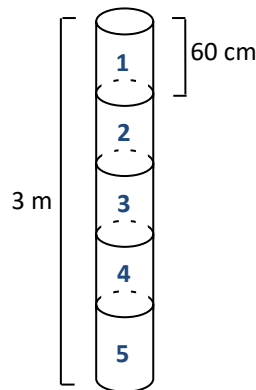


Se deben tomar mínimo tres (3) perfiles o núcleos de suelo. La distancia entre los perfiles debe ser menor a 30 metros (ISO/AENOR 2010). Para la obtención de muestras de suelo subsuperficial se recomienda el uso de muestreadores de cuchara partida con “liners” (muestreadores tubulares del cual se obtiene un perfil del suelo de la profundidad deseada). El muestreo será realizado hasta una profundidad de 3 m, o hasta alcanzar el nivel freático (USEPA 1996). **El muestreo no puede realizarse por debajo del nivel freático.**





Ilustración 8-4. Divisiones de una muestra subsuperficial



Los perfiles de suelo serán divididos en segmentos iguales, por lo general de una longitud de aproximadamente 60 cm. De esta forma, de una muestra de suelo de 3 m de profundidad se van a obtener 5 muestras discretas (1, 2, 3, 4 y 5). En cada segmento, sin perturbar el perfil, se debe tomar cada submuestra de suelo para análisis de los contaminantes de interés. En algunos casos, dependiendo del muestreador, después de tomar la muestra, esta se debe transferir inmediatamente a un contenedor especial para preparar las submuestras (ver más detalles en la sección 7.4.1)

Se debe calcular el promedio de la concentración en la muestra de suelo promediando los resultados analíticos obtenidos para cada una de las muestras discretas (1, 2, 3, 4 y 5). En aquellos casos en que por algún motivo no se puedan obtener muestras discretas cada una de la misma longitud, el promedio de la concentración deberá calcularse teniendo en cuenta la longitud de cada uno de los segmentos de las muestras discretas, obteniendo un promedio normalizado por longitud:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n l_i c_i}{\sum_{i=1}^n l_i}$$

En donde  $l_i$  es la longitud del segmento  $i$  y  $c_i$  es la concentración del segmento  $i$

### **8.3.2 Cantidad de muestra**

#### **8.3.2.1 Muestreo superficial**

La cantidad de suelo extraído en cada uno de los 24 puntos ubicados en la zona de exposición debe ser suficiente para realizar submuestras y homogeneización de la muestra antes de realizar los análisis. Para estos análisis químicos se deben obtener aproximadamente 500 g de muestra de suelo superficial compuesta (ISO/AENOR 2010). Todas las muestras deben ser del mismo tamaño para mantener la representatividad estadística. Las muestras deben ser homogenizadas en el laboratorio apropiadamente antes del proceso analítico, en especial si el contaminante es sólido o muy viscoso.

#### **8.3.2.2 Muestreo subsuperficial**

La cantidad de suelo extraído debe ser suficiente para extraer las submuestras y duplicados antes de realizar los análisis. Cada análisis de COV requiere una muestra de aproximadamente 5g de suelo, según el tipo de muestreador seleccionado. El diseño y los objetivos de la investigación de muestreo deben tener en cuenta que el tamaño de la muestra es extremadamente pequeño y que no se hace mezcla de la muestra, lo cual puede afectar la representatividad de la muestra para COV en comparación con muestras con mayores volúmenes recolectados para otros contaminantes.

### **8.3.3 Requisitos preliminares al muestreo**

Luego de determinar el número de muestras compuestas, número de especímenes, ubicación de la toma de estas muestras y la cantidad, se prosigue a tomar las muestras. Sin embargo, este trabajo de campo implica satisfacer una serie de requisitos antes de realizar el muestreo. Es importante que a partir de los requisitos se listen los recursos (humanos, materiales, equipos, y otros requisitos de operación) que se deben adquirir.

#### **8.3.3.1 Requisitos de materiales muestreo superficial<sup>18</sup>**

La lista de materiales necesarios para el muestreo se describe a continuación:

- Esfero
- Cuaderno para notas
- Cámara fotográfica

<sup>18</sup> Esta lista no incluye la lista de implementos personales que deben usar las personas encargadas de realizar el muestreo, esto se incluye en el anexo de seguridad industrial.

Los elementos que estén en contacto con la muestra debe ser preferiblemente de vidrio, acero inoxidable, acero y/o latón. Cualquier otro material debe ser usado sólo si se ha demostrado su equivalencia (ASTM D4547-09).

- Formatos para diligenciar: formato de perforaciones y formato de cadena de custodia.
- Marcador permanente
- *Stickers* para marcar las muestras
- Envases de vidrio ámbar con tapa (26 envases c/u de 250-300 ml)
- Equipo para muestrear (palas o barrenos)
- Espátula de acero inoxidable
- Agua potable (1 litro por cada muestra tomada)
- Agua destilada (1 litro por cada muestra tomada)
- Jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo)
- Cubierta plástica con orificio 30 cm de diámetro
- Nevera (s)
- Pilas de hielo
- Bolsas plásticas para separar el hielo de las muestras

#### 8.3.3.2 Requisitos de materiales muestreo subsuperficial

- Esfero
- Cuaderno para notas
- Marcador permanente
- *Stickers* para marcar las muestras
- Equipos para toma de muestra (sistema manual o de percusión, liner)
- Muestreadores para COV (En Core®, jeringas, espátulas o corta-núcleos en acero inoxidable)
- Viales de 40 ml (pre-preparados) con septa y tapa plástica de rosca para garantizar un sello hermético
- Agua potable (1 litro por cada muestra tomada)
- Agua destilada (1 litro por cada muestra tomada)
- Jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo)
- Cubierta plástica con orificio 30 cm de diámetro
- Nevera (s)
- Hielo
- Bolsas plásticas para aislar el hielo de las muestras

### 8.3.3.3 Requisitos de documentación

- En lo posible debe haber un miembro del equipo marcando las muestras y tomando fotos y documentando, mientras que otro miembro del equipo toma las muestras. Esto ayudará a reducir una posible contaminación cruzada.
- Durante las perforaciones se debe diligenciar el formato de perforaciones y toma de muestra de suelo (Ver Anexo A).
- Cada muestra debe tener un *sticker* de identificación donde especifica el número de la muestra (por ejemplo 1-A, que se referiría a la muestra 1, núcleo A, la ubicación (georreferenciar), la fecha y el nombre de la persona responsable de tomar la muestra.
- Con el fin de llevar un registro de los responsables de la manipulación de las muestras, se debe llevar un registro a través de la cadena de custodia; un instrumento de control de calidad, en el cual se documenta el camino de las muestras desde la recolección hasta los análisis en laboratorio indicando el responsable en cada trámite. Allí se debe especificar el cambio de custodia registrando las firmas del anterior y nuevo responsable, las empresas, fecha, hora y estado de las muestras (CETESB-GTZ 2001). Cada persona firmante en la cadena de custodia queda legalmente responsable por el contenido de las muestras. Cuando el laboratorio recibe las muestras debe recibir una copia de la cadena de custodia, revisando las condiciones de cada uno de los contenedores y si están abiertos, rotos, no tienen material adentro o se observa cualquier alteración el laboratorio debe comunicarse con la persona que tomó las muestras para verificar la información y si es necesario solicitar el envío de una nueva muestra. Así mismo, el laboratorista indica en la custodia cuándo recibió las muestras y en qué estado estaban. Las muestras deben ser enviadas al laboratorio, refrigeradas en una nevera donde se transporta también un envase plástico lleno de agua. Lo primero que debe hacer el laboratorista al recibir las muestras es verificar que la temperatura del agua que viene en el envase plástico de la misma nevera de las muestras sea menor o igual a 6 grados centígrados. Si esto no se cumple, no se puede verificar la preservación de las muestras y todas las muestras deberán ser tomadas nuevamente. El formato de la cadena de custodia se anexa a esta guía (ver Anexo A), este debe ser entregado junto con el informe a la SDA.

#### 8.3.3.4 Requisitos técnicos

- La recolección de las muestras se puede realizar de manera manual o mecánica. En caso de elegir un equipo electromecánico hay que asegurar la llegada de corriente eléctrica al lugar del muestreo (ISO/AENOR 2010).
  - Se debe seleccionar el equipo adecuado para la toma de muestras según las condiciones del lugar (acceso al lugar). Para el muestreo subsuperficial se recomiendan equipos tubulares. Son instrumentos de muestreo en forma cilíndrica que son utilizados principalmente para la recolección de muestras no disturbadas, manteniendo sus características físicas y químicas originales. Son introducidos mediante percusión o presión ya sea de manera manual o mecánica. Existen recolectores tubulares acanalados, de media caña, sólidos y sólidos de pared fina. De manera general estos recolectores son poco efectivos en suelos con gran cantidad de material grueso. Se recomienda utilizar *liners* para la extracción del material (CETESB-GTZ 2001). Los *liners* son recomendados también para reducir la probabilidad de contaminación cruzada.
- Si se encuentran perforaciones que se llenan de agua por condiciones del terreno, el agua se debe retirar y dejar secar para tomar la muestra de suelo. Si la perforación se llena de agua constantemente se debe optar por un muestreo de agua, y no se debe intentar tomar muestra de suelo ya que puede tener contaminación transportada por el agua desde otro lugar.

#### 8.3.3.5 Requisitos de seguridad industrial

- La contaminación cruzada se produce cuando el resultado de la concentración de sustancia presente en una muestra es alterada debido a los procedimientos de muestreo. La mejor manera de reducir la contaminación cruzada es realizando un exhaustivo proceso de limpieza de los equipos de muestreo (palas o barrenos)<sup>19</sup> luego de obtener una muestra. Este proceso de limpieza se debe realizar antes de iniciar el muestreo. Puede involucrar remoción física, neutralización o remoción química de la sustancia e incluso desinfección o esterilización del equipo (CETESB-GTZ 2001).
  - Remover el suelo adherido con una espátula o escobilla.
  - Lavar con agua potable y jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo).

<sup>19</sup> Existen unas coberturas desechables que pueden evitar la contaminación cruzada

- Enjuagar cuidadosamente con agua potable.
- Enjuagar cuidadosamente con agua destilada.
- Se deben utilizar guantes limpios para la obtención de cada muestra y los guantes que se usan para la extracción de las muestras en ningún momento deben entrar en contacto con las muestras extraídas.
- Tenga en cuenta que todo material extraído debe disponerse de manera adecuada (CETESB-GTZ 2001), como RESPEL si se encuentra contaminación por encima de los niveles descritos en la Tabla 11-1, si no hay presencia de contaminantes se puede disponer como residuo común, y que en algunos casos puede requerir ir a un relleno de seguridad o un incinerador, lo que incrementará los costos. Por este motivo se debe evitar tomar más material que el que se necesita para realizar los análisis.
- Para todas las perforaciones y toma de muestra se debe elaborar un programa de seguridad industrial para el personal que realiza las actividades (ver Anexo D).

#### 8.4 Toma de muestras superficiales

De acuerdo a los resultados obtenidos en las secciones anteriores, se deben tomar 24 muestras, cada una de 125 g. Esto para conformar las 6 muestras compuestas, cada una de 500 g. Sin embargo, por cuestiones de control de calidad se recomienda tomar 2 muestras adicionales (una muestra marcada y una muestra control) de 500 g cada una. Las muestras para el control de calidad son muestras adicionales que se toman principalmente para determinar la variabilidad de las concentraciones en las muestras tanto en campo como en laboratorio. A continuación se describen las muestras de control de calidad (USEPA 2013).

- **Muestra marcada**

Las muestras marcadas se usan para controlar la calidad del laboratorio. Estas muestras se obtienen mediante la adición de una concentración conocida de la sustancia de interés a una muestra obtenida de un lugar similar al sitio de interés pero que se sepa o se sospeche que no se encuentra contaminado. Se sugiere enviar al menos una de estas muestras a cada laboratorio involucrado en los análisis (USEPA 2013).

- **Muestra control**

Este tipo de muestra pretende hallar la concentración que se encuentra de forma natural en el terreno de estudio. Para ello se debe realizar el muestreo en un lugar similar al sitio de interés pero que se sepa o se sospeche que no se encuentra contaminado (USEPA 2013). Se sugiere tomar una muestra de este tipo por cada 20 muestras recolectadas durante el estudio.

