

# Guía Técnica para Orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados



**GOBIERNO  
FEDERAL**

**SEMARNAT**



[www.gobiernofederal.gob.mx](http://www.gobiernofederal.gob.mx)

[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)



**Vivir Mejor**

**Guía técnica para orientar en la  
elaboración de estudios de  
caracterización de sitios  
contaminados**

Primera edición: Septiembre 2010  
DR©2010 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Boulevard Adolfo Ruíz Cortinez 4209, Col. Jardines en la Montaña,  
C.P. 14210, Tlalpan, D.F.

Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental  
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas  
Av. Revolución No. 1425, Col. Tlacopac San Ángel, C.P. 01040  
México D.F.  
[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

ISBN: 978-607-7908-17-3

Impreso y hecho en México

**Juan Rafael Elvira Quesada**

Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Mauricio Limón Aguirre

Subsecretario de Gestión para la Protección Ambiental

Alfonso Flores Ramírez

Director General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas

Juan Manuel Aguilar Estévez

Director de Restauración de Sitios Contaminados

Winfried Schmidt

Asesor, Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ)

Componente Sitios Contaminados y Residuos Peligrosos

Participaron en la redacción y edición:

M. en C. Miriam Méndez

M. en C. Edna Leticia González Bernal,

Dr. Ing. Ulises Ruíz Saucedo



## **PRÓLOGO**



# PRÓLOGO

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental

Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas

La remediación de sitios contaminados es una actividad enmarcada dentro de la protección ambiental en México que permite a la sociedad ver de manera tangible cómo es posible realizar acciones concretas de remediación atendiendo a las demandas de la sociedad para reducir los riesgos a la salud y al ambiente.

El tema de la remediación de los sitios contaminados fue recientemente integrado dentro del *Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales* en la denominada agenda gris de la SEMARNAT y el gobierno federal. Desde ese momento la SEMARNAT asume proactivamente su rol rector en esta materia.

*La Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR)* define la caracterización de sitios contaminados como “la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación”.

Mediante la determinación cuantitativa de los contaminantes se obtiene la información necesaria para valorar la extensión de la contaminación, que acciones son viables de implementar y los posibles costos aunados a la remediación. Los estudios de caracterización también son utilizados para definir la responsabilidad por la reparación de daños.

De ahí que el objetivo principal que se establece en esta guía es dar una orientación para encaminar la caracterización de sitios, homogeneizando el contenido de los estudios y disminuyendo los tiempos de gestión. La guía, comprende una estrategia general para el estudio de los sitios contaminados encaminada a su remediación o reutilización con fundamento, evidencia y soporte específicos.

En estos últimos 4 años, esta área de la Subsecretaría para la Protección Ambiental ha mostrado tener un impacto positivo en el medio ambiente y la calidad de vida de la población de los sitios donde se realizan proyectos de remediación. Los proyectos que a partir de 2003 se han iniciado o concluido tienden a resolver de manera permanente problemas ambientales que eran un reclamo de la población por lograr un medio ambiente sano y sustentable.

Es de resaltarse que la remediación de sitios contaminados en especial de aquellos sitios de grandes dimensiones no es una actividad sencilla o de bajos costos. En la gestión de la remediación se ven envueltos profesionistas de muy distinta índole como lo son entre otros: geólogos, ingenieros, químicos, empresas de ingeniería, prestadores de servicios de remediación, transportistas de residuos peligrosos, empresas constructoras, académicos especialistas en toxicología, por supuesto administradores, personal técnico del gobierno federal y personal especializado en licitaciones públicas. Además de ello se requiere en muchos casos el conjuntar y coordinar esfuerzos de los tres niveles de gobierno.

La solución de problemas de contaminación en este tipo de sitios contaminados resulta por ello particularmente compleja y requiere de la concurrencia de distintas instituciones de la administración pública federal como lo son CONAGUA, COFEPRIS, PROFEPA, SEMARNAT y además de la participación de universidades y empresas para lograr que se lleve a la realidad un programa de remediación con alto impacto urbano.

Sin importar que complicada pueda ser la remediación de un sitio una cosa es muy clara para todos los involucrados; la remediación de un sitio contaminado trae muchos beneficios no solo al medio ambiente, la salud y la calidad de vida de la población sino también a la economía de las áreas urbanas donde se encuentran o a los ecosistemas donde se hallan inmersos ya que al remediar un sitio se recupera el valor económico de dicho sitio y se permite su reutilización. Es por ello que nos es grato contribuir a la mejora de la gestión de la remediación de sitios contaminados a través de documentos que orienten a los responsables a mejorar la calidad de los trabajos que permiten en última instancia la remediación.

Sin embargo el fin último lo constituye el compromiso ineludible con el presente y futuro de la nación, de la conservación de nuestro medio ambiente, ya que de ello depende el alcanzar el desarrollo sustentable que se ha mencionado como meta dentro del *Plan Nacional de Desarrollo 2007 – 2012*.

Para la elaboración de este documento se tomaron en consideración las experiencias que en años recientes se han acumulado en la administración pública federal en el área de remediación de sitios contaminados con respecto a la implementación de proyectos de remediación y su gestión.

En este sentido, importantes organizaciones educativas comprometidas con el bienestar del medio ambiente en conjunción con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales han revisado el documento que hoy se presenta denominado ***“guía técnica para orientar la elaboración de estudios de caracterización de sitios contaminados”***.

Sin embargo este documento se asume con sus limitantes no como una última y mejor opinión acerca de lo que debe de ser un estudio de caracterización, sino como un primer paso en un proceso de ordenamiento de conocimientos y experiencias que seguramente podrá y deberá ser mejorado en el futuro.

México D. F. mayo de 2010

## **AGRADECIMIENTOS**



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos el apoyo de la agencia de cooperación técnica alemana (GTZ) y Centrum für internationale Migration und Entwicklung (CIM) durante la elaboración de este documento, a la M. en C. Miriam Méndez y M. en C. Edna Leticia González Bernal, por la elaboración de los textos básicos y correcciones, a la Dra. Susana Saval Bohorquez por el anexo acerca de los patrones de muestreo, del cual ella es autora y sus siempre valiosos consejos. Agradecemos encarecidamente los comentarios y los textos del muestreo de biota de la Dra. Rosa María Flores del IINGEN de la UNAM, del cual ella es la autora, del Dr. Miguel Betancourt del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Mazatlán CIAD y el Dr. Lorenzo Heyer Universidad Autónoma de Tamaulipas, también agradecemos los comentarios y sugerencias de diversas instituciones y organizaciones que han sido muy valiosos para la elaboración del documento. Agradecemos el apoyo del Dr. Wini Schmidt asesor de GTZ y del M. en C. Alfonso Flores Ramírez Director General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas.



## **OBJETO DE LA GUÍA Y ALCANCE**



## OBJETO DE LA GUÍA Y ALCANCE

Esta guía tiene por objeto orientar a los responsables de la remediación de sitios contaminados y a los consultores que realizan en campo los trabajos de caracterización en la realización de los trabajos y en la elaboración de los documentos que conforman un estudio de caracterización de sitios contaminados.

Este documento representa un lineamiento acorde a la reglamentación con respecto al contenido y las posibles alternativas para realizar la caracterización de los distintos componentes que conforman un sitio contaminado tal como lo describe la definición de la *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* (LGPGIR, abril 2004), tales como lo son el suelo, el agua, sedimentos, residuos, edificaciones o combinaciones de ellos. Este documento sigue el concepto planteado por dicha definición. Y por tal motivo debe considerarse que el fin último de cualquier estudio de caracterización es determinar la extensión de la contaminación y proveer la información para evaluar riesgos y proveer información para poder ejecutar la remediación del sitio contaminado objeto de estudio.

Los métodos y procedimientos presentados representan una orientación y no son limitativos. Pueden existir métodos y procedimientos de muestreo que sean equivalentes o que representen una mejora en la calidad de los muestreos y resultados. La posibilidad de aplicar métodos y procedimientos que provean la misma o mejor calidad de la información que se genere durante un muestreo está expresamente señalado por la legislación vigente.



## **INSTRUCCIONES O GUÍA RÁPIDA**



# INSTRUCCIONES O GUÍA RÁPIDA

Con objeto de facilitar al usuario el encontrar las indicaciones que aplican a cada caso en particular le recomendamos lo siguiente:

Los requisitos reglamentarios que debe cumplir el responsable de un sitio contaminado con respecto de la caracterización (en el marco de la elaboración de un programa de remediación) se encuentran en el capítulo 1.

- Aquí es importante identificar si se trata de una emergencia o un pasivo ambiental puesto que los requisitos administrativos son distintos en cada caso.

En el primer capítulo de esta guía se examinan y discuten las estrategias de caracterización de pasivos ambientales dependiendo de si se trata de un pasivo ambiental en el cual se efectuar un proyecto de reutilización o si solo se realizara su remediación.

En el capítulo segundo el usuario encontrara las indicaciones técnicas para la caracterización de un sitio contaminado, esto se presenta de acuerdo a la matriz a muestrear. En esta sección se encuentran las indicaciones para la matriz “suelo” dependiendo del tipo de contaminante, después se presentan las indicaciones para la matriz “agua”. Al final del capítulo se presentan indicaciones para el muestreo de residuos y materiales de construcción presentes en sitios contaminados.

Es importante tener de antemano identificadas la o las matrices ambientales (suelo, agua superficial, agua subterránea, sedimentos, biota, edificaciones, residuos) que probablemente deberán ser muestreadas o caracterizadas de acuerdo a su modelo conceptual del sitio.

- El responsable del sitio contaminado junto con el consultor designado por éste para realizar el estudio de caracterización, pueden elaborar un modelo conceptual del sitio cuando se trate de un pasivo ambiental. En el caso de emergencias ambientales no es necesario éste modelo por regla general.

Para evitar el regreso al campo para realizar trabajos adicionales de muestreo es importante que se considere de antemano en la elaboración del plan de caracterización y de muestreo la finalidad que se persigue con la remediación del sitio por ejemplo:

- Si se considera como parte del programa de remediación de un sitio la realización de un estudio de riesgo ambiental deberá considerarse en la planeación de la caracterización que sean tomadas muestras de las matrices ambientales y las rutas de exposición presentes en el sitio con el fin de estimar los riesgos de manera adecuada. En muchos casos deben de ser muestreados no solo el suelo, sino también gases o vapores de suelos o cuerpos de agua para estimar la exposición. La experiencia reciente en México muestra que no considerar esto trae como consecuencia la multiplicación de costos y esfuerzos. Ver capítulo 3.
- Si se considera realizar, en el marco de la demolición y construcción de un predio, la excavación y disposición fuera del sitio del material contaminado tiene importancia capital el determinar las áreas, profundidades y volúmenes de suelo a excavar y retirar del sitio así como las condiciones de acceso al mismo. También es importante determinar si las edificaciones y los materiales (volúmenes de demolición) que les componen están contaminadas porque es ese caso representan un volumen de residuos peligrosos a desalojar del sitio.

- Si se considera, en el marco de la remediación (y la reutilización) de un área industrial después del cierre de operaciones, realizar la remediación sin una demolición de las naves entonces toma importancia considerar además de las condiciones del suelo, establecer las condiciones de las edificaciones, los drenajes, las tuberías, registros y demás instalaciones y, en su caso, los volúmenes presentes de residuos en el sitio.
- Si se considera realizar la remediación de un sitio mientras continúan las operaciones en el mismo es importante tomar en consideración la forma de alcanzar el objetivo de remediación con las menores molestias a las operaciones. En este caso toma relevancia una estimación de volúmenes de asfalto o concreto a ser retirados en el marco de una excavación, así como los accesos al sitio y los tiempos en que pueden ser llevados a cabo los trabajos.

# ÍNDICE



# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>9</b>
<b>OBJETO DE LA GUÍA Y ALCANCE</b>	<b>13</b>
<b>INSTRUCCIONES O GUÍA RÁPIDA</b>	<b>17</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>21</b>
<b>1. MARCO JURÍDICO Y REQUERIMIENTOS ADMINISTRATIVOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS</b>	<b>33</b>
1.1 DISPOSICIONES GENERALES EN LA LGPGIR	33
1.2 DEFINICIONES DE LA LGPGIR CON RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS	35
1.3 TIPOS DE SITIOS CONTAMINADOS DE ACUERDO AL REGLAMENTO DE LA LGPGIR	37
1.4 EMERGENCIAS AMBIENTALES	38
1.4.1 Marco jurídico de los requisitos y documentos anexos del estudio de caracterización	38
1.4.2 Requerimientos administrativos para Emergencias Ambientales	39
1.4.3 Descripción de los requisitos del estudio de caracterización para Emergencias Ambientales	40

1.4.4	Descripción de los documentos anexos para Emergencias Ambientales	44
<b>1.5</b>	<b>PASIVOS AMBIENTALES</b>	<b>46</b>
1.5.1	Marco jurídico de los requisitos y documentos anexos del estudio de caracterización	46
1.5.2	Requerimientos administrativos para Pasivos Ambientales	48
1.5.3	Descripción de los requisitos del estudio de caracterización para Pasivos Ambientales	49
1.5.4	Descripción de los documentos anexos para Pasivos Ambientales	55
<b>1.6</b>	<b>CONSIDERACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN EN LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS</b>	<b>57</b>
<b>1.7</b>	<b>EL MUESTREO DE SUELOS EN LA NOM-138 SEMARNAT/SS-2003</b>	<b>57</b>
1.7.1	Especificaciones para la caracterización	57
1.7.2	Estrategia de muestreo	58
1.7.3	Plan de muestreo	59
1.7.4	Especificaciones técnicas para llevar a cabo el muestreo	59
1.7.5	Especificaciones sobre la integridad, identificación y manejo de las muestras	60
1.7.6	El informe de la caracterización	61
<b>1.8</b>	<b>MUESTREO EN LA NOM 147 SEMARNAT/SSA1- 2004</b>	<b>63</b>

<b>2.</b>	<b>ESTRATEGIAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS</b>	<b>67</b>
2.1	SITUACIÓN ACTUAL	67
2.2	ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL DESARROLLO DE INSTRUMENTOS DE GESTIÓN	70
2.3	ESTRATEGIA DE CARACTERIZACIÓN	71
2.4	EVIDENCIA QUE DEBE SER GENERADA EN EL PROCESO DE CARACTERIZACIÓN	73
2.5	OBLIGACIONES EN LA LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD VIGENTES EN LA MATERIA	74
2.6	ELEMENTOS DE LA CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE SITIOS APLICABLES EN MÉXICO	74
2.7	ESTRATEGIA Y MÉTODO DE MUESTREO	75
2.8	ESTRATEGIA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS	77
2.8.1	EMERGENCIAS AMBIENTALES	78
2.8.2	PASIVOS AMBIENTALES	79
2.9	CONFIABILIDAD DE LA INFORMACIÓN	82
2.10	ESTRATEGIAS PARA LOS MUESTREOS FINALES COMPROBATORIOS	87

<b>3. CARACTERIZACIÓN POR TIPO DE MATRIZ</b>	
<b>LINEAMIENTOS Y REGLAS</b>	<b>95</b>
<b>3.1 MUESTREO DE SUELOS</b>	<b>95</b>
3.1.1 Comparación del número de puntos de muestreo de la NOM 138 y la NMX 132	96
3.1.2 Patrones de muestreo	98
3.1.3 Tipos de puntos de muestreo	99
3.1.4 Consideraciones para la toma de muestras de suelo	100
3.1.5 Aseguramiento y control de calidad	101
3.1.6 Selección del muestreador apropiado	101
3.1.7 Transporte y almacenamiento de muestras	101
3.1.8 Conservación de muestras	102
3.1.9 Precauciones durante el muestreo	102
3.1.10 Tipo de muestra	102
3.1.11 Tratamiento de muestras de metales pesados	102
<b>3.2 MUESTREO DE SUELOS CON HIDROCARBUROS</b>	<b>102</b>
3.2.1 Descripción del sitio y de la afectación	103
3.2.2 Estrategia de muestreo	103
3.2.3 Procedimiento	104
3.2.4 Control de calidad	105

<b>3.3 MUESTREO DE SUELOS CON COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>	<b>106</b>
3.3.1 Indicaciones indispensables para el control de calidad del muestreo	109
3.3.2 Construcción de los puntos de muestreo	110
3.3.3 Toma de muestras	111
3.3.4 Control de calidad	112
3.3.5 Métodos de muestreo	113
3.3.6 Manejo y almacenamiento	114
<b>3.4 MUESTREO DE AGUAS</b>	<b>114</b>
3.4.1 Tipos de muestra	115
3.4.2 Número de muestras	117
3.4.3 Métodos de toma de muestras	118
3.4.4 Muestreo en corrientes	122
3.4.5 Muestreo en lagos, lagunas, presas y embalses	123
3.4.6 Muestreo en acuíferos profundos	123
3.4.7 Muestreo a diferentes profundidades	123
3.4.8 Aseguramiento y control de calidad	124
3.4.9 Recolección, preservación y almacenamiento de muestras con hidrocarburos en agua	124

<b>3.5 MUESTREO DE SEDIMENTOS</b>	<b>124</b>
3.5.1 Técnicas de muestreo	124
3.5.2 Equipo	125
3.5.3 Parámetros de campo	126
3.5.4 Tratamiento de muestra	126
3.5.5 Contenedores, conservación y transporte de muestras	126
<b>3.6 MUESTREO DE POLVOS Y GASES EN EL AIRE</b>	<b>127</b>
3.6.1 Tipo de partícula	127
3.6.2 Lugar de toma de muestras	127
3.6.3 Tipo de muestras	127
3.6.4 Número de muestras	127
3.6.5 Recomendaciones	128
3.6.6 Equipo y material de muestreo	128
3.6.7 Preparación del filtro antes del muestreo	128
3.6.8 Procedimiento de muestreo	129
3.6.9 Transporte y almacenamiento	130
3.6.10 Tratamiento de la muestra	130
3.6.11 Condiciones de muestreo	131
<b>3.7 Muestreo de residuos</b>	<b>131</b>

3.7.1	Caracterización de residuos peligrosos	131
3.7.2	Caracterización de residuos sólidos urbanos y de manejo especial	135
<b>3.8</b>	<b>MUESTREO DE BIOTA</b>	<b>137</b>
3.8.1	Aspectos a considerar en la caracterización de la biota	137
3.8.2	Patrones de muestreo de biota	139
3.8.3	Métodos para la toma de muestra	140
3.8.4	Distribución y número de puntos de muestreo	140
3.8.5	Tipo, distribución y número de las unidades de muestreo	140
3.8.6	Vegetación y flora	141
3.8.7	Fauna	142
3.8.8	Muestreo de biota acuática	142
3.8.9	Transporte y manejo de la muestra	143
<b>3.9</b>	<b>MUESTREO DE EDIFICACIONES E INSTALACIONES</b>	<b>144</b>
3.9.1	Puntos de muestreo	144
3.9.2	Procedimiento	144
3.9.3	Transporte y manejo de la muestra	145
<b>3.10</b>	<b>EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA EL MUESTREO</b>	<b>145</b>
3.10.1	Equipo de seguridad mínimo durante la toma de muestras es:	145

3.10.2	Equipo convencional de muestreo de suelos	146
3.10.3	Material de muestreo para etiquetado y conservación de muestras	146
3.10.4	Material específico para muestreo de biota	147
3.10.5	Material de muestreo específico de vapores y gases de suelos	147
3.10.6	Equipo y material de muestreo de aguas superficiales	147
<b>4.</b>	<b>LINEAMIENTOS Y CONSIDERACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RUTAS Y VÍAS DE EXPOSICIÓN</b>	<b>153</b>
4.1	GLOSARIO	153
4.2	LINEAMIENTOS GENERALES	155
4.3	CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE RUTAS DE EXPOSICIÓN	156
4.3.1	Agua - Ser humano	156
4.3.2	Suelo - ser humano	157
4.3.3	Suelo-agua-ser humano	158
4.3.4	Residuos polvo-ser humano	159
4.3.5	Suelo-biota terrestre	160
4.3.6	Suelo-biota acuática	161

<b>LISTA DE DOCUMENTOS Y REFERENCIAS</b>	<b>165</b>
<b>ANEXO 1    ACTIVIDADES INDUSTRIALES                   POTENCIALMENTE CONTAMINANTES                   DEL SUELO</b>	<b>171</b>
<b>ANEXO 2    LISTADO DE CONTAMINANTES QUE                   POSIBLEMENTE SE ENCUENTRAN EN                   SITIOS DONDE SE REALICEN ACTIVIDADES                   POTENCIALMENTE CONTAMINANTES</b>	<b>177</b>
<b>ANEXO 3    PATRONES DE MUESTREO PARA DEFINIR                   LA LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE                   MUESTREO EN SUELOS CONTAMINADOS                   CON HIDROCARBUROS</b>	<b>185</b>
<b>ANEXO 4    EJEMPLOS DE DISTINTOS EQUIPOS                   DE MUESTREO</b>	<b>201</b>
<b>ANEXO 5    HOJA DE CAMPO Y ETIQUETA</b>	<b>209</b>
<b>ANEXO 6    ETIQUETAS Y HOJA DE REGISTRO</b>	<b>215</b>



# **1. MARCO JURÍDICO Y REQUERIMIENTOS ADMINISTRATIVOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS**



# **1. MARCO JURÍDICO Y REQUERIMIENTOS ADMINISTRATIVOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS**

## **1.1 DISPOSICIONES GENERALES EN LA LGPGIR**

En el año 2003 se publicó la *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* (LGPGIR). Esta Ley establece (artículo 1) las bases legales para la prevención de la contaminación de sitios con materiales y residuos peligrosos y su remediación. Las disposiciones generales son las siguientes (Cortinas de Nava 2007, LGPGIR 2003).

- Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos.
- Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana.
- Establecer los mecanismos de coordinación que, en materia de prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de residuos, corresponden a la Federación, las entidades federativas y los municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX-G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- Crear un sistema de información relativa a la generación y gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial así como de sitios contaminados y remediados.
- Prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los criterios a los que se sujetará su remediación.
- Establecer medidas de control, medidas correctivas y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones que correspondan.

Estas disposiciones dejan claro que entre los objetivos de la Ley se encuentran la prevención de la contaminación de sitios con residuos peligrosos así como su remediación.

## **1.2 DEFINICIONES DE LA LGPGIR CON RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS**

En la Ley (Artículo 5.) se define el término "*Caracterización de Sitios Contaminados*" y además algunos términos estrechamente ligados a este concepto como lo son: evaluación de riesgos ambientales, remediación, sitio contaminado, lixiviado, remediación y vulnerabilidad que requieren ser considerados para determinar el objetivo y elementos que deben constituir a los estudios de caracterización

En la fracción III del artículo 5 de la LGPGIR se define la Caracterización de un Sitio Contaminado como: ***“la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación”***

Esta definición implica conocer el sitio en el cual se realizará la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes y requiere tener una idea de cómo se estiman los riesgos.

En la fracción VII del artículo 5 de la LGPGIR se define la evaluación del riesgo ambiental como el ***“Proceso metodológico para determinar la probabilidad o posibilidad de que se produzcan efectos adversos, como consecuencia de la exposición de los seres vivos a las sustancias contenidas en los residuos peligrosos o agentes infecciosos que los forman”***.

Esta definición señala que es necesario conocer la exposición (de manera cuantitativa) a los contaminantes como base para evaluar si existen efectos adversos al medio ambiente o la salud humana. Así mismo señala que debe existir la base necesaria para calcular la probabilidad o posibilidad de un efecto adverso.

En la fracción XL del artículo 5 de la LGPGIR se define a un sitio contaminado como el ***“lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido contaminado con materiales o residuos que, por sus cantidades y características, pueden representar un riesgo para la salud humana, a los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes o propiedades de las personas”***

Esta definición aporta los elementos físicos de un sitio para los cuales deben determinarse los elementos cuantitativos anteriormente referidos (la extensión de la contaminación y la exposición) y señala para quienes deben ser determinados: (1.) los seres humanos, (2.) los organismo vivos y (3.) el aprovechamiento de los recursos naturales.

La caracterización de un sitio contaminado en su calidad de tarea preliminar a la remediación debe:

- Proporcionar datos cuantitativos de los contaminantes presentes en los distintos elementos del sitio contaminado (suelo, agua, aire, instalaciones o combinaciones de ellos),
- Proporcionar el tipo de los contaminantes presentes en el sitio contaminado,
- Proporcionar información acerca de si estos contaminantes provienen de materiales o residuos peligrosos,
- Proporcionar información sobre las cantidades de contaminantes, sus características (toxicidad, peligrosidad, etc.), su distribución y rutas de exposición,
- Proporcionar además la base para poder estimar los riesgos que dichos contaminantes implican para el medio ambiente (recursos naturales y organismos vivos) y la salud humana y en términos generales debe proporcionar información acerca del daño generado por los contaminantes presentes en el sitio contaminado,.

La caracterización de un sitio contaminado puede realizarse por el responsable de la remediación del sitio a excepción de algunos casos donde esto no esta permitido.

Asociando los elementos de esta definición con los elementos constituyentes de las definiciones de Evaluación del Riesgo Ambiental y de Sitio Contaminado se tiene una serie de elementos a considerar que cubren todos y cada uno de los aspectos de la evaluación de riesgos y de la descripción del sitio contaminado.

### 1.3 TIPOS DE SITIOS CONTAMINADOS DE ACUERDO AL REGLAMENTO DE LA LGPGIR

Para manejar de una manera modular la información de acuerdo al tipo y causa de contaminación de un sitio, se atiende la clasificación de sitios contaminados establecida en el Reglamento de la LGPGIR en:

- “Emergencia Ambiental”; sitio contaminado por un evento súbito o accidente y
- “Pasivo Ambiental”; sitio contaminado que no ha sido atendido en tiempo y forma, cuya contaminación se originó en un largo periodo de tiempo por la falta de un manejo adecuado de materiales y residuos peligrosos y/o por la falta de acciones correctivas en dicho manejo.

En el Reglamento de la LGPGIR se señala el contenido de información de un Estudio de Caracterización en los artículos 138 y 139. Los documentos anexos de un programa de remediación, los cuales son concomitantes con la caracterización de un sitio, están señalados en los artículos 135 y 136 que se encuentran conectados en paralelo con los artículos antes mencionados.

Para una “Emergencia Ambiental” Aplican los artículos 138 (requisitos) y 135 (documentos anexos al programa de remediación)	Para un “Pasivo Ambiental” Aplican en conjunto los artículos 138 y 139 (requisitos) y además los artículos 135 y 136 (documentos anexos al programa de remediación).
--	---

En ambos casos se requiere atender de manera obligatoria lo señalado en el artículo 137 con respecto a los requisitos a cumplir para el responsable técnico.

PROGRAMA DE REMEDIACIÓN	EMERGENCIAS AMBIENTALES	PASIVOS AMBIENTALES
	Artículo 138	Artículo 138 Artículo 139
Documentos anexos	Artículo 135	Artículo 135 Artículo 136
Otros estudios		Investigación histórica ERA
	Propuesta de remediación	Propuesta de remediación

ERA: Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental de sitios contaminados con residuos peligrosos

Es importante mencionar que el trámite que se realiza ante la SEMARNAT es “Evaluación de la propuesta del Programa de Remediación”, para fines de esta guía técnica solo se trata el contenido del “Estudio de Caracterización” y los documentos anexos que le corresponden y no el contenido de una Propuesta de Remediación” u otros documentos como lo son el Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental.

Las **investigaciones históricas** se pueden realizar en el tren de elaborar un estudio de evaluación de riesgo ambiental o bien de manera alternativa, en paralelo o previa a la elaboración de un Estudio de

Caracterización. En el caso de una Emergencia se considera que las **investigaciones históricas** del sitio contaminado no son necesarias debido a que la causa que originó la contaminación es conocida y a que por regla general dichos sitios son atendidos relativamente rápido. En la sección correspondiente a los “Pasivos” se señalarán los contenidos de información de dichas **investigaciones históricas**.

## **1.4 EMERGENCIAS AMBIENTALES**

### **1.4.1 Marco jurídico de los requisitos y documentos anexos del estudio de caracterización**

Como se mencionó, los requisitos y documentos anexos de un estudio de caracterización (enmarcados dentro de un programa de remediación) para el caso de emergencias ambientales se encuentran sustentados en los artículos 138 y 135 del Reglamento de la LGPGIR los cuales se señalan a continuación:

**Artículo 138.-** El estudio de caracterización contendrá:

- I.- La ubicación, descripción y uso actual del sitio contaminado, incluyendo los cuerpos de agua que existan en el lugar y si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los mismos;
- II.- El tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación al ambiente;
- III.- El área y volumen de suelo dañado;
- IV.- El plan de muestreo que prevean las normas oficiales mexicanas;

**\*Nota:** Si no existe NOM debe atenderse lo señalado en el artículo DÉCIMO TRANSITORIO del Reglamento de la LGPGIR en lo referente al plan de muestreo

- V.- Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelos y, en su caso, los de los análisis y pruebas químicas, así como los de las pruebas físicas, biológicas y mecánicas practicadas a las mismas, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera, y
- VI.- La memoria fotográfica de los trabajos efectuados.

En el caso de que no exista un laboratorio acreditado para realizar los análisis señalados en la fracción V de este artículo se practicarán por el laboratorio que elija el responsable del programa de remediación, en términos de lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

**Artículo 135.-** Cuando se trate de emergencias, los programas de remediación de sitios contaminados con materiales peligrosos o residuos peligrosos incluirán los datos generales del responsable de la contaminación, incluyendo su actividad, los datos del responsable técnico de la remediación, el lugar y fecha en que ocurrió la emergencia y los resultados de los estudios de caracterización.