Una vez aclarado el número de muestras totales, se procede a tomar las muestras. Antes de iniciar el muestreo se debe verificar que se hayan descontaminado los equipos. El procedimiento de la toma de muestras depende del equipo seleccionado. Esto se explica a continuación.

### **Palas**

Para hacer el muestreo con palas se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, etc.) en un área aproximada de 30 cm de diámetro alrededor del punto.
2. Colocar una cubierta plástica (bolsa plástica) con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.
3. Con una pala limpia retirar la muestra de suelo desde la superficie hasta la profundidad de muestra deseada (2 cm).
4. Con una espátula de acero inoxidable limpia retirar una fina capa del material que entró en contacto con la pala.
5. Almacenar las muestras en frascos de vidrio ámbar.

### **Barrenos**

Para hacer el muestreo con barrenos se recomienda utilizar el siguiente procedimiento:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, etc.) en un área aproximada de 30 cm de diámetro alrededor del punto.
2. Colocar una cubierta plástica (bolsa plástica) con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.

3. Montar el barreno.
4. Barrenar removiendo periódicamente el material en el borde del hoyo para evitar que regrese a éste al retirar el barreno.
5. Retirar lentamente y con cuidado el barreno cuando éste esté lleno o se haya alcanzado la profundidad deseada (2 cm).
6. Almacenar las muestras en frascos de vidrio ámbar.

#### **8.4.1 Almacenamiento y preservación de muestras superficiales**

La manipulación de las muestras luego de su recolección es de gran importancia en la conservación de sus características in situ y por lo tanto en la validación de los resultados que posteriormente llevarán a tomar una decisión. La alteración en las muestras puede deberse a contaminación externa (e.g. recipientes sucios, movilización de contaminantes desde el material del recipiente, absorción de contaminantes del aire), pérdida de sustancias (e.g. volatilización, difusión en las paredes del recipiente) o reacciones químicas y biológicas (CETESB-GTZ 2001).

Las muestras deben ser almacenadas en frascos de vidrio ámbar. Se deben mantener a una temperatura  $\leq 6$  °C. Para esto las muestras en sus envases deben almacenarse en una nevera que contiene hielo (se debe tener una, o varias neveras con el tamaño suficiente para almacenar el número total de muestras). Las muestras o el hielo deberán ser aisladas en bolsas plásticas para evitar que el hielo derretido moje los frascos o pueda contaminar las muestras de alguna manera.

Luego del almacenamiento se transportan las muestras al laboratorio seleccionado en el menor tiempo posible (las muestras pueden durar máximo 48 horas en la nevera) para realizar el análisis de muestras.

#### **8.5 Análisis de muestras superficiales**

Las muestras deben ser enviadas a un laboratorio acreditado para el análisis de suelos contaminados. Adicionalmente, el laboratorio debe asegurar que sus límites de detección para los compuestos que van a analizar se encuentran por debajo de los niveles de referencia para uso doméstico.



El análisis de muestras requiere la mezcla de las muestras individuales para conformar las muestras compuestas y posteriormente homogenizarlas. Esto se explica a continuación.

### 8.5.1 *Conformación de la muestra compuesta y homogenización*<sup>20</sup>

Para conformar las muestras compuestas, se mezcla cantidades iguales de las muestras individuales obtenidas en los 4 segmentos. Por ejemplo para la muestra compuesta No. 1, se mezclan los 4 especímenes de los puntos 1 A, 1 B, 1 C y 1 D. Este procedimiento de mezcla debe seguir los siguientes pasos:

1. Mezclar cada una de las muestras individuales previamente.
2. Agrupar los especímenes en contenedores diferentes de a 2 unidades. Es decir, 1 A y 1 B en un contenedor, 1 C y 1 D en otro contenedor.
3. Mezclar completamente hasta que el material se vea homogéneo.
4. Una vez el material se vea homogéneo, las dos mitades pueden unirse (1AB y 1CD)
5. Mezclar hasta que todo el material se vea homogéneo.
6. Seguir el mismo procedimiento para las muestras 2, 3, 4, 5 y 6.

Las 6 muestras compuestas se deben analizar por área de exposición para determinar si el contaminante está presente y sus concentraciones.

### 8.5.2 *Determinación de la necesidad de toma de muestras compuestas adicionales*<sup>21</sup>

Una vez obtenidos los resultados del muestreo, se debe determinar si el número de muestras tomadas es suficientemente representativo para el predio. Para realizar este análisis se debe determinar el coeficiente de variación (CV), el cual se calcula de la siguiente manera:

$$CV = \frac{2S}{X}$$

Dónde:

X corresponde a la concentración promedio de las muestras compuestas (1, 2, 3, 4, 5 y 6) [mg/kg]

S corresponde a la desviación estándar de las concentraciones de las muestras compuestas [mg/kg]

<sup>20</sup> Este procedimiento se debe realizar en el laboratorio acreditado.

<sup>21</sup> Metodología basada en *Soil Screening Guidance* (EPA 1996)

- Si el  $CV \leq 2.5$ , el número de muestras tomadas fue adecuado.
- Si  $2.5 < CV \leq 3$ , se debe tomar una muestra individual adicional en cada cuadrante (A, B, C, D), y analizarlas como muestra compuesta No. 7.
- Si  $3 < CV \leq 3.5$ , se debe tomar 2 muestras compuestas individuales adicionales en cada cuadrante (A, B, C, D), y analizarlas como muestras compuestas 7 y 8.
- Si  $CV > 3.5$ , se debe tomar 3 muestras compuestas individuales adicionales en cada cuadrante (A, B, C, D), y analizarlas como muestras compuestas 7, 8 y 9.

Quando la concentración de las muestras es muy baja, el CV tiende a infinito. En estos casos se debe dividir el nivel de referencia para uso doméstico en 2. Si el promedio de las concentraciones de cada una de las sustancias de interés es menor a al nivel de referencia dividido dos, no será necesario tomar más muestras durante el estudio exploratorio.

Esta metodología permite mantener el error tipo “falso negativo” a una tasa del 5% (solo en el 5% de los casos se asume que la contaminación del suelo está por debajo del nivel de referencia, cuando en realidad se encuentra por encima). También se logra mantener el error tipo “falso positivo” por debajo del 20% (solo en el 20% de los casos, la contaminación del suelo se asume que está por encima de los niveles de referencia cuando en realidad se encuentra por debajo).

Es importante tener en cuenta que el número de muestras requerido puede variar según el contaminante. Por ejemplo, si el contaminante A tiene un  $CV=2$ , pero para el B el  $CV=3$ , se debe tomar un número de muestras representativo para B, es decir 7 muestras compuestas por área de exposición. En este sentido, el contaminante A no tiene que ser analizado en la muestra compuesta No. 7, pero el B sí.

## 8.6 Toma de muestras subsuperficiales

Las muestras de suelo subsuperficial se pueden obtener por medio de técnicas manuales o mecánicas y por empuje directo o perforación. Lo más recomendable para muestreo de suelo subsuperficial es utilizar técnicas en las cuales se obtenga un perfil de suelo en forma cilíndrica. Es preferible que todas las herramientas de muestreo recolecten la muestra de suelo dentro de un revestimiento de paredes delgadas en forma cilíndrica llamado liner.

- Muestreador Large Bore® (LB) es un barril sólido de empuje directo equipado con un pistón utilizado principalmente para la recolección de muestras discretas del subsuelo. Después de que el LB® está equipado con el pistón, la punta de corte y el liner, se inserta en el suelo. El muestreador se conduce a la profundidad de muestreo deseada, en ese momento se retira el pasador de tope del pistón, liberando el punto de empuje. El muestreador LB® se empuja en el suelo a una distancia igual a la longitud del muestreador LB®. La sonda que está pegada al muestreador LB®, se retira del subsuelo. Después de la recuperación, el muestreador LB® se retira de la sonda, se retira el cabezal de la unidad para permitir la extracción del liner y la muestra de suelo.
- Muestreador MacroCore® es igualmente un barril sólido de empuje directo equipado con un pistón que se utiliza principalmente para recolectar muestras, ya sea continua o discreta del subsuelo. El muestreador MC® es capaz de recuperar un núcleo contenido en un liner extraíble.
- Cuchara partida continua: la cuchara partida continua es una cuchara de gran diámetro que se introduce en la columna de suelo dentro de un cilindro hueco. Esta cuchara usualmente tienen un diámetro de 3 a 5 pulgadas (7.6 a 12.7 cm) y una longitud de 5 o 10 pies (1.5 o 3 m), aunque los muestreadores de 5 pies son los más comunes. Después de que la cadena sinfín ha avanzado en la columna de suelo la longitud del muestreador se devuelve a la superficie. El muestreador se retira del interior del cilindro hueco y la cuchara partida se abre para la toma de muestras.

Para hacer muestreos con estos equipos se recomienda seguir la siguiente metodología:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, grava, etc.) en un área aproximada de 30cm de diámetro alrededor del punto. La medición de la profundidad de la muestra comienza en la parte superior del suelo, inmediatamente después de cualquier material eliminado.
2. Colocar una cubierta plástica con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.
3. Instalar el recolector.
4. Introducir el recolector (por presión o percusión).
5. Retirar lentamente y con cuidado el recolector cuando se haya alcanzado la profundidad máxima o deseada.

6. Tomar la muestra y retirar una fina capa del material en sus caras superior e inferior para eliminar posible contaminación que pudiera resultar durante el muestreo. Cuando se usa un recolector acanalado debe removerse también todo el material que se encuentra en la parte abierta (i.e. fuera del canal).
7. Almacenar y manipular las muestras cuidadosamente para evitar volatilización.
8. Descontaminar los equipos antes de tomar la próxima muestra.

### 8.6.1 Almacenamiento y preservación de muestras

La manipulación de las muestras luego de su recolección es de gran importancia en la conservación de sus características *in situ* y por lo tanto en la validación de los resultados que posteriormente llevarán a tomar una decisión. La alteración en las muestras puede deberse a contaminación externa (e.g. recipientes sucios, movilización de contaminantes desde el material del recipiente, absorción de contaminantes del aire), pérdida de sustancias (e.g. volatilización, difusión en las paredes del recipiente) o reacciones químicas y biológicas (CETESB-GTZ 2001).

Los liners no se deben usar para el almacenamiento de muestras a las cuales se les va a analizar COVs ya que no tienen sellos herméticos. La recolección y manejo de las muestras debe garantizar la mínima pérdida de COV por volatilización o biodegradación<sup>22</sup>. La segmentación de las muestras y el envasado de las submuestras debe hacerse en el menor tiempo posible (<10 s) para reducir pérdidas de COV por volatilización (ASTM D4547-09).

Las muestras a las que se les analizarán COV, deben ser recolectadas en muestreadores tipo En Core<sup>®23</sup>, Purge-and-Trap Soil Sampler<sup>®</sup>, o jeringas con un tubo al interior para la recolección de la muestra. Si se usan jeringas, la muestra se debe transvasar en un recipiente con sello hermético (vial de vidrio ámbar de 40 ml con septa de teflon) inmediatamente para reducir las pérdidas por volatilización. Se recomienda que los viales de 40 mL se pesen previamente en el laboratorio donde se hará el análisis de COV. Cuando se usa el En Core<sup>®</sup>, se debe tapar inmediatamente el extremo abierto después de asegurarse que las superficies de sellado estén limpias. Las muestras para análisis de COV y compuestos semivolátiles también se pueden recoger con un muestreador convencional (corta-núcleos o espátula en acero inoxidable). Para

<sup>22</sup> La biodegradación de los COV está dominada por procesos aerobios que se dan cuando la muestra se expone a la atmósfera.

<sup>23</sup> Muestreador En Core es una patente de En Novative Technologies Inc.

obtener una muestra sin perturbaciones se debe introducir el corta-núcleos o la espátula en una superficie recién expuesta de suelo y retirando el muestreador una vez esté lleno, inmediatamente se debe pasar la muestra al recipiente de almacenamiento (vial de vidrio ámbar de 40 ml). Se debe asegurar que la superficie donde se sella la muestra esté limpia para garantizar el sello hermético.

Las muestras de suelo para análisis de COV y otros orgánicos de interés se deben preparar para el envío y el análisis al laboratorio de la siguiente manera:

- *Muestreador En Core®* - la muestra se tapa, se sella, y se introduce en la bolsa de aluminio original. Todas las bolsas de papel de aluminio que contienen los muestreadores En Core® se colocan en una bolsa plástica y se sellan con cinta de custodia, si es necesario.
- *Jeringa* - añadir la muestra en el vial de 40 ml pre-preparado, no debe quedar cabeza con aire para evitar la volatilización. Asegure los recipientes en una bolsa de plástico. No utilice un sello de custodia en el envase; colocar el sello de custodia en la bolsa plástica.

Nota: Cuando se utilizan las jeringas, es importante que no quede aire atrapado antes de la extrusión, ya que esto afectará negativamente a la muestra.

- *Espátulas en acero inoxidable* - añadir la muestra en el vial de 40 ml pre-preparado, no debe quedar cabeza con aire para evitar la volatilización. Asegure los contenedores en una bolsa de plástico. No utilice un sello de custodia en el envase; colocar el sello de custodia en la bolsa plástica.

Las muestras se deben mantener a una temperatura  $\leq 6$  °C. Para esto las muestras en sus envases deben almacenarse en una nevera que contiene hielo (se debe tener una, o varias neveras con el tamaño suficiente para almacenar el número total de muestras). Las muestras o el hielo deberán ser aisladas en bolsas plásticas para evitar que el hielo derretido moje los frascos o pueda contaminar las muestras de alguna manera.

Luego del almacenamiento se transportan las muestras al laboratorio seleccionado en el menor tiempo posible (las muestras pueden durar máximo 48 horas en la nevera) para realizar el análisis de muestras.

### 8.6.2 Consideraciones especiales

En algunos casos, durante el proceso de extracción de las muestras de suelo profundas se pueden encontrar estructuras enterradas, tanques que contienen líquidos desconocidos o barriles de almacenamiento llenos o vacíos. En estos casos se debe enviar el suelo que cubre dicha estructura para análisis.

- Sea muy cuidadoso para no romper la estructura, ya que esto puede resultar en el derrame de alguna sustancia contaminante.
- En el caso que la estructura se encuentre muy cercana a la superficie del suelo, y no pueda tomar muestra de suelo de esa zona, busque una zona cercana para tomar otra muestra.
- Si encuentra un tanque de almacenamiento que contiene líquido, tome una muestra del líquido y envíela para análisis.
- Deje indicado en el reporte final el lugar en donde encontró la estructura y una descripción de lo encontrado.
- Si hay una capa de relleno sobre el suelo (por ejemplo ladrillo molido), este relleno no debe ser enviado para análisis. Solo debe enviar el suelo que se encuentra debajo. De todas maneras, deje indicado en su reporte la condición de dicho relleno; indique si se detectan olores fuertes, si el relleno está manchado o si se observan líquidos aceitosos cubriendo el material de relleno

### 8.7 Análisis de muestras

Las muestras deben ser enviadas a un laboratorio acreditado para el análisis de suelos contaminados. Adicionalmente, el laboratorio debe asegurar que sus límites de detección para los compuestos que van a analizar se encuentran por debajo los niveles de referencia para uso doméstico. En caso que el laboratorio no esté acreditado para el análisis de suelos contaminados, el proceso de análisis debe ser acompañado por algún funcionario de la Secretaría Distrital de Ambiente.

## **8.8 Realización de informe**

El informe que debe ser entregado a la SDA debe contener el mapa de la zona de estudio, la metodología seguida los resultados obtenidos y las conclusiones. El documento debe tener 5 capítulos, como se describe a continuación.

### **8.8.1 Introducción, alcance y objetivos**

Este primer capítulo tiene como objetivo introducir al lector al problema, presentar el objetivo del estudio y describir brevemente lo que se planea lograr al realizar esta fase del estudio.

### **8.8.2 Mapa del estudio exploratorio**

El capítulo debe incluir el mapa realizado al iniciar el estudio exploratorio. Se debe explicar porque se escogieron las zonas potenciales de contaminación y cuál es la hipótesis inicial respecto a la situación del predio.

### **8.8.3 Metodología**

Este capítulo describe la planificación y la justificación de la estrategia del estudio, así como la descripción de la ejecución del trabajo, incluyendo procedimientos de muestreo, número y tipo de muestras, lugares de muestreo, tiempos de toma de muestra y metodologías de análisis de muestras. Adicionalmente debe incluir observaciones y describir situaciones en las que haya sido necesario cambiar la metodología propuesta o en donde se hayan encontrado problemas para realizar las actividades.

### **8.8.4 Resultados y análisis de resultados**

En esta sección se describen los resultados por medio de tablas o gráficas. Se debe reportar la variabilidad entre duplicados (de laboratorio), así como comparación con muestras de referencia. Se debe incluir una tabla en la que se comparan los resultados encontrados con los niveles de referencia para uso doméstico y para uso industrial.

En el caso de las muestras subsuperficiales, el promedio de cada uno de los núcleos (3 m, normalizados por longitud) debe ser comparado con el nivel de referencia (USEPA 1996). La concentración normalizada por longitud para cada núcleo se debe calcular haciendo la sumatoria de las concentraciones de cada segmento del núcleo (c), multiplicada por su longitud (l) y dividiendo la sumatoria por la longitud total del núcleo.



$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{a}_i l_i}{\sum_{i=1}^n \dot{a}_i}$$

En el caso en que todos los segmentos del núcleo sean de la misma longitud, simplemente se debe calcular el promedio de las concentraciones de todos los segmentos del mismo núcleo. **En el caso en donde la concentración promedio (normalizada por longitud) de cualquiera de los núcleos exceda el nivel de referencia, se debe realizar una evaluación exhaustiva.**

### 8.8.5 Conclusiones y recomendaciones

En esta sección se deben incluir conclusiones con respecto a las hipótesis iniciales descritas en el mapa del estudio exploratorio. Por ejemplo, si la hipótesis inicial planteaba que la mayor contaminación se encontraba en alguna sección específica del predio, y los resultados fueron consistentes con la hipótesis, esto debe resaltarse en esta sección. Así mismo, si en la hipótesis se predecía la presencia de un contaminante específico en la zona y este no fue encontrado, esto debe describirse en esta sección. Se deben hacer recomendaciones sobre los potenciales usos del predio según los resultados obtenidos y los niveles de referencia. Se recomienda comparar las concentraciones obtenidas de las muestras superficiales compuestas con dos veces el nivel de referencia para cada contaminante de interés. Si las concentraciones de **todas** las muestras compuestas se encuentran por debajo de dos veces el nivel de referencia, no se requiere hacer estudio exhaustivo. Esta decisión se puede tomar únicamente si se han seguido todos los pasos recomendados en esta guía, y teniendo en cuenta que el número de muestras es adecuado, según el CV. En el caso de las muestras de suelo subsuperficial, si cualquiera de las concentraciones (normalizadas por longitud) de los núcleos excede el nivel de referencia específico para alguna de las sustancias investigadas, se recomienda hacer un estudio exhaustivo de la zona.

### 8.8.6 Anexos

Se debe anexar los archivos que respalden lo documentado en el informe, además de los papeles contractuales que sustentan la validez del muestreo. Estos son los documentos que como mínimo se debe adjuntar.





- 
- ✓ Formato de identificación de regiones con sospecha de contaminación diligenciado
  - ✓ Formato cadena de custodia diligenciado
  - ✓ Formato de perforaciones y toma de muestra del suelo diligenciado
  - ✓ Fotos del muestreo
  - ✓ Soportes de la acreditación del laboratorio
  - ✓ Tabla con niveles de detección (mg/l) del laboratorio
  - ✓ Reporte de resultados entregados por el laboratorio

---

## 9 Guía de Investigación Exhaustiva de Suelos

---

### 9.1 Introducción

La realización del estudio exhaustivo del predio dependerá de los resultados obtenidos en el estudio exploratorio, es decir si las concentraciones de los contaminantes en el suelo exceden los niveles de referencia y la SDA determina que hay necesidad de hacer un estudio exhaustivo.

El estudio exhaustivo consiste en la toma de muestras de suelo superficial, subsuperficial, relleno, zonas con aceites acumulados, gas del suelo y de agua subterránea. Esto permite obtener la información necesaria para cuantificar los riesgos asociados a la presencia de los contaminantes en el lugar<sup>24</sup> con el fin de tomar de decisiones futuras sobre el uso del predio las cuales incluyen acciones correctivas. Durante esta fase se establece la extensión y el grado de contaminación, la distribución del contaminante (homogénea o heterogénea) a partir de los resultados obtenidos en el estudio exploratorio. También se obtiene información geológica, hidrológica e hidrogeología del sitio con el fin de valorar los riesgos asociados a la contaminación. El alcance de esta fase depende del tipo de la contaminación, del uso futuro del predio, de las características hidrológicas y geotécnicas del lugar, de las vías de migración del contaminante y de los receptores (actuales o futuros) (ISO/AENOR 2010).

El objetivo principal del estudio exhaustivo es suministrar los datos (concentraciones y localizaciones de distintos contaminantes en el predio en las distintas fases, agua, suelo y gases) que son necesarios para el desarrollo de un modelo tridimensional que describe la contaminación en el sitio. Este modelo es la herramienta que se utiliza para valorar el riesgo asociado a la contaminación.

Es importante aclarar que esta guía no abarca la explicación de técnicas de remediación ni los criterios para seleccionarlas.

### 9.2 Instructivo

La metodología de la guía se describe a continuación:

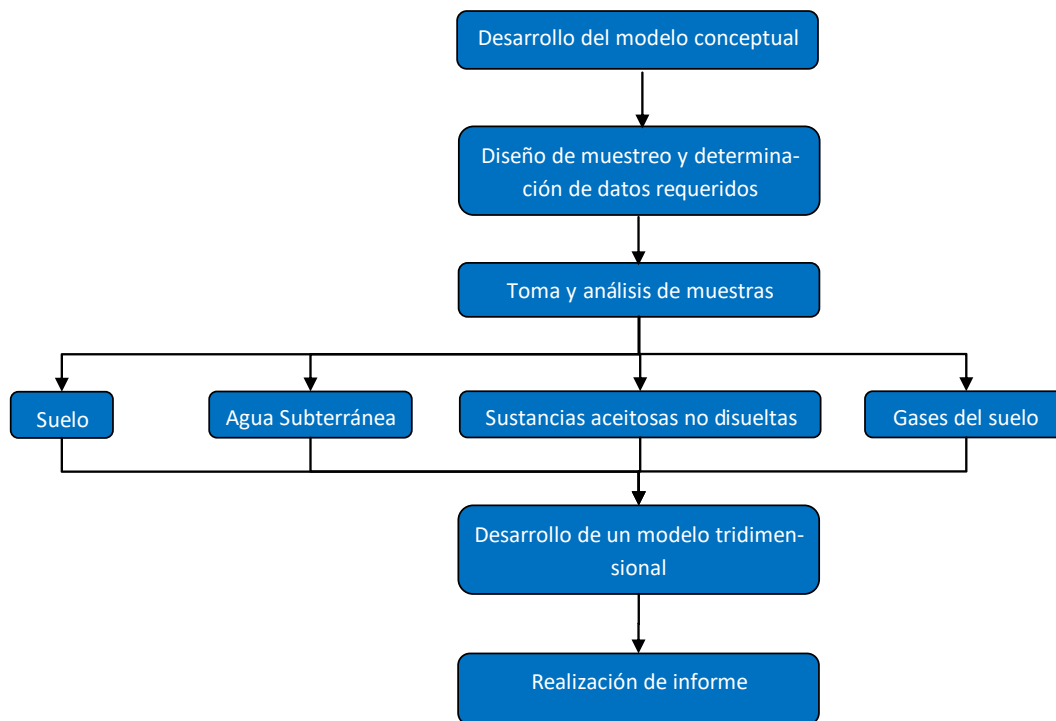
1. Desarrollo del modelo conceptual a partir de resultados del estudio exploratorio

---

<sup>24</sup> Esta etapa por lo general requiere el uso de modelos que describen el comportamiento de los contaminantes en el lugar de interés.