A dichos programas se integrarán los siguientes documentos:

- I.- Planos del lugar a una escala tal que permita apreciar la información requerida, georeferenciados con coordenadas UTM y orientación geográfica, donde se muestren topografía, cuerpos de agua superficiales,

puentes y caminos de acceso, las áreas dañadas de suelo y los puntos de muestreo, con las mismas denominaciones que se indican en los resultados de las determinaciones analíticas del contaminante;

II.- Documento comprobatorio de la cadena de custodia de las muestras;

III.- Planos isométricos de concentraciones y migración del contaminante en suelo y subsuelo;

IV.- Memoria fotográfica del sitio;

**Nota:** Las fracciones V y VI de este artículo no son relativas a aspectos técnicos de la caracterización del sitio.

## 1.4.2 Requerimientos administrativos para Emergencias Ambientales

A partir de los requisitos del estudio de caracterización y los documentos anexos al programa de remediación señalados en las secciones anteriores se establecieron administrativamente en el trámite correspondiente los contenidos de información particulares y desglosados necesarios. En la sección 1.4.3 y 1.4.4 se describen a detalle los requisitos del estudio de caracterización y documentos anexos respectivamente (Tabla 1 y 2).

**TABLA 1. REQUISITOS ADMINISTRATIVOS PARA EMERGENCIAS AMBIENTALES**

No.	Dato
<b>Datos generales</b>	
1	Los datos generales del responsable de la contaminación
2	Actividad del responsable de la contaminación
3	El lugar y fecha en que ocurrió la emergencia
4	Nombre y firma del representante legal (en su caso)
5	Domicilio para recibir notificaciones
<b>Estudio de caracterización que incluye:</b>	
6	La ubicación del sitio contaminado.
7	Descripción del sitio contaminado.
8	Uso actual del sitio contaminado.
9	Ubicación de los cuerpos de agua en el lugar.
10	Si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los cuerpos de agua.
11	El tipo de contaminante liberado al ambiente.
12	Cantidad de contaminante liberado al ambiente.
13	Área de suelo dañado
14	Volumen de suelo dañado.
15	El plan de muestreo que prevean las normas oficiales mexicanas. * ver nota
16	Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelos, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
17	En su caso, los resultados de los análisis y pruebas químicas, practicadas a las muestras mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.

18	En su caso, los resultados de los análisis y pruebas físicas, practicadas a las muestras mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
19	En su caso, los resultados de los análisis y pruebas biológicas, practicadas a las muestras mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
20	En su caso, los resultados de los análisis y pruebas mecánicas, practicadas a las muestras mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
21	Los datos del o los responsables técnicos de la caracterización
22	Los hechos o razones que dan motivo a la petición

**\*Nota:** Si no existe NOM debe atenderse lo señalado en el artículo DÉCIMO TRANSITORIO del Reglamento de la LGPGIR en lo referente al plan de muestreo

## **TABLA 2. DOCUMENTOS ANEXOS PARA EMERGENCIAS AMBIENTALES**

No.	Dato
1	Planos del lugar a una escala tal que permita apreciar la información requerida, georreferenciados con coordenadas UTM y orientación geográfica, donde se muestren topografía, cuerpos de agua superficiales, puentes y caminos de acceso, las áreas dañadas de suelo y los puntos de muestreo, con las mismas denominaciones que se indican en los resultados de las determinaciones analíticas del contaminante.
2	Documento comprobatorio de la cadena de custodia de las muestras.
3	Planos isométricos de concentraciones y migración del contaminante en suelo y subsuelo.
4	Memoria fotográfica descriptiva del sitio.
5	La memoria fotográfica de los trabajos de caracterización efectuados.

### **1.4.3 Descripción de los requisitos del estudio de caracterización para Emergencias Ambientales**

- **La ubicación del sitio contendrá:**
  - Estado, municipio, poblado,
  - Si el sitio está localizado en un área urbana además: colonia, calle, número, código postal,
  - Si el sitio se encuentra en una vía de comunicación: kilómetro en ducto o kilómetro en carretera o una información similar,
  - Se deberán establecer las coordenadas UTM del polígono del predio en caso de sitios contaminados en áreas industriales y dentro del polígono la localización de las áreas contaminadas, y
  - Se deberán establecer las coordenadas UTM del polígono de todo el sitio contaminado en el caso de áreas no urbanas.
- **La descripción del sitio contendrá:**
  - Las características del terreno,

- Fecha de ocurrencia,
- Tipo de instalación, en su caso,
- Motivo o causa de la emergencia ambiental, y
- Tipo de contaminante.
- **Uso actual del sitio contaminado**
  - Deben señalarse todas las actividades que se desarrollan en el sitio y/o los fines para los cuales se destinan las distintas áreas del predio
- **Ubicación de los cuerpos de agua en el lugar**
  - En caso de que el sitio se encuentre adyacente a un cuerpo de agua superficial su existencia y localización deberán ser señaladas en el plano de ubicación del sitio a nivel local y regional.
- **Indicación de si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los mismos**
  - En caso de afectación a un cuerpo de agua indicarlo
  - Comprobante del aviso a la autoridad del agua
- **El tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación al ambiente**
  - El tipo o tipos de contaminantes por área contaminada del sitio y de todo el sitio contaminado,
  - Volumen derramado de contaminantes,
  - Volumen de residuos o materiales peligrosos depositados en el suelo, y
  - En su caso volúmenes/flujo de contaminantes en emisiones (líquidas, semisólidas o gaseosas).
- **Área y volumen de suelo contaminado (dañado)**
- **Plan de muestreo**
  - Localización en el plano o planos locales y regionales de los puntos de muestreo, según corresponda.
  - Fundamentación de la elección del número y distribución de los puntos de muestreo.
  - Métodos de perforación.
  - Equipo de perforación empleado.
  - Métodos de muestreo según la matriz afectada (suelo, agua, aire).
  - Métodos de conservación de muestras.
  - Equipo de muestreo empleado.

- Pruebas de campo efectuadas.
- Métodos de las pruebas de campo efectuadas.
- Equipos empleados en las pruebas de campo.
- Responsables del muestreo, transporte y análisis químicos de muestras.
- Responsables de la ejecución de pruebas de campo.

**Nota:** El artículo décimo transitorio del Reglamento de la LGPGIR señala “En tanto se expida la Norma Oficial Mexicana correspondiente, el plan de muestreo a que se refiere el artículo 138 fracción IV del reglamento deberá indicar: el método de muestreo, número y masa de muestras, profundidad, tipo de muestras, procedimiento de almacenamiento y transferencia de muestras y testigos, así como su fundamentación.”

- **Los resultados de las determinaciones analíticas**

Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelo y, en su caso, los de los análisis y pruebas químicas, así como los de las pruebas físicas, biológicas y mecánicas practicadas a las mismas, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requieran. Los resultados de los análisis y pruebas químicas, físicas, biológicas y mecánicas son de fácil comprensión cuando se les resume ordenadamente en una tabla, que muestre:

- La denominación de la muestra,
- El punto de muestreo del cual fue extraída la muestra,
- La profundidad a la que fue tomada la muestra en metros,
- El método de análisis empleado,
- Los valores de concentración de los contaminantes que rebasan y los que no rebasan los límites máximos de contaminantes en el suelo. Si la concentración está por debajo del límite de detección, indicar la abreviatura [ <LD ] “Debajo de Límite de Detección”,
- La fecha de muestreo,
- La fecha de ingreso al laboratorio,
- La fecha de análisis químicos,
- El número máximo de días para transporte y análisis indicado por el método de análisis,
- La preparación de la muestra efectuada,
- Los días de almacenamiento,
- La temperatura de almacenamiento,

- Diferencia de días entre muestreo y análisis, y
- La firma del responsable del laboratorio en las hojas de la tabla-resumen.

Es importante recalcar que:

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

Si se realizaron pruebas de campo la presentación de resultados contendrá:

- El punto de localización de las pruebas,
- La profundidad a la que fueron realizadas las pruebas en metros,
- El o los métodos de pruebas empleados,
- La preparación efectuada para las pruebas en su caso,
- Los resultados de las pruebas,
- La fecha de las pruebas,
- El tiempo de realización de las pruebas, y

En caso de que una prueba de campo incluya toma de muestras, la presentación de los resultados se diferenciará de otros análisis de laboratorio. La presentación de resultados contendrá:

- La fecha de toma de muestras,
- El tipo de análisis efectuados: físicos, mecánicos o biológicos, y
- Los resultados de los análisis

Los resultados de las pruebas de campo deberán reportarse en una tabla. Tome usted como referencia los contenidos señalados en la sección 1.4.3 “Los resultados de las determinaciones analíticas” pg.31-32.

La descripción de la metodología de cada tipo de pruebas de campo o de laboratorio consta de:

- Descripción de los métodos de las pruebas físicas, mecánicas y biológicas,
- Las ecuaciones requeridas para evaluación de resultados,
- Parámetros de las pruebas de campo, y
- Memorias de cálculo en su caso.

**Nota:** Los resultados de los análisis químicos deberán ser emitidos por un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación. Sin embargo el marco jurídico permite un responsable el proponer una alternativa de manera fundamentada que tenga una calidad mejor o equivalente.

- **Los datos del o los responsables técnicos de la caracterización**
- **Los hechos o razones que dan motivo a la petición**
  - Motivo de la solicitud de evaluación del programa o la propuesta de remediación que efectúa el responsable del sitio contaminado ante la autoridad competente.

#### **1.4.4 Descripción de los documentos anexos para Emergencias Ambientales**

- Especificaciones de los planos de localización a nivel local y regional:

Plano local del lugar a escala adecuada donde se muestren:

- Las características propias dentro del sitio y sus colindancias como lo son: caminos de acceso, elevaciones de terreno, calles, instalaciones, edificios, drenajes etc.,
- Áreas dañadas y áreas no dañadas (contaminadas) de suelo,
- En su caso, cuerpos de agua superficiales aledaños al sitio que hayan resultado afectados,
- Los puntos de muestreo en el sitio con las denominaciones que se den en los resultados de los análisis químicos del contaminante, e
- Información técnica de plano: Nombre de proyecto, persona que encomienda, autor, escala del plano, nombre del plano, fecha de elaboración, fecha de verificación, fecha de firma y orientación geográfica (N, S, E, O).

**Plano del lugar regional donde se muestren:**

- Los principales accidentes como lo son accidentes topográficos, carreteras, puentes, caminos, vías férreas, poblaciones más cercanas, asentamientos humanos más cercanos, ríos, lagos, u otros cuerpos de aguas superficiales cercanos cuando estos existan,
- Predio o predios que conforman el sitio contaminado, e
- Información técnica de plano: Nombre de proyecto, persona que encomienda, autor, escala del plano, nombre del plano, fecha de elaboración, fecha de verificación, fecha de firma y orientación geográfica (N, S, E, O).

**En cuanto a los detalles de las instalaciones en los planos:**

- Instalaciones y equipos,
- Depósitos o almacenes de residuos, depósitos o almacenes de materiales peligrosos,
- Tuberías aéreas y subterráneas,
- Líneas de conducción de electricidad, agua y otros servicios, en caso de verse afectadas o ser necesaria su protección o transferencia durante las acciones de remediación,

- Caminos de acceso y de servicios, e
- Instalaciones o construcciones subterráneas de otra índole.
- **Documento comprobatorio de la cadena de custodia de las muestras**

Contenido de la cadena de custodia

  - Nombre de la empresa
  - Responsable del muestreo
  - Fecha del muestreo
  - Claves de la muestras
  - Nombre del Laboratorio que realiza los análisis
  - Análisis requeridos
  - Numero de envases
  - Observaciones
  - Identificación de participantes
- **Planos isométricos de concentraciones y migración del contaminante en el suelo y subsuelo**
  - Planos que muestren la distribución de los contaminantes por estrato en dos dimensiones, georreferenciados, de preferencia a color en los que se señalen los valores que rebasen los establecidos por las normas oficiales mexicanas o en su caso los niveles de remediación específicos del sitio determinados a través de un estudio de riesgo ambiental.
- **Memoria fotográfica del sitio**
  - Se refiere al archivo fotográfico que muestra las características relevantes del sitio con respecto a la evaluación de la contaminación y sus riesgos
- **Memoria fotográfica de los trabajos efectuados (de muestreo)**

La memoria fotográfica deberá cubrir:

  - Los trabajos efectuados de perforación, en su caso,
  - La toma de muestras,
  - La forma de almacenamiento de la muestra,
  - Edificaciones, en su caso,
  - Infraestructura como son drenajes, líneas de conducción, instalaciones de servicios, y calles aledañas,

- Particularidades del sitio,
- Accesos al sitio y sus colindancias,
- Imágenes que muestren la extensión de los daños en suelos y edificaciones, accidentes topográficos, características especiales del sitio como arriba se señalan, medidas de emergencia/urgencia aplicadas, medidas de contención del peligro. Todas las imágenes deben estar numeradas y contar con explicación o referencia a pie de imagen.

## 1.5 PASIVOS AMBIENTALES

### 1.5.1 Marco jurídico de los requisitos y documentos anexos del estudio de caracterización

Como se mencionó en la sección 1.3, los requisitos y documentos anexos de un estudio de caracterización (enmarcados dentro de un programa de remediación) para el caso de pasivos ambientales se encuentran sustentados en los artículos 135, 136, 138 y 139 del Reglamento de la LGPGIR los cuales se señalan a continuación:

**Artículo 138.-** El estudio de caracterización contendrá:

- I.- La ubicación, descripción y uso actual del sitio contaminado, incluyendo los cuerpos de agua que existan en el lugar y si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los mismos;
  - II.- El tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación al ambiente;
  - III.- El área y volumen de suelo dañado;
  - IV.- El plan de muestreo que prevean las normas oficiales mexicanas;
- Nota:** Si no existe NOM debe atenderse lo señalado en el artículo DÉCIMO TRANSITORIO del Reglamento de la LGPGIR en lo referente al plan de muestreo
- V.- Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelos y, en su caso, los de los análisis y pruebas químicas, así como los de las pruebas físicas, biológicas y mecánicas practicadas a las mismas, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera, y
  - VI.- La memoria fotográfica de los trabajos efectuados.

En el caso de que no exista un laboratorio acreditado para realizar los análisis señalados en la fracción V de este artículo se practicarán por el laboratorio que elija el responsable del programa de remediación, en términos de lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

**Artículo 139.-** Cuando se trate de pasivos ambientales, el estudio de caracterización contendrá, además de la información señalada en el artículo anterior, lo siguiente:

- I.- La descripción de la metodología a aplicar para cada tipo de pruebas de campo o laboratorio;
- II.- La descripción de las condiciones geológicas, geo-hidrológicas e hidrológicas, basada en los resultados obtenidos en el muestreo y pruebas de campo;
- III.- La descripción de las condiciones climáticas y físicas que afecten el comportamiento de los contaminantes, y
- IV.- La determinación de la distribución y el comportamiento de los contaminantes en el suelo, subsuelo y en los acuíferos con base en los resultados obtenidos.

**Artículo 135.-** Cuando se trate de emergencias, los programas de remediación de sitios contaminados con materiales peligrosos o residuos peligrosos incluirán los datos generales del responsable de la contaminación, incluyendo su actividad, los datos del responsable técnico de la remediación, el lugar y fecha en que ocurrió la emergencia y los resultados de los estudios de caracterización.

A dichos programas se integrarán los siguientes documentos:

- I.- Planos del lugar a una escala tal que permita apreciar la información requerida, georeferenciados con coordenadas UTM y orientación geográfica, donde se muestren topografía, cuerpos de agua superficiales, puentes y caminos de acceso, las áreas dañadas de suelo y los puntos de muestreo, con las mismas denominaciones que se indican en los resultados de las determinaciones analíticas del contaminante;
- II.- Documento comprobatorio de la cadena de custodia de las muestras;
- III.- Planos isométricos de concentraciones y migración del contaminante en suelo y subsuelo;
- IV.- Memoria fotográfica del sitio;

**Nota:** Las fracciones V y VI de este artículo no son relativas a aspectos técnicos de la caracterización del sitio.

**Artículo 136.-** Cuando se trate de pasivos ambientales, en los programas de remediación respectivos se incluirá la información y documentación requerida en el artículo anterior y se anexará la siguiente:

- I.- Los planos de instalaciones, de depósitos de residuos, de materiales peligrosos y contaminantes existentes en el sitio, destacando las vías, caminos de acceso y de servicios;
- II.- Los planos del sitio georeferenciados en coordenadas UTM a escala adecuada que muestren las áreas contaminadas por encima de los límites de concentración de contaminantes establecidos en las normas oficiales mexicanas o de aquéllos determinados mediante una evaluación de riesgo ambiental, y
- III.- El estudio y resultados de evaluación de riesgo ambiental, en su caso.

## 1.5.2 Requerimientos administrativos para Pasivos Ambientales

A partir de los requisitos del estudio de caracterización y los documentos anexos al programa de remediación señalados en las secciones anteriores se establecieron administrativamente en el trámite correspondiente los contenidos de información particulares y desglosados necesarios. En la sección 1.5.3 y 1.5.4 se describen a detalle los requisitos del estudio de caracterización y documentos anexos respectivamente (Tabla 3 y 4).

**TABLA 3. REQUISITOS ADMINISTRATIVOS PARA PASIVOS AMBIENTALES**

No.	Dato
	<b>Datos generales</b>
1	Los datos generales del responsable de la contaminación
2	Actividad del responsable de la contaminación
3	Resultados de las Investigaciones históricas
4	Nombre y firma del representante legal (en su caso)
5	Domicilio para recibir notificaciones
	Estudio de caracterización que incluye:
6	La ubicación del sitio contaminado.
7	Descripción del sitio contaminado.
8	Uso actual del sitio contaminado.
9	Ubicación de los cuerpos de agua en el lugar.
10	Si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los cuerpos de agua.
11	El tipo de contaminante liberado al ambiente.
12	Cantidad de contaminante liberado al ambiente.
13	Área de suelo dañado
14	Volumen de suelo dañado.
15	El plan de muestreo que prevean las normas oficiales mexicanas. *ver nota
16	Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelo, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
17	En su caso, los resultados de los análisis y pruebas químicas, practicadas a las muestras mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
18	En su caso, los resultados de los análisis y pruebas físicas, practicadas a las muestras mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
19	En su caso, los resultados de los análisis y pruebas biológicas, practicadas a las muestras mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
20	En su caso, los resultados de los análisis y pruebas mecánicas, practicadas a las muestras mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera.
21	La descripción de la metodología a aplicar para cada tipo de pruebas de campo o laboratorio.
22	La descripción de las condiciones geológicas, geo-hidrológicas e hidrológicas, basada en los resultados obtenidos en el muestreo y pruebas de campo.

23	La descripción de las condiciones climáticas y físicas que afecten el comportamiento de los contaminantes.
24	La determinación de la distribución y el comportamiento de los contaminantes en el suelo, subsuelo y en los acuíferos con base en los resultados obtenidos.
25	Los datos del o los responsables técnicos de la caracterización
26	Los hechos o razones que dan motivo a la petición

**\*Nota:** Si no existe NOM debe atenderse lo señalado en el artículo DÉCIMO TRANSITORIO del Reglamento de la LGPGIR en lo referente al muestreo

**TABLA 4. DOCUMENTOS ANEXOS PARA PASIVOS AMBIENTALES**

No.	Dato
1	Planos del lugar a una escala tal que permita apreciar la información requerida, georreferenciados con coordenadas UTM y orientación geográfica, donde se muestren: topografía, cuerpos de agua superficiales, puentes y caminos de acceso, las áreas dañadas de suelo y los puntos de muestreo, con las mismas denominaciones que se indican en los resultados de las determinaciones analíticas del contaminante.
2	Documento comprobatorio de la cadena de custodia de las muestras.
3	Planos isométricos de concentraciones y migración del contaminante en suelo y subsuelo.
4	Los planos de instalaciones.
5	Memoria fotográfica del sitio.
6	La memoria fotográfica de los trabajos efectuados.

### 1.5.3 Descripción de los requisitos del estudio de caracterización para Pasivos Ambientales

- **La ubicación del sitio contendrá:**
  - Estado, municipio, poblado,
  - Si el sitio está localizado en un área urbana además: colonia, calle, número, código postal,
  - Si el sitio se encuentra en una vía de comunicación: kilómetro en ducto o kilómetro en carretera o información similar,
  - Se deberán establecer las coordenadas UTM del polígono del predio en caso de sitios contaminados en áreas industriales y dentro del polígono la localización de las áreas contaminadas, y
  - Se deberán establecer las coordenadas UTM del polígono de todo el sitio contaminado en el caso de áreas no urbanas.
- **La descripción del sitio contendrá:**
  - Las características del terreno,

- Fechas relevantes como periodos de operación, fecha de cierre de operaciones, fecha de clausura u otras importantes,
- Tipo de instalación,
- Motivo o causa de la contaminación de cada área afectada,
- Tipo de contaminante por área,
- Residuos depositados en el sitio, e
- Instalaciones remanentes en el sitio.
- **Uso actual del sitio contaminado**
  - Deben señalarse todas las actividades que se desarrollan en el sitio y/o los fines para los cuales se destinan las distintas áreas del predio
- **Ubicación de los cuerpos de agua en el lugar**
  - En caso de que el sitio se encuentre adyacente a un cuerpo de agua superficial su existencia y localización deberán ser señaladas en el plano de ubicación del sitio a nivel local y regional.
- **Indicación de si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los mismos**
  - En caso de afectación a un cuerpo de agua indicarlo
  - Comprobante del aviso a la autoridad del agua
- **El tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación al ambiente**
  - El tipo o tipos de contaminantes por área contaminada del sitio y de todo el sitio contaminado,
  - Volumen derramado de contaminantes,
  - Volumen de residuos o materiales peligrosos depositados en el suelo, y
  - En su caso volúmenes/flujo de contaminantes en emisiones (líquidas, semisólidas o gaseosas).
- **Cantidad de contaminante liberado al ambiente**
- **Área y volumen de suelo contaminado (dañado)**
- **Plan de muestreo.**
  - Localización en el plano o planos locales y regionales de los puntos de muestreo, según corresponda,
  - Fundamentación de la elección del número y distribución de los puntos de muestreo,
  - Métodos de perforación,

- Equipo de perforación empleado,
- Métodos de muestreo según la matriz afectada (suelo, agua, aire),
- Métodos de conservación de muestras,
- Equipo de muestreo empleado,
- Pruebas de campo efectuadas,
- Métodos de las pruebas de campo efectuadas,
- Equipos empleados en las pruebas de campo,
- Responsables del muestreo, transporte y análisis químicos de muestras, y
- Responsables de la ejecución de pruebas de campo.

**Nota:** El artículo DÉCIMO TRANSITORIO del Reglamento de la LGPGIR señala “En tanto se expida la Norma Oficial Mexicana correspondiente, el plan de muestreo a que se refiere el artículo 138 fracción IV del reglamento deberá indicar: el método de muestreo, número y masa de muestras, profundidad, tipo de muestras, procedimiento de almacenamiento y transferencia de muestras y testigos, así como su fundamentación.”

- **Los resultados de las determinaciones analíticas**

Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelos y, en su caso, los de los análisis y pruebas químicas, así como los de las pruebas físicas, biológicas y mecánicas practicadas a las mismas, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requieran.

Los resultados de los análisis y pruebas químicas, físicas, biológicas y mecánicas son de fácil comprensión cuando se les resume ordenadamente en una tabla, que muestre:

- La denominación de la muestra,
- El punto de muestreo del cual fue extraída la muestra,
- La profundidad a la que fue tomada la muestra en metros,
- El método de análisis empleado,
- Los valores de concentración de los contaminantes que rebasan y los que no rebasan los límites máximos de contaminantes en el suelo, y si la concentración esta por debajo del limite de detección, indicar la abreviatura [ <LD ] “Debajo de Limite de Detección”,
- La fecha de muestreo,
- La fecha de ingreso al laboratorio,
- La fecha de análisis químicos,

- El número máximo de días para transporte y análisis indicado por el método de análisis,
- La preparación de la muestra efectuada,
- Los días de almacenamiento,
- La temperatura de almacenamiento,
- Diferencia de días entre muestreo y análisis, y
- La firma del responsable del laboratorio en las hojas de la tabla-resumen.

Es importante recalcar que:

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

Si se realizaron pruebas de campo la presentación de resultados contendrá:

- El punto de localización de las pruebas,
- La profundidad a la que fueron realizadas las pruebas en metros,
- El o los métodos de pruebas empleados,
- La preparación efectuada para las pruebas, en su caso,
- Los resultados de las pruebas,
- La fecha de las pruebas,
- El tiempo de realización de las pruebas, y
- La firma del responsable de las pruebas en las hojas de la tabla.

En caso de que una prueba de campo incluya toma de muestras, la presentación de los resultados se diferenciará de otros análisis de laboratorio. La presentación de resultados contendrá:

- La fecha de toma de muestras,
- El tipo de análisis efectuados: físicos, mecánicos o biológicos, y

Los resultados de las pruebas de campo deberán reportarse en una tabla. Tome usted como referencia los contenidos señalados en la sección 1.5.3 "Los resultados de las determinaciones analíticas" pg. 41-42.

- **La descripción de la metodología de cada tipo de pruebas de campo o de laboratorio contiene:**
  - Descripción de los métodos de las pruebas físicas, mecánicas y biológicas,
  - Las ecuaciones requeridas para evaluación de resultados,

- Parámetros de las pruebas de campo, y
- Memorias de cálculo en su caso.
- **La descripción de las condiciones geológicas, geohidrológicas e hidrológicas, basada en los resultados obtenidos en el muestreo y pruebas de campo.**
  - La información sobre la distribución de contaminantes en el suelo y subsuelo,
  - Los planos isométricos de vista superficial y de vista lateral de la migración del contaminante en suelo y subsuelo,
  - La información geo-hidrológica como:
    - Los estratos u horizontes del suelo y subsuelo,
    - La textura y distribución del tamaño de partículas de los estratos,
    - La permeabilidad en caso de requerirse,
    - Los planos isométricos de vista superficial y de vista lateral que muestren la estructura y estrato del suelo y subsuelo,
    - Los valores de la permeabilidad de los estratos muestreados,
    - Un perfil del suelo (la sucesión de estratos),
  - La distancia desde la superficie del suelo al nivel del manto freático (aguas someras o cuerpos de aguas colgadas) y/o al nivel del acuífero productor,
  - En caso de una afectación en aguas subterráneas incluir: dirección del flujo dada a partir de las alturas Piezométricas del sitio y el tipo de acuífero (confinado, semi-confinado, abierto, etc.),
  - Interpretación geológica e hidrológica del sitio,
  - Las secciones estratigráficas y
  - Resultados de estudios geológicos, geo-hidrológicos y los resultados de registros de perforación ejecutados explícitamente para el sitio.
- **La descripción de las condiciones climáticas y físicas que afectan el comportamiento de los contaminantes.**

**Características climáticas:**

- Precipitación media mensual en la región,
- Precipitación media anual en la región,
- Precipitación media estacional: temporada de lluvias (Abril –Septiembre), Temporada de estiaje (Octubre – Marzo),

- Temperatura media mensual en la región,
- Evaporación media en la región, y
- Dirección de vientos predominantes.

**Condiciones físicas que afectan el comportamiento de los contaminantes:**

- Existencia de un sellado superficial del sitio,
  - Tipo de sellado en caso de existir: asfalto, concreto, bloques, empedrados, etc.,
  - Porcentajes de áreas selladas y áreas no selladas,
  - Instalaciones subterráneas existentes como son drenajes, líneas de conducción, túneles,
  - Edificios, cimentaciones y sus condiciones,
  - Inclinación de terreno, y
  - Grado de escurrimiento superficial, método de cálculo y memoria de cálculo.
- **La determinación de la distribución y el comportamiento de los contaminantes en el suelo, subsuelo y en los acuíferos, en su caso, con base en los resultados obtenidos.**
    - Los planos con isolíneas de concentración (manchas de contaminación) lateral, vista superior y/o tridimensional generadas con base en un método de interpolación y con base en los resultados de análisis químicos y pruebas de campo,
    - El señalamiento del método de interpolación elegido, y
    - La evaluación de la movilidad de los contaminantes en el sitio.

**Nota:** Los resultados de los análisis químicos deberán ser emitidos por un laboratorio acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación.

- Los datos del o los responsables técnicos de la caracterización

Para Emergencias Ambientales y para Pasivos Ambientales el estudio de caracterización debe contener los datos del responsable de la ejecución de la caracterización como lo son su nombre, dirección, institución, correo electrónico, teléfono etc.

- **Los hechos o razones que dan motivo a la petición**

- Motivo o motivos que dan origen a la solicitud de evaluación del programa o la propuesta de remediación que efectúa el responsable del sitio contaminado ante la autoridad competente.

## 1.5.4 Descripción de los documentos anexos para Pasivos Ambientales

- **Especificaciones de los planos de localización a nivel local y regional:**

### **Plano local del lugar a escala adecuada donde se muestren:**

- Las características propias dentro del sitio y sus colindancias como lo son: caminos de acceso, calles, instalaciones, edificios, drenajes elevaciones de terreno (de ser necesario), etc.,
- En su caso, cuerpos de agua superficiales afectados aledaños al sitio,
- Los puntos de muestreo en el sitio con las denominaciones que se den en los resultados de los análisis químicos del contaminante,
- Información técnica de plano: Nombre de proyecto, persona que encomienda, autor, escala del plano, nombre del plano, fecha de elaboración, de verificación y de firma y orientación geográfica (N, S ,E ,O).

### **Plano del lugar regional donde se muestren:**

- Los principales particularidades del sitio como lo son accidentes topográficos, carreteras, puentes, caminos, vías férreas, poblaciones más cercanas, asentamientos humanos más cercanos, ríos, lagos, u otros cuerpos de aguas superficiales cercanos cuando estos existan,
- Predio o predios que conforman el sitio contaminado, e
- Información técnica de plano: nombre de proyecto, persona que encomienda, autor, escala del plano, nombre del plano, fecha de elaboración, fecha de verificación, fecha de firma y orientación geográfica (N, S ,E ,O).

- **Los planos de instalaciones (en caso de existir dichas instalaciones en el sitio)**

- Instalaciones y equipos,
- Depósitos o almacenes de residuos, depósitos o almacenes de materiales peligrosos,
- Tuberías aéreas y subterráneas,
- Líneas de conducción de electricidad, agua y otros servicios, en caso de verse afectadas o ser necesaria su protección o transferencia durante las acciones de remediación,
- Caminos de acceso y de servicios, e
- Instalaciones o construcciones subterráneas de otra índole.