2. El diseño del muestreo y la determinación de los datos requeridos
3. Toma y análisis de muestras de suelo, agua subterránea, aceites y gases de los poros del lugar
4. Desarrollo de un modelo tridimensional que describe la distribución del contaminante en el lugar y que puede ser utilizado para predecir la migración de los contaminantes hacia los distintos receptores
5. Realización de informe que presenta concentraciones de contaminantes en el predio a distintas profundidades para cada una de las matrices (agua, aire, suelo), y las concentraciones en el agua subterránea a una distancia de 15 m (radiales) del predio

Ilustración 9-1. Instructivo Guía Estudio Exhaustivo



### 9.2.1 Desarrollo del modelo conceptual

El desarrollo del modelo conceptual se basa en 4 pasos principales: (1) Identificación de los contaminantes, (2) identificación y caracterización de las fuentes de contaminantes, (3) identificación de rutas potenciales de migración de los contaminantes, (4) delimitación de la zona de interés. El modelo conceptual debe incluir un resumen descriptivo de la zona de interés, información histórica, descripción de las potenciales rutas de migración de

contaminantes y de exposición de la población. El modelo conceptual adicionalmente debe incluir mapas, tablas y figuras que ayuden a describir las condiciones del lugar.

El uso de mapas es extremadamente importante. Se pueden incluir mapas topográficos, geológicos, mapas hechos a mano alzada y mapas avanzados hechos a escala. En los mapas se deben identificar aspectos claves incluyendo datos conocidos sobre aguas subterráneas, aguas superficiales (ver tabla 9-1), vientos locales, potenciales receptores ambientales y rutas de migración de los contaminantes. Adicionalmente deben describir aspectos geológicos y morfológicos del sitio que puedan ser importantes para la evaluación adecuada del lugar.

Las tablas y los gráficos deben incluir información obtenida durante la fase exploratoria, y deben incluir los contaminantes de interés, las concentraciones encontradas y la localización de los puntos de muestreo durante la fase exploratoria. Mayor información para el desarrollo de este modelo conceptual se puede obtener en “*Standard Guide for Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites*”, ASTM E1689-95 (2014) (ASTM, 2014).

### **9.2.2 Diseño del estudio y determinación de los datos requeridos**

Para poder realizar un diseño apropiado del estudio, se deben considerar la migración, la toxicidad, la distribución y la concentración de los contaminantes en el lugar. Se debe obtener suficiente información que permita la determinación de la distribución y extensión del contaminante en el lugar para predecir la migración del contaminante a través del agua subterránea, los vapores del suelo y partículas contaminadas resuspendidas por el viento (ISO/AENOR 2010). En esta fase también se deben identificar las construcciones y estructuras subterráneas (tuberías, cajas, tanques, etc.), que puedan afectar tanto el estudio exhaustivo como el proceso de remediación. También se debe obtener suficiente información que permita valorar la necesidad de una acción correctiva (remediación) e identificar y plantear medidas encaminadas hacia la protección inmediata de la salud humana y del medio ambiente en caso de considerarse necesario.

Durante la fase de estudio exhaustivo es necesario hacer una caracterización del subsuelo e hidrogeológica completa del lugar. La caracterización hidrogeológica será utilizada para el desarrollo del modelo tridimensional de la zona, que permitirá determinar los mecanismos de

desplazamiento del contaminante en el subsuelo y el riesgo de exposición. Adicionalmente, esta caracterización permite identificar la presencia de estructuras enterradas, como tuberías y barriles, entre otros. Para hacer la caracterización del subsuelo se deben utilizar métodos geofísicos no intrusivos inicialmente. Estos métodos incluyen la utilización de georadars y métodos de resistividad eléctrica (ver Tabla 9-1). Estos métodos geofísicos no intrusivos permiten identificar las capas impermeables subterráneas que delimitarán la zona de muestreo. **El muestreo en el sitio debe realizarse hasta una profundidad que no exceda la capa impermeable más cercana, con el fin de evitar contaminar acuíferos confinados que puedan encontrarse localizados por debajo de esta capa confinante.**

**Tabla 9-1. Métodos de caracterización hidrogeológica**

	Aplicaciones generales	Mediciones continuas	Profundidad de penetración	Mayores limitantes	Norma (Estándar)
Georadar	Mejor resolución que cualquier otro método para hacer perfiles y mapas	Si	Típicamente hasta 9 m	Decrece la profundidad de penetración si hay mucha arcilla o agua	ASTM : D6432-11 Using the Ground Penetration Radar Method for Subsurface Investigation
Conductividad electromagnética (Frequency Domain)	Perfiles y mapas se obtienen rápidamente	Si (hasta 15 m)	Hasta 60 m de manera estacionaria (no continua)	Puede afectarse por la presencia de estructuras foráneas (tuberías, barriles, etc)	ASTM: D6639-01 Standard Guide for Using the Frequency Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigations
Conductividad electromagnética (Time Domain)		Si	Hasta 305 m	Usualmente no se puede utilizar para obtener datos a profundidades menores a 3 m. Puede afectarse por estructuras foráneas (tuberías, barriles, etc)	ASTM: D6820-02 Standard Guide for Use of the Time Domain Electromagnetic Method for Subsurface Investigation
Resistividad eléctrica	Perfiles y mapas	Si, con equipo de capacitancia. No con galvánico	No hay límite pero típicamente se utiliza hasta profundidades menores a 90 m	Requiere sistemas de electrodos bastante largos	ASTM: D6431-99 Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Investigation
Refracción Sísmica	Perfiles y mapas	No	No hay límite pero	Requiere mucha energía y es muy	ASTM: D5777-00 Standard Guide for

			típicamente se utiliza hasta profundidades menores a 90 m	sensible a movimientos de la tierra	Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation
Reflexión Sísmica	Perfiles y mapas	No	Hasta 300 m	Muy lento. Muy sensible a movimientos de la tierra	ASTM: D7128-05 Standard Guide for Using Seismic Reflection Method for Subsurface Investigation

Tomado de: “Site characterization technologies for DNAPL investigation”, USEPA. EPA 542-R-04-017, Septiembre 2004 (U.S EPA, 2004).

### 9.2.2.1 Muestras requeridas

Para hacer un modelo tridimensional que pueda representar el movimiento de los contaminantes en el subsuelo, es necesario tener varios parámetros específicos del lugar (ver Tabla 9-2). Estos incluyen la densidad del suelo, la textura y clasificación, la profundidad hasta llegar al agua subterránea, la conductividad hidráulica, porosidad, fracción de carbono orgánico, y contenido de humedad. Se deben utilizar metodologías estandarizadas para la obtención de estos parámetros en campo, y en el informe entregado a la secretaría se debe especificar la norma o guía técnica utilizada para la obtención de cada parámetro.

**Tabla 9-2. Normas para las muestras requeridas**

Característica del lugar	Normas
Densidad del suelo	Ntc 1667. suelos. método de ensayo para determinar la densidad y el peso unitario en el terreno. metodo del cono de arena ASTM d1556-07 standard test method for density and unit weight of soil in place by sand-cone method ASTM d5195-14 standard test method for density of soil and rock in-place at depths below surface by nuclear methods ASTM d7263-09 standard test methods for laboratory determination of density (unit weight) of soil specimens
Textura del suelo	Ntc 1522. suelos. ensayo para determinar la granulometría por tamizado ASTM d2487-11 standard practice for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system) ISO 11259, soil quality. description of soils and sites ISO 11277, soil quality. Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation
Profundidad hasta llegar al agua subterránea	ntc 3948. gestión ambiental. suelo. especificaciones técnicas para la construcción de un pozo de monitores para aguas subterráneas norma técnica ntc-iso 5667-18. calidad del agua. muestreo. parte 18: guía acerca del muestreo de agua subterránea en sitios contaminados ASTM d5092-04 (2010)e1 standard practice for design and installation of groundwater monitoring wells
Conductividad hidráulica	ISO 17312:2005. Soil quality – Determination of hydraulic conductivity of

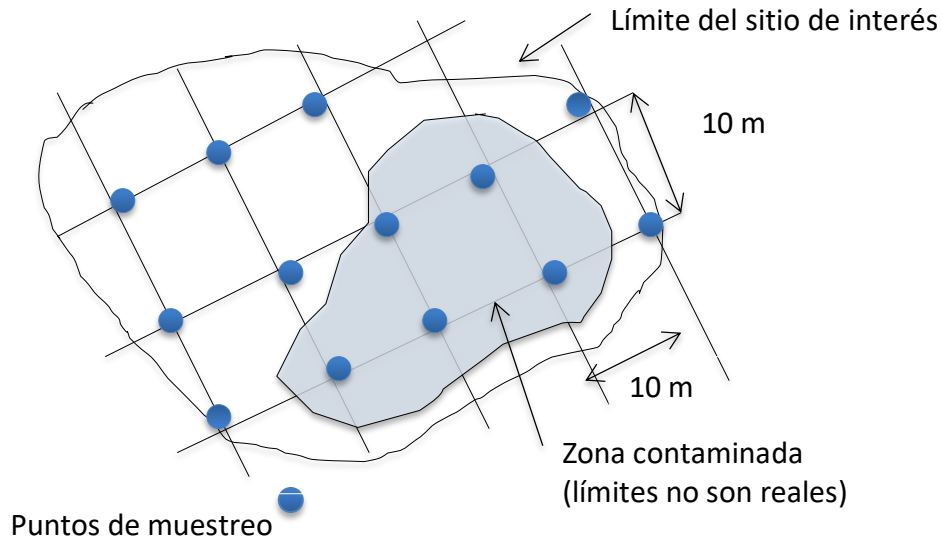
	saturated porous materials using a rigid-wall permeameter ISO 17313:2004. Soil quality -- Determination of hydraulic conductivity of saturated porous materials using ASTM D5084-10 Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter ASTM D4050-14 Standard Test Method for (Field Procedure) for Withdrawal and Injection Well Testing for Determining Hydraulic Properties of Aquifer Systems ASTM D6527-00(2008) Standard Test Method for Determining Unsaturated and Saturated Hydraulic Conductivity in Porous Media by Steady-State Centrifugation
Porosidad	ASTM D7263-09 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens
Fracción carbono orgánico	Ntc 5403. calidad de suelo. determinación del carbono orgánico.
Cobertura vegetal	
Temperatura del suelo	
Contenido de humedad	ISO 11461:2001 Soil quality -- Determination of soil water content as a volume fraction using coring sleeves -- Gravimetric method ISO 16586:2003 Soil quality -- Determination of soil water content as a volume fraction on the basis of known dry bulk density -- Gravimetric method

Se debe tener en cuenta que aunque el estudio exhaustivo requiere la toma de un número de muestras mucho mayor que en el caso del análisis exploratorio, no es posible tomar muestras en todo el lugar, y por eso, así como durante el muestreo exploratorio, se deberá considerar la incertidumbre. El diseño de esta fase deberá minimizar la incertidumbre incluyendo un número de muestras mucho mayor al obtenido en el estudio exploratorio.

Los estudios de gases del suelo o de agua subterránea serán utilizados para complementar la información obtenida mediante el muestreo de suelos superficiales y subsuperficiales. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la presencia de contaminantes en el agua subterránea no necesariamente estará asociada con la contaminación del predio de estudio, y por eso, puede llevar a conclusiones erradas sobre la contaminación del suelo.

Durante la fase de estudio exhaustivo, el muestreo debe ser realizado de forma sistemática. A diferencia del estudio exploratorio en donde solo se toman tres núcleos en una zona interés y en donde el muestreo del suelo superficial es de carácter aleatorio, en la fase exhaustiva se debe hacer el muestreo de cada una de las fases (suelo subterráneo, suelo superficial, agua subterránea, y gases del suelo), utilizando una cuadrícula o rejilla. La dimensión de la cuadrícula (distancia entre puntos de muestreo) debe ser inferior a 15 m (por lo general entre 10 y 15 m) (ISO 10381-5).

Ilustración 9-2. Requisitos de distancia para la toma de muestras



#### 9.2.2.1.1 Agua subterránea

Según la información hidrogeológica, se debe determinar si la contaminación del acuífero es posible, y si es así, es necesario obtener muestras de agua subterránea. La naturaleza y la extensión de la contaminación del agua subterránea deben ser evaluadas de forma vertical y horizontal.