- **Planos isométricos de concentraciones y en su caso planos de la migración del contaminante en el suelo y subsuelo**

- Planos que muestren la distribución de los contaminantes por estrato en dos dimensiones, georreferenciados, de preferencia a color en los que se señalen los valores que rebasen los establecidos por las normas oficiales mexicanas o en su caso los niveles de remediación específicos del sitio determinados a través de un estudio de riesgo ambiental.
- Planos que muestren de áreas contaminadas, áreas no contaminadas, áreas con residuos, áreas con edificaciones contaminadas y no contaminadas.

- **Documento comprobatorio de la cadena de custodia de las muestras**

Contenido de la cadena de custodia

- Nombre de la empresa
- Responsable del muestreo
- Fecha del muestreo
- Claves de la muestras
- Nombre del Laboratorio que realiza los análisis
- Análisis requeridos
- Numero de envases
- Observaciones
- Identificación de participantes

- **Memoria fotográfica del sitio**

- Se refiere al archivo fotográfico que muestra las características relevantes del sitio con respecto a la evaluación de la contaminación y sus riesgos

- **Memoria fotográfica de los trabajos efectuados (de muestreo)**

La memoria fotográfica deberá cubrir:

- Los trabajos efectuados de perforación, en su caso.
- La toma de muestras.
- La forma de almacenamiento de la muestra.
- Edificaciones, en su caso.
- Infraestructura como son drenajes, líneas de conducción, instalaciones de servicios, y calles aledañas.

- Particularidades del sitio.
- Accesos al sitio y sus colindancias
- Imágenes que muestren la extensión de los daños en suelos y edificaciones, accidentes topográficos, características especiales del sitio como arriba se señalan, medidas de emergencia/urgencia aplicadas, medidas de contención del peligro. Todas las imágenes deben estar numeradas y contar con explicación o referencia a pie de imagen.

## **1.6 CONSIDERACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN EN LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS**

En la NOM-138 SEMARNAT/SS-2003 “Límites Máximos Permisibles de Hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación”, en la NOM-147 SEMARNAT/SSA1- 2004 “Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.” y en la Norma Mexicana NMX 132 AASCFI-2006 se establecieron indicaciones técnicas para la realización del muestreo de suelos contaminados, ya sea con hidrocarburos (incluidas en la NOM 138) o ya sea por metales y metaloides (NOM 147 y NMX AA 132).

## **1.7 EL MUESTREO DE SUELOS EN LA NOM-138 SEMARNAT/SS-2003**

### **1.7.1 Especificaciones para la caracterización**

En el Numeral 7 de la Norma se señala:

Para la caracterización del sitio se debe recabar información que sirva de base para conocer la dimensión de la afectación.

En caso de derrames o fugas, la caracterización se debe realizar después de haber tomado las medidas de urgente aplicación.

La caracterización del sitio debe contener como mínimo los siguientes elementos:

- Descripción del sitio y de la afectación
- Estrategia de muestreo
- Plan de muestreo
- Informe

#### **Descripción del sitio y de la afectación**

- Se debe localizar con coordenadas geográficas UTM la zona de afectación en un plano a escala que permita su ubicación a nivel regional y local.

- Se deben determinar las características del sitio que permitan evaluar la distribución del contaminante y del grado de afectación e indicar el uso de suelo y la topografía del mismo.
- Cuando se trate de un derrame reciente el responsable de la contaminación debe indicar la cantidad aproximada y el tipo de contaminantes derramados.
- Cuando se trate de un pasivo ambiental se debe realizar una recopilación de los antecedentes históricos sobre las actividades y sucesos que originaron la contaminación.
- La caracterización debe incluir un plan de muestreo que se debe realizar conforme a lo establecido. Ver no. 1.11.3

### 1.7.2 Estrategia de muestreo

Se podrá aplicar una estrategia de muestreo por métodos dirigidos o estadísticos, siempre y cuando los resultados permitan delimitar la distribución horizontal y vertical de los contaminantes en el suelo, de conformidad con los límites establecidos en las tablas 2 y 3 de la presente norma.

Cuando se aplique el muestreo dirigido se deben tomar como mínimo el número de puntos de muestreo en superficie establecidos en la tabla 4. Cuando el muestreo dirigido no permita delimitar la distribución horizontal y vertical de la zona afectada, ni el tipo de contaminantes y su concentración, se debe realizar una estrategia de muestreo considerando métodos estadísticos.

La selección de los puntos de muestreo debe considerar las características del sitio.

**TABLA 5. MÍNIMOS DE PUNTOS DE MUESTREO DE ACUERDO CON EL ÁREA CONTAMINADA (NOM 138)**

Área contaminada (ha)	Puntos de muestreo
Hasta 0.1	4
0.2	8
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1.0	20
2.0	25
3.0	27
4.0	30
5.0	33
10.0	38

15.0	40
20.0	45
30.0	50
40.0	53
50.0	55
100.0	60

### 1.7.3 Plan de muestreo

El responsable del muestreo debe integrar un plan de muestreo, en el que:

- Se establezcan y definan las responsabilidades del personal involucrado en cada procedimiento.
- Se sustente la ubicación y el número de los puntos de muestreo, la profundidad y el volumen de las muestras.
- Se describa la técnica de muestreo, el equipo de muestreo y las medidas de seguridad.
- Se establezcan las medidas de aseguramiento de calidad del muestreo incluyendo la cadena de custodia.
- Se especifiquen los recipientes, la preservación y el transporte de la muestra.

### 1.7.4 Especificaciones técnicas para llevar a cabo el muestreo

- Para la toma de muestras se debe apegar al plan de muestreo elaborado, las desviaciones al mismo se deben justificar y documentar.
- Las muestras a tomar en un suelo contaminado siempre serán simples (material colectado en un solo punto de muestreo).
- En el muestreo estadístico no se pueden tomar muestras en los mismos puntos que los utilizados en el muestreo dirigido.
- Evitar el uso de fluidos de perforación y la utilización de equipos y recipientes para las muestras que ocasione la pérdida de hidrocarburos volátiles y la contaminación cruzada.
- Durante la perforación para la obtención de muestras de suelo no se debe ocasionar la contaminación de acuíferos.
- Como un procedimiento de aseguramiento de calidad, se tomará y analizará una muestra duplicada por cada diez muestras tomadas.
- En los casos en que se sospeche la presencia de hidrocarburos ajenos al problema de contaminación que se este evaluando, se podrán tomar muestras que sirvan para establecer niveles de fondo.

- Cuando se pueda recuperar una muestra del producto contaminante en fase libre, debe entregarse al laboratorio junto con las muestras de suelo para calibrar el equipo de análisis y facilitar la identificación del tipo de hidrocarburo presente.

### 1.7.5 Especificaciones sobre la integridad, identificación y manejo de las muestras

- Para seleccionar el recipiente apropiado deben observarse las especificaciones contenidas en la tabla 5 de esta Norma Oficial Mexicana.
- Los recipientes deben ser nuevos o libres de contaminantes.
- Cuando se requiera analizar hidrocarburos de fracción ligera y BTEX la muestra se debe tomar en recipientes independientes del resto de las fracciones.

**TABLA 6. RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS, TEMPERATURAS DE PRESERVACIÓN Y TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACIÓN POR TIPO DE PARÁMETRO**

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de conservación
Hidrocarburos Fracción Ligera	Cartucho con contratapa o sello de PTFE que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis.	4°C	14 días
BTEX		4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción Media	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de PTFE o cartucho con sello que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis.	4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción Pesada		4°C	14 días
HAP		4°C	14 días

1 /El tiempo máximo de conservación se refiere al lapso que no deberá ser excedido desde que se toma la muestra hasta que se realiza la extracción del analito de interés

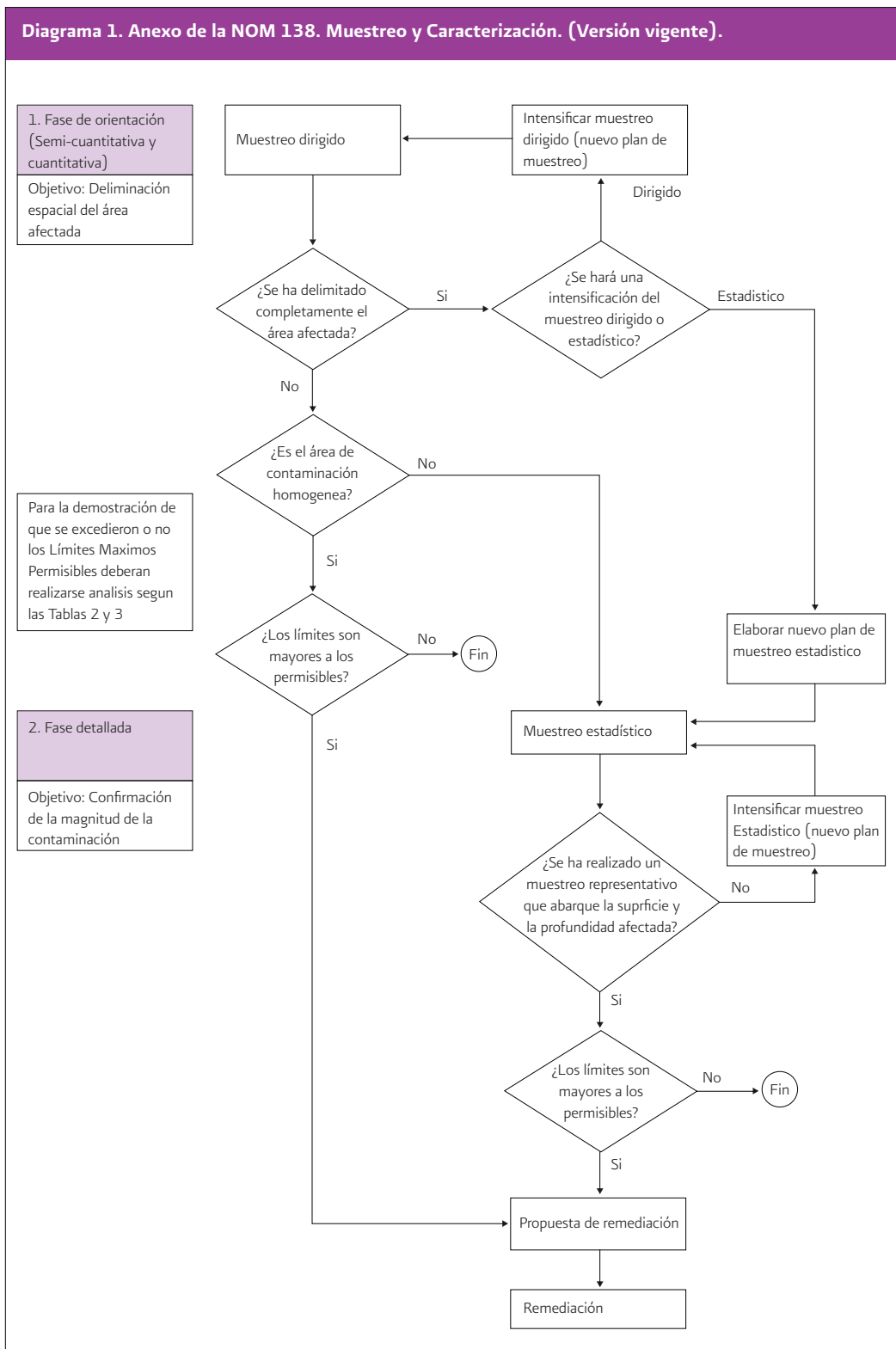
- Cada muestra deberá ser sellada y etiquetada inmediatamente después de ser tomada y debe ser entregada para su análisis a un laboratorio de pruebas acreditado.
- No se deben analizar muestras cuyos sellos han sido violados.
- Todos los sellos deben contar con el número o clave única de la muestra.
- Todas las etiquetas deben contar con la siguiente información como mínimo: nombre de la persona que tomó la muestra, fecha y hora de muestreo, nombre de la empresa, lugar del muestreo, y número o clave única misma que la del sello.

### **1.7.6 El informe de la caracterización**

Debe contener como mínimo lo establecido en todos los numerales de este capítulo, así como los resultados de los análisis realizados, los métodos utilizados, la interpretación de los resultados, y se debe anexar la cadena de custodia correspondiente.

**Anexo B: Estrategia general de muestreo**

**Diagrama 1. Anexo de la NOM 138. Muestreo y Caracterización. (Versión vigente).**



## 1.8 MUESTREO EN LA NOM 147 SEMARNAT/SSA1- 2004

En la NOM 147 SEMARNAT/SSA1- 2004 las indicaciones para el muestreo de suelos fueron trasladadas a la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006, "Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y Manejo de la Muestra".

En los siguientes numerales de la NOM 147 SEMARNAT/SSA1- 2004 se establecieron referencias explícitas a los procedimientos dicha NMX.

En el numeral 5.4. "**Selección de la Concentración Objetivo para Sitios con Población Humana Potencialmente Expuesta y Procedimiento para su Determinación**" se señala lo siguiente:

El responsable debe efectuar un **muestreo exploratorio** conforme se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y Manejo de la Muestra, y aplicar a las muestras de suelo los métodos analíticos descritos en el Apéndice Normativo B. Los resultados obtenidos corresponderán a las concentraciones iniciales totales (CIT) de los elementos normados.

Es de señalarse que tanto en el muestreo de detalle como en el muestreo de detalle la NMX-AA-132-SCFI-2006 señala que el tipo de muestras del suelo es del tipo simple.

Esto se señala en las secciones 8.2 y 8.3

En la sección 5.2 se señala en una consideración (manera general) que las muestras pueden ser compuestas.

Es de remarcarse que esto es una consideración para casos específicos y no la regla

Una vez definida la concentración objetivo, el primer paso es delimitar el área y estimar el espesor del suelo contaminado, para lo cual se realizará un **muestreo de detalle** de acuerdo a la NMX-AA-132-SCFI-2006 muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.

**Determinación de Concentraciones Objetivo con base en Concentraciones de Fondo Totales (CFT).**

Para **determinar las concentraciones de fondo totales** ( $CF_T$ ) de la localidad, se debe proceder de acuerdo a la técnica de muestreo establecida en el numeral 8.4 de la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y Manejo de la Muestra, y la determinación analítica del Apéndice Normativo B. Se tomará como concentración de fondo la media de la población cuando los valores obtenidos presenten una distribución normal y la mediana de la misma para una distribución diferente.

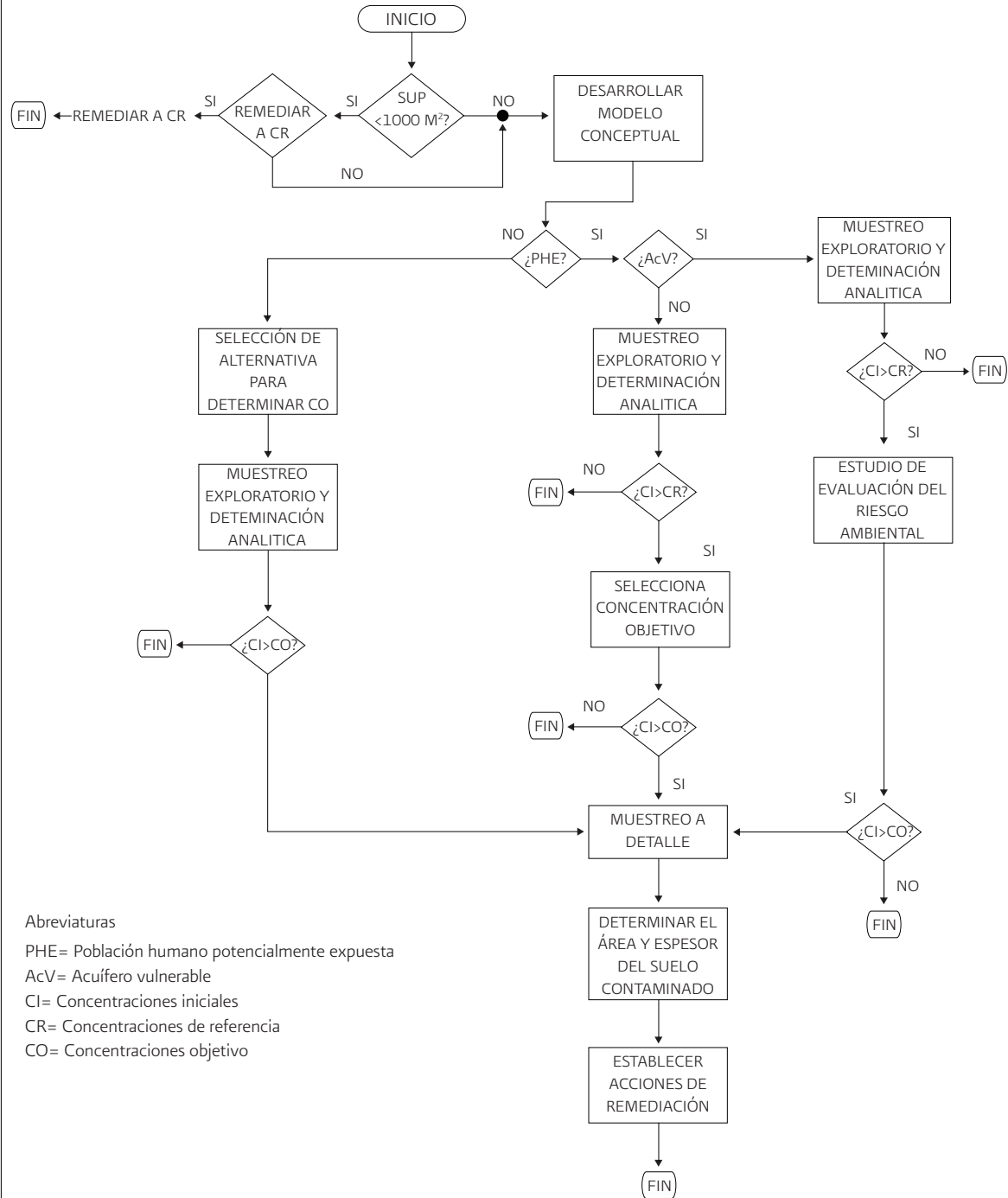
**Determinación de Concentraciones Objetivo con Base en Riesgo a la Salud** (Concentraciones Específicas Totales: CET).

Una vez definida la concentración específica, se debe delimitar el área y estimar el espesor del suelo contaminado, para lo cual se realizará un **muestreo de detalle** de acuerdo a la NMX-AA-132-SCFI-2006 Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y Manejo de la Muestra.

En el numeral 5.5 "**Determinación de Concentración Objetivo para Sitios sin Población Humana Potencialmente Expuesta**" se señala lo siguiente:

Efectuar un **muestreo exploratorio y de fondo** del área de estudio y de los alrededores conforme a lo establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 Muestreo de Suelos para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y Manejo de la Muestra.

Diagrama 2. Muestreo NMX AA132



## **2. ESTRATEGIAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS**



## 2. ESTRATEGIAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

### 2.1 SITUACIÓN ACTUAL

Entre las principales preguntas que se plantean frecuentemente (debido al grado de influencia que tiene sobre la toma de decisiones) al evaluar caracterizaciones de sitios contaminados resalta una,

¿Es posible aplicar indiscriminadamente y completamente alguna metodología internacional dadas las condiciones en México?

La comparación de las circunstancias legales, administrativas y técnicas entre México y los Estados Unidos de Norteamérica puede aclarar el panorama acerca de la posibilidad de aplicar documentos, guías u otros documentos técnicos en la caracterización de sitios contaminados.

El marco jurídico en los Estados Unidos es actualmente muy amplio y comprende por ejemplo leyes con respecto a la responsabilidad civil por la remediación de suelos, la reparación de daños ambientales, la remediación de cuerpos de agua, la atención y remediación de emergencias por derrames, la conservación de recursos y la reutilización de sitios contaminados. Además de dichas leyes, a nivel federal se encuentra un número elevado de disposiciones de carácter estatal y guías técnicas federales o estatales para los distintos temas específicos. Algunas de estas leyes se muestran en el cuadro siguiente.

#### Principales Leyes y Regulaciones en EUA

Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act (CERCLA, or Superfund)

Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA)

Emergency Planning and Community Right-to-Know Act (EPCRA)

Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA)

Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)

Toxic Substances Control Act (TSCA)

Clean Water Act (CWA)

Executive Orders: E.O. 13045: Protection of Children From Environmental Health Risks and Safety Risks

Small Business Liability Relief and Brownfields Revitalization Act

Brownfields Tax Incentive

Brownfields Liability

Community Reinvestment Act (CRA)

Guías más importantes: <http://www.epa.gov/lawsregs/guidance/bytopic.html>

En México el marco jurídico que es aplicable a la remediación de sitios contaminados está dado solo por algunas leyes, reglamentos y normas.

### **Leyes y normas mexicanas aplicables en la materia**

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 1988

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2004

Ley Minera y su reglamento

Ley General de la Salud

Código Penal Federal – Delitos contra el Ambiente y la Gestión Ambiental

Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Residuos Peligrosos

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2006

Ley de Aguas Nacionales, 2004

NOM-138 SEMARNAT/SS-2003,

NOM-147 SEMARNAT/SSA1-2004

NOM-133 SEMARNAT-2000

### **Guías más importantes:**

Secretaría de Gobernación. 2004. “La Protección Jurídica del Ambiente y Legislación sobre Recursos Naturales en México” disponible en CD.

Comisión Nacional del Agua. 2007. “Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas de referencia relacionadas con el sector agua” disponible en CD:

A esta diferencia en el número de regulaciones aplicables a la remediación de sitios contaminados viene a adicionarse el que las instituciones que dictaminan las medidas y acciones de remediación a ejecutar y las instituciones que vigilan que se cumpla con dicha responsabilidad presentan circunstancias muy distintas.

Las instituciones mexicanas presentan una separación entre las facultades de dictamen y vigilancia. Tanto el diseño, la concepción y los instrumentos administrativos a disposición de las instituciones en México son radicalmente distintos. Algunas de estas diferencias administrativas visibles son:

### **Diferencias administrativas**

- Mayor cantidad de recursos y de personal administrativo,
- Las estructuras administrativas o técnicas presentan puestos distintos de la administración mexicana como ejemplos existen los denominados “Risk Manager” y “Risk assessor”.
- La experiencia acumulada en la aplicación de la legislación específica es mayor,
- Las guías, recomendaciones y lineamientos técnicos, que permiten un mayor grado de “confianza” en la ejecución de estudios y trabajos de remediación presentan un avance mayor y existen en mayor número,
- Los instrumentos de los cuales dispone la administración para la toma de decisiones son también distintos, por ejemplo el “Record of decision” en comparación a los trámites de evaluación y los expedientes de los casos de remediación en México (cuya elaboración no está regulada).

- Otro instrumento que tampoco existe en nuestro país son los denominados “**Preliminary Remediation Goals**” o PRGs que proveen una base para tomar decisiones con respecto a las siguientes preguntas:
  - ¿A partir de qué concentración debe de ser caracterizado un sitio?
  - ¿A partir de qué concentración representa un riesgo la contaminación de un sitio?
  - ¿Qué medio debe de ser muestreado?
  - ¿Cuándo deben tomarse medidas con respecto a la presencia de contaminantes potencialmente tóxicos para seres humanos o los ecosistemas?
- Actualmente en México, las instituciones académicas y asociaciones profesionales no se encuentran organizadas con el fin de generar lineamientos y guías técnicas
- Los expertos pertenecientes a instituciones académicas y/o asociaciones profesionales no se han organizado como un núcleo que promueva el diálogo y genere acuerdos que generen documentos técnicos consensuados que expresen su opinión técnica.
- Por otro lado, no existen en México asociaciones como ASTM que entre otras cosas, están dedicadas a la generación de documentos técnicos.
- A esto se aúna que en México no existen sistemas de control de calidad de la actuación de los laboratorios que realizan los análisis químicos y tampoco existen controles de calidad de los trabajos de consultoría durante la caracterización de un sitio.
- Nuestra legislación no apoya la existencia de puestos públicos que permitan una ingerencia directa en la elaboración de estudios.
- No se cuenta con los recursos presupuestales para cubrir todas las necesidades y exigencias que plantea tener una buena base de información.

Adicionalmente, hay que considerar que tanto en los Estados Unidos como en la Unión Europea, se ha iniciado desde hace algún tiempo un cambio de perspectiva o de paradigma con respecto a la finalidad de la remediación de sitios contaminados.

Dicho cambio de paradigma es el hecho de pasar de un enfoque meramente de “Remediación” para evitar o eliminar riesgos y daños a la salud y el medio ambiente al enfoque de la “**Reutilización de sitios contaminados remediados y su inserción en una estrategia de renovación urbana o regional**”.

A la luz de dicho cambio de perspectiva deben de ser considerados los documentos recientemente publicados a nivel internacional con respecto a la caracterización de sitios contaminados.

Las diferencias arriba mencionadas en cuanto a: el enfoque y la finalidad de la remediación, a la legislación en materia de remediación de sitios contaminados, el diseño y el funcionamiento institucional en México, obliga a practicar procedimientos más estrictos y sintéticos en la elaboración de estudios y en la toma de decisiones, en particular en lo que respecta a aspectos ambientales muy técnicos como lo es la caracterización de un sitio contaminado.

## 2.2 ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL DESARROLLO DE INSTRUMENTOS DE GESTIÓN

La mayoría de los aspectos mencionados en la sección anterior se encuentran implícitos en la redacción y desarrollo de lineamientos técnicos internacionales. Una lectura cuidadosa de los documentos técnicos permite identificar que estos aspectos se expresan en las premisas, objetivos a alcanzar, procedimientos aceptados y reconocidos, referencias y suposiciones que contienen.

Por ejemplo, las guías técnicas publicadas recientemente para la caracterización de sitios contaminados están enfocadas en su mayoría a la reutilización de los sitios contaminados. La finalidad de dichas guías es que se realicen trabajos de remediación a los menores costos y tiempos posibles, lo cual supone:

- Un mercado de empresas consultoras con amplia experiencia en la caracterización de sitios,
- Un excelente manejo de sistemas indirectos (on-line) de medición de contaminantes,
- Laboratorios acreditados,
- Sistemas de control de calidad (QCS) internos y externos funcionando.

La premisa fundamental de dichos documentos, ***“la reutilización de los sitios una vez remediados”***, significa contar previamente con personal capacitado dentro de las instituciones públicas que evalúe: los resultados que arrojen dichas mediciones, la correcta utilización de los equipos e instrumentos, los procedimientos de muestreo que aplican las consultoras en campo y la actuación de grupos de trabajo multidisciplinarios. Todo ello en el marco de la reutilización, es decir en el marco de un proyecto arquitectónico.

Esta premisa también significa que las reglas de comportamiento y actuación han sido aceptadas por todos los actores involucrados y que las instituciones y autoridades competentes participan pro-activamente en la solución de los problemas.

Los documentos publicados actualmente y las propuestas contenidas en ellos, de convertir el proceso de caracterización de sitios contaminados en un proceso dinámico y auto correctivo con utilización de métodos en línea (es decir que arrojan resultados en tiempo real – al momento de ejecutar el muestreo) de medición de contaminantes, descansan en dichas premisas. Es por ello que, la pregunta: ¿se pueden aplicar estos modelos en México?, resulta pertinente.

A esta situación se aúna la intención de evitar los errores que se han cometido en otros países en el proceso de desarrollo de las guías técnicas (lo cual es un proceso de aprendizaje) de todos los actores involucrados incluyendo las instituciones encargadas de la gestión de sitios contaminados.

Dichos errores pueden ser evitados si nos detenemos a analizar lo sucedido en los últimos años en los Estados Unidos o en Europa en la elaboración, publicación y aplicación de las estrategias de caracterización. Ello nos debería permitir discriminar aquellos elementos que no son viables ni aplicables en México. Por ello las preguntas que han sido consideradas en la elaboración de esta guía para la caracterización de sitios contaminados en México son las siguientes:

- ¿Es adecuada una estrategia de caracterización dinámica y auto-correctiva?
- ¿Cuánta evidencia debe ser generada con la caracterización que permita una toma de decisiones sólida y fundamentada? ¿Cuáles serían los márgenes de error y de certidumbre permisibles?
- ¿A qué nos obliga nuestra legislación y normatividad?
- ¿Qué elementos de una estrategia dinámica de caracterización de un sitio contaminado son aplicables en México con base en los servicios que se ofrecen en el mercado mexicano y cuáles no lo son?
- ¿Qué es mejor, una estrategia dirigida a la remediación o una estrategia dirigida a la reutilización?
- ¿Es mejor una caracterización enfocada al tipo de causas que originaron la contaminación en el sitio (emergencia o pasivo) o es preferible un enfoque por matrices afectadas independiente del caso?
- ¿Debe considerar la caracterización aspectos o elementos para una evaluación de riesgo?

## 2.3 ESTRATEGIA DE CARACTERIZACIÓN

Con respecto a la primera pregunta, vemos que el desarrollo de las Normas Oficiales Mexicanas y el Reglamento de la LGPGIR apuntan a un modelo de caracterización que se basa en: la causa que origina la contaminación y las acciones tomadas con respecto a la contaminación (si se aplicaron o no medidas para atender dicho problema de manera inmediata). Así, la diferenciación del tipo de problema se da por la causa.

**TABLA 7. CAUSA DE CONTAMINACIÓN Y TIPO DE SITIO QUE GENERA**

Causa de contaminación	Medidas de atención ejecutadas	Tipo de sitio
Derrame súbito accidental	Si	Emergencia Ambiental
Derrame súbito accidental	No	Pasivo Ambiental
Derrames, fugas y mal manejo de materiales y residuos peligrosos a lo largo del tiempo	No	Pasivo Ambiental

Este modelo da origen a los dos tipos de sitio señalados en el Reglamento de la LGPGIR y también da origen a una obligación diferenciada en cuanto a los requisitos necesarios para conformar un estudio de caracterización, y los documentos técnicos anexos necesarios en la formulación de un programa de remediación.

El modelo establecido en el Reglamento de la LGPGIR no incluye los problemas administrativos referentes a la contaminación del agua subterránea o superficial ni los problemas administrativos de daños ya evidentes a bienes de terceros.

Como se ve es un modelo jurídico basado en la causa y en la realización continua de acciones y no en la matriz a caracterizar y a remediar. Tampoco está basado en el objetivo de la remediación: la reutilización o la remediación para evitar o eliminar riesgos. Sin embargo, la obligación de caracterización de las distintas matrices está dada por la definición de un sitio contaminado.

Por todo lo anterior **esta guía atiende en primera línea lo señalado por la LGPGIR y su Reglamento** respondiendo para el particular a la pregunta:

¿Qué debe hacerse en caso de una emergencia y en caso de un pasivo ambiental para elaborar un estudio de caracterización?

En segundo término esta guía trata de atender:

- Las necesidades y requerimientos de caracterizar por tipo de matriz contaminada,
- Las necesidades y requerimientos de caracterización que se desprendan para una evaluación de riesgo ambiental y
- Las necesidades y requerimientos que se desprenden de un proyecto de reutilización a un sitio contaminado con base en un proyecto arquitectónico.

Hay un aspecto adicional también a considerar: actualmente existe la necesidad de acumular experiencias en esta materia tanto dentro de las instituciones gubernamentales mexicanas como fuera de ellas (sobre todo en el caso de los pasivos), por ello es importante ordenar y estructurar el proceso de caracterización. Para ello es indispensable incluir en esta guía reglas claras de actuación en cuanto a lo que debe y NO debe hacerse.

Un aspecto más que está determinado por el marco jurídico vigente es que la evidencia técnica de soporte de las decisiones son los resultados de análisis químicos practicados a muestras. El Reglamento de la LGPGIR y las NOM's vigentes señalan que los análisis químicos practicados a muestras deberán ser realizados por laboratorios certificados y aprobados por la Secretaría. Lo cual también está señalado por la Ley de Metrología y Normalización.

Este reconocimiento de validez, limitado solo a dicho tipo de análisis, deja fuera prácticamente cualquier otra metodología de caracterización con el fin de soportar y fundamentar una decisión. Esto es de sobre manera importante en la determinación del área y volumen a remediar y en la elaboración de la documentación con la cual sustentar una propuesta de remediación.

Sin embargo, los resultados de estudios geofísicos o geohidrológicos proporcionan mucha evidencia que también debe de ser considerada en la toma de decisiones.

A consecuencia de lo expuesto, solo dos de los tres elementos de una estrategia dinámica de caracterización son viables actualmente:

1. La planeación auto correctiva y
2. La aplicación del concepto del Modelo Conceptual de Sitio (MCS).

El tercer aspecto, la aplicación de tecnologías indirectas o tecnologías de medición en campo on-line como evidencia primaria, no es aplicable principalmente por carecer de sustento legal.

Sin embargo, es posible su aplicación como metodologías preliminares a juicio de los responsables técnicos de la caracterización y como evidencia secundaria geofísica o geohidrológica. Tales aspectos no se tratarán a detalle en esta guía salvo para mencionar que son parte importante de la caracterización de predios complejos donde se encuentran pasivos ambientales.

Pero, ¿son aplicables dichos elementos para una emergencia? La respuesta es claramente un NO. En una emergencia se debe actuar lo más rápidamente posible y por ello la caracterización debe estar enfocada a:

- Determinar la extensión de la contaminación, lo más rápidamente posible en los sitios donde una excavación no sea aplicable,
- Determinar si se excavó todo el suelo contaminado del sitio contaminado para transportarlo al sitio de tratamiento (en caso de que la excavación sea posible) y
- Determinar el área y volumen de suelo a remediar.

En estos casos una caracterización es un asunto “vertical” y con una finalidad establecida desde antes del inicio del proceso y presupone que se aplicaron las medidas de urgencia de manera diligente y se obtuvieron los resultados deseados.

En cambio, para el caso de los pasivos son necesarias las correcciones de rumbo durante los trabajos de caracterización. En ambos casos (emergencias y pasivos) se plantea la necesidad de mejorar las indicaciones a los consultores y empresas acerca de la planeación previa a la realización de trabajos.

## 2.4 EVIDENCIA QUE DEBE SER GENERADA EN EL PROCESO DE CARACTERIZACIÓN

Con respecto a esta pregunta existen ya indicaciones claras en las Normas Oficiales Mexicanas sobre la cantidad **mínima indispensable** de evidencia con respecto a la caracterización de suelos contaminados en el caso de los hidrocarburos de petróleo y metales pesados, sin embargo; no existe aún regulación alguna para la caracterización de:

- Aguas contaminadas de acuíferos someros y profundos,
- Residuos peligrosos apilados o enterrados (ya sea como material o en recipientes) en sitios contaminados o mezclados con suelos
- Residuos de manejo especial en sitios contaminados como lo son los residuos de demolición que pudieran contener contaminantes potencialmente tóxicos,
- Edificaciones que se pretende demoler o reutilizar,
- Polvos y gases de suelos que contengan contaminantes potencialmente tóxicos,
- Fauna y flora tanto terrestre como acuática probablemente expuesta,
- Suelos contaminados con contaminantes orgánicos volátiles y otros contaminantes no regulados.

El marco jurídico nos señala el contenido de información de un estudio de caracterización y las condiciones básicas para efectuarlo, sin embargo los detalles técnicos no están regulados.

Los detalles técnicos como lo son: especificaciones para el muestreo de distintas matrices o según el tipo de contaminante, los procedimientos y los métodos involucrados en la realización de las diversas actividades en la caracterización, no son descritos en el Reglamento de la LGPGIR.

Los criterios generales a ser considerados en la caracterización de un sitio contaminado planteados en la LGPGIR y su Reglamento son:

- la caracterización debe permitir la cuantificación de la extensión de la contaminación y volumen de suelos y materiales contaminados y
- debe permitir la determinación de la exposición, de los riesgos y de los daños ocurridos a consecuencia de la misma

## 2.5 OBLIGACIONES EN LA LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD VIGENTES EN LA MATERIA

Los requisitos legales de la caracterización ya fueron mencionados en la sección 1 de esta guía:

**Para una “Emergencia”:** Aplican los artículos 138 (requisitos) y 135 (documentos anexos al programa de remediación)

**Para un “Pasivo”:** Aplican en conjunto los artículos 138 y 139 (requisitos) y además los artículos 135 y 136 (documentos anexos al programa de remediación)

Las Normas Oficiales Mexicanas vigentes establecen la obligación, para el responsable de un sitio contaminado, de realizar un mínimo de acciones para el muestreo de suelos. Dicho estándar mínimo esta señalado en las tablas y reglas establecidas en las normas para la definición del número de puntos de muestreo, las reglas de cómo muestrear, conservar, transportar y analizar las muestras de suelos obtenidas.

El Reglamento sin embargo es más amplio y cubre no solo la caracterización del suelo contaminado por hidrocarburos o metales y metaloides sino también la caracterización de todos los elementos constituyentes de un “sitio contaminado” como pueden ser: el agua, aire, edificaciones, polvos, biota, rutas de exposición, residuos o combinaciones de los mismos. Las especificaciones técnicas para el muestreo de estos otros elementos constituyentes de un sitio contaminado no han sido definidas en el Reglamento de la LGPGIR a un nivel comprensible para los responsables.

## 2.6 ELEMENTOS DE LA CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE SITIOS APLICABLES EN MÉXICO

Como se ha mencionado, una estrategia de este tipo contiene tres elementos que se retroalimentan durante el proceso de caracterizar suficientemente un sitio. Estos elementos son:

- El desarrollo del modelo conceptual de un sitio contaminado,
- La aplicación de una planeación dinámica que permita correcciones durante el proceso de caracterización conforme se van ganado conocimientos.

- La utilización de métodos de medición de campo (solo indirectos, en línea y con resultados en tiempo real).

En este momento, bajo las condiciones jurídicas nacionales, no es posible la aplicación de métodos de muestreo de campo on-line en tiempo real para determinar la concentración de contaminantes en suelos con el fin de cumplir el requisito reglamentario.

Esto se debe a que no existe un marco jurídico donde insertar este tipo de mediciones. Actualmente los resultados de dichos sistemas de medición no tienen validez desde el punto de vista administrativo. Se pueden utilizar dichos métodos de medición para orientar la caracterización de un sitio en sus fases iniciales, sin embargo; es de remarcarse que la mayoría (si no todos) de estos métodos requieren una calibración y una validación con muestras de suelos y análisis químicos practicados por laboratorios. La medida en que representan un ahorro o no es de considerarse en cada caso.

## 2.7 ESTRATEGIA Y MÉTODO DE MUESTREO

La elección de la estrategia de muestreo a utilizarse en cada caso, en particular para caracterizar un sitio, es una decisión del responsable de la contaminación y sus consultores. Sin embargo, algunos aspectos deben de ser tomados siempre en consideración como lo son:

- Las indicaciones acerca del número de puntos de muestreos señalados por las Normas Oficiales Mexicanas vigentes,
- El contenido de información con el cual se deberá presentar el estudio de caracterización según el Reglamento de la LGPGIR para cada tipo de sitio contaminado,
- Las características del sitio de muestreo,
- La definición de la finalidad para la cual se realiza el estudio de caracterización:
  - (a.) para verificar que no queda contaminación en un sitio de excavación,
  - (b.) para definir el área y volumen de suelo a remediar de un sitio,
  - (c.) para servir de base a un estudio de evaluación de riesgo ambiental.
  - (d.) para servir de base a un proyecto de reutilización.

Los productos que deben obtenerse siempre de la elección de la estrategia de muestreo son:

- El plan de muestreo,
- La definición del patrón de muestreo,
- La definición del número y localización de los puntos de muestreo,
- La definición del método de perforación y de obtención de muestras,
- La descripción de las medidas de control de calidad del muestreo.
- Los métodos de análisis químicos a practicar a las muestras.

Para definir el alcance de la caracterización debe establecerse primero cual es la finalidad del proyecto:

**TABLA 8A. ALCANCE DE LA CARACTERIZACIÓN SEGÚN LA FINALIDAD DEL PROYECTO**

Finalidad del proyecto	Alcance de la caracterización
Remediar el sitio con base solo en el estudio de caracterización para alcanzar los Límites Máximos Permisibles de las NOM's	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planear y ejecutar el muestreo del sitio,</li> <li>2. Determinar tipo de contaminante, área y volumen contaminado,</li> <li>3. Proporcionar la base técnica para elaborar <ul style="list-style-type: none"> <li>• la propuesta de remediación,</li> <li>• determinar las acciones de remediación y el proceso de tratamiento a aplicar</li> <li>• y el programa de muestreo final comprobatorio para mostrar que se alcanzaron los Límites Máximos Permisibles de las NOM's</li> </ul> </li> <li>4. Liberación de la responsabilidad por la contaminación del sitio</li> </ol>
Verificar que el/los socavón(es) se encuentren libres de contaminación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planear y ejecutar el muestreo del sitio,</li> <li>2. Determinar que no quedan contaminantes en el área de excavación,</li> <li>3. Liberación de la responsabilidad por la contaminación del sitio</li> </ol>

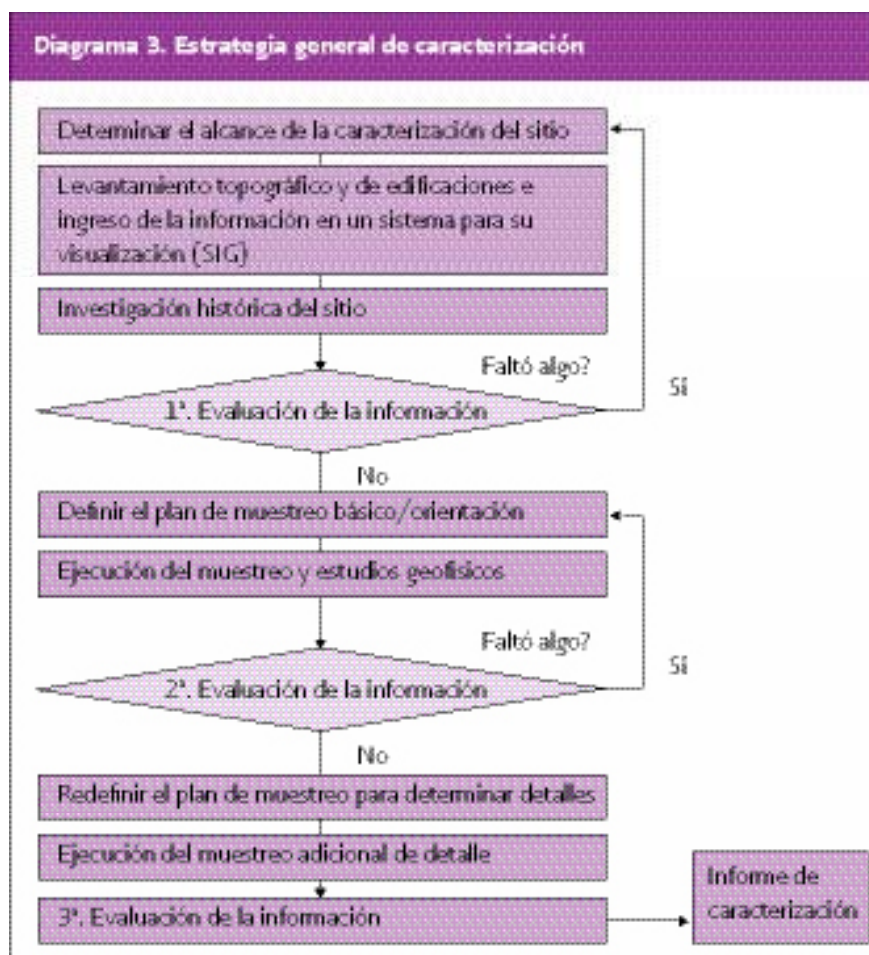
Es recomendable que en la caracterización de un sitio contaminado considerado pasivo ambiental se proceda por etapas para ir ajustando el alcance y extensión de los trabajos (beneficio esperado vs. costos). Esto significa hacer "paradas" en el proceso y evaluar la información hasta ese momento recopilada. Esto es de mayor importancia entre más compleja es la situación de la contaminación y más complicada es la situación legal del sitio. En muchos casos la situación legal del sitio determina el alcance de la caracterización.

**TABLA 8B. ALCANCE DE LA CARACTERIZACIÓN SEGÚN LA FINALIDAD DEL PROYECTO**

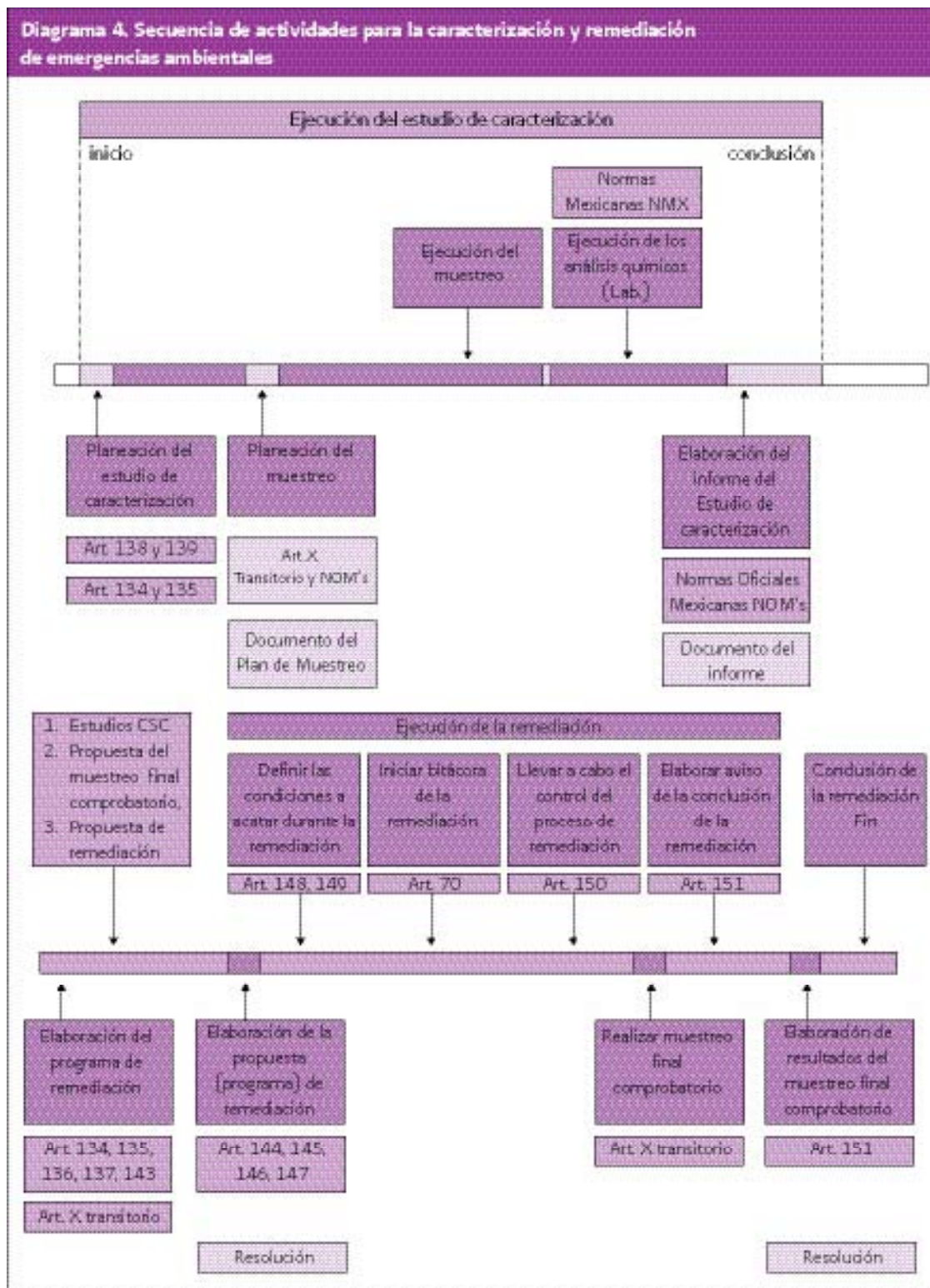
Finalidad del proyecto	Alcance de la caracterización
Remediar el sitio con base en un estudio de evaluación de riesgo ambiental	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planear y ejecutar el muestreo del sitio,</li> <li>2. Determinar tipo de contaminante, área y volumen contaminado,</li> <li>3. Proporcionar la base técnica para evaluar la exposición, determinar los riesgos y definir Niveles de Remediación Específicos del sitio</li> <li>4. Proporcionar la base técnica para elaborar la propuesta de remediación, determinar las acciones de remediación, el proceso de tratamiento a aplicar y como comprobar finalmente que se alcanzaron los Límites Máximos Permisibles de las NOM's,</li> <li>5. Liberación de la responsabilidad por la contaminación del sitio</li> </ol>

Remediar y reutilizar el sitio con base en un estudio de evaluación de riesgo ambiental	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Planear y ejecutar el muestreo del sitio,</li> <li>2. Determinar tipo de contaminante, área y volumen contaminado,</li> <li>3. Proporcionar la base técnica para evaluar la exposición, determinar los riesgos y definir Niveles de Remediación Específicos del sitio</li> <li>4. Proporcionar la base técnica para elaborar la propuesta de remediación, determinar las acciones de remediación, el proceso de tratamiento a aplicar y como comprobar finalmente que se alcanzaron los Límites Máximos Permisibles de las NOM's,</li> <li>5. Definir el uso de las distintas áreas del sitio de acuerdo con los riesgos y las acciones de remediación a ejecutar</li> <li>6. Concordancia de la remediación con el proyecto arquitectónico de reutilización del sitio),</li> <li>7. Liberación de la responsabilidad por la contaminación del sitio</li> </ol>
---	---

## 2.8 ESTRATEGIA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

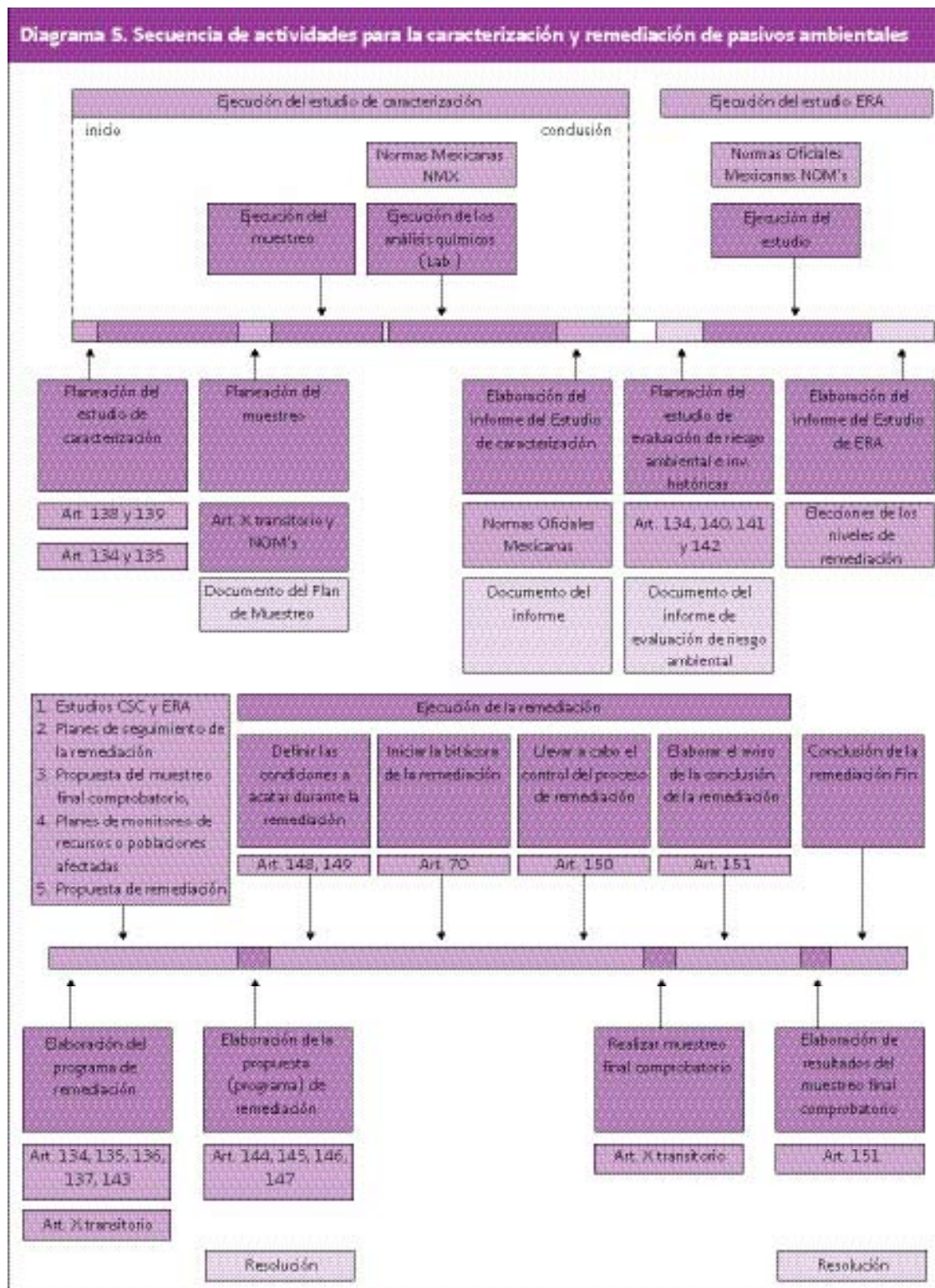


## 2.8.1 Emergencias ambientales



Nota: Los artículos referidos son del Reglamento de LGPGIR

## 2.8.2 Pasivos ambientales

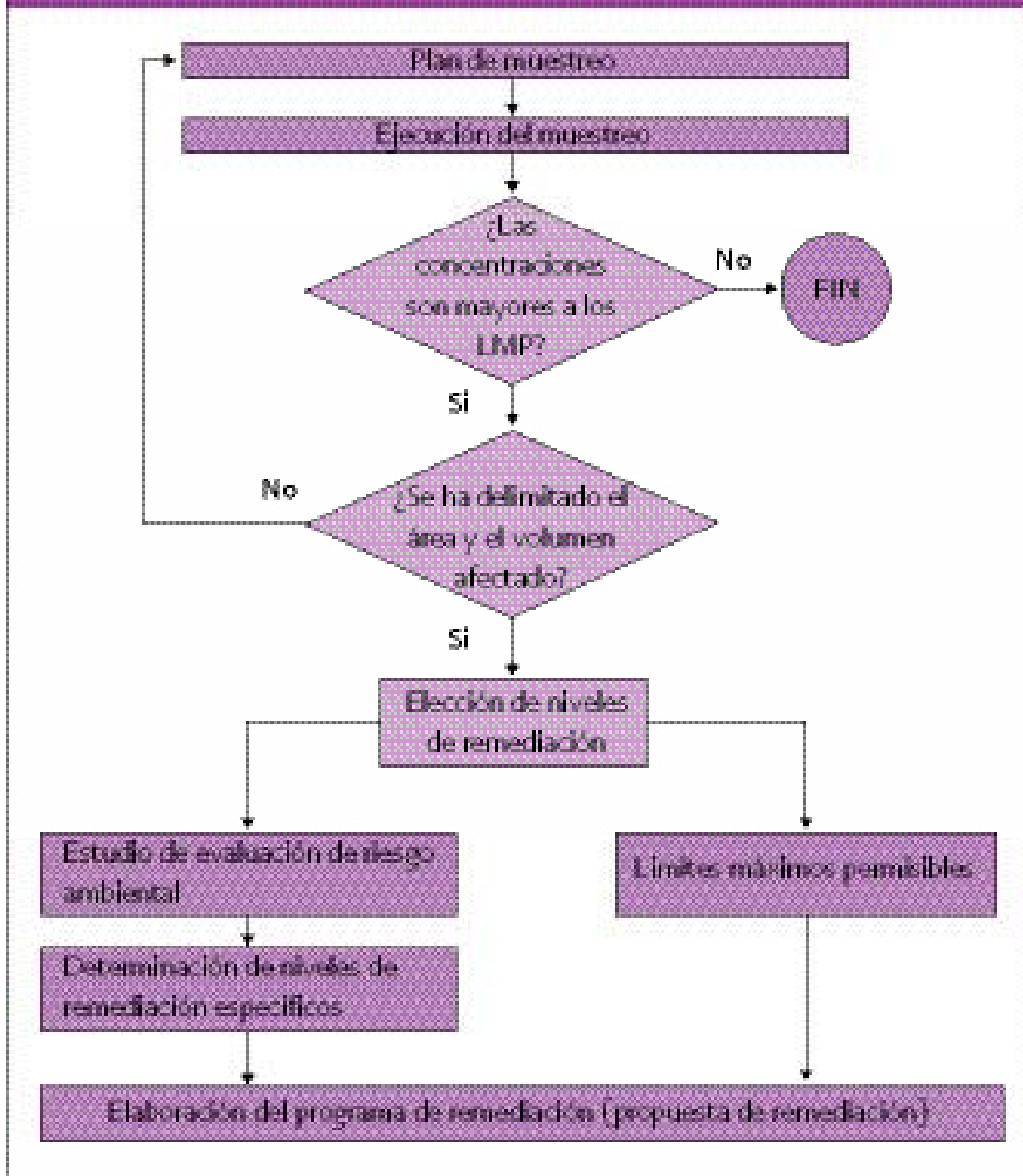


Nota: Los artículos referidos son del Reglamento de LGPGIR

Los trabajos de caracterización que se realizan en un pasivo ambiental se pueden englobar en:

- Investigaciones históricas,
- Recopilación y sistematización de estudios anteriores y la evaluación de la calidad de la información contenida en ellos,
- Planeación y realización del muestreo del sitio lo cual puede incluir:
  - Ejecución de estudios geofísicos o geoeléctricos,
  - Ejecución de perforaciones y muestreos de: suelos, aguas, edificaciones, residuos, etc.
- Análisis químicos de muestras por laboratorios acreditados.
- Evaluación de información y visualización en 2 ó 3 dimensiones.
- Generación de modelos geofísicos, geológicos, geohidrológicos y de distribución de contaminantes.
- Generación de un banco de información en un Sistema de Información Geográfica (SIG)
- Elaboración de planos de instalaciones, edificaciones y plumas contaminantes.

Diagrama 6. Estrategia de muestreo para la caracterización de un sitio contaminado NOM 138-SEMARNAT/SS-2003 (Versión del proyecto modificadorio 2008)



**TABLA 9. TIPOS DE ESTUDIO SEGÚN LA MATRIZ A MUESTREAR**

Matriz a muestrear	Tipo de actividad a desarrollar	Patrón de muestreo que puede emplearse
Suelos y aguas subterráneas	Estudios geofísicos: entre otros Geoeléctricos, Tomografía o Georadar. Muestreos de suelos, aguas someras y acuíferos a través de pozos.	Cortes o perfiles en el caso de estudios geofísicos
		Muestreos por retícula (por perforación de pozos)
		Muestreos por asignación a juicio del experto (por perforación de pozos)
Aguas de acuíferos	Muestreos según el tipo de contaminante (volátiles o no volátiles)	Muestreo en pozos existentes
Suelos	Toma de muestra en el perfil de la zanja	Muestreos de suelos por excavación de zanjas
Edificaciones e instalaciones	Toma de muestras de paredes, techos, cimientos, etc.	Muestreos representativos por tipo de material o por edificio Según el área de paredes, techos fundamentos, etc.
Residuos	Toma de muestras y valoración según la NOM 053 y 052.	Muestreo representativo por tipo de residuo volumen homogéneo o por lote si no es homogéneo
Sedimentos	Muestreos según el tipo de contaminante y objetivo de la caracterización	Muestreos por retícula o por asignación según la orografía del sitio

## 2.9 CONFIABILIDAD DE LA INFORMACIÓN

Para establecer la calidad de la información generada durante la elaboración de un estudio de caracterización deben de considerarse los siguientes aspectos:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Representatividad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confiabilidad</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Certidumbre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Replicabilidad</li> </ul>

Estos aspectos son de considerarse durante la ejecución en la caracterización de un sitio contaminado. Con respecto a su aplicación se plantean algunas preguntas:

- ¿Qué grado de representatividad, certidumbre y confiabilidad de los datos es deseable y debe alcanzarse para evitar la repetición de trabajos?
- ¿Qué tan replicable y confiable debe ser el proceso de caracterización y en especial el de muestreo en vista de los costos implicados?
- ¿Cómo medimos la confiabilidad del proceso de muestreo y análisis?