- Se debe establecer un programa de muestreo de aguas subterráneas, utilizando pozos de monitoreo, especialmente localizados en la dirección del flujo subterráneo.
- Es necesario tomar muestras de agua subterránea aguas arriba de la fuente de contaminación, para saber si hay otras fuentes de contaminación cercanas que estén contribuyendo al deterioro del acuífero en la zona.
- Para la elaboración de la metodología de muestreo se deben seguir los lineamientos descritos en la “Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-11. Gestión ambiental. Calidad del agua. Guía para el muestreo del aguas subterráneas” (ICONTEC, 2008) . Adicionalmente, existen estándares internacionales que pueden ser utilizados para el monitoreo de las aguas subterráneas, incluyendo la ASTM D4448-01(2013) *Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells* (US EPA, 1985), y la ISO 5667-11:2009 *Water quality -- Sampling -- Part 11: Guidance on sampling of groundwaters*. El



documento entregado a la secretaría debe especificar la norma técnica o estándar utilizado para el monitoreo de las aguas subterráneas en el lugar.

- Los pozos de monitoreo, además de servir para tomar muestras de aguas subterráneas, también pueden ser utilizados para la toma de muestras de aceites o sustancias no acuosas como hidrocarburos. Mayor información sobre la instalación de pozos de monitoreo se puede obtener en ASTM D5092-01 *Standard Practice for Design and Installation of Groundwater Monitoring Wells* (ASTM, 2010).

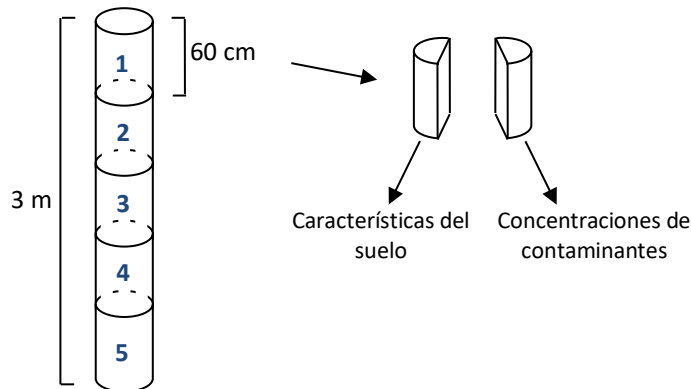
#### 9.2.2.1.2 Suelo

Al igual que en el caso del agua subterránea, el suelo debe ser evaluado de forma horizontal y vertical. Se deben obtener tanto las características físicas del suelo (humedad,  $f_{oc}$ , porosidad y densidad), como las concentraciones de las sustancias químicas de interés. **Las muestras de suelo superficial serán analizadas de forma individual** (a diferencia del estudio exploratorio, en donde el análisis se hacía de forma compuesta). Algunos aspectos a tener en cuenta durante el muestreo de suelo en la fase exhaustiva son los siguientes:

- Será necesario tomar más muestras en las zonas en donde haya mayor grado de incertidumbre. Por ejemplo, si el CV durante la fase exploratoria es mayor a 2.5, en esta fase se deberá tomar un número mayor de muestras en cada cuadrante.
- Durante la fase exhaustiva, los puntos de muestreo deben elegirse según la información obtenida durante el estudio exploratorio.
- La profundidad de las muestras de suelo subsuperficial deberá ser determinada con base en los resultados del estudio exploratorio. Si los resultados del muestreo subsuperficial (fase exploratoria) dictaminan que la contaminación a 3 m de profundidad excede los niveles de referencia, durante la fase exhaustiva se debe hacer un muestreo hasta una profundidad mayor, siempre manteniéndose por encima del nivel freático.
- En el caso de compuestos orgánicos volátiles menos densos que el agua, el muestreo de suelo subsuperficial deberá ser realizado hasta llegar al nivel del agua subterránea. El nivel del agua subterránea puede ser determinado mediante métodos geofísicos o la instalación de piezómetros.

- La distancia entre núcleos no debe ser mayor a 15 m y si durante la fase exploratoria se determinó que la distribución del contaminante es heterogénea, se recomienda que la distancia entre núcleos no exceda 10 m.
- Los perfiles de suelo serán divididos en segmentos iguales, por lo general de una longitud de aproximadamente 60 cm. De esta forma, de una muestra de suelo de 3 m de profundidad se van a obtener 5 muestras discretas (1, 2, 3, 4 y 5). Cada una de estas muestras deberá ser dividida verticalmente en dos partes iguales (Figura X). Una de las muestras será analizada para determinar las características del suelo y la otra para medir las concentraciones de los contaminantes.

**Ilustración 9-3. Divisiones de una muestra subsuperficial**



- Se puede obtener información adicional sobre la toma de muestras de suelo en las siguientes guías e estándares internacionales: ASTM D6907-05(2010) Standard Practice for Sampling Soils and Contaminated Media with Hand-Operated Bucket Augers (ASTM, 2005), ASTM D6282/D6282M-14 Standard Guide for Direct Push Soil Sampling for Environmental Site Characterizations (ASTM, 2014), ASTM D4700-91(2006) Standard Guide for Soil Sampling from the Vadose Zone (ASTM, 2006), ASTM D6232-08 Standard Guide for Selection of Sampling Equipment for Waste and Contaminated Media Data Collection Activities (ASTM, 2008).

### 9.2.2.1.3 Sustancias aceitosas no disueltas

En algunos lugares contaminados es posible encontrar acumulación de sustancias aceitosas no disueltas (en fase continua), incluyendo hidrocarburos y solventes clorados. En el caso de los hidrocarburos, estos se encontrarán acumulados en la parte superior del nivel freático, mientras que en el caso de algunos solventes clorados más densos que al agua, la acumulación tendrá lugar sobre la capa impermeable en el fondo del acuífero. Si en el estudio exploratorio se identificaron zonas que contienen estas sustancias, es necesario delimitar la zona que se encuentra saturada con estos compuestos no acuosos, ya que gran parte de la masa de contaminante se puede encontrar acumulada en esta zona y su migración y comportamiento dependerá directamente del tamaño de la mancha.

- Para la toma de muestras de aceites o sustancias no acuosas más densas que el agua se debe utilizar un *bailer* para aguas subterráneas de doble válvula. En este tipo de sistemas, el agua fluye a través de la cámara de muestreo mientras que se baja la unidad. Cuando se llega a la profundidad deseada, se extrae el *bailer*, el cual tiene un sistema de seguridad que sella los puntos de entrada y salida mientras que se saca el sistema del suelo.
- Para la toma de muestras de muestras de aceites o sustancias no acuosas menos densas que el agua se debe utilizar un *bailer* para aguas subterráneas de llenado por la parte superior. El *bailer* se baja suavemente por el pozo hasta que la parte superior de este se encuentre justo por debajo del nivel freático. En este caso, el compuesto no miscible que se encuentra sobre el nivel freático cae dentro del *bailer* y de esta manera se puede obtener una muestra del aceite, aunque generalmente contiene un poco de agua.
- Es importante tener en cuenta la compatibilidad de los materiales cuando se toman muestras de sustancias aceitosas. Por ejemplo, solventes clorados como PCE y TCE solo pueden ser muestreados con sistemas de colección de teflón. Si es un derrame de queroseno, se puede utilizar un sistema de polipropileno.
- Mayor información sobre la toma de muestras de aceites se puede obtener en el ASTM D4448-1 Standard Guide for Sampling Groundwater Monitoring Wells.

#### 9.2.2.1.4 Gases del suelo

La concentración de gases en los poros del suelo puede ayudar a cuantificar el riesgo de

exposición en la zona y por lo tanto se recomienda **tomar muestras de gases si el contaminante de interés es volátil (VOCs)**. Los resultados obtenidos mediante las muestras de gases en el suelo (Zona vadosa) permitirán evaluar la pertinencia de algunas estrategias de remediación. Existen distintas metodologías que pueden ser utilizadas para el muestreo de gases en la zona vadosa. Los métodos de aire completo miden la “atmósfera” del suelo como una mezcla de gases, incluyendo vapores contaminados y no contaminados. Los métodos por sorción muestrean solo los contaminantes que son adsorbidos a un medio de recolección expuesto a una corriente de gas extraída del suelo. Los métodos activos son aquellos en los que se se obtiene una muestra de gas al introducir un artefacto de muestreo en el subsuelo y se extrae el gas del suelo a través del dispositivo. Los métodos pasivos se basan en poner un dispositivo sobre el suelo y se espera a que el dispositivo llegue al equilibrio con los contaminantes de la atmósfera del suelo.

- El muestreo de gases del suelo, al igual que el muestreo del suelo y de las aguas subterráneas, debe ser realizado utilizando una cuadrícula o grilla con distancias no mayores a 15 m entre puntos de muestreo.
- Se debe tomar muestras a distintas profundidades. Por lo menos debe hacer una muestra que corresponda a cada profundidad equivalente de un núcleo de suelo subsuperficial. Esto quiere decir que se debe tomar una muestra de gas del suelo cada 60 cm de profundidad hasta llegar al nivel freático.
- Mayor información sobre la obtención de muestras de gases de COVs en la zona vadosa se puede obtener en UNE-ISO 10381-7:2010 Calidad del suelo. Muestreo. Parte 7: Líneas directrices para el muestreo del gas del suelo, ASTM D5314-92(2006) Standard Guide for Soil Gas Monitoring in the Vadose Zone (ASTM, 2006) y la ISO 10381-7:2005 Soil quality -- Sampling -- Part 7: Guidance on sampling of soil gas (ISO, 2005)

#### **9.2.2.2 Los contaminantes que serán evaluados**

En el estudio exploratorio se identificaron los contaminantes de interés. Por lo general solo serán evaluados los contaminantes identificados. Adicionalmente en esta etapa se deben analizar las potenciales sustancias productos de la degradación o transformación de los contaminantes de interés (ISO/AENOR 2010). Para determinar cuáles son los potenciales subproductos de degradación, se debe realizar una revisión bibliográfica enfocada en la

identificación de los subproductos de degradación de cada uno de los compuestos de interés presentes en el lugar.

### **9.2.3 Toma y análisis de muestras de suelo**

Una vez se ha decidido el número de muestras que se va a realizar, se conocen los contaminantes que serán analizados y se tiene un modelo conceptual robusto, se debe continuar con la toma y el análisis de las muestras. En este capítulo se explican los procesos y equipos de muestreo y la forma de conservar las muestras. Las metodologías analíticas varían según los contaminantes de interés, pero es importante tener en cuenta que el laboratorio que preste el servicio analítico debe ser capaz de analizar los contaminantes de interés mediante metodologías cuyos límites de detección sean menores a los niveles de referencia para uso doméstico. En el caso de compuestos orgánicos se recomiendan métodos por cromatografía de gases o líquida y para metales ICP.

#### **9.2.3.1 Cantidad de muestra**

La cantidad de suelo extraído debe ser suficiente para realizar duplicados, submuestras y homogeneización de la muestra antes de realizar los análisis. Para los análisis químicos se deben obtener aproximadamente 500 g (ISO/AENOR 2010). Todas las muestras deben ser del mismo tamaño para mantener la representatividad estadística. Las muestras de suelo subsuperficial tendrán una longitud aproximada de 60 cm, y el diámetro de la muestra obtenida dependerá de equipo utilizado para su obtención. Por lo general, se tendrá un diámetro interno de por lo menos 1.5 pulgadas, lo que equivale a más o menos 1 kilogramo de muestra por cada 60 cm.

#### **9.2.3.2 Técnicas de muestreo**

El procedimiento y el equipo de toma de muestras serán seleccionados acorde con el tipo de contaminante, los análisis a realizar y la profundidad a la que se desea obtener la muestra (CETESB-GTZ 2001).

#### **9.2.3.3 Precauciones especiales**

Las muestras se pueden obtener de dos formas: no disturbadas o disturbadas. Las muestras no disturbadas son aquellas que conservan intacta la estructura del suelo y por tanto es posible identificar las capas de suelo presentes manteniendo el aire del suelo. Las muestras disturbadas

son las que alteran la disposición del suelo, por lo cual son poco recomendables para el muestreo de contaminantes volátiles. La recolección de las muestras se puede realizar de manera manual o mecánica. En caso de elegir un equipo electromecánico hay que asegurar la llegada de corriente eléctrica al lugar del muestreo (ISO/AENOR 2010).