La representatividad puede por ejemplo medirse por la densidad de muestreo dependiendo del objetivo a alcanzar en la caracterización y el tipo de área.

La confiabilidad de los datos debe medirse a través del cumplimiento de las indicaciones de calidad propuestas por el responsable y aceptadas por la autoridad que realiza la gestión.

La certidumbre con respecto a los resultados de la caracterización y la interpretación de los mismos, solo es medible a la luz de un análisis de las incertidumbres inherentes al proceso, por ejemplo el número de muestras, el tipo de muestreo, los resultados de análisis químicos muy por afuera de la tendencia central. Errores en los análisis químicos (porcentaje de recuperación) y otros criterios de calidad.

Un responsable de un sitio contaminado puede proponer a través de sus consultores o por sí mismo un método alternativo de muestreo que tenga la capacidad de proveer la misma calidad de información para ser evaluado y aceptado por la autoridad que realiza la gestión. Esta circunstancia esta previsto en la normatividad mexicana.

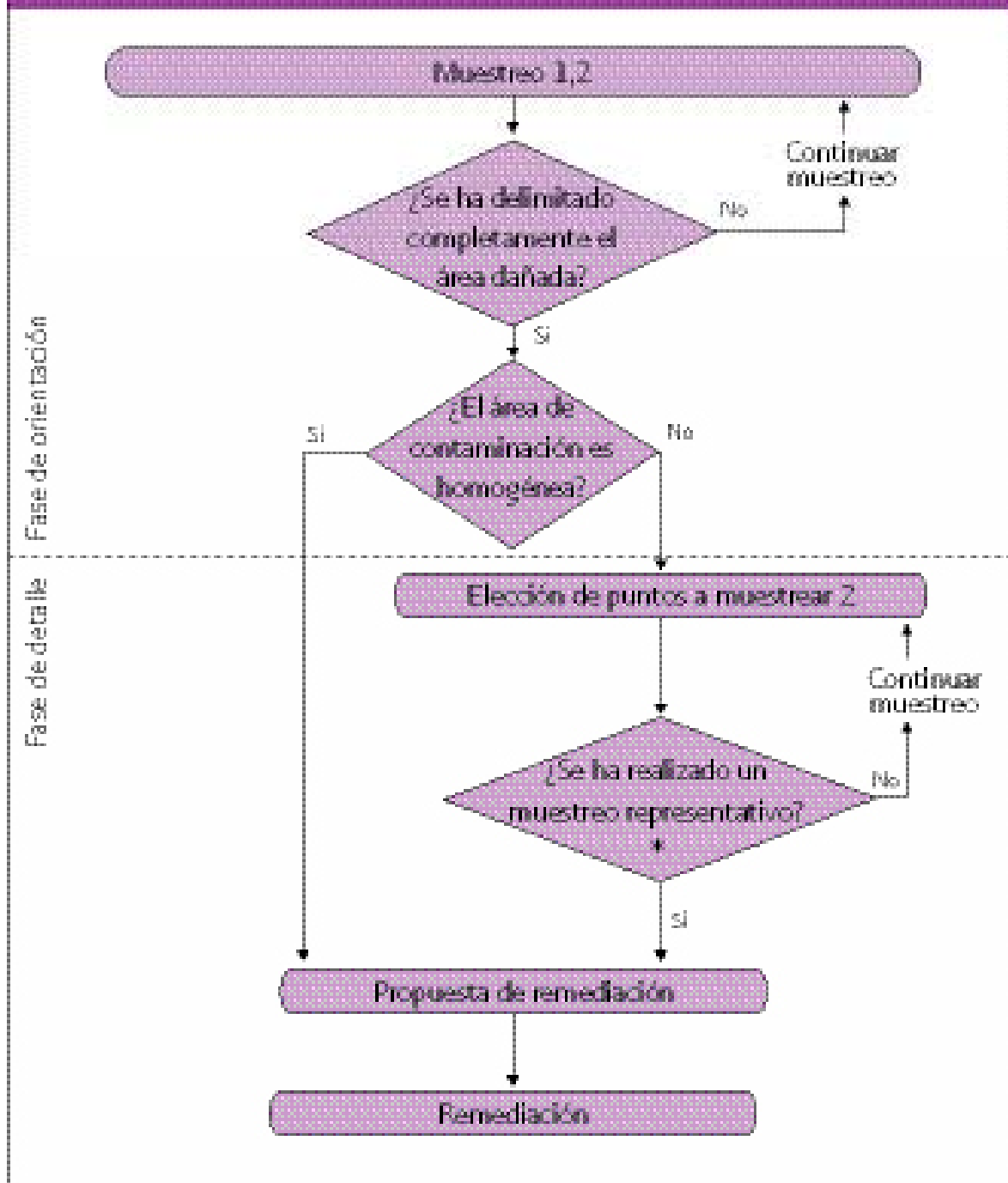
Sin embargo, es responsabilidad del ejecutor de los estudios de caracterización y en específico el responsable de la ejecución del muestreo del sitio el establecer la fundamentación y características de estos aspectos caso por caso.

Ya que no es posible en el marco de esta guía establecer para cada uno de los aspectos arriba mencionados los detalles técnicos a seguir, se establecen en este documento las reglas básicas y lineamientos a seguir para cumplir con los requisitos legales de la caracterización de un sitio contaminado.

En lo que cabe, se establecerá el procedimiento para que el responsable de un sitio pueda cumplir con los criterios mencionados y alcanzar el cumplimiento con un estándar mínimo de calidad.

En los siguientes diagramas (8 a 10) se describen las estrategias que pueden ser aplicadas para la caracterización dependiendo de la situación en el sitio contaminado.

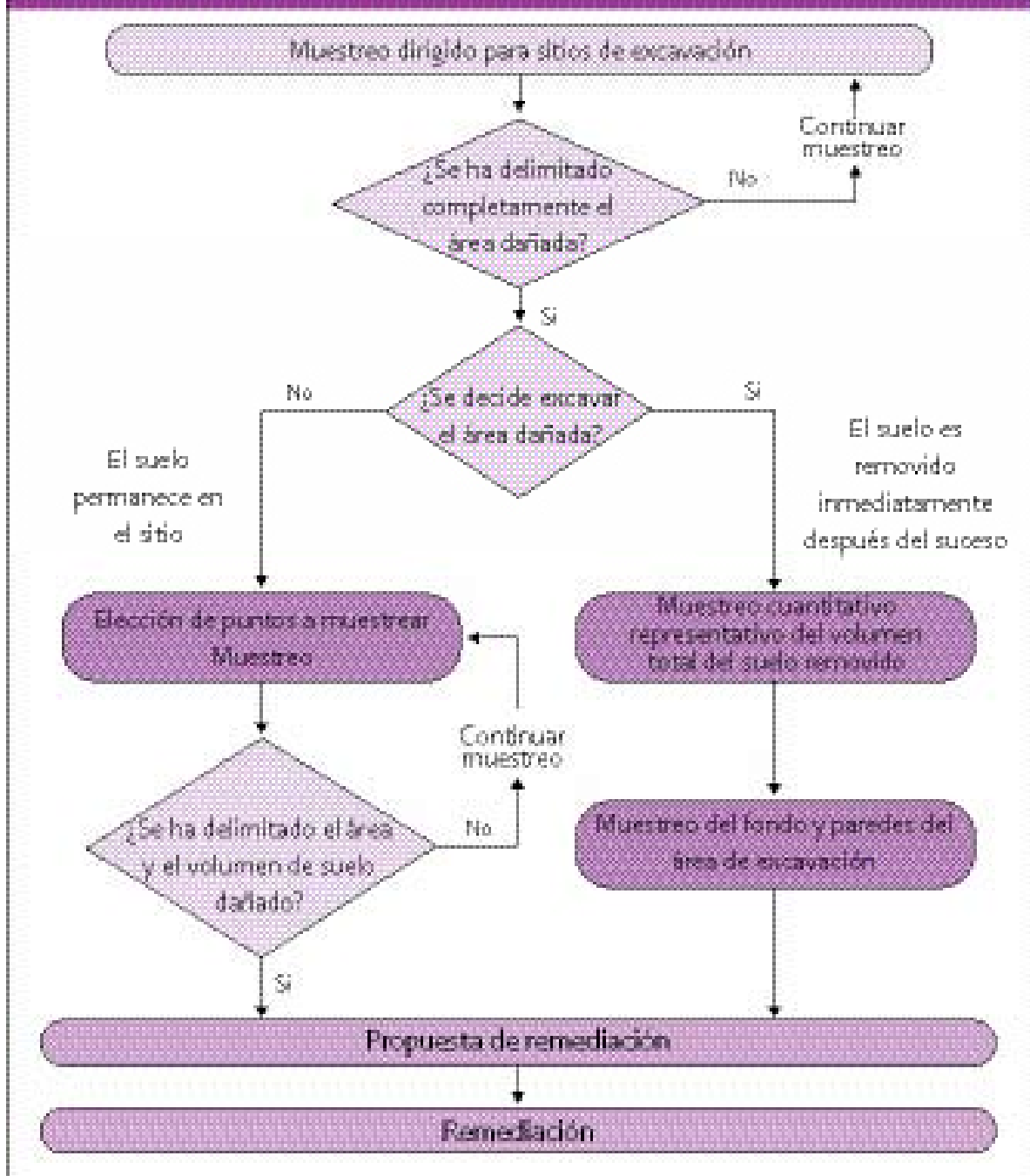
Diagrama 7. Estrategia de muestreo. Fase de orientación-Fase de detalle



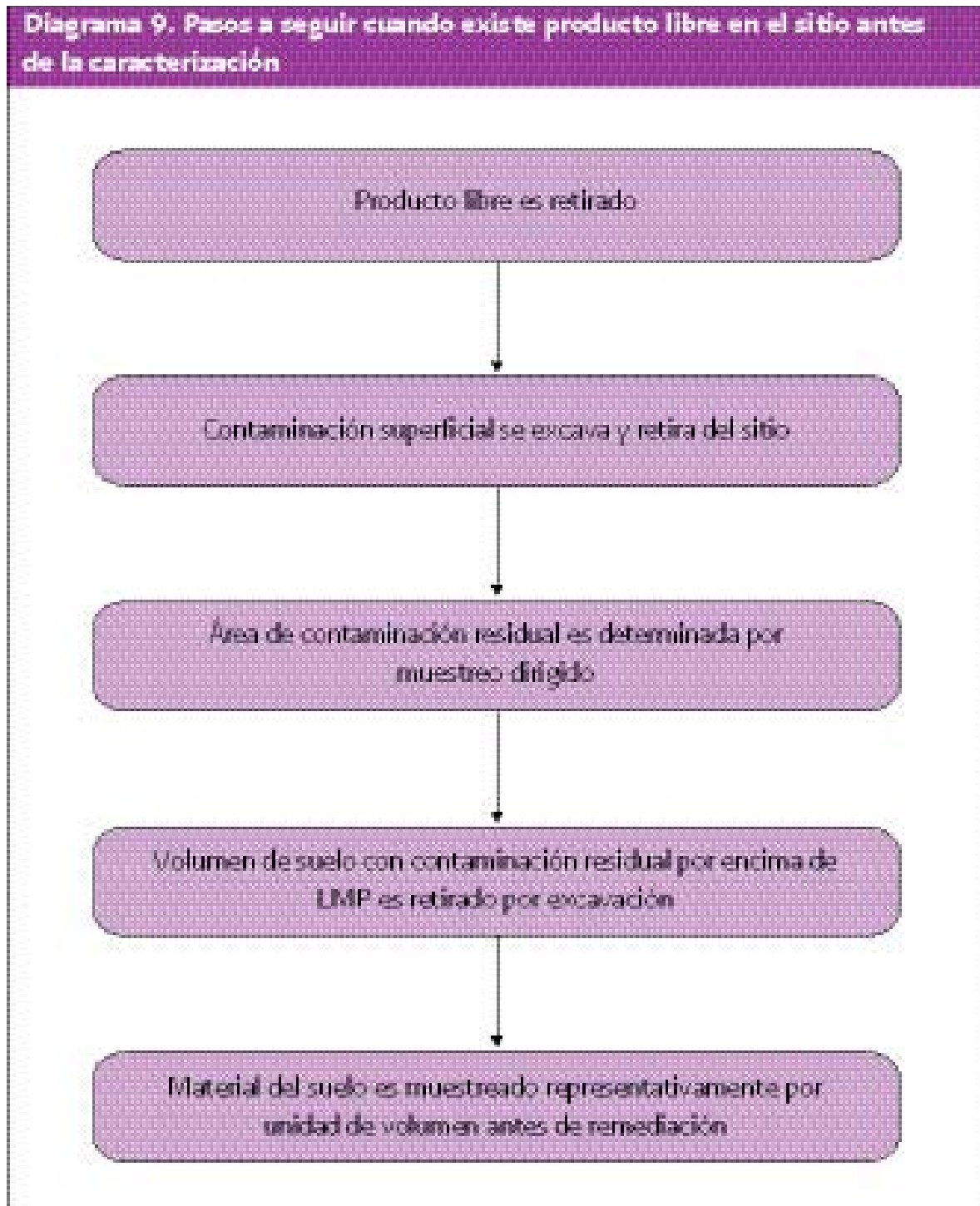
- 1 El objetivo es determinar la distribución espacial del contaminante
- 2 Estrategia aplica tanto para emergencias como para pasivos ambientales
- \* El muestreo debe abarcar completamente la superficie y profundidad afectada

La experiencia nos muestra que en la caracterización de pasivos ambientales la caracterización del sitio en dos pasos o etapas es una práctica común de empresas y consultores ya que permite centrar esfuerzos y recursos en áreas presumiblemente contaminadas dentro de un predio. Esto es aun más cierto cuando se trata de grandes extensiones.

**Diagrama 8. Estrategia de muestreo para los casos en que se realizan excavaciones en sitios contaminados**

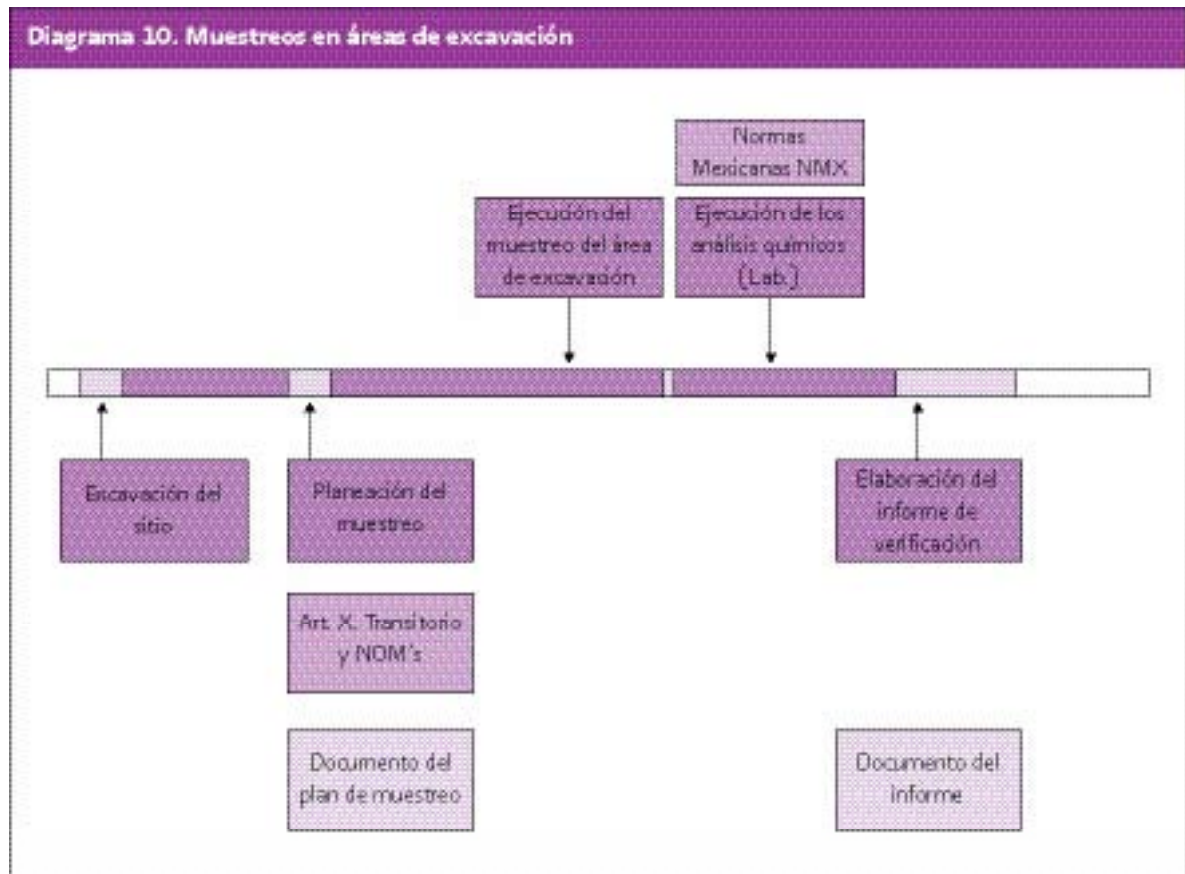


El muestreo de un área de excavación es más frecuente encontrarlo en sitios contaminados por derrames (emergencias ambientales) en la mayoría de estos casos la práctica común es excavar el sitio cuando las condiciones de terreno lo permiten y transportar el material a celdas de tratamiento.



En muchos casos de derrames de grandes volúmenes de materiales peligrosos en específico de hidrocarburos se hace necesario el retirar el producto libre antes de iniciar cualquier trabajo de caracterización o de excavación o de remediación.

Esto lleva a que entre las actividades de atención a la emergencia (medidas de urgente aplicación) se considere la extracción o recolección del producto libre.



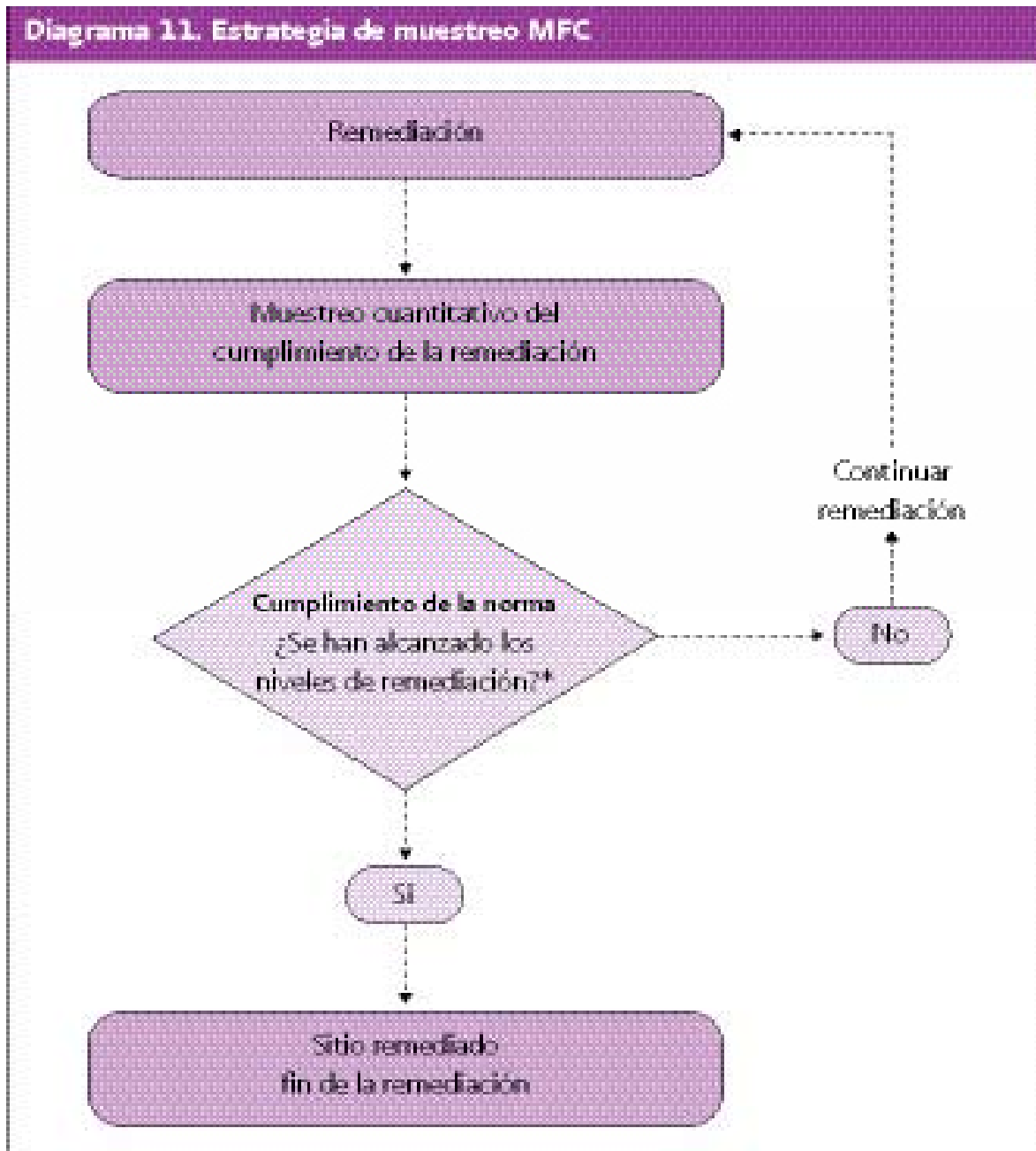
El muestreo de un área de excavación para verificar que no quedan remanentes de contaminación en el sitio tiene dos funciones:

Establecer que ha sido retirado todo el material contaminado del sitio y proveer de una base para la toma de decisiones con respecto a que la remediación de la emergencia se concluya de manera adecuada.

## 2.10 ESTRATEGIAS PARA LOS MUESTREOS FINALES COMPROBATORIOS

Una parte muy importante en el proceso de concluir una remediación es el denominado Muestreo Final Comprobatorio. Dicho muestreo tiene como finalidad determinar si se cumplen o no con los niveles de remediación establecidos para el sitio, ya sea a través de los valores señalados por las Normas Oficiales Mexicanas o a través de los valores determinados por un estudio de evaluación de riesgo ambiental.

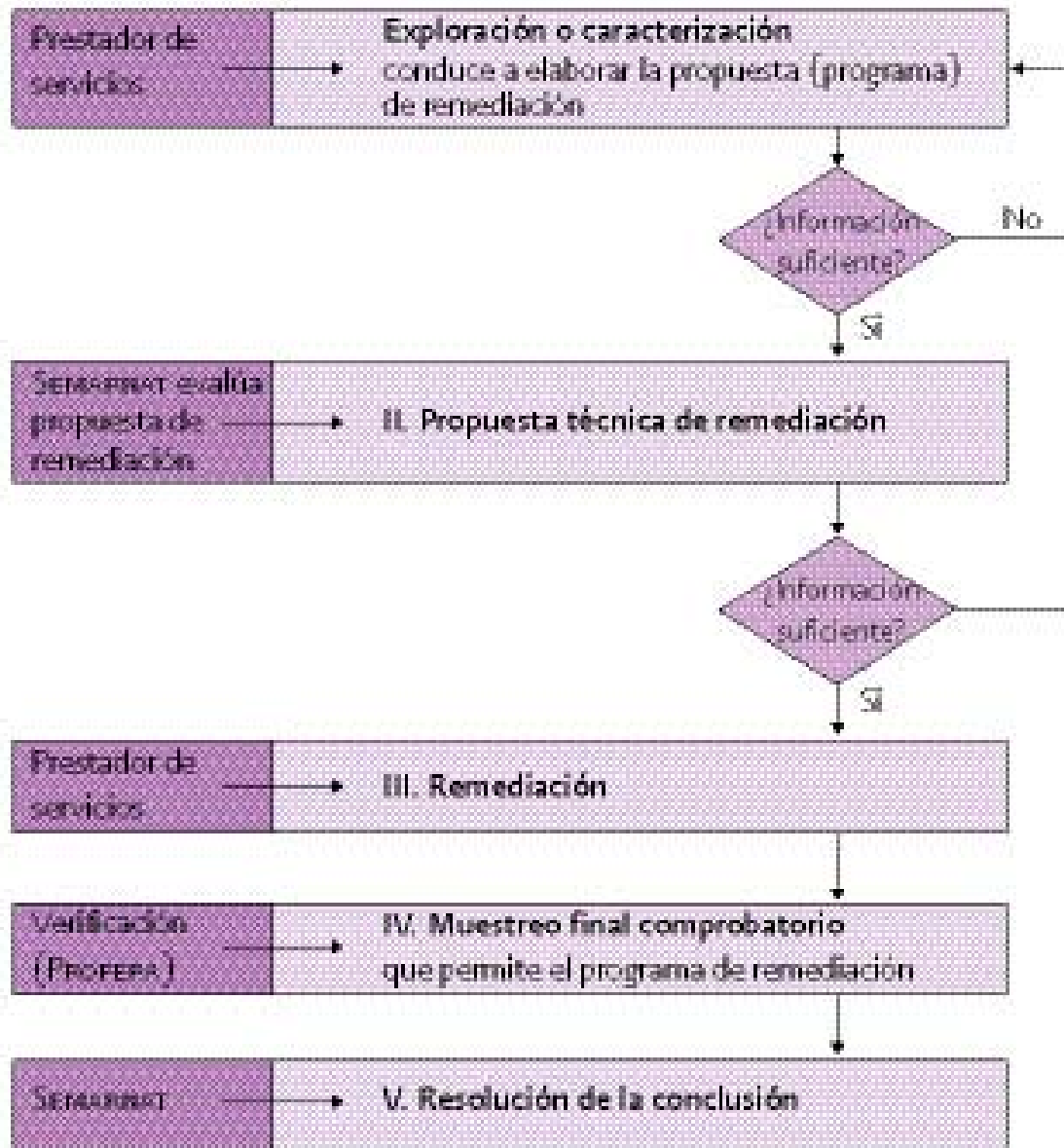
Diagrama 11. Estrategia de muestreo MFC



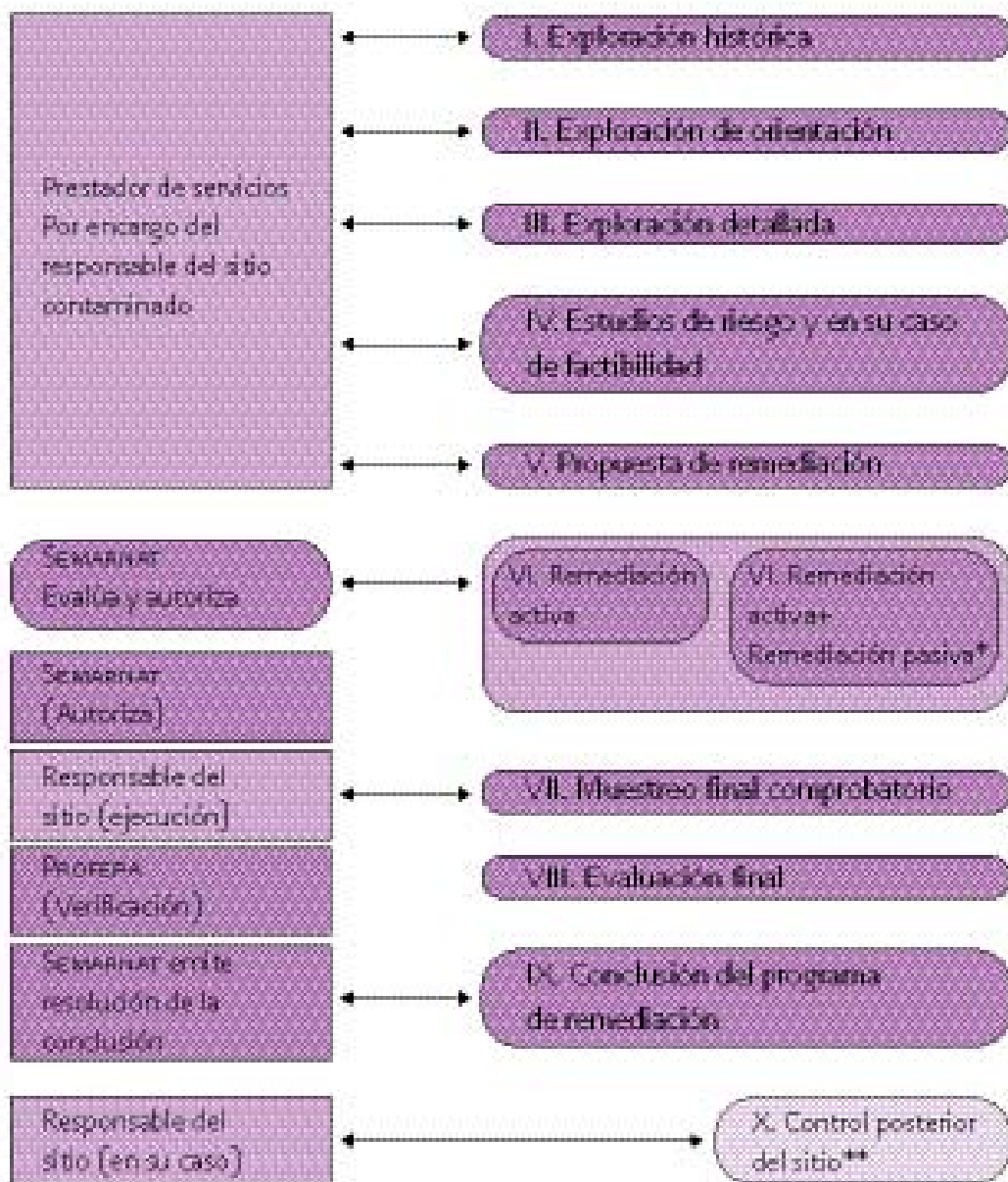
\* Los niveles de remediación pueden ser límites máximos permisibles LMP (NOM 138), las concentraciones de referencia total (NOM 147) o los niveles que se determinen a través de un estudio de evaluación de riesgo ambiental.