- Es de vital importancia **realizar una limpieza rigurosa del equipo antes de la extracción de cada muestra para evitar la contaminación cruzada**. Para algunos equipos existen coberturas desechables que pueden servir para evitar este tipo de contaminación. Se deben utilizar guantes limpios para la obtención de cada muestra y los guantes que se usan para la extracción de las muestras en ningún momento deben entrar en contacto con las muestras extraídas.
- **El proceso de muestreo debe realizarse empezando desde la zona que se considere menos contaminada hacia la más contaminada.**
- En lo posible debe haber un miembro del equipo marcando las muestras y tomando fotos y documentando, mientras que otro miembro del equipo toma las muestras. Esto ayudará a reducir la probable contaminación cruzada.
- Si se encuentran perforaciones que se llenan de agua por condiciones del terreno, esta se debe retirar y dejar secar para tomar la muestra de suelo. Si la perforación se llena de agua constantemente se debe optar por un muestreo de agua, no se debe intentar tomar muestra de suelo ya que puede tener contaminación transportada por el agua desde otro lugar.
- Cada muestra debe ser marcada con el punto de muestreo (georeferenciado), número de la muestra. Debe incluir la fecha en que se tomó la muestra y el nombre y la firma de la persona que tomó la muestra.
- La cadena de custodia es un instrumento de control de calidad en la cual se documenta el camino de las muestras desde la recolección hasta los análisis en laboratorio indicando el responsable en cada trámite. La cadena de custodia debe especificar el cambio de custodia registrando las firmas del anterior y nuevo responsable, las empresas, fecha, hora y estado de las muestras (CETESB-GTZ 2001). Cada persona firmante en la cadena de custodia queda legalmente responsable por el contenido de las muestras. De esta manera, cuando el laboratorio recibe las muestras debe recibir

una copia de la cadena de custodia, revisando las condiciones de cada uno de los contenedores y si están abiertos, rotos, no tienen material adentro o se observa cualquier alteración el laboratorio debe comunicarse con la persona que tomó las muestras para verificar la información y si es necesario solicitar el envío de una nueva muestra. Así mismo, el laboratorista indica en la custodia cuándo recibió las muestras y en qué estado estaban.

- Las muestras deben ser enviadas al laboratorio refrigeradas en una nevera con hielo. El hielo debe estar separado de las muestras (se puede almacenar en bolsas plásticas) para evitar que agua del hielo derretido contamine los recipientes que contienen el suelo. En la nevera también debe haber frasco lleno de agua. Este frasco con agua sirve como indicador de la temperatura de la nevera durante el transporte. Lo primero que debe hacer el laboratorista es verificar **que la temperatura del agua que viene en el contenedor en la misma nevera de las muestras sea menor o igual a 4 grados centígrados. Si esto no se cumple, no se puede verificar la preservación de las muestras y todas las muestras deberán ser tomadas nuevamente.**
- Todo material extraído del sitio debe disponerse de manera adecuada (CETESB-GTZ 2001) (como RESPEL si se encuentra contaminación por encima de los niveles de referencia, lo que en algunos casos puede requerir ir a un relleno de seguridad o un incinerador, lo que incrementará los costos. Si la concentración es menor a los niveles de referencia, se puede disponer como residuo común). Por este motivo se debe evitar tomar más material que el que se necesita para realizar los análisis.
- Para todas las perforaciones y toma de muestra se debe elaborar un programa de salud ocupacional para el personal que realiza las actividades (ver anexo C).

#### 9.2.3.4 Muestreo del suelo contaminado o potencialmente contaminado con compuestos volátiles

El muestreo para suelos que están potencialmente contaminados con compuestos volátiles debe realizarse de una manera que minimice la alteración de la muestra. La muestra se debe meter en un contenedor completamente sellado inmediatamente después de ser tomada, para evitar la migración de los vapores. Existen varios métodos que pueden ser utilizados para el muestreo de suelos contaminados con volátiles. La selección de uno de ellos dependerá de las tecnologías disponibles en el lugar, costos, y el objetivo final del estudio. Se pueden utilizar



varios de los equipos que se discutirán en la siguiente sección. La metodología utilizada para tomar las muestras dependerá de los niveles de referencia identificados. La metodología utilizada en campo para la detección de los contaminantes debe ser mucho más cuidadosa. En estos casos se pueden tomar las muestras directamente con el contenedor en el que se van a almacenar la muestra, para evitar la pérdida del material al pasarlo del muestreador al contenedor. El contenedor en donde se almacenan las muestras debe estar lleno completamente y no permitir la presencia de aire en la parte superior para evitar la volatilización. Todas las muestras deben ser almacenadas en hielo o en nevera hasta el momento del análisis químico.

#### 9.2.3.5 Equipos para la toma de muestras

- **Palas**

El método más simple y directo de recolectar muestras es mediante palas. Estas son aptas para utilizar en la mayoría de suelos superficiales pero no en el caso de suelos subsuperficiales ya que a profundidades mayores a 50 cm se dificulta la recolección. Mediante este método se obtienen de manera sencilla muestras disturbadas. La obtención de muestras no disturbadas con palas es compleja y pueden cometerse errores fácilmente, por lo cual resulta poco adecuado para el muestreo de compuestos orgánicos volátiles (CETESB-GTZ 2001).

- **Barrenos**

Los barrenos son una herramienta utilizada frecuentemente durante el muestreo de suelos. Existen diferentes tipos de barreno y la decisión de usar uno u otro depende principalmente de la clase de suelo. Entre los principales se encuentran el barreno de rosca, el de balde (estándar, para barro y para arena), el holandés y el plano. A nivel general los barrenos son muy poco efectivos recogiendo material granulado o poco compacto, a excepción del barreno para arenas. El de tipo Holandés es de uso común para profundidades hasta de 1,5 m. Debido al mecanismo de extracción su uso es poco recomendado para sospecha de contaminación por COV (CETESB-GTZ 2001).

- **Tubulares** (más recomendados para suelos subsuperficiales)



Son instrumentos de muestreo en forma cilíndrica que son utilizados principalmente para la recolección de muestras no disturbadas, manteniendo sus características físicas y químicas originales. Son introducidos mediante percusión o presión ya sea de manera manual o mecánica. Existen recolectores tubulares acanalados, de media caña, sólidos y sólidos de pared fina. De manera general estos recolectores son poco efectivos en suelos con gran cantidad de material grueso. Cuando se investigan COV se recomienda utilizar *liners* para la extracción del material (CETESB-GTZ 2001). Los *liners* son recomendados también para reducir la probabilidad de contaminación cruzada.

#### 9.2.3.6 Requisitos de seguridad industrial

- La contaminación cruzada se produce cuando el resultado de la concentración de sustancia presente en una muestra es alterada debido a los procedimientos de muestreo. La mejor manera de reducir la contaminación cruzada es realizando un exhaustivo proceso de limpieza de los equipos de muestreo (palas o barrenos)<sup>25</sup> luego de obtener una muestra. Este proceso de limpieza se debe realizar antes de iniciar el muestreo. Puede involucrar remoción física, neutralización o remoción química de la sustancia e incluso desinfección o esterilización del equipo (CETESB-GTZ 2001).
  - Remover el suelo adherido con una espátula o escobilla.
  - Lavar con agua potable y jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo).
  - Enjuagar cuidadosamente con agua potable.
  - Enjuagar cuidadosamente con agua destilada.
- Se deben utilizar guantes limpios para la obtención de cada muestra y los guantes que se usan para la extracción de las muestras en ningún momento deben entrar en contacto con las muestras extraídas.
- Tenga en cuenta que todo material extraído debe disponerse de manera adecuada (CETESB-GTZ 2001), como RESPEL si se encuentra contaminación por encima de los niveles descritos en la Tabla 11-1, si no hay presencia de contaminantes se puede disponer como residuo común, y que en algunos casos puede requerir ir a un relleno de seguridad o un incinerador, lo que incrementará los costos. Por este motivo se debe evitar tomar más material que el que se necesita para realizar los análisis.

---

<sup>25</sup> Existen unas coberturas desechables que pueden evitar la contaminación cruzada

- Para todas las perforaciones y toma de muestra se debe elaborar un programa de seguridad industrial para el personal que realiza las actividades (ver Anexo D).

#### 9.2.3.7 Controles de muestreo

Las muestras para el control de calidad son muestras adicionales que se toman principalmente para determinar la variabilidad de las concentraciones en las muestras tanto en campo como en laboratorio. A continuación se describen las muestras de control de calidad (USEPA 2013).

- **Muestra marcada**

Las muestras marcadas se usan para controlar la calidad del laboratorio. Estas muestras se obtienen mediante la adición de una concentración conocida de la sustancia de interés a una muestra obtenida de un lugar similar al sitio de interés pero que se sepa o se sospeche que no se encuentra contaminado. Se sugiere enviar al menos una de estas muestras a cada laboratorio involucrado en los análisis (USEPA 2013).

- **Muestra control**

Este tipo de muestra pretende hallar la concentración que se encuentra de forma natural en el terreno de estudio. Para ello se debe realizar el muestreo en un lugar similar al sitio de interés pero que se sepa o se sospeche que no se encuentra contaminado (USEPA 2013). Se sugiere tomar una muestra de este tipo por cada 20 muestras recolectadas durante el estudio.

#### 9.2.3.8 Contaminación cruzada

Antes de iniciar el muestreo se debe verificar que se hayan descontaminado los equipos. La contaminación cruzada se produce cuando el resultado de la concentración de sustancia presente en una muestra es alterada debido a los procedimientos de muestreo. La mejor manera de reducir la contaminación cruzada es realizando un exhaustivo proceso de limpieza de los equipos luego de obtener una muestra. Este proceso de limpieza puede involucrar remoción física, neutralización o remoción química de la sustancia e incluso desinfección o esterilización del equipo (CETESB-GTZ 2001).

Procedimiento de limpieza (CETESB-GTZ 2001).

1. Remover el suelo adherido con una espátula o escobilla.
2. Lavar con agua potable y jabón alcalino para laboratorio (sin fósforo).
3. Enjuagar cuidadosamente con agua potable.
4. Enjuagar cuidadosamente con agua destilada.

Adicionalmente se pueden realizar los siguientes procesos, dependiendo del contaminante y del tipo de equipo utilizado:

5. Enjuagar con una solución de ácido clorhídrico 5%. Esto puede corroer los equipos metálicos. En algunos casos no es necesario este paso.
6. Enjuagar con acetona (grado antibiótico)
7. Enjuagar con hexano (grado antibiótico)
8. Dejar secar en recipiente limpio y envolver en plástico o aluminio hasta el próximo uso.

Cuando se trata de equipo auxiliar (i.e. entra en contacto con el suelo pero no con las muestras) sólo deben aplicarse los pasos primero, segundo, tercero, cuarto y octavo. Si el equipo es exclusivamente para análisis de sustancias inorgánicas pueden omitirse los pasos seis y siete. Si el equipo es únicamente para análisis de sustancias orgánicas puede omitirse el paso cinco.

#### **9.2.3.9 Procedimientos para la toma de muestras**

El procedimiento de la toma de muestras depende del equipo seleccionado. Esto se explica a continuación.

##### **Palas**

Para hacer el muestreo con palas se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, etc.) en un área aproximada de 30 cm de diámetro alrededor del punto.
2. Colocar una cubierta plástica (bolsa plástica) con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.
3. Con una pala limpia retirar la muestra de suelo desde la superficie hasta la profundidad de muestra deseada (2 cm).

4. Con una espátula de acero inoxidable limpia retirar una fina capa del material que entró en contacto con la pala.
5. Almacenar las muestras en frascos de vidrio ámbar.

### **Barrenos**

Para hacer el muestreo con barrenos se recomienda utilizar el siguiente procedimiento:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, etc.) en un área aproximada de 30 cm de diámetro alrededor del punto.
2. Colocar una cubierta plástica (bolsa plástica) con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.
3. Montar el barreno.
4. Barrenar removiendo periódicamente el material en el borde del hoyo para evitar que regrese a éste al retirar el barreno.
5. Retirar lentamente y con cuidado el barreno cuando éste esté lleno o se haya alcanzado la profundidad deseada (2 cm).
6. Almacenar las muestras en frascos de vidrio ámbar.

### **Tubulares**

Para hacer el muestreo con muestreadores tubulares se recomienda utilizar el siguiente procedimiento:

1. Remover cualquier fragmento externo al suelo que pueda interferir con el muestreo (objetos, concreto, etc.) en un área aproximada de 30cm de diámetro alrededor del punto.
2. Colocar una cubierta plástica con un orificio de 30 cm de diámetro centrado en el punto de muestreo para evitar alteraciones de la muestra o su esparcimiento en el área.
3. Instalar el recolector.
4. Introducir el recolector (por presión o percusión).

5. Retirar lentamente y con cuidado el recolector cuando se haya alcanzado la profundidad máxima o deseada.
6. Tomar la muestra y retirar una fina capa del material en sus caras superior e inferior para eliminar posible contaminación que pudiera resultar durante el muestreo. Cuando se usa un recolector acanalado debe removerse también todo el material que se encuentra en la parte abierta (i.e. fuera del canal).
7. Almacenar y manipular las muestras según la sustancia sospechada.
8. Descontaminar los equipos antes de tomar la próxima muestra.

### 9.2.3.10 Almacenamiento y preservación de muestras

La manipulación de las muestras luego de su recolección es de gran importancia en la conservación de sus características in situ y por lo tanto en la validación de los resultados que posteriormente llevarán a tomar una decisión. La alteración en las muestras puede deberse a contaminación externa (e.g. recipientes sucios, movilización de contaminantes desde el material del recipiente, absorción de contaminantes del aire), pérdida de sustancias (e.g. volatilización, difusión en las paredes del recipiente) o reacciones químicas y biológicas (CETESB-GTZ 2001).

A continuación se presenta una tabla propuesta por la USEPA (USEPA Revisado Abril 2014) (Tabla 2) que describe los recipientes y la preservación que se debe utilizar según el tipo de contaminante que se sospeche. En ninguno de los casos se debe adicionar preservante.

**Tabla 9-3. Envases recomendados y conservación de muestras según el tipo de contaminante**

Sustancia	Envase	Modo de preservar
Pesticidas organoclorados/PCB	Frasco de vidrio ámbar de 250 mL	4°C
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH)	Frasco de vidrio ámbar de 250 mL	4°C
Compuestos orgánicos semivolátiles	Frasco de vidrio ámbar de 250 mL	4 °C
Hidrocarburos del petróleo no volátiles	Frasco de vidrio ámbar de 250 mL	4 °C
BTEX, gasolina	Frasco de vidrio ámbar con septa de teflón, sin espacio vacío	4 °C
Compuestos orgánicos volátiles	Frasco de vidrio ámbar con septa de teflón, sin espacio vacío	4 °C
Aniones	Frasco de vidrio ámbar de 250 mL	4 °C
Perclorato	Frasco de vidrio ámbar de 250 mL	4 °C
Carbón orgánico total	Frasco de vidrio ámbar de 250 mL	4 °C
Todos los metales	Frasco de vidrio ámbar de 250 mL	4 °C

Adaptado de <http://www.epa.gov/region9/lab/container.html> (USEPA Revisado Abril 2014)

#### 9.2.4 Producción de modelo tridimensional de la zona contaminada

Durante la fase de estudio exhaustivo, las muestras obtenidas en campo serán analizadas en el laboratorio de forma individual. Los resultados de las características físicas del suelo y las características de la fuente de contaminación y la distribución de los contaminantes serán utilizados para obtener un modelo tridimensional del área contaminada. Estos datos serán incluidos en un modelo computacional que permita predecir el comportamiento y el transporte de los contaminantes. Existen varios modelos comerciales que pueden ser utilizados durante esta fase. Uno de los más utilizados es *Modflow*, sin embargo se podrá elegir entre un gran número de programas disponibles. Algunos de ellos se encuentran descritos en la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en <http://water.usgs.gov/software/lists/groundwater/#flow-trans-chem>. El modelo tridimensional que resulte de este ejercicio será fundamental para determinar la concentración de los contaminantes que pudieran llegar a un receptor, y de esta forma poder determinar las necesidades de remediación. Algunos de los datos de entrada para la realización del modelo tridimensional son los siguientes:

- Porosidad del suelo
- Conductividad hidráulica
- Gradiente hidráulico
- Información específica sobre niveles del agua subterránea, utilizando información de piezómetros
- Tipo de suelo
- Fracción de materia orgánica
- Profundidad del acuífero
- Concentración de cada uno de los contaminantes en cada uno de los puntos de muestreo de suelo
- Concentración de cada uno de los contaminantes en cada uno de los puntos de muestreo de agua subterránea
- Concentración de cada uno de los contaminantes en cada uno de los puntos de muestreo de gases en la zona vadosa
- Contenido de humedad

- Temperatura del suelo

Sin embargo, algunos modelos más complejos pueden requerir la entrada de otros datos y es necesario utilizar un modelo para el cual se tengan todos los datos de entrada o que se elija el modelo que se va a utilizar durante la fase de diseño de muestreo para poder obtener los datos requeridos para el modelo durante la fase de toma y análisis de muestra.

### **9.2.5 Realización de informe**

El informe que debe ser entregado a la SDA debe contener el mapa de la zona de estudio, la metodología seguida los resultados obtenidos y las conclusiones. El documento debe tener 6 capítulos, como se describe a continuación.

#### **9.2.5.1 Introducción, alcance y objetivos**

Este primer capítulo tiene como objetivo introducir al lector al problema, presentar el objetivo del estudio y describir brevemente lo que se planea lograr al realizar esta fase del estudio. Adicionalmente debe plantear la hipótesis y presentar el modelo conceptual.

#### **9.2.5.2 Modelo conceptual**

Este capítulo debe incluir la hipótesis y todos los aspectos referentes al modelo conceptual.

#### **9.2.5.3 Metodología**

Este capítulo describe la planificación y la justificación de la estrategia del estudio, así como la descripción de la ejecución del trabajo, incluyendo procedimientos de muestreo, número y tipo de muestras, lugares de muestreo, tiempos de toma de muestra y metodologías de análisis de muestras. Adicionalmente debe incluir observaciones y describir situaciones en las que haya sido necesario cambiar la metodología propuesta o en donde se hayan encontrado problemas para realizar las actividades. Se debe especificar cada uno de los estándares o guías utilizados para cada uno de los pasos seguidos durante el estudio.

#### **9.2.5.4 Resultados y análisis de resultados**

En esta sección se describen los resultados por medio de tablas o gráficas. Se debe reportar la variabilidad entre duplicados (de laboratorio), así como comparación con muestras de referencia. Se deben comparar las concentraciones encontradas en suelo superficial y subsuperficial con los niveles de referencia para uso doméstico e industrial y las

concentraciones encontradas en el agua con las concentraciones propuestas para agua potable por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Los niveles de referencia obtenidos por medio de esta metodología son apropiados para la evaluación de los resultados durante la fase exploratoria. Sin embargo, estos niveles de referencia son demasiado conservadores para ser utilizados para evaluar los resultados obtenidos durante la fase exhaustiva, específicamente para el caso de la migración al agua subterránea.

Aunque los niveles de referencia establecidos para inhalación de volátiles son un poco conservadores, es pertinente utilizarlos durante esta fase del estudio para decidir si se debe realizar un proceso de remediación. Al igual que en la fase exploratoria, el promedio de la concentración de todos los núcleos deberá estar por debajo del nivel de referencia establecido para la inhalación de gases. Si los promedios obtenidos superan este valor, será necesario remediar el predio.

En el caso de la migración al agua subterránea, se deben utilizar modelos tridimensionales para calcular las concentraciones en el agua que podrán alcanzar al receptor final (por ejemplo, asumiendo la localización más cercana de un pozo de extracción). La concentración que llega al receptor no puede superar en ningún momento el valor determinado por la OMS. Si la concentración modelada supera este valor, el sitio debe ser remediado.

#### **9.2.5.5 Modelo tridimensional**

Se debe incluir el resultado del modelo tridimensional. Se deben incluir gráficos y tablas que muestren las conclusiones del modelo y figuras que muestren la localización de los contaminantes dentro del predio. Adicionalmente se deben establecer las concentraciones de contaminantes que puedan alcanzar a los potenciales receptores, según la ruta de exposición. Específicamente en el caso de agua subterránea, los resultados del modelo son de especial importancia, ya que los niveles de referencia son muy conservadores en este aspecto, y por esto, el modelo tridimensional permitirá predecir de una forma más adecuada la concentración de contaminante en el agua que alcanzará al receptor. Esta concentración deberá ser comparada con las concentraciones permitidas para agua potable recomendadas por la Organización Mundial de la Salud.



#### **9.2.5.6 Conclusiones y recomendaciones**

En esta sección se deben incluir conclusiones con respecto a las hipótesis iniciales descritas en el mapa del estudio exploratorio. Por ejemplo, si la hipótesis inicial planteaba que la mayor contaminación se encontraba en alguna sección específica del predio, y los resultados fueron consistentes con la hipótesis, esto debe resaltarse en esta sección. Así mismo, si en la hipótesis se predecía la presencia de un contaminante específico en la zona y este no fue encontrado, esto debe describirse en esta sección. Adicionalmente se deben hacer recomendaciones sobre la necesidad de remediar el suelo, teniendo en cuenta las concentraciones de contaminantes encontradas en el suelo y el agua, y los niveles de referencia y concentraciones recomendadas para agua potable por la Organización Mundial de la Salud.

#### **9.2.5.7 Anexos**

Se debe anexar los archivos que respalden lo documentado en el informe, además de los papeles contractuales que sustentan la validez del muestreo. Estos son los documentos que como mínimo se debe adjuntar.

- ✓ Formato cadena de custodia diligenciado
- ✓ Formato de perforaciones y toma de muestra del suelo diligenciado
- ✓ Fotos del muestreo
- ✓ Soportes de la acreditación del laboratorio
- ✓ Tabla con niveles de detección (mg/l) del laboratorio
- ✓ Reporte de resultados entregados por el laboratorio

## Bibliografía

---

- Applied-Environmental-Research-Centre (1994). Guidance for preliminary site inspection of contaminated land. Department of the Environment: Contaminated Site Research Report. UK.
- California-EPA (2002). Toxicity Criteria Database. <http://www.oehha.ca.gov/risk/chemicaldb/>.
- CETESB-GTZ (2001). Manual de gerenciamento de áreas contaminadas no estado de Sao Paulo. Sao Paulo, Brasil.
- ISO/AENOR (2010). Norma Española. Calidad del suelo, parte 5: líneas directrices para el estudio de suelos contaminados en emplazamientos industriales y urbanos. Madrid, España. **UNE-ISO 10381-5**.
- Jury, W., W. Farmer, et al. (1984). "Behavior assessment model for trace organics in soil: II. Chemical classification and parameter sensitivity." Journal of Environmental Quality13(4): 567-572.
- Jury, W., W. Spencer, et al. (1984). "Behavior assessment model for trace organics in soil: III. Application of screening model." Journal of Environmental Quality13(4): 573-579.
- Secretaría-Distrital-de-Ambiente (2011). Informe anual de calidad de aire de Bogotá. Alcaldía Myor de Bogotá, DC. Bogotá, Colombia. **126PM04-PR84-M-A2-V1.o**.
- USEPA (1989). Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I, Part A. Washinton, DC. USA. **EPA/540/1-89/002**.
- USEPA (1991). Supplemental guidance: Standard default exposure factors Washinton, DC. USA. **OSWER Directive 9285.6-03**.
- USEPA (1993). Provisional guidance for quantitative risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons. Washington, DC. USA. **EPA/600/R-93/089**.
- USEPA (1996). Soil screening guidance: technical background document. Washinton, DC. USA. **EPA/540/R-95/128**.
- USEPA (1996). Soil screening guidance: User's guide. Washington, DC. USA. **EPA/540/R-96/018**.
- USEPA (1997). Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST). Washington, DC. USA.
- USEPA (2002). Integrated Risk Information System (IRIS), EPA.
- USEPA (2004). Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I, Part E. Washinton, DC. USA. **EPA/540/R/99/005**.
- USEPA (2009). National Primary Drinking Water Standards. Washinton, D.C. **EPA 816-F-09-004**.

---

USEPA (2011). Soil sampling. Science and ecosystem support división. Athens, GA. USA.