El muestreo comprobatorio es una actividad indispensable y necesaria sin la cual no es posible concluir que la remediación de un sitio ha sido ejecutada con éxito y cumpliendo con la normatividad vigente (Asociado al Aviso de Conclusión del Programa de Remediación). La figura fue creada con el fin de dar sustento jurídico a la denominada “liberación” de un sitio.

**Diagrama 12. Caracterización de sitios contaminados.  
Emergencias ambientales**



**Diagrama 13. Estrategias de gestión de sitios contaminados pasivos ambientales**



\* Después de la eliminación de la fuente de contaminantes.

\*\* Verificación del cumplimiento de acuerdos y condicionantes de la resolución.

Nota: actividades por medio de las cuales se eliminan los contaminantes del sitio se consideran una remediación activa. Casos en los cuales se permite la atenuación natural o medidas con estructuras para asegurar y evitar la movilidad de contaminantes se consideran remediación pasiva. Un ejemplo de ello es el Parque tres Centurias en Aguascalientes donde se construyeron dos celdas de estabilización para residuos de baja peligrosidad y se permitió que la atenuación natural actuara en una parte de los hidrocarburos.

## Los ex talleres de Ferrocarriles Nacionales de México y el Parque Tres Centurias

En México contamos con casos exitosos de caracterización y remediación de sitios contaminados, como el del antiguo sitio de **los ex talleres de Ferrocarriles Nacionales de México** ubicado en la ciudad de Aguascalientes.



El predio que comprendía 88 hectáreas presentaba en suelo calcinas de plomo, escorias de fundición e hidrocarburos mientras que los edificios presentaban contaminación superficial por residuos peligrosos. Dicho sitio además dividía a la ciudad en 2 secciones incomunicadas.



En 2004 inicia la renovación de los ex talleres de Ferrocarriles Nacionales de México.

Durante 2005 se realiza la caracterización del sitio y un estudio de riesgo ambiental para determinar los niveles de remediación específicos para el sitio.

La remediación del suelo contaminado se realizó por biopilas. Las calcinas se transfirieron a un confinamiento autorizado de residuos peligrosos. Algunos edificios fueron demolidos, otros se limpiaron y restauraron. Se autorizó la construcción en el sitio de celdas de estabilización para residuos de baja peligrosidad con lo cual se disminuyeron los costos de remediación.

En 2007 se abrió al público el **Parque Tres Centurias** ubicado en el predio que ocupaban los **ex talleres de Ferrocarriles Nacionales de México**. En este parque se encuentran funcionando: una escuela, canchas deportivas, gimnasios, un CRIT (centro de rehabilitación infantil teletón) y próximamente un hospital. Además, se abrieron calles para comunicar la ciudad.



**Resultados:** con este proyecto se reintegró a la economía local un predio con alto valor comercial, se conectaron las dos secciones de la ciudad, se eliminaron los riesgos por la contaminación y se ofrecen servicios a la sociedad.

#### Links

<http://www.aguascalientes.gob.mx/ficotrece/etapas/plaza.aspx>

<http://www.aguascalientes.gob.mx/temas/turismo/atractivos/parquestematicos/plaza.aspx>

### **3. CARACTERIZACIÓN POR TIPO DE MATRIZ. LINEAMIENTOS Y REGLAS**



## 3. CARACTERIZACIÓN POR TIPO DE MATRIZ. LINEAMIENTOS Y REGLAS

### 3.1 MUESTREO DE SUELOS

Los resultados de las investigaciones históricas deben de ser tomados en cuenta al momento de hacer la planeación del muestreo en específico en los sitios considerados pasivos ambientales.

Para sitios considerados emergencias ambientales debe realizarse la planeación del muestreo considerando las observaciones realizadas durante una inspección del sitio y el juicio del experto con respecto a la instalación o sitio donde sucedió la emergencia por ejemplo un ducto o una volcadura de un carro-tanque.

La ubicación y el número de los puntos de muestreo deben de ser representativos, se debe garantizar que una muestra o grupo de muestras proporcionen las características del sitio de muestreo con las menores incertidumbres posibles.

El número mínimo de puntos de muestreo en dependencia de la superficie del sitio en hectáreas para contaminaciones por hidrocarburos y metales y metaloides está dado por las Normas NOM 138 SEMARNAT/SS 2003

y

NMX AA 132 SCFI 2006.

Estos números mínimos de puntos de muestreo representan el “**mínimo de calidad**” y por ello en la ejecución de una caracterización son de tomarse muestras de un número igual o mayor de puntos de muestreo. La realización de un número menor de puntos de muestreo no es permisible y conduce al rechazo de dicho trabajo. Solo en casos particulares el mínimo es adecuado, por regla común se requiere de un número mayor de puntos de muestreo.

En la planeación del muestreo de suelos en un sitio contaminado es de tomarse siempre en consideración que el muestreo estará enfocado en primer lugar a aquellas áreas y zonas de un sitio donde se espere encontrar contaminantes y residuos peligrosos como por ejemplo: tanques, bases de tanques, áreas y edificios de producción, sitios donde se realiza la depuración o limpieza de productos, zonas de instalaciones subterráneas, zonas de llevaderas, zonas de carga o descarga de materiales y residuos peligrosos, instalaciones secundarias de almacenamiento de materiales y residuos peligrosos, sitios de almacenamiento de materiales y residuos peligrosos y áreas donde pudieran darse infiltraciones como lo son drenajes de aguas residuales, drenajes pluviales, registros, puntos de descarga.

Un listado de las actividades potencialmente contaminantes del suelo se encuentra en el Anexo 1.

Un listado de los contaminantes que posiblemente se encuentren en sitios en donde se realicen actividades potencialmente contaminantes del suelo se encuentra en el Anexo 2.

Lo señalado en el párrafo anterior no es motivo para dejar ciertas áreas de un predio o sitio sin muestrear. No contar con evidencia documental histórica de contaminación en sitios considerados pasivos ambientales no es justificación para no muestrear dichas áreas.

En muchos casos de pasivos ambientales se han encontrado contaminaciones en áreas donde no se esperaba la presencia de contaminantes. Por ello son de planearse puntos de muestreo de comprobación en dichas áreas.

A medida que se aumenta el número de muestras aumenta la exactitud y la precisión de la descripción de las condiciones de un sitio pero también aumentan los costos. Que tan necesario es el aumento de densidad de muestreo, a partir de un mínimo de número de puntos de muestreo, en un sitio en particular es de determinarse caso por caso.

En casos actuales de caracterización ha sido usual que se determine la necesidad de un número mayor de puntos de muestreo para obtener una buena representatividad y densidad de muestreo.

Por otra parte si se tiene muy pocas muestras de un sitio no podrá determinarse si las condiciones que se describen para el sitio con base en esas pocas muestras corresponden con la situación real. La incertidumbre en estos casos es muy grande.

### 3.1.1 Comparación del número de puntos de muestreo de la NOM 138 y la NMX 132

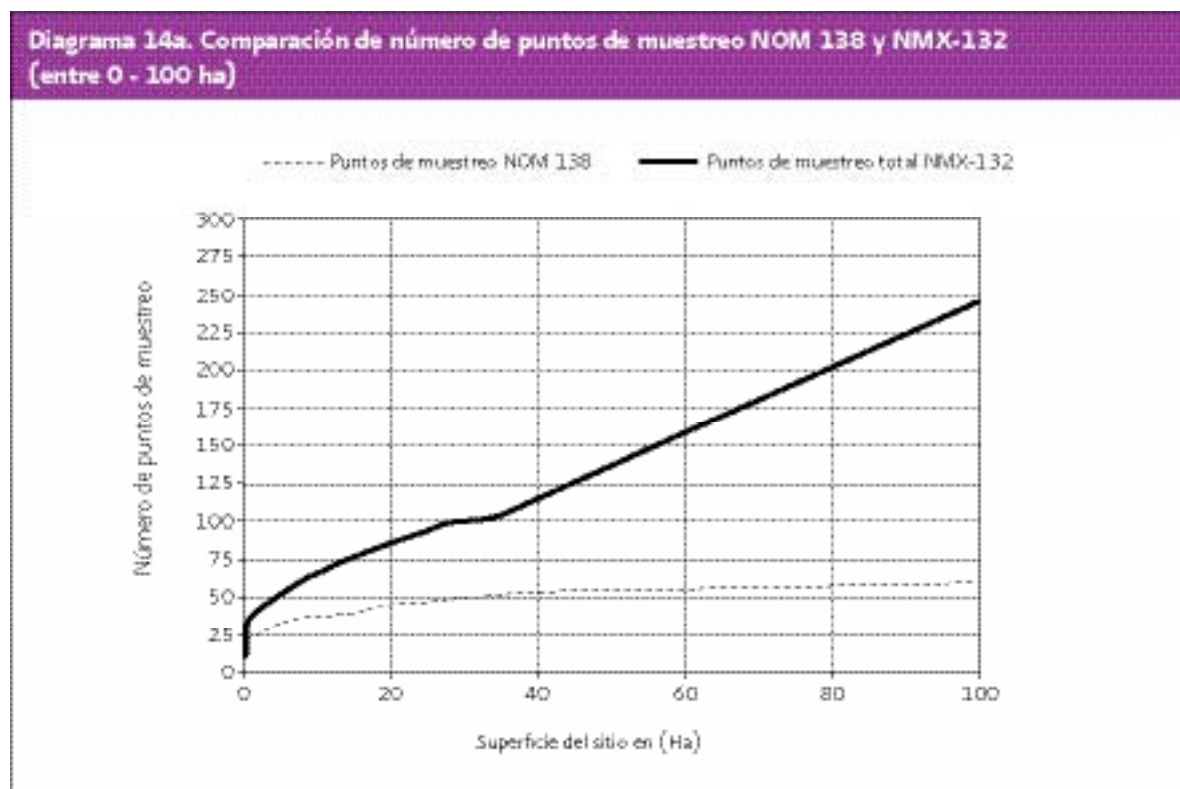
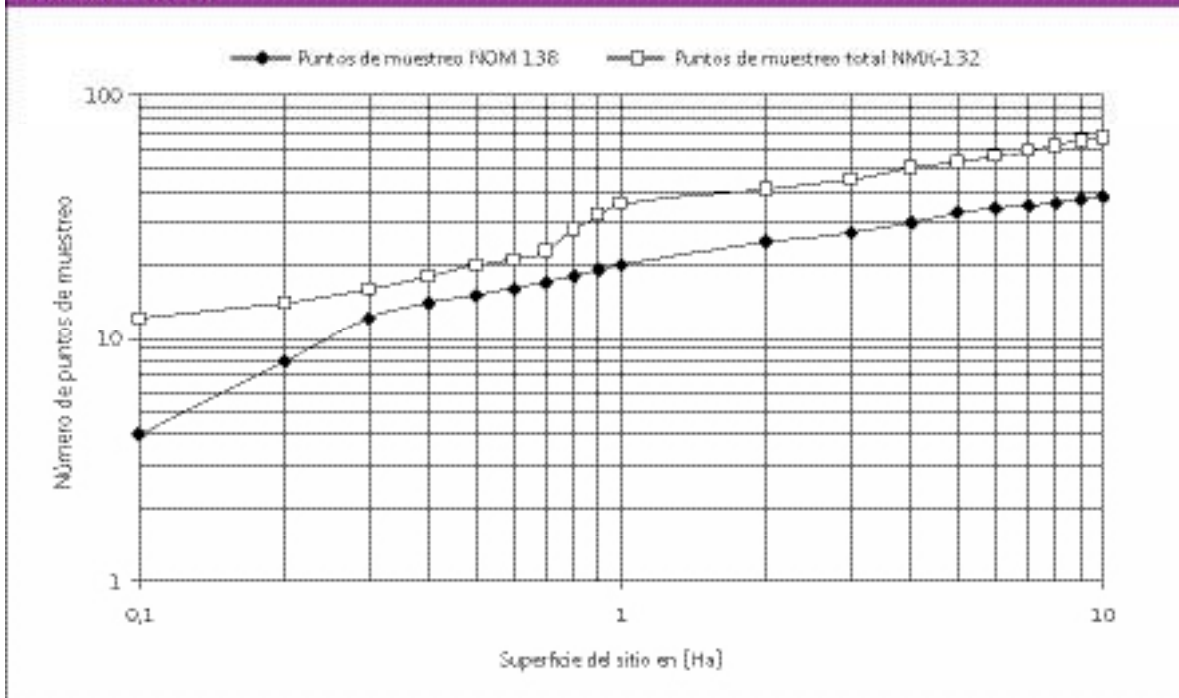


Diagrama 14b. Comparación de número de puntos de muestreo NOM 138 y NMX-132 (entre 0 - 10 ha)



Como se puede apreciar en las dos graficas anteriores el número de puntos de muestreo de la NOM 138 pareciera estar por debajo del número de puntos de muestreo de la NMX 132 sin embargo son de considerarse los siguientes factores:

El número total de puntos de muestreo de la NMX 132 incluye el número de puntos de muestreo de la fase exploratoria y el de la fase de detalle. Además de ello solo un número menor de dichos puntos de muestreo es de desarrollarse a profundidad (perforación a distintas profundidades). Esta norma tiene un esquema de muestreo en dos fases.

La NOM 138 considera el número de muestras como el mínimo (al igual que la NMX 132) pero no define una fase de orientación y una de detalle en cuanto al muestreo del suelo y deja abierta la posibilidad a la realización de muestreos subsecuentes y que sean necesarios hasta definir el área y el volumen de suelo contaminado y en especial las condiciones geohidrológicas para el caso de los pasivos ambientales. Todos los puntos de muestreo son de desarrollarse a profundidad.

### 3.1.2 Patrones de muestreo

Para el muestreo existen dos estrategias para aproximarse a la ejecución de la tarea de caracterizar un sitio contaminado: el muestreo dirigido o el muestreo estadístico. Cada una de ellas con ventajas y desventajas. Vea el anexo 3 para mayores detalles.

#### 3.1.2.1 Muestreo dirigido o a juicio del experto.

Este tipo de muestreo constituye la base de una investigación exploratoria. Si se tiene información previa del sitio (por documentos o por inspecciones visuales del sitio), es posible llevar a cabo un muestreo y análisis dirigido en determinados puntos para contaminantes específicos, siempre y cuando se consideren puntos de muestreo en áreas sin evidencia histórica para comprobar que no existe contaminación en dichas áreas.

La selección de los puntos de muestreo, el método de muestreo, los contaminantes a muestrear, las cantidades de muestra así como las profundidades a las cuales se toman las muestras se basa en el criterio personal, en las indicaciones de las normas vigentes y en la experiencia del profesional encargado de esta tarea.

La selección de los puntos de muestro pueden hacerse con base a la características del relieve del terreno, las instalaciones presentes en el sitio, la infraestructura subterránea, el tipo de textura del suelo o materiales de relleno, el tipo de cobertura superficial (vegetal, concreto, asfalto), la presencia de cimentaciones y losas de concreto, etc.

#### 3.1.2.2 Muestreo estadístico.

Este tipo de muestreo se basa en la teoría de probabilidades y siempre requiere de un análisis estadístico. Se utiliza para comprobar de manera homogénea la presencia o ausencia de contaminantes en sitios considerados pasivos ambientales o abandonados. Como sitio abandonado se considera aquél donde ha transcurrido un lapso prolongado de tiempo desde que se depositaron los contaminantes y del cual no existe información suficiente sobre el terreno contaminado y sus condiciones. En este caso es necesario que el muestreo abarque toda el área que se piensa está afectada. Hay distintas formas de realizar este muestreo: aleatorio simple, aleatorio estratificado y sistemático.

##### **Aleatorio simple.**

Este tipo de muestreo es recomendable para áreas homogéneas menores a cinco hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la zona. Se caracteriza por permitir todas las combinaciones posibles de puntos de muestreo. Los puntos de muestreo se numeran en un plano cartesiano  $(X_i, Y_j)$ . La selección de éstos se realiza por medio de una tabla de números aleatorios lo cual garantiza que cada punto tenga la misma probabilidad de ser seleccionado (Ver anexo 3).

### **Aleatorio estratificado.**

En este tipo de muestreo la población se subdivide en estratos o subgrupos que tienen cierta homogeneidad en el terreno y en cada estrato se realiza un muestreo aleatorio simple.

### **Sistemático.**

En este tipo de muestreo la variabilidad de las muestras se reduce mediante la división de la superficie en una retícula. Muestreando cada cuadrícula o un número representativo de ellas en los vértices. El tamaño de la cuadrícula dependerá del terreno a muestrear. Este tipo de muestreo puede realizarse por cuadrícula rectangular o polar.

**Nota:** Para elementos no normados como un procedimiento de control de calidad se tomará una muestra duplicada por cada 10 muestras para áreas menores de 10 ha.  
Para áreas entre 10 y 100 ha se tomará una muestra duplicada por cada 10 muestras aunque el número puede disminuir en consideración el número de muestras totales y las características del sitio.  
La selección del número de réplicas depende del total de las muestras a coleccionar y del criterio del experto.  
Para el caso de contaminantes no normados deberán tomarse muestras testigo.  
Es importante mencionar que se deben considerar las características del sitio y sus alrededores, las actividades o procesos que se realizan en ellos para identificar así las zonas críticas.

### **3.1.3 Tipos de puntos de muestreo**

Dependiendo del objetivo de muestreo pueden utilizarse dos tipos de puntos de muestreo: zanjas y perforaciones.

**Zanjas:** Este tipo de punto de muestreo es recomendable cuando la contaminación está limitada a los estratos litológicos cercanos a la superficie del terreno ya que permite obtener el panorama de la distribución de los contaminantes en los estratos del suelo y subsuelo. Se utiliza cuando los contaminantes no son volátiles y bajo ciertas condiciones puede utilizarse para evaluar el potencial de emisión de contaminantes. El uso de zanjas está limitado a la capacidad técnica de la maquinaria utilizada en la excavación. En este tipo de muestreo el material de excavación debe almacenarse temporalmente y si está contaminado, al final del muestreo, debe retornarse a la zanja. Las zanjas son recomendables en sitios contaminados con grandes superficies y espacios abiertos y resultan desventajosas cuando no se cuenta con suficiente espacio para el movimiento de maquinaria y almacenamiento del material excavado.

**Perforaciones:** Las perforaciones son adecuadas tanto para espacios abiertos como espacios restringidos, en especial al interior de edificaciones cuando no se cuenta con el espacio suficiente para realizar zanjas o sea conveniente para evaluar el sitio se pueden utilizar equipos de perforación de dimensiones reducidas. La elección del método y equipo a utilizar se basa en las condiciones geomorfológicas del sitio, el tipo de contaminante, el tipo de muestra a tomar y la profundidad a la que se planea tomar las muestras. Si se desconocen las características del subsuelo deben realizarse perforaciones de prueba al inicio de los trabajos de caracterización y muestreo. Debe tomarse en cuenta que, dependiendo de las características

del contaminante, algunos métodos de perforación falsifican los resultados del muestreo. Por ejemplo: contaminantes muy volátiles son eliminados por evaporación a causa del calor que produce la rotación de la broca de perforación, por el trasvase al abrir el tubo Shelby o doble cuchara o por manejo inadecuado de la muestra. En los casos en que el contaminante es soluble en agua la aplicación de agua o líquidos durante la perforación conduce a la disminución de la concentración del contaminante por infiltración del líquido o agua aplicada durante la perforación. Algunos ejemplos de los distintos equipos de muestreo que se utilizan actualmente y sus alcances y características se encuentran en el Anexo 4.

### 3.1.4 Consideraciones para la toma de muestras de suelo

1. Se debe garantizar que la toma de muestra obtenida sea de un tamaño tal que una vez tamizada o separada la fracción gruesa, contenga por lo menos 250 g de fracción fina para su análisis. Esto no aplica para contaminantes volátiles.
2. Se debe garantizar que la toma de muestra obtenida facilite y permita la preparación de muestras compuestas, en caso de estar esto autorizado.
3. Se debe evitar que el equipo de muestreo provoque contaminación entre las diferentes muestras. Con este fin se deberá limpiar el equipo y los instrumentos de muestreo con una brocha o cepillo. En caso de que esto no sea suficiente, será necesario lavar con agua entre muestra y muestra.
4. El muestreo vertical, se realiza a través de pozos o excavaciones con el fin de obtener muestras que permitan determinar el perfil del suelo a la profundidad proyectada. Los diferentes horizontes que forman el suelo deben identificarse en función de su aspecto físico como: color, textura, grado de compactación, entre otros. En todos los casos debe cubrirse el espesor total de los horizontes contaminados por lo que; para el caso de horizontes con un espesor menor a 30 cm, debe tomarse una muestra que abarque el total del espesor. Para horizontes mayores a 30 cm pueden tomarse tantas muestras como sean necesarias para cubrir el espesor total. Para profundidades mayores a 2 m el intervalo de muestreo debe definirse justificadamente.
5. El muestreo superficial se debe realizar con una cuchara o espátula de acero inoxidable o plástico o un equipo equivalente.
6. Las muestras son, por regla general, muestras simples.
7. En caso de estar permitido, en el muestreo cada muestra compuesta debe estar constituida por cinco muestras simples tomadas en tresbolillo y distribuidas uniformemente.
8. Salvo en caso de considerarse importantes para el caso en estudio, los restos de plantas presentes en el sitio se deben retirar antes del muestreo
9. Las piedras con diámetro mayor a 2 cm. deben ser retiradas.
10. Se deben tomar fotografías del sitio en las cuales se muestren y señalen los puntos de muestreo.

### 3.1.5 Aseguramiento y control de calidad

Para el aseguramiento y control de calidad del muestreo se deben incluir:

- Blancos de viaje,
- Blancos de campo,
- Duplicados de campo,
- Blancos de equipo,
- Adicionados de campo (cuando aplica), y
- Muestras de fondo (cuando aplica).

### 3.1.6 Selección del muestreador apropiado

Para la obtención de muestras pueden utilizarse diferentes muestreadores como: cucharones, perforadores manuales, muestreadores de percusión o muestreadores de grano o tubo partido, palas rectas y curvas, picos, barrenas y barretas, nucleadores, espátulas, entre otros. La selección del muestreador apropiado debe estar en función de la profundidad a la que se colectaran las muestras y el volumen a muestrear.

**Nota:** Se debe evitar el uso de equipo oxidado, sucio o recubierto con cromo, zinc u otro material que genere oxidación  
Se recomienda usar utensilios de plástico, teflón o acero inoxidable.

### 3.1.7 Transporte y almacenamiento de muestras

El material empleado en el transporte y almacenamiento de las muestras debe ser compatible con el material a muestrear, debe ser resistente a la ruptura y evitar reacciones químicas con la muestra. Con la finalidad de minimizar el espacio vacío, el volumen del contenedor debe ser aproximadamente el mismo que el de la muestra.

**TABLA 10. CONTENEDORES PARA TRANSPORTE DE MUESTRAS.**

Contenedor	Parametro
Frasco de vidrio	Compuestos semivolátiles, plaguicidas y metales
Viales de vidrio	Compuestos volátiles
Polietileno	Conductividad, parámetros físico-químicos

### **3.1.8 Conservación de muestras**

Para lograr una adecuada conservación de las muestras de suelo, los recipientes que las contienen deben sellarse y etiquetarse adecuadamente. Preferiblemente, deben refrigerarse o mantenerse en lugares frescos y oscuros. Es recomendable evitar en lo posible el uso de agentes químicos.

### **3.1.9 Precauciones durante el muestreo**

En el muestreo de suelos contaminados se deben tomar todas las precauciones posibles. La selección del equipo de protección y de las medidas de seguridad puede basarse en los antecedentes sobre el suelo contaminado. El equipo y los trajes empleados deben asegurar la protección contra riesgos de origen químico, biológico y físico que puedan presentarse durante el muestreo. En todos los casos, la persona que recolecta una muestra debe estar conciente de que el material a muestrear puede representar un riesgo y que en algunos casos tal material puede liberar gases tóxicos. El equipo mínimo de seguridad es: guantes, casco, botas, cubre boca, lentes o mascarilla, cubre botas, overol o camisa y pantalón de tela de tyvek o algodón, botiquín de primeros auxilios.

### **3.1.10 Tipo de muestra**

Las muestras pueden ser: (1.) Homogéneas, (2.) Heterogéneas, (3.) Simples o (4.) Compuestas

### **3.1.11 Tratamiento de muestras de metales pesados.**

Para su análisis, las muestras de suelo requieren un tratamiento previo. Como primer paso necesitan secarse. Para ello se extienden sobre papel de filtro o similar, en lugares o equipos cálidos, secos y aireados. Debe evitarse una excesiva corriente de aire que pueda levantar polvo y mezclar las muestras. Con el fin de obtener las fracciones a emplearse en las determinaciones, una vez secas, se suele proceder a su cuarteo para lo cual, se utilizan cuarteadores específicamente diseñados para esta función o el método manual. El método manual se basa en homogeneizar la muestra mediante la elaboración de un "pastel" y su posterior división en cuatro cuartos. Se toman los cuartos opuestos por el vértice para una fracción y los otros dos para otra. Este procedimiento se repite sucesivamente hasta obtener el número de muestras que se requieran. Durante este proceso es conveniente deshacer los grumos de muestra apelmazados por la materia orgánica, para lo cual suele ser muy útil un rodillo de amasar.

## **3.2 MUESTREO DE SUELOS CON HIDROCARBUROS**

Para la caracterización del sitio se debe recabar información que sirva como base para conocer la dimensión de la afectación.

### 3.2.1 Descripción del sitio y de la afectación.

La zona de afectación se debe localizar con coordenadas geográficas en un plano a escala que permita su ubicación a nivel regional y en un plano local (con coordenadas UTM). También debe indicarse el uso actual del suelo, la topografía del mismo y determinar las características mínimas del sitio que permitan evaluar la distribución del contaminante.

Cuando se trate de un derrame o fuga reciente se debe indicar la cantidad y tipo de contaminantes derramados.

### 3.2.2 Estrategia de muestreo.

#### 3.2.2.1 Muestreo orientación.

Este tipo de muestreo puede realizarse a través de un patrón de distribución homogéneo o dirigido. En el caso de derrames o fugas recientes, cuando el contaminante sea visible en superficie, se podrá realizar un muestreo dirigido para conocer la distribución tridimensional de la zona afectada.

Una vez delimitada el área de afectación a través de un muestreo dirigido, se deben tomar como mínimo el número de puntos de muestreo establecido en la siguiente tabla.

**TABLA 11. PUNTOS DE MUESTREO DE ACUERDO AL ÁREA CONTAMINADA**

Área contaminada (ha)	Puntos de muestreo
0.1	2
0.2	9
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1.0	20
2.0	25
3.0	27
4.0	30
5.0	33
10.0	38
15.0	40
20.0	45

30.0	50
40.0	53
50.0	55
100.0	60

Fuente: Proyecto de modificación a la NOM-138-SERMARNAT/SS-2003.

Nota: El número mínimo de muestras para predios de mayores dimensiones debe ser extrapolado a partir de los valores de esta tabla.

### 3.2.2.2 Muestreo a detalle.

Se puede realizar un muestreo adicional a mayor detalle cuando el muestreo dirigido no permita delimitar el área y el volumen afectados, ni se pueda determinar con suficiente certidumbre los contaminantes y su concentración, o bien cuando la contaminación no es visible y/o homogénea y/o reciente. Este tipo de muestreo es realizado conforme a los métodos matemáticos establecidos cuya función es dar certidumbre, a través de observaciones determinadas. El muestreo a detalle puede ser dirigido o por asignación, en cualquier caso la elección debe fundamentarse.

**Nota:** La selección de los puntos de muestreo debe abarcar, vertical y horizontalmente, la distribución del contaminante en el suelo y se debe tomar en cuenta la topografía y la dirección del flujo del manto freático. Además en este tipo de muestreo no se deberán tomar muestras en los puntos utilizados en el muestreo dirigido.

### 3.2.3 Procedimiento

- El material a utilizarse durante el muestreo se debe limpiar para asegurar la limpieza de contaminantes. Para su transporte éste debe guardarse en bolsas de plástico.
- Las muestras a tomar en un suelo contaminado siempre serán simples.
- Las muestras deben colectarse en viales de plástico y de acero para su caracterización física y química en laboratorio, utilizando papel aluminio en los extremos con sus debidas tapas.
- Después de cada toma de muestra, los utensilios empleados (barrena, palas, navaja, espátula) deben limpiarse con solvente adecuado o agua.
- La profundidad de la toma de muestras queda a juicio del experto considerando las características del hidrocarburo en cuestión y la permeabilidad del suelo.
- Las muestras deben conservarse a 4°C durante su transporte al laboratorio.
- Se debe evitar el uso de fluidos de perforación y la utilización de equipo que permita la pérdida de hidrocarburos volátiles y contaminación cruzada. Así mismo deben evitarse prácticas que contribuyan a la evaporación de compuestos volátiles.
- Durante la perforación para la obtención de muestras no se deben afectar los acuíferos (productores de agua potable).

### 3.2.4 Control de calidad

Como control de calidad, se tomará y analizará una muestra duplicada por cada diez muestras tomadas. En el caso en que se sospeche la presencia de hidrocarburos ajenos al problema de contaminación que se este evaluando, se deben tomar muestras que sirvan para establecer niveles de fondo. Cuando se pueda recuperar una muestra del producto contaminante en fase libre, debe entregarse al laboratorio junto con las muestras de suelo para calibrar el equipo de análisis.

#### 3.2.4.1 Recipientes y preservación de la muestra.

Los recipientes utilizados en la preservación de la muestra deben ser nuevos o estar libres de contaminantes. Para seleccionar el recipiente apropiado deberán observarse las especificaciones de la siguiente tabla.

**TABLA 12. RECIPIENTES PARA LA MUESTRA, TEMPERATURA DE PRESERVACIÓN Y TIEMPO MÁXIMO DE CONSERVACIÓN**

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de conservación
Hidrocarburos Fracción Ligera	Cartucho con contratapa o sello de PTFE que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis.	4°C	14 días
BTEX		4°C	14 días
		4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción Media	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de PTFE o cartucho con sello que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis.	4°C	14 días
Hidrocarburos Fracción Pesada		4°C	14 días
HAP		4°C	14 días

\* Suministro original del fabricante del equipo de muestreo si se emplea nucleador  
Fuente: Proyecto de modificación a la NOM-138-SERMARNAT/SS-2003.

#### 3.2.4.2 Etiquetado y sellado

Cada muestra debe ser sellada y etiquetada inmediatamente después de ser tomada y debe ser entregada para su análisis a un laboratorio de pruebas lo antes posible de acuerdo al formato señalado en el anexo A. Todos los sellos deben contar con el número o clave única de la muestra.

#### 3.2.4.3 Preparación de la muestra

Con el fin de evitar la pérdida de hidrocarburos de las muestras de suelo, éstos deben determinarse inmediatamente después de realizada la extracción, reduciéndose así la manipulación de la muestra y el tiempo transcurrido entre la extracción y el propio análisis.

**TABLA 13. HIDROCARBUROS QUE DEBERÁN ANALIZARSE EN FUNCIÓN DEL PRODUCTO CONTAMINANTE**

Producto contaminante	Hidrocarburos					
	Fracc. pesada	Haps	Fracc. media	Haps	Fracc. ligera	btex
Mezclas	x	x	x	x	x	x
Petróleo crudo	x	x	x	x	x	x
Combustóleo	x	x				
Parafinas	x	x				
Aceites	x	x				
Gasóleo			x	x		
Diesel			x	x		
Turbosina			x	x		
Keroseno			x	x		
Creosota			x	x		
Gasavión					x	x
Gasolvente					x	x
Gasolina					x	x
Gasnafta					x	x

\*hidrocarburos de fracción ligera (cadena lineal de C05-C10)

\*hidrocarburos de fracción media (cadena lineal de C10-C18)

\*hidrocarburos de fracción pesada (peso molecular > C18)

### 3.3 MUESTREO DE SUELOS CON COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES

Un tipo de sustancias contaminantes de importancia creciente en las últimas décadas son los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) los cuales se definen como: compuestos orgánicos distintos del metano de naturaleza antropogénica capaces de producir oxidantes fotoquímicos en presencia de luz solar por reacción con óxidos de nitrógeno. Estos compuestos incluyen miles de especies químicas muchas de ellas tóxicas para la salud o bien precursoras de oxidantes fotoquímicos como el ozono (O<sub>3</sub>).

Las principales fuentes de COVs están relacionadas directa o indirectamente con el petróleo y sus derivados, por ejemplo: vapores de automóviles por combustión incompleta (aromáticos, olefinas y parafinas), industrias de pinturas, tintas, lacas y esmaltes (alcanos y ciclo alcanos), vapores de gasolinas emitidos desde los tanques de almacenamiento, disolventes empleados en pinturas y operaciones de desengrasado y limpieza (hexano, ciclohexano y aromáticos derivados del tolueno y xileno), adhesivos, aerosoles e industrias de plásticos (compuestos clorados). Entre los COV's se pueden diferenciar dos grupos:

aquellos más ligeros que el agua ( $\rho < 1$ ) y aquellos más pesados que el agua con una densidad mayor a la del agua ( $\rho > 1$ ). Entre estos últimos son de distinguirse aquellos con solubilidades y presiones de vapor altas y además tienen viscosidades bajas (Hidrocarburos Halogenados).

Estas propiedades químicas determinan en alto grado la movilidad del contaminante y el punto y profundidad de muestreo donde sea más probable encontrarlos.

Debido a que el equilibrio químico entre las concentraciones de la fase sólida, líquida y gaseosa del suelo puede ser perturbado por cambios de presión y temperatura, la premisa fundamental para mediciones reproducibles y cuantitativas de compuestos orgánicos volátiles es que el objeto de medición sea lo menos perturbado posible.

Es muy importante que al planear y antes realizar un muestreo se tome en consideración las siguientes preguntas:

- ¿Se cuenta con un modelo conceptual del sitio que considere este tipo de contaminantes?
- ¿La localización y profundidades de los puntos de muestreo permitirán responder las preguntas relativas a los riesgos por exposición a los vapores del suelo?
- ¿La localización y profundidades de muestreo proveerán de una explicación plausible acerca de la migración (velocidad, atenuación y cantidades) desde la fuente de contaminantes hasta espacios cerrados y semicerrados y que pueda servir de base para validar una simulación de la misma o efectuar una evaluación de riesgos?

Además de lo anterior son de considerarse en la planeación y ejecución de un muestreo:

- El tipo de fuente de contaminante: si son volátiles o semivolátiles, si se trata de compuestos más o menos densos que el agua,
- El tipo de matriz en la que se encuentran alojados (en el suelo, en el agua subterránea o en ambos), y
- La heterogeneidad del perfil geológico del sitio y las características de cada estrato en el sitio.

Si se consideran estas preguntas podrá planearse un muestreo que nos permita ver la distribución espacial de contaminantes volátiles. En orden de definir una distribución vertical de los contaminantes volátiles es de considerarse el muestreo a distintas profundidades en distintos puntos con la representatividad suficiente como para proveer al responsable de una imagen consistente de la situación en el sitio. Por lo menos son de considerarse siempre tres profundidades para la elaboración de un perfil vertical y es de tomarse una muestra en el suelo por encima de la mancha principal de contaminación para conocer las mayores concentraciones posibles de vapores.

Actualmente solo es recomendable la toma de muestras con dispositivos permanentes o dispositivos móviles para la toma directa de vapores de contaminantes en el suelo en los puntos de muestreo. La adecuación de la toma de muestras con estos equipos es de verificarse en cada caso, así mismo debe de fundamentarse su aplicación frente a otras técnicas.

No es recomendable la toma de muestras de suelos por perforación, trasvase y su posterior análisis en laboratorio para evaluar los compuestos volátiles o semivolátiles en el suelo debido a las pérdidas y subestimaciones a las que estas últimas conducen.

Esto es aun más importante y valido si se pretende realizar una evaluación de riesgos del sitio.

La toma de muestras de suelo para medir compuestos volátiles es solo permisible y aceptable si no existe un transvase del material muestreado y su transporte al laboratorio se realiza en viales sellados y de manera expedita.

La determinación de contaminantes volátiles o semivolátiles puede realizarse de manera activa o pasiva. Los métodos de muestreo están limitados por las propiedades fisicoquímicas de los compuestos a muestrear.

La presión de vapor y la constante de la ley de Henry son buenos indicadores de la capacidad de un método de muestreo para detectar a un componente específico. Para que un método de muestreo activo pueda considerarse efectivo al detectar contaminantes y aplicarse los contaminantes o compuestos a muestrear deben de mostrar: una presión de vapor superior a los 0.5 mm Hg y si el contaminante esta disuelto por ejemplo en el agua subterránea la constante de la Ley de Henry debe ser mayor a 0.1. Las propiedades del suelo (humedad, textura, porcentaje de arcilla) y la época del año durante la cual se toman las muestras también afectan la efectividad de los métodos activos o pasivos de muestreo.

El método activo de muestreo es el método que usualmente se aplica en sitios en donde se encuentran principalmente COV's. Estos métodos permiten la rápida toma de muestras y la rápida detección de COV's a profundidades especificas. Usualmente es bombeado el gas o vapor del suelo que se encuentra a determinada profundidad en un pozo de muestreo instalado expresamente para este fin a un recipiente sellado que puede ser analizado en campo o conservado para su análisis en laboratorio.

**Nota:** Debe considerarse que el suelo contempla tres fases: sólida, líquida y gaseosa. Las muestras del gas del suelo solo contemplan una de las tres fases, esto es el gas contenido en el espacio poroso. El muestreo de gases del suelo, puede servir para:

- la evaluación de riesgo ambiental por intrusión de gases,
- la delimitación de contornos de plumas contaminantes (aunque pueden presentarse errores) y
- la ubicación de "hot spots" siempre que el suelo tenga las propiedades de permeabilidad adecuadas.

Existen cuatro tipos genéricos de contenedores para el muestreo de gases o vapores de suelos: recipientes o viales de acero, ampollas de vidrio, bolsas de plástico ( Tedlar® ) y jeringas. Cada uno de estos tipos presenta ventajas y desventajas que deberán ser consideradas y referidas en el estudio. La elección de un tipo específico para el muestreo debe de fundamentarse.

### MUESTREO ACTIVO DE VAPORES DEL SUELO

Ventajas	Desventajas
Las muestras pueden ser analizadas en el sitio	No es efectivo para identificar Compuestos Orgánicos Semivolátiles o con baja volatilidad
Se puede tomar un número considerable de muestras por jornada de trabajo	Se deben se aplicar muchas medidas de control de calidad durante el muestreo y para el análisis.

Pueden delimitarse plumas de contaminación	No se le puede realizar con buena calidad cuando se realiza en sitios con baja permeabilidad o áreas saturadas.
	La identificación del tipo de contaminantes depende del tipo de equipo analítico utilizado

Los métodos pasivos de muestreo utilizan la colocación de viales para la toma de muestra que permanecen en los puntos de muestreo por días o semanas con el fin de permitir la adsorción de los gases en el material sorbente del vial. En estos casos se utiliza la convección natural de los gases en la toma de la muestra.

### 3.3.1 Indicaciones indispensables para el control de calidad del muestreo

1. Debe verificarse tres aspectos que influyen en la toma de muestras antes del inicio del muestreo: (a.) la permeabilidad del suelo a vapores o gases (una estimación puede ser calculada a partir de comparar el flujo de gases contra la presión negativa aplicada), (b.) la tasa de purgado y bombeo debe optimizarse según el o los tipos de suelos que se encuentren en el sitio y (c.) comprobar la no existencia de "cortocircuitos" entre los puntos de muestreo y la superficie del terreno, lo cual se identifica cuando se detectan niveles de oxígeno altos o los niveles de contaminantes descienden muy rápido al purgar.
2. La toma de muestras debe hacerse después de que haya transcurrido un buen tiempo desde la perforación del punto de muestreo hasta la toma de muestra, ya que se debe esperar a que las perturbaciones provocadas por el proceso de perforación disminuyan.
3. Hasta el momento del muestreo debe evitarse un intercambio de gases con el aire atmosférico. Por este motivo, el punto de muestreo debe de ser sellado o cerrado después de la perforación y su purga hasta el momento del muestreo.
4. Durante la toma de muestras, el espacio de muestreo, debe de ser perturbado en lo mínimo posible por corrientes de gases. Por ello solo deben ser tomadas pequeñas cantidades de muestras en el punto más profundo de la perforación de muestreo.
5. Durante la toma de muestras no deben ocurrir disminuciones de presión que conduzcan a una perturbación de la perforación de muestreo. Por ello la velocidad del muestreo debe limitarse.
6. Las corrientes o arrastre de aire deben evitarse. Por ello debe de ser tomada una cantidad mínima de muestra en el punto más profundo de la perforación de muestreo, de tal manera que la inducción de aire atmosférico debida al muestreo no alcancé a la muestra.
7. Los "volúmenes muertos" presentes deben ser eliminados eventualmente del equipo de muestreo. Un volumen muerto mínimo se obtiene, cuando las hipodérmicas de vidrio, bolsas de muestreo, las botellas de vidrio o tubillos de absorción son colocados y ordenados a la cabeza de la sonda de muestreo.
8. Todas las muestras deben ser tomadas con el mismo procedimiento.

9. El muestreo debe de ser realizado en un periodo de tiempo corto para evitar variaciones en la concentración de los contaminantes, debidas a cambios de presión atmosférica, humedad o temperatura.
10. Antes del inicio de la toma de muestras debe asegurarse que todo el equipo e instalación están sellados correctamente en especial en los puntos donde hay conexiones.
11. El pozo de muestreo debe estar sellado correctamente en específico el espacio anular entre el ademe y el tubo de muestreo debe estar sellado con pasta de bentonita o equivalente que garantice que no se introduzca al punto de muestreo aire atmosférico.
12. Los contenedores de las muestras deben de ser probados al sellado hermético antes de su utilización en el muestreo.
13. La toma de muestra de vapores de suelos están referidas única y exclusivamente al periodo y estación del año en la cual se toman. La cantidad de gases en suelos varia conforme avanzan las distintas épocas del año.

**Nota:** En latitudes y climas como las de nuestro país, se dan principalmente dos épocas: estación de lluvias (mayo – septiembre) y estación de estío (octubre – abril).  
Los muestreos de vapores del suelo en la estación de lluvias representara la época del año en que menor generación o presencia de gases se da en el suelo debido a la saturación de los poros del suelo con agua.

### 3.3.2 Construcción de los puntos de muestreo

Las condiciones en la construcción de un punto de muestreo son:

- Durante la perforación de un punto de muestreo no debe aplicarse ningún enjuague dentro del mismo.
- Las cuerdas de las brocas de los tubos de perforación no deben aceitarse o engrasarse.
- Solo se deben utilizar equipos de perforación limpios. Antes de cada nueva perforación debe limpiarse el equipo de perforación completa y minuciosamente ya sea mecánicamente o con agua. Compuestos tensoactivos o solventes deben evitarse completamente durante la limpieza del equipo.
- El equipo o herramienta de perforación debe sacarse inmediatamente después de realizada la perforación.
- En el espacio de la perforación, el intercambio de gases con el aire del medio ambiente por difusión o convección o con el aire inmediatamente arriba de la perforación debe evitarse utilizándose una cubierta adecuada.
- Cuando el material de caída de las paredes de la perforación sobrepasen el 10 % del volumen de la perforación debe trabajarse con tubería de cubierta (cassing). Para estos casos deben utilizarse tubos con una relación diámetro de tubo: largo de tubo, mayor a 1.
- La profundidad real de muestreo para la toma de gases de suelo debe ser, por lo menos, de 1.50 m, ya que la profundidad de muestreo varía debido al material de caída de las paredes de perforación,

se recomienda que durante muestreos de subsuelos críticos, la perforación se ejecute hasta una profundidad de 1.60 m.

- El diámetro de perforación debe ser entre min. 2.54 cm (1 pulgada) y 5.08 cm (2 pulgadas). Para estos diámetros de perforación se pueden desprestigiar corrientes de gases convectivas dentro del punto de muestreo.
- Para perforaciones de mayores profundidades se requiere, bajo ciertas circunstancias, un equipo de perforación con mayor diámetro. La relación de profundidad de perforación con respecto al diámetro de perforación no debe ser menor a 40. Por ejemplo, para una profundidad de 10 m, aplicando una relación de 40 resulta un diámetro no mayor a 0.25 m, es decir, el diámetro de perforación no debe ser mayor a 24.892 cm (10 pulgadas).

$$\text{Relación} = \frac{\text{Profundidad de la perforación}}{\text{Diámetro de perforación}}$$

- En el caso de una perforación profunda, para medir el perfil de contaminantes a lo largo de la columna de perforación, la correspondiente toma de muestras debe ejecutarse de manera escalonada. Durante este proceso se debe muestrear en el punto más profundo del escalón perforado, incluso en los casos en los que la distancia entre escalones sea pequeña.
- Los tipos de materiales que sean reconocibles a simple vista durante la perforación o el coloreo de materiales del subsuelo explorado, así como los resultados del análisis de campo en el sitio de muestreo, deben registrarse.

### 3.3.3 Toma de muestras.

- La litología del sitio donde se realice el muestreo debe de ser descrito correctamente y ser considerada al momento de elegir los puntos y profundidades de muestreo.
- En la elección de la profundidad a la cual se tomarán las muestras se deben considerar el minimizar los efectos de los cambios barométricos de presión, de los cambios de temperatura o de cortocircuitos con la superficie del terreno.
- Es de atenderse que la toma de muestras deberá preferentemente realizarse cerca de los límites litológicos de los estratos presentes en el sitio o con base en lecturas de equipos de campo donde se encuentre el máximo de contaminantes ya sea en la base o techo de un estrato según el tipo de contaminante que se trate.
- Los multipiezómetros para la toma de muestras son adecuados cuando se encuentran en el sitio altas concentraciones de vapores, estructuras subterráneas, aguas contaminadas y cambios significativos en los estratos litológicos.
- Se recomienda en caso de existir estructuras y construcciones tomar muestras debajo de dichas estructuras.

- Después de retirarse el equipo y herramienta de perforación debe mantenerse un tiempo mínimo de espera de no menos de 1,5 horas hasta la toma de muestras de gases de suelos. En algunos casos el tiempo de reposo debe de ser mayor.
- La sonda de muestreo; debe tener un diámetro no mayor al 70 % del diámetro de la perforación.
- La sonda de muestreo debe introducirse lentamente y en el menor tiempo posible en la perforación.
- El volumen de muestreo debe orientarse según el rango de determinación analítica. Este volumen no debe superar el 20% del espacio circular en el punto más profundo de la perforación,
- La muestra de gases de suelos debe ser retirada con un flujo o velocidad no superior a 100 ml/min. De ello se desprende una necesidad de tiempo, para un volumen de muestra de 0,5 Litros, de 5 minutos.
- Antes de la toma de muestras debe ser intercambiado completamente el volumen muerto con gases de suelos.
- Muestras de gases de suelos no debe ejecutarse a temperaturas menores a 5°C.
- Los planos de iso-concentración de gases del suelo debe de ser elaborados con la misma escala y especificaciones que los planos topográficos del sitio.
- Los resultados de las mediciones deben ser presentados en µg/Litro.

**Nota:** Si se toma una muestra por medio de tubo shelby (media cuchara) no deberá abrirse el tubo con la muestra y no deberá transferirse la muestra del suelo a un frasco o vial si no transferir integro el vial (o la parte inferior) para su análisis. La toma de muestra de suelo con COV's del tubo shelby en un frasco representa una pérdida considerable de los mismos y no es adecuado ni aceptable.

### 3.3.4 Control de calidad

- Se deben tomar blancos de campo y dobles de campo.
- La regla general para la toma de "blancos de campo" es la siguiente: un blanco de campo por cada 10 muestras. Si durante un día de trabajo se toman menos de 10 muestras, no habrá "blanco de campo" para ese día. En este caso, por lo menos debe tomarse un blanco de campo por jornada de trabajo.
- Los blancos de campo deben transportarse, almacenarse y analizarse de igual manera que las muestras tomadas.
- Adicionalmente deben tomarse muestras de aire atmosférico o del aire del sitio cerrado donde se está muestreando las cuales deben transportarse y analizarse junto con las muestras tomadas.
- Se debe comprobar de manera regular la función correcta de los equipos de muestreo.
- El sellado contra fugas de las sondas de muestreo deben probarse por lo menos una vez por día de trabajo.
- La tasa de flujo de bombas de extracción debe probarse por lo menos una vez por día de trabajo.

**Nota:** El blanco de campo sirve para verificar si durante la toma y transferencia de muestras no sucedieron eventos de contaminación ajenos a la fuente evaluada. El doble de campo sirve para evaluar el error de muestreo debido a la variación espacial de concentración de contaminantes en el punto de muestreo.

### 3.3.5 Métodos de muestreo

#### 3.3.5.1 *Transferencia en ampollas de vidrio o bolsas de material plástico*

- Las muestras de gases de suelos pueden tomarse con una hipodérmica de 10 ml de volumen (o un volumen adecuado) en el punto más profundo de la perforación o equipo de bombeo equivalente.
- Posteriormente, la muestra debe ser transferida por inyección cuidadosamente en el contenedor, bolsa o botella de muestreo, en el cual debe almacenarse durante el transporte y en el laboratorio hasta su análisis.
- Los mejores resultados son alcanzados cuando se trasfiere el volumen de la muestra de la hipodérmica a un vial de vidrio o bolsa de material plástico (que no adsorba el compuesto orgánico) sellado con un mínimo de 2 ml de volumen y que esta previamente evacuado.
- Para la transferencia de la muestra de gases de suelos se utiliza una cánula de hipodérmica de 20 cm de largo. El aire aun contenido dentro del contenedor será desplazado por los gases de suelos a través de una inyección lenta de la hipodérmica. Para ello deben inyectarse por lo menos 5 ml de la muestra.
- Con el volumen sobrante de la muestra de gases en la hipodérmica o equipo de bombeo (5 ml) un segundo contenedor debe ser llenado y sellado. Esta muestra se utiliza como muestra paralela o como muestra testigo.
- La hipodérmica o equipo de bombeo debe enjuagarse por lo menos 5 veces con aire no contaminado antes de su reutilización.

**Nota:** Cuando se presente agua en la hipodérmica, ésta junto con la sonda deben desarmarse y secarse antes de volverse a usar.

#### 3.3.5.2 *Transferencia en tubos con carbón activado como material absorbente*

Un volumen determinado de la fase gaseosa debe tomarse en el punto más profundo de la perforación succionándose a través de un tubo de adsorción. Los tubillos de carbón activado deben: ser preferentemente de vidrio, tener un diámetro de 4 a 6 mm, tener una longitud de 60-150 mm y contener entre 100 y 750 mg de carbón activado o equivalentes, para una cantidad de muestra de hasta 1000 ml y concentraciones de contaminantes de hasta 2 g/m<sup>3</sup>.

**Nota:** Si se encuentran altas concentraciones de contaminantes o altas concentraciones de cloruro de vinilo se recomienda utilizar dos tubillos conectados, uno después de otro, para alcanzar un resultado cuantitativo correcto aún cuando la capacidad de carga del primero haya sido alcanzada.

Cuando los tubillos de carbón activado son nuevos, inmediatamente antes de la toma de muestra, se abren los tubillos y se colocan en la sonda de muestreo previamente limpia para introducirse en el punto de muestreo.

Durante el muestreo debe tomarse, en la medida posible, una cantidad precisa de gases de suelos y succionarse a través del tubillo de carbón activado. Después del muestreo se espera una compensación de la presión, entonces se extrae la sonda de la perforación retirando el material de suelo que se haya adherido a las paredes del tubo. Enseguida se coloca el tubillo de adsorción dentro del contenedor sellable contra fuga de gases o en un tubo de protección con tapa enroscable y sellable o con tapa pulida cónica.

Este contenedor se coloca en una caja de enfriamiento para evitar cambios bruscos de temperatura y en oscuridad, las muestras se almacenan de esta manera hasta su análisis. A través de la preparación de muestras vacías de contaminantes se controla la influencia del transporte y el almacenamiento.

Es de mencionarse que actualmente existen otro tipo de materiales absorbentes que pueden ser utilizados para una evaluación a más largo plazo.

### 3.3.6 Manejo y almacenamiento

- Hasta su entrega al laboratorio de análisis, las muestras deben permanecer selladas a una temperatura de  $< 5^{\circ}\text{C}$  si se almacenan hasta por 3 días. Para ser almacenadas más días, deben mantenerse a una temperatura menor a  $-10^{\circ}\text{C}$ .
- Antes de sacar y analizar las muestras debe esperarse hasta que se haya establecido la temperatura del medio ambiente sin abrir los contenedores de los tubillos. Las muestras deben ser analizadas en el laboratorio a la brevedad posible a través de extracción, elusión o desorción.
- Los viales de vidrio sellados deben transportarse al laboratorio en un contenedor que prevenga la incidencia de algún tipo de luz en las muestras y/o su ruptura.
- Hasta el momento de su análisis las muestras deben conservarse a temperatura ambiente en oscuridad para evitar condensación en las paredes del vial.
- Las muestras de gases de suelos deben de ser analizadas dentro de un periodo menor a 14 días.
- Si se utilizan otros tipos de contenedores de muestra de gases de suelos, debe elaborarse y establecerse un protocolo de procedimiento y debe comprobarse que se alcanzan resultados sin errores y sin pérdidas.

## 3.4 MUESTREO DE AGUAS

Dado que el objetivo de la recolección de muestras es obtener una medida representativa y confiable de la calidad de agua, deben considerarse: los tipos de muestras, dónde, cuándo y cómo deben ser recolectadas, el equipo e instalaciones de laboratorio requeridos para la ejecución del programa de estudio y cómo van a ser procesados y analizados los datos. Al tomar la muestra también se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El tipo o tipos de análisis que se le practicará.
- Si la muestra es simple o compuesta.
- Lugar de la toma de muestra. En el caso de aguas superficiales, conviene tomar las muestras en puntos de turbulencia natural y al centro de la corriente. En el caso de pozos, se debe dejar fluir el líquido durante 10 minutos antes de la toma de muestra.
- Nunca introducir las manos en forma directa sin guantes al tomar la muestra.
- Cuando se trate de pozos es necesario evitar que el flujo sea turbulento para que no cause problemas por disolución de gases.
- En ríos se debe colocar el recipiente de muestreo con la boca orientada en la dirección opuesta de la corriente.

Específicamente en muestras para análisis biológicos;

- Los envases se destapan cuando se encuentran sumergidos totalmente en el agua y se tapan también estando sumergidos.
- Para el caso de pozos se recomienda no provocar turbulencias y llenar los recipientes dejando deslizar por la pared el líquido sin destapar totalmente el envase, solo lo necesario para llenarlo.

### 3.4.1 Tipos de muestra

#### 3.4.1.1 Muestras simples.

La muestra simple, permite conocer la concentración de los constituyentes del agua en el lugar y hora en que se toma la muestra. Una muestra colectada en un tiempo y espacio en particular representa la composición de la fuente en ese momento y lugar.

Sin embargo, cuando se sabe que la emisión de los contaminantes hacia el cuerpo de agua es relativamente constante entonces la muestra puede considerarse representativa de un largo periodo de tiempo y de un volumen. En tales circunstancias la fuente puede ser representada adecuadamente por muestras simples.

#### 3.4.1.2 Muestras compuestas.

Una muestra compuesta, es el resultado de la mezcla de los volúmenes de varias muestras simples de igual volumen recolectadas en diferentes sitios sobre la sección transversal y/o distintas profundidades. También se obtienen muestras compuestas, según la relación del volumen de flujo, a la hora de tomar las muestras individuales, con el flujo total acumulado.

En la mayoría de los casos, la expresión “muestras compuestas” se refiere a la combinación de muestras simples colectadas en el mismo sitio de muestreo en diferentes tiempos, este tipo de muestras se usa frecuentemente para observar concentraciones promedio. Las muestras compuestas por tiempo son las más útiles para determinar las concentraciones medias que se han de utilizar.

Las muestras compuestas representan un ahorro sustancial de trabajo y gasto de laboratorio. Con este objeto, se considera como estándar para la mayoría de los análisis una muestra compuesta que represente un periodo de 24 horas. Sin embargo, en determinadas circunstancias puede resultar favorable una muestra compuesta que represente una desviación, un periodo más corto o el ciclo completo de una operación periódica. Para valorar los efectos de descarga y operaciones especiales, variables o irregulares, han de recogerse muestras compuestas que representen los periodos en los que tienen lugar dichas circunstancias (Tabla 1).

Las muestras compuestas se utilizan solo para determinar componentes que se mantienen sin cambio bajo las condiciones de muestreo, preservación y almacenaje, condición que además debe poder ser demostrada. Para componentes sujetos a un significativo e inevitable cambio durante su almacenamiento, no se usan muestras compuestas.

Si se utilizan preservativos al usar muestras compuestas, adicionarlos a la botella de muestra inicial para que todas las porciones de la muestra compuesta estén preservadas lo más pronto posible. Cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma. El volumen de la muestra final de 2 a 3 L es suficiente para su análisis.

**TABLA 14. FRECUENCIA DE MUESTREO PARA MUESTRAS COMPUESTAS**

Frecuencia de muestreo			
Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Número de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples (horas)	
		Mínimo N.E.	Máximo N.E.
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

N.E.= No especificado.

### 3.4.1.3 Muestras integradas.

En algunos casos, la información necesaria se obtiene mejor analizando mezclas de muestras individuales colectadas de diferentes puntos simultáneamente o con la menor separación temporal que sea posible. La preparación de muestras integradas suele precisar un equipo especial para hacer la toma a una profundidad conocida sin que ésta se mezcle con el agua de capas más superficiales. Suele ser necesario conocer el

volumen, el movimiento y la composición de las distintas partes del agua a estudiar. Por tanto, la toma de muestras integradas es un proceso especializado complejo que no puede describirse con detalle.

La siguiente tabla muestra la relación entre tipo de muestra y objetivo de su recolección.

**TABLA 15. TIPO DE MUESTRA Y OBJETIVO**

Tipo de muestra	Objetivo
Muestra simple tomada antes y después de cada tratamiento	Conocer la eficiencia de los tratamientos y las características generales del agua.
Muestra simple y muestras promedio o compuestas por volumen	Definir la calidad del agua en corrientes
Muestras simples o promedio y muestras compuestas, según su masa contaminante	Determinar la calidad de aguas residuales, municipales y/o industriales
Muestras compuestas según su volumen, además medición de pH u otro parámetro significativo.	Diseño de tratamiento de aguas.

\* En todos los casos debe medirse el caudal o gasto.

### 3.4.2 Número de muestras

Tomando en cuenta las variaciones aleatorias, tanto en los procedimientos analíticos como de la distribución de los componentes del material objeto del muestreo, es frecuente que una sola muestra pueda resultar insuficiente para tener resultados que sean representativos del material muestreado.

Cuando se conoce la desviación estándar global del proceso analítico, el número de muestras necesarias puede evaluarse mediante la siguiente relación:

$$N = \left[ \frac{T \times S}{U} \right]$$

Donde:

N = Número mínimo de muestras

T = T de la distribución Student para un nivel de confianza determinado

S = desviación estándar global

U = Nivel de confianza aceptable.