**SESDPROC-300-R2.**

USEPA (2013). Field sampling quality control. Science and ecosystem support división

**SESDPROC-011-R4.** Athens, GA. USA.

USEPA (Revisado Abril 2014). Sample Container And Preservation List. Region 9.

---

## ***Anexo A: Seguridad industrial***

---

Las perforaciones, toma de muestra y visitas al lugar de interés deben seguirse con todas las medidas de seguridad industrial y salud ocupacional a que haya lugar. Debe elaborarse el programa de salud ocupacional. El objetivo del programa es mantener los requisitos de seguridad industrial y salud ocupacional en el sitio específico del proyecto. Algunos elementos del programa de salud ocupacional incluyen: orientación para el trabajador, identificación de riesgos, formación, directrices para el uso de herramientas. El programa de salud ocupacional también tendrá los procedimientos en caso de emergencias, los elementos de protección personal a utilizar y los procedimientos para corregir los comportamientos inseguros, entre otros.

En temas de seguridad industrial y salud ocupacional, es determinante la suficiencia y claridad en la regulación para lograr condiciones seguras y saludables para los trabajadores. A continuación se presentan algunas de las normas de referencia en el país.

### **El sistema general de riesgos profesionales en Colombia – SGRP**

1. Ley 9 de 1979: Por la cual se dictan las medidas sanitarias, corresponde a las normas para preservar, conservar y mejorar la salud de los individuos en sus ocupaciones.
2. Ley 100 de 1993: Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral, con 3 subsistemas: Pensiones, Salud y Riesgos Profesionales.
3. Decreto 1295 de 1994: Por el cual se determina la organización y administración del SGRP, para prevenir, proteger y atender a los trabajadores de enfermedades y accidentes causados por su trabajo. Define funciones y responsabilidades: El empleador es responsable de los riesgos originados en su ambiente de trabajo y es su responsabilidad la prevención de los riesgos profesionales. Así también debe establecer y ejecutar el programa de salud ocupacional.
4. Decreto 205 de 2003: Por el cual se determinan los objetivos, la estructura orgánica y las funciones del Ministerio de la Protección Social. Define funciones y responsabilidades:

5. Las Direcciones Territoriales del Ministerio de Protección Social son responsables de coordinar y ejecutar las acciones de vigilancia y control.
6. Las Aseguradoras de Riesgos Profesionales – ARP no tienen funciones de vigilancia y control, sin embargo su interés en la prevención de riesgos ocupacionales se deriva del costo de las pólizas.
7. El Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, hoy Ministerio de Protección Social, tiene 9 comisiones nacionales sectoriales, entre éstas la Comisión del Asbesto Crisolito y otras fibras (Oficializado por la Resolución 935 de 2001 y modificado por la Resolución 1458 de 2008) y la Comisión de la Construcción (Oficializado por la Resolución 1856 de 2001).

### **El Programa de Salud Ocupacional**

1. Resolución 2400 de 1979: Reitera la obligación del empleador de proveer y mantener el medio ambiente ocupacional en adecuadas condiciones de higiene y seguridad, la obligación de organizar y desarrollar programas de medicina preventiva, higiene y seguridad industrial y crear el comité paritario de salud ocupacional.
2. Decreto 614 de 1984: Administración y organización del programa de salud ocupacional.
3. Resolución 1016 de 1989: Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los Programas de Salud Ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país. El programa de Salud Ocupacional de las empresas y lugares de trabajo, será de funcionamiento permanente y estará constituido por: Subprograma de Medicina Preventiva, Subprograma de Medicina del Trabajo, Subprograma de Higiene y Seguridad Industrial, Funcionamiento del Comité de Medicina, Higiene y Seguridad Industrial, de acuerdo con la reglamentación vigente.
4. Los subprogramas de Medicina Preventiva y del Trabajo, tienen como finalidad principal la promoción, prevención y control de la salud del trabajador, protegiéndolo de los factores de riesgo ocupacionales.



---

## **Anexo B: Formatos**

---

## FORMATO 1 - INFORMACIÓN SECUNDARIA

Nombre de la compañía: _____	Fecha: _____
NIT de la compañía: _____	Dirección: _____
Código CIU: _____	Coordenadas de georreferenciamiento: _____
Tamaño del la propiedad (m <sup>2</sup> ): _____	Límites (latitud, longitud): _____
Años de operación (desde-hasta o desconocido): _____	Estado del sitio (activo, inactivo, desconocido): _____
Nombre legible de quien realiza la actividad: _____	Firma: _____
Nombre legible de quien aprueba la actividad: _____	Firma: _____
Teléfono de contacto: _____	Dirección de contacto: _____

Marque con X si encuentra alguno de los siguientes:

### 1. El predio tiene o tuvo alguno de los siguientes usos:

- Agroindustria
- Bodega de almacenamiento
- Clínicas, hospitales, centros médicos
- Colegios y/o universidades
- Estaciones de servicio
- Industria artesanal
- Industria pequeña, mediana o grande
- Instalaciones militares

### 2. El predio fue o es utilizado para cualquiera de las siguientes actividades productivas:

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Agrícola</li> <li><input type="checkbox"/> Curtiembres</li> <li><input type="checkbox"/> Electrónica</li> <li><input type="checkbox"/> Farmacéutica</li> <li><input type="checkbox"/> Fotografía</li> <li><input type="checkbox"/> Industria de defensa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Metalmecánica (galvánica)</li> <li><input type="checkbox"/> Metalurgia</li> <li><input type="checkbox"/> Minería</li> <li><input type="checkbox"/> Petrolera</li> <li><input type="checkbox"/> Química</li> <li><input type="checkbox"/> Textil</li> </ul> |
|--|--|

o para la manufactura de los siguientes productos:

- |  |   |  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Aditivos de lubricación de aceite</li> <li><input type="checkbox"/> Agente anti-incrustaciones</li> <li><input type="checkbox"/> Agentes de mezcla de caucho</li> <li><input type="checkbox"/> Catalizadores</li> <li><input type="checkbox"/> Conservantes de madera y telas</li> <li><input type="checkbox"/> Crema de dientes o cremas para la piel</li> <li><input type="checkbox"/> Fertilizantes</li> <li><input type="checkbox"/> Fluidos hidráulicos</li> <li><input type="checkbox"/> Fósforos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Herbicidas, insecticidas, fungicidas y/o plaguicidas</li> <li><input type="checkbox"/> Materiales resistentes al fuego</li> <li><input type="checkbox"/> Nylon</li> <li><input type="checkbox"/> Pigmentos / Tintes</li> <li><input type="checkbox"/> Pilas, baterías y aparatos eléctricos</li> <li><input type="checkbox"/> Pinturas</li> <li><input type="checkbox"/> Plásticos</li> <li><input type="checkbox"/> Policarbonatos</li> <li><input type="checkbox"/> Productos con base de petróleo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Productos químicos organoclorados</li> <li><input type="checkbox"/> Químicos orgánicos</li> <li><input type="checkbox"/> Químicos para limpieza (aseo)</li> <li><input type="checkbox"/> Resinas</li> <li><input type="checkbox"/> Semiconductores y/o diodos</li> <li><input type="checkbox"/> Surfactantes pesados</li> <li><input type="checkbox"/> Termómetros y/o barómetros</li> <li><input type="checkbox"/> Vidrios</li> </ul> |
|--|---|--|

## FORMATO 1 - INFORMACIÓN SECUNDARIA

### 2. Los planos o mapas del lugar muestran:

- Tanques
- Almacenamiento de químicos y/o combustible
- Calderas
- Transformadores y/o subestaciones eléctricas

### 3. Observa alguna de las siguientes señales en el suelo del predio:

- Inhibición del crecimiento radicular en plantas
- Brotes, decoloración, necrosis y crecimiento deprimido en las hojas pueden evidenciar la presencia de metales pesados en suelos
- Color amarillo del pasto
- Pilas de escombros
- Depósitos y/o manchas de color
- Escasez de vegetación o zonas de deforestación
- Presencia de olores inusuales
- Acumulación anormal de hojarasca (hojas secas), por disminución de descomposición por parte de los microorganismos.
- Superficie brillante de algunos cuerpos de agua cercanos al sitio de interés

### 4. ¿Sabe si en el lugar se presentó contaminación?

- Sí
- No

Si la respuesta anterior es sí, diligencie la siguiente información:

Lugar de la contaminación (ejemplo: zona de calderas): \_\_\_\_\_

Tipo (ejemplo: derrame): \_\_\_\_\_

Tipo de desecho (ejemplo: solventes, combustibles): \_\_\_\_\_

Profundidad esperada del contaminante (m): \_\_\_\_\_

Área contaminada (m<sup>2</sup>): \_\_\_\_\_

Tipo de contaminantes (orgánicos volátiles, otros orgánicos, metales, otros inorgánicos): \_\_\_\_\_

Lista de contaminantes presentes: \_\_\_\_\_

**Nota:** adicionalmente puede anexar información histórica del predio como muestreos realizados en el pasado, datos históricos, fotografías aéreas, mapas, planos, información sobre usos del suelo e información hidrogeológica.



## FORMATO 2 - IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES CONTAMINANTES

Nombre de la compañía: _____	Fecha: _____
NIT de la compañía: _____	Dirección: _____
Código CIU: _____	Coordenadas de georreferenciamiento: _____
Tamaño del predio (m <sup>2</sup> ): _____	Límites (latitud, longitud): _____
Años de operación (desde-hasta o desconocido): _____	Estado del sitio (activo, inactivo, desconocido): _____
Nombre legible de quien realiza la actividad: _____	Firma: _____
Nombre legible de quien aprueba la actividad: _____	Firma: _____
Teléfono de contacto: _____	Dirección de contacto: _____

Marque con una X si encuentra alguno de los siguientes:

### 1. Sospecha metales: el lugar de sospecha de contaminación presenta alguna de la siguientes características:

- Arsénico: Depósitos de color (principalmente blancos), coloración verde
- Cadmio: Depósitos de color (blanco, amarillo y anaranjado)
- Cromo: Evidencia física de industrias anteriores, escombros de minería/fundición (blanco grisáceo a naranja amarillento), coloración verde
- Cobre: Baches de deforestación, cubierta vegetal variable, depósitos de color ( verde, azul, amarillo, rojo, negro), coloración verde (típicos en zonas donde se trabaja madera, carpintería)
- Plomo: Baches deforestados, erosión, depósitos de color (blanco, amarillo o negro)
- Mercurio: Depósitos de color (blanco, negro)
- Zinc: Zonas deforestadas, depósitos de color (usualmente blanco)

### 2. Sospecha compuestos orgánicos volátiles (COV): el lugar de sospecha de contaminación presenta alguna de la siguientes características:

- Hidrocarburos y PAH: A concentraciones mayores a 2000 mg/kg se presenta un color marrón oscuro. Se presentan algunos olores que pueden estar asociados con tolueno, xileno entre otros
- Aceites: Presencia de contenedores de aceites desechados, depósitos viscosos, cambios en la estructura del suelo. Color marrón oscuro. Olor a alquitranes o a aceites dependiendo su composición
- PCB: Presencia de transformadores o capacitores
- Pesticidas: Presencia de contenedores desechados o almacenados
- Fenoles: Olor a antiséptico
- Amoniaco: Olor intenso amargo
- Metano: Burbujeo en charcos o estanques, emisiones condensados, suelo compacto con estructura pobre

Formato de perforaciones y toma de muestra de suelo					Fecha	
					Perforación No	
Predio			Zona del predio*			
Perforador (nombre y profesión)			Muestreador (nombre y profesión)			
Interventor/contratante supervisor			Representante del predio			
Contaminante de interés y análisis a solicitar			Regimen de lluvias			
Perforación			Muestreo			
Espesor (m)	Nomenclatura de los horizontes	Descripción del suelo (color, textura y estructura)	Espesor (m)	Nombre de muestra	Descripción y observaciones de muestra	
Equipo de perforación			Método de muestreo			
Nivel freático (cm)		Profundidad total (m)		Diámetro perforación		
Revestimiento (descripción, profundidad y metodo para retirarlo)						
Cantidad y descripción de Residuos			Disposición de residuos			
Observaciones						

\*Localización geográfica, descripción y uso actual del área. Anexas zona muestreada marcada y delimitada sobre mapa, esquema o fotografía aérea.