**Nota:** El número de muestras a tomar y el procedimiento deberán estar acordes con la Normatividad vigente en la materia pero también con la finalidad del estudio.

### 3.4.3 Métodos de toma de muestras

#### 3.4.3.1 Tipos de muestreos

**Muestreo manual:** Este tipo de muestreo implica mínimo de equipo. Este muestreo puede ser costoso en tiempo y dinero para programas de toma rutinaria de muestras o a gran escala.

**Muestreo automático:** Este tipo de muestreo puede eliminar errores humanos durante la manipulación, reduce los costos laborales y proporciona la posibilidad de hacer tomas con mayor frecuencia.

#### 3.4.3.2 Contenedores y conservación de muestras

Para determinar componentes o características sujetas a cambios importantes e inevitables durante la conservación, no deben utilizarse muestras compuestas. Los análisis de este tipo deben hacerse en muestras individuales y lo más rápidamente posible después de su colecta, con preferencia en el sitio de muestreo. La conservación de las muestras tiene por objeto retardar los cambios químicos y biológicos que puedan ocurrir. Para tener una idea general sobre la técnica requerida para conservar las muestras y escoger el tipo de conservador más adecuado (Tabla 16), es necesario considerar el volumen aproximado de la misma, así como el tipo de cambios que pueden ocurrir.

**TABLA 16. CONSERVADORES MÁS COMUNES PARA MUESTRAS DE AGUA**

Conservador	Acción	Para determinación de:
HNO <sub>3</sub>	Evita la precipitación de metales	Metales disueltos
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Inhibidor bacteriano	Sustancias orgánicas (DQO, grasas y aceites)
Refrigeración	Inhibidor bacteriano	Análisis físico-químicos
NaOH	Formación de sales volátiles	Cianuros, ácidos orgánicos.

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las mismas. Los contenedores generalmente son de plástico o de vidrio, pero un material puede ser preferido sobre otro dependiendo del tipo de compuesto a analizar. Los materiales constituyentes del envase pueden contener cantidades pequeñas de impurezas contaminantes para la muestra, las cuales pueden pasar a formar parte de la muestra por reacciones químicas, sorción o lixiviación. Por ejemplo niveles traza de metales pueden ser adsorbidos en las paredes de contenedores de vidrio.

Cuando se determinan constituyentes orgánicos en las aguas, no se recomienda el uso de envases de plástico. En particular, el material plástico puede ser poroso para ciertos compuestos orgánicos volátiles. En el caso de recipientes para muestras a las que se les van a efectuar los análisis bacteriológicos deben utilizarse frascos de vidrio con tapón esmerilado de 125 a 250 ml, resistentes a presiones y temperaturas requeridas para la esterilización.

A continuación se presenta una clasificación con la especie que se desea determinar, el tipo de envase, el volumen requerido de muestra, conservador y el tiempo máximo de almacenamiento recomendable (Tabla 17).

**TABLA 17. CONTENEDORES Y PRESERVACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA**

Parámetro	Contenedor	Tamaño mínimo de muestra (mL)	Preservación	Almacenamiento máx. (recomendado/obligado)
Aceites y grasas	V, calibrado de boca ancha	1 000	Añadir $H_2SO_4$ hasta $pH < 2$ , refrigerar	28 d/28 d
Acidez	P, V (B)	100	Refrigeración	24 h/14 d
Alcalinidad	P, V	200	Refrigeración	
DBO	P, V	1000	Refrigeración	6 h/14 d
Boro	P	100	No requieren	
Bromo	P, V	100	No requiere	
Cianuro total	P, V	500	Añadir NaOH hasta $pH > 12$ , refrigerar en oscuridad.	24 h/14 d; 24 h si hay sulfuro.
Carbono orgánico total	V	100	Analizar inmediatamente o refrigerar adicionar $H_3PO_4$ o $H_2SO_4$ a $pH < 2$	
Dióxido de carbono	P, V	100	Analizar inmediatamente	
COD	P, V	100	Analizar lo más pronto posible; o refrigerar adicionar $H_3PO_4$ o $H_2SO_4$ a $pH < 2$	
Cloro residual	P, V	500	Analizar inmediatamente	0.5 h/inmediato
Color	P, V	500	Refrigerar	48 h/48 h
Conductividad	P, V	500	Refrigerar	28 d/28 d
Fluoruros	P	300	Adicionar $HNO_3$ a $pH < 2$	6 meses/6 meses
Dureza	P, V	100		Analizar inmediatamente.
Yodo	P, V	500	Analizar inmediatamente	N.C.
Metales	P(A), V(A)	500	Para metales disueltos filtrar inmediatamente y adicionar $HNO_3$ a $pH < 2$	6 meses/6 meses

Cromo VI	P(A), V(A)	300	Refrigerar	24 h /24 H
Cobre por colorimetría y Mercurio	P(A), V(A)	500	Añadir HNO <sub>3</sub> hasta pH< 2, refrigerar	7 d/28 d
Nitrógeno			Analizar lo antes posible	7 d/28 d
Amonio	P, V	500	o añadir H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta	
Nitrato	P, V	100	pH<2, refrigerar	48 h/48 h
Nitrato + Nitrito	P, V	200		ninguno/28 d
Orgánico Kjeldahl	P, V		Analizar lo antes posible	7 d/28 d
Nitrito		500		
	P, V	100		ninguno/28 d
Olor	V	500	Analizar lo antes posible	6 h/N.C.
Compuestos orgánicos			Refrigerar, añadir ácido ascórbico, 1. 000 mg/l,	7 d hasta extracción, 40 d tras extracción.
MBAS	P, V	250	si existe cloro residual	
Pesticidas	V(S), TFE	1000		
			Añadir H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2, refrigerar.	*/28 d
Fenoles	P, V	500		
Oxígeno disuelto	V (botella DBO)	300	Analizarse inmediatamente	0.5 h/inmediato
Electrodo			Puede retrasarse la titulación tras la acidificación	8 h/8 h
Winkler				
Plaguicidas	Vs (ámbar)	1000	Refrigerar de 4 a 10 °C	7 días, una vez extraídos los plaguicidas c/solventes el tiempo de almacenamiento será de 40 días máximo
pH	P,V	50	Analizarse inmediatamente	2 h/inmediato
Fosfatos	V(A)	100	Para fosfato disuelto, filtrar inmediatamente y refrigerar.	48 h/N.C.
Hidrocarburos aromáticos (BTEX)	Vs	25	Refrigerar de 4 a 10 °C en oscuridad	7 d

Isótopos	V c/cuello estrecho	50 -500	I <sub>2</sub> + KI ó HgCl, refrigerar en oscuridad.	3 meses
Radioactividad alfa global	P, V	1000	Adicionar HCl o HNO <sub>3</sub> a pH<2	180 d
Radioactividad beta global	P, V	1000	Adicionar HCl o HNO <sub>3</sub> a pH<2	180 d
Salinidad	V	240		
Sílice	P,	200	Refrigerar, no congelar	28 d/28 d
Sólidos	P, V	200	Refrigerar	7 d/7 d
Sulfatos	P, V	100	Refrigerar	28 d/28 d
Sulfuros	P, V	100	Añadir 4 gotas de acetato de zinc 2 N/100ml; añadir NaOH hasta pH<9, refrigerar	28 d/7 d
Temperatura	P, V	-	Analizar inmediatamente	Inmediato/ inmedia-to
Turbiedad	P, V	100	Analizar el mismo día; refrigerar en oscuridad	24 h/48 h
P=	plástico (polietileno o equivalente)			
V=	vidrio			
V(a)=	Vidrio lavado con 1 + 1 HNO <sub>3</sub>			
P(A)	plástico (polietileno o equivalente) lavado con 1 + 1 HNO <sub>3</sub>			
V(B)=	vidrio de borosilicato			
V(S)	Vidrio lavado con solventes orgánicos; interior de la tapa del envase recubierta con teflón			
BTEX =	Benceno, tolueno, etilbenceno, xileno			
g=	simple			
c=	compuesta			
Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes y ser de un material afín al del recipiente o inerte.				

**Nota:** Se recomienda mantener las muestras a una temperatura de 4°C+/- 2°C durante su transporte hasta el momento del análisis.

### 3.4.3.3 Etiquetas

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas (VER ANEXO D) pegadas y/o colgadas, o enumerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro (VER ANEXO C).

#### 3.4.3.4 Procedimiento

Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el sitio y hora de muestreo. Deben tener el volumen suficiente, para efectuar las determinaciones correspondientes.
- Para el muestreo en cuerpos receptores, se debe establecer una red de muestreo que represente las condiciones particulares del cuerpo receptor, debiendo tomar las muestras en la parte superior, media y/o inferior.
- Con el objeto de conocer las variaciones de las condiciones particulares del cuerpo receptor, se debe establecer un ciclo anual de muestreo que cubra las épocas de precipitación pluvial y estiaje.
- Al efectuarse el muestreo deben anotarse los mismos datos que se anotaron en las etiquetas y las hojas de registro.
- Con el objeto de evitar posteriores oxidaciones del  $\text{Fe}^{2+}$  disuelto que pudieran originar su precipitación y la consecuente remoción de otros metales, es conveniente llenar el recipiente, siempre y cuando el agua no tenga oportunidad de congelarse durante su transporte aéreo (en este caso llenar solo dos terceras partes las botellas).

#### 3.4.4 Muestreo en corrientes

Se debe muestrear y aforar en los siguientes puntos:

- Aguas arriba de la descarga, a una distancia tal, que no manifieste influencia de ésta.
- En la descarga misma, lo más próximo posible a su desembocadura al cuerpo receptor.
- Aguas abajo de la descarga, a una distancia tal, que se considere se haya efectuado una mezcla uniforme de la descarga en el cuerpo receptor.
- Se recomienda muestrear a una distancia tal, que se considere que el cuerpo receptor haya absorbido el efecto de la descarga, para apreciar el grado de recuperación del cuerpo receptor.
- Para fines de estudio del cuerpo receptor, se debe muestrear en aquellos sitios en que se aprecien cambios fuertes de sección como caídas, zonas cubiertas de lirio u otros organismos eutróficos.

Al momento de realizar muestreos en ríos, debe considerarse que en un mismo punto de cruce, la calidad de agua puede variar vertical y horizontalmente. La velocidad del río generalmente es mayor en el centro justo debajo de la superficie del agua. Los perfiles de velocidad causan variaciones en la concentración de los sedimentos. Así, los puntos de muestreo deben considerar las diferencias verticales, horizontales y longitudinales en la calidad de agua. Estas diferencias se minimizan en las zonas donde el río se encuentra

completamente mezclado, por lo tanto el muestreo químico debe realizarse en sitios donde esto se espera. La mezcla es mejor en las secciones turbulentas, de alta velocidad y de llegada de afluentes. Para más información se recomienda consultar el documento **National Water Quality Handbook Parte 614**.

### 3.4.5 Muestreo en lagos, lagunas, presas y embalses

Los sitios seleccionados, además de la red de muestreo anteriormente mencionada, deben ser:

- En los afluentes, antes de desembocar al cuerpo receptor.
- Dentro del cuerpo receptor, donde se aprecie una mezcla uniforme con los afluentes.
- Las muestras en lagos y estuarios se deben tomar tanto de la superficie como del fondo. Si se cuenta con información física y química, será posible interpretar los resultados en términos de la estructura de la columna de agua.
- En las salidas del cuerpo receptor.

### 3.4.6 Muestreo en acuíferos profundos

Frecuentemente, las muestras de agua subterránea se obtienen de pozos agrícolas, de abastecimiento industrial o de abastecimiento urbano. Estos pozos suelen tener una gran longitud de tubería ranurada, por lo que la muestra obtenida es realmente una muestra integrada de todo el espesor ranurado. La concentración de la muestra es la media de las concentraciones a cada profundidad ponderadas por el caudal. Conviene tener en cuenta que si el pozo de muestreo no ha sido usado recientemente, el agua almacenada puede haber sufrido algunas alteraciones físico-químicas (temperatura, pH, O<sub>2</sub> disuelto, etc.) por lo que se aconseja no tomar la muestra hasta que se haya bombeado, al menos, un volumen de agua del almacenado en el sondeo.

### 3.4.7 Muestreo a diferentes profundidades

Este tipo de muestreo es el más sencillo y económico aplicable en pozos no instalados, aunque también se aplica en pozos instalados cuando se requieren hacer estudios especiales. Consiste en la utilización de una toma de muestras de apertura controlada. Existen dos sistemas de cilindros que pueden ser accionados por dos mecanismos distintos. El primer tipo se caracteriza por que los cilindros se descienden cerrados al interior del pozo hasta la profundidad deseada y se abren mediante el envío de un mensajero. El mensajero es una pieza pesada que al percutir acciona un muelle que abre la botella por su parte superior lo que permite la entrada de agua. El segundo sistema consiste en bajar el cilindro abierto por sus dos extremos, de manera que permita el paso del agua por su interior hasta que se alcanza la profundidad deseada momento en el cual se envía el mensajero que en este caso cierra el cilindro y atrapa el agua en su interior. Este último sistema es el más aconsejable puesto que perturba menos la estratificación hidroquímica original.

**Nota:** Si el muestreo se hace en pozos de observación y en acuíferos muy profundos se ha de reconocer que el agua presente en estos pozos pasivos puede que no sea representativa de la masa de agua del acuífero.

Usualmente se bombea el pozo hasta que se purga aproximadamente dos veces su volumen o hasta alcanzar condiciones químicas estacionarias (pH, Eh). Aunque sea un modo de actuar habitual, se debe tener en cuenta que en determinadas ocasiones el cono de depresión que resulta del bombeo puede inducir la llegada de agua de otras procedencias.

### 3.4.8 Aseguramiento y control de calidad

#### 3.4.8.1 Blanco de viaje

Se deben preparar blancos de viaje con agua destilada o desionizada un día antes de la toma de muestra de acuerdo con los parámetros a evaluar y agrupándolos por parámetros de igual preservación. Se deben marcar como blancos de viaje y guardarse en la misma hielera en la que se transportarán las muestras.

#### 3.4.8.2 Blanco de campo

Se debe preparar un blanco de campo con agua destilada o desionizada que se envase, selle y etiquete durante el muestreo. Sirve para identificar la contaminación durante la toma y transporte de la muestra.

### 3.4.9 Recolección, preservación y almacenamiento de muestras con hidrocarburos en agua

Para muestras con hidrocarburos en agua, debe colectarse un volumen de 2 L de muestra en un frasco de vidrio de boca ancha con tapa de teflón. Como pueden ocurrir pérdidas de hidrocarburos totales del petróleo por el equipo de muestreo, no se permite la colecta de muestras compuestas y no deben tomarse alícuotas de la muestra para realizar otro tipo de análisis.

Un retraso entre el muestreo y el análisis mayor de 4 h, requiere que la muestra sea preservada con ácido clorhídrico (1:1) hasta alcanzar en ésta un valor de  $\text{pH} < 2$ . Un retraso mayor a 48 h requiere refrigeración para la preservación de las muestras a 4 °C

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 28 días

## 3.5 MUESTREO DE SEDIMENTOS

### 3.5.1 Técnicas de muestreo

Muestras de sedimento superficiales no perturbadas, dan una valoración de los niveles de contaminación presentes en el área.

Para muestras superficiales se recomienda muestrear 5 cm de profundidad mientras que para muestras sub-superficiales, dependerá de la textura del material y de los objetivos del estudio.

Para asegurar una muestra representativa, deben colectarse y transportarse alrededor de 100 gr. o más de sedimentos en una bolsa de polietileno debidamente etiquetada. Para muestras que contengan mezcla de grava, arena y partículas del tamaño del limo y de la arcilla será necesario coleccionar 1 Kg. de muestra. Si hay presencia de agua en la parte superior de la muestra ésta debe ser lentamente sifoneada con un tubo de vidrio evitando lavar la muestra.

**Nota:** Se debe medir el espesor de la interfaz sedimento-agua. En el laboratorio deben separarse por filtrado sus componentes: el líquido (agua) y el sólido (sedimento) para su análisis por separado. En la interfaz sedimento-agua ocurren la mayoría de los procesos físico-químicos y de intercambio químico incluyendo los de las sustancias contaminantes.

Se debe de cuantificar la presencia de materia orgánica en el sedimento analizado ya que su presencia influye y favorece la acumulación de contaminantes: Carbono Orgánico total (TOC); carbono inorgánico total (TIC) y carbono total (TC)

Se debe evitar:

- El muestreo en las orillas de cuerpos de agua que es en donde co-existen sedimentos de tamaño de: gravas ( $\varnothing > 2$  mm), arenas ( $\varnothing = 2\text{mm} - .062$  mm) y la fracción fina compuesta por partículas del tamaño del limo y de la arcilla. En cuerpos de agua debe de identificarse el depocentro que es el sitio en donde el depósito del sedimento es más representativo
- Hacer ondas que podrían causar disturbios entre la interfase agua-sedimentos para evitar obtener datos erróneos,
- la pérdida de material fino de los sedimentos,

### 3.5.2 Equipo

La elección del equipo de muestreo depende de la textura y del tipo de muestra que se necesita ya sea superficial o sub-superficial. Sin embargo es importante considerar que el muestreador seleccionado debe minimizar la contaminación de la muestra, por lo que se recomienda usar muestreadores simples de acero inoxidable con teflón.

Algunos de los dispositivos más usados en la toma de sedimentos son; la draga **Van Veen**, **los nucleadores**, y **espátula de plástico**.

Los nucleadores se utilizan principalmente para realizar estudios según perfiles de profundidad especialmente en sedimentos marinos colectando una columna de sedimentos de la sub-superficie.

Antes del muestreo el plástico y material de vidrio debe lavarse con  $\text{HNO}_3$  al 14 % (V/V) por 24 h y enjuagar con abundante agua destilada.

**Nota:** El muestreo de sedimentos con draga (tipo Van Veen) o pala tiene el inconveniente de mezclar el sedimento por lo que el resultado corresponde al grosor muestreado (10-15 cm); debe tenerse presente que los contaminantes se depositan junto con la fracción fina del sedimento CAPA POR CAPA la cual puede depositarse en lagos, p. ej., de 1-3 mm/año.

### 3.5.3 Parámetros de campo

Se debe registrar el color (tabla de Munsell), tamaño de grano (grueso, medio y fino), Eh y pH, estos parámetros se pueden realizar insertando electrodos apropiados dentro de las muestras.

### 3.5.4 Tratamiento de muestra

La preparación de la muestra para su análisis químico, involucra procesos de sub-muestreo, secado, mediciones del contenido de agua, tamizado y molienda.

En lo que se refiere al secado, existe, una diversidad de criterios para definir la temperatura de secado la cual depende de la naturaleza del sedimento, del tipo de enlace que se forma (elemental, iónico, organometálico, etc.) así como del análisis que se va a realizar. Un secado a temperatura ambiente por una semana evitando la contaminación es lo más recomendado. De esta manera se evitan problemas de pérdida de metales volátiles por ejemplo.

Las temperaturas recomendadas para determinar algunos elementos metálicos son: para Sb, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn hasta 105 °C por 24 h, mientras que para As y Hg hasta 60 °C separar por 16 h.

Para homogenizar la muestra, la hojarasca y piedras grandes presentes en la misma se deben retirar para poder proceder al tamizado a través de una malla. La malla #10 ("US standard testing sieve") con abertura de 2 mm es el límite entre gravas (> 2mm) y arenas (< 2mm->62 µm). Es sabido que los contaminantes se encuentran principalmente en la "fracción fina", es decir, en la fracción por debajo de la malla #230 (<62 µm) por lo cual se recomienda utilizar esta última. La "fracción fina" está formada por sedimentos del tamaño del limo ( $\emptyset = 62-4 \mu\text{m}$ ) y de la arcilla ( $\emptyset \leq 4 \mu\text{m}$ ) y es en esta fracción donde debe evaluarse la presencia de contaminantes.

### 3.5.5 Contenedores, conservación y transporte de muestras

Las muestras deben colocarse y transportarse en bolsas de plástico o frascos de boca ancha (polipropileno o de borosilicato) que pueden ser usados para su almacenamiento temporal.

Para la determinación de metales traza es muy importante la fracción más fina de la muestra, por lo que se recomienda tomar de 1 - 3 gr de esta fracción en un vial de polietileno, sellado y congelado durante su transporte al laboratorio.

Muestras para análisis de hidrocarburos pueden almacenarse en contenedores de vidrio, teflón o metal (acero inoxidable o aluminio).

Los recipientes en los que se colectaron las muestras deben sellarse y etiquetarse adecuadamente (VER ANEXO 6D). Para su conservación es necesario mantenerlas a 4°C y en oscuridad para limitar la actividad biológica y química. En general, es recomendable evitar en lo posible el uso de agentes químicos para conservar muestras de sedimento.

Cabe destacar que cuando sea posible, conviene combinar estudios de sedimentos con los de aguas. La toma de muestras debe de ir acompañada del registro de datos sobre las características físico-químicas de las aguas (VER ANEXO 6C).

## 3.6 MUESTREO DE POLVOS Y GASES EN EL AIRE

### 3.6.1 Tipo de partícula

**Fracción inhalable:** es aquella proporción de partículas que se queda retenida en las vías respiratorias altas, sin alcanzar los alvéolos pulmonares. Suelen tener diámetros comprendidos entre 10 y 5 micras.

**Fracción respirable:** Se define a la fracción de polvo respirable como la fracción total inhalable que es capaz de alcanzar la región de intercambio de gases de los pulmones (alvéolos pulmonares). Suele ser <5 micras.

### 3.6.2 Lugar de toma de muestras

Dependiendo del ámbito de muestreo, existen diferentes lugares donde se deben tomar las muestras:

- Muestras en la vecindad inmediata del trabajador para evaluar el nivel de exposición.
- Muestras cercanas a las fuente de emisión para obtener información de la cantidad de contaminantes emitidos en el ambiente de trabajo.
- Muestras personales, tomadas con instrumentos colgados al trabajador. Se trata de obtener la dosis real recibida por él.

### 3.6.3 Tipo de muestras

Basado en el tiempo empleado se tendrán:

**Muestras instantáneas:** son aquellas recogidas en cortos intervalos de tiempo (segundos a 3 o 4 minutos).

**Muestras continuas:** muestras tomadas en lo posible durante jornadas completas de 4 a 6 horas normalmente, obteniéndose el promedio de exposición del hombre dentro del periodo de muestreo.

### 3.6.4 Número de muestras

Depende del objetivo perseguido. Si las concentraciones fluctúan considerablemente será necesario un mayor número de muestras pero si las concentraciones son muy altas pueden bastar pocas muestras.

**Nota:** Cuando se vayan a captar varios contaminantes en un mismo filtro, deberá conocerse con anterioridad que no existan incompatibilidades en sus respectivas metodologías analíticas (tratamientos, interferencias, técnica analítica, etc.).

### 3.6.5 Recomendaciones

1. Muestrear durante un periodo de 45 minutos a 8 horas. No exceder una carga total del filtro de 2 mg. de polvos respirables.
2. No permitir que el dispositivo de muestreo sea invertido durante ni después del muestreo. Colocar dicho dispositivo ligeramente inclinado para evitar que el material pesado contenido en el ciclón se deposite sobre el filtro.
3. Por cada lote de muestreo en campo, tomar de 2 a 4 muestras por duplicado para asegurar la calidad del procedimiento de muestreo. Por cada lote de muestras introducir un blanco de campo.

### 3.6.6 Equipo y material de muestreo

- Bomba de aspiración para muestreo personal y ambiental cuyo caudal se mantenga dentro del valor determinado, con una exactitud de  $\pm 5\%$ .
- Unidad de captación.
- Filtro de membrana de cloruro de polivinilo (PVC) de 37 mm de diámetro y 0,5 micras de tamaño de poro, previamente tarado con una aproximación mínima de 0,01 mg (se debe pesar el filtro, en una atmósfera libre de polvo y evitando tomarlo con los dedos, previamente secado aproximadamente a 60 °C para eliminarle la humedad que pueda adquirir del medio ambiente).
- Soporte de celulosa.
- Porta filtros o cassette de poliestireno de 2 ó 3 cuerpos, de 37 mm (1.5 in) de diámetro, en los que se coloca el filtro sobre el soporte de celulosa.
- Utilizar cassette de 2 cuerpos, para muestrear la fracción de polvo respirable.
- Ciclón de nylon de 10 mm; solo utilizarlo para muestrear fracción de polvo respirable.
- Tubo flexible, adaptador, termómetro y manómetro.

### 3.6.7 Preparación del filtro antes del muestreo

1. Mantener los filtros y los portafiltros por lo menos dos horas dentro del desecador para liberarlos y preservarlos de la humedad.
2. Dentro del cuarto de pesado, sacar los filtros del desecador y pesarlos en la balanza microanalítica, registrar el peso del filtro como peso inicial ( $P_0$ ).

3. Ensamblar el filtro en el portafiltros sobre el soporte de celulosa debidamente identificado, de tal manera que el aire a muestrear tenga el primer contacto con el filtro, cerrar firmemente para que no ocurra ninguna fuga alrededor del mismo.
4. Colocar un tapón en cada abertura del portafiltros y colocar una banda pequeña de celulosa o cinta adhesiva alrededor del portafiltros, dejar que seque e identificarlos con el mismo número que el soporte de celulosa.
5. Quitar la tapa del ciclón y el visor del vórtice e inspeccionar el interior del mismo.
6. Ensamblar la cabeza del muestreador y verificar la alineación del portafiltros y el ciclón al inicio del muestreo para prevenir fugas.

### 3.6.8 Procedimiento de muestreo

- Colocar la bomba de aspiración, debidamente calibrada, en la parte posterior de la cintura del operador o persona, asegurándola con un cinturón apropiado.
- Ajustar el tubo que conecta la bomba con el cassette, por la espalda y hombro del operario, de forma que el extremo del tubo quede a la altura de la clavícula del operario, fijándolo con una pinza a su vestimenta.
- Retirar los tapones del portafiltro o cassette y conectar el orificio de salida al tubo de conducción del aire con ayuda de un adaptador (en las captaciones de polvo respirable, se conecta el conjunto cassette-ciclón).
- Antes de iniciarse el muestreo comprobar la perfecta estanqueidad del conjunto. En los casos que se utilice ciclón, asegurarse de que la alineación ciclón-cassette sea perfecta.
- Poner la bomba en funcionamiento e iniciar la captación de la muestra.
- Durante la captación, vigilar periódicamente que la bomba funciona correctamente. En el caso de que se aprecien anomalías o variaciones sobre el caudal inicial, volver a recalibrar la bomba o proceder a anular la muestra. Transcurrido el tiempo de muestreo predeterminado, parar el funcionamiento de la bomba y anotar los datos siguientes: tiempo de muestreo, caudal, temperatura, ambiente y presión (VER ANEXO 6B).
- Finalizada la captación, retirar el cassette y cerrar los orificios con sus tapones, procurando que éstos ajusten perfectamente.
- El cassette no debe abrirse bajo ninguna circunstancia hasta el momento del análisis. Colocar sobre el cassette una etiqueta con indicación clara del número de identificación de la muestra tomada (VER ANEXO 6D).
- Acompañar con cada lote de filtros muestreados un filtro blanco, el cual ha sido sometido a las mismas manipulaciones, exceptuando la toma de muestra y etiquetarlo con la palabra "blanco".

### 3.6.9 Transporte y almacenamiento

Colocar los cassettes muestreados junto con el blanco (o blancos) en cajas, u otros envases o maletines debidamente protegidos para evitar cualquier tipo de daño, alteración o pérdida de su contenido durante su envío o transporte al laboratorio, cuidando de mantener siempre el ciclón en posición vertical. El transporte debe realizarse de manera que las superficies del filtro siempre permanezcan paralelas a la horizontal. Mantener las precauciones anteriores mientras dure el almacenamiento de las muestras hasta el momento de su análisis.

### 3.6.10 Tratamiento de la muestra

- Una vez tomada la muestra, el filtro se saca del cassette, se seca y se registra su peso.
- Por diferencia de peso se obtiene la cantidad de polvo retenida en el filtro y con el volumen de aire aspirado se determina la concentración en mg/m<sup>3</sup> aire.

Cantidad de polvo muestreado	
$DP = P_1 - P_0$ (mg)	P1 = peso final
$V = Q * T$	PO = peso inicial
	Q = Caudal
	V = volumen de aire
	T = Tiempo
Concentración ambiental = $DP / V$ (mg/m <sup>3</sup> )	

La preparación de las muestras para el análisis debe llevarse a cabo de acuerdo a las siguientes instrucciones:

- Limpiar el polvo de la superficie externa del portafiltros.
- Quitar los tapones superior e inferior del portafiltros.
- Colocar los portafiltros en el desecador por lo menos dos horas para liberarlos de humedad.
- Quitar la banda del portafiltros, abrir el portafiltros y quitar el filtro. Manejar cuidadosamente los filtros por la orilla para evitar pérdidas de polvo. Si el filtro se adhiere por debajo de la parte superior del portafiltros, levantarlo cuidadosamente usando la punta de una espátula para evitar que se rompa.
- Pesar cada filtro muestreado, incluyendo los blancos de campo. Registre el peso como peso final (P<sub>1</sub>). Anotar cualquier hecho notable acerca del filtro como sobrecarga, fuga, humedad, rompimiento u otros.
- La concentración de los polvos respirables en el volumen del aire muestreado se calcula con la siguiente formula.

$$C = [(P_1 - P_0) - (B_2 - B_1)] / V (10^{-3})$$

B2 = peso del filtro usado como blanco después del muestreo en mg

B1 = peso del filtro usado como blanco antes del muestreo en mg

V= volumen de aire muestreado en litros

### 3.6.11 Condiciones de muestreo

Para captar polvo total, tómesese la muestra de aire a un caudal de 1,5 lpm, a través de un cassette de 2 ó 3 cuerpos.

Para captar la fracción de polvo respirable, tómesese la muestra de aire a un caudal de 1,7 lpm a través de un cassette de 2 cuerpos acoplado a un ciclón.

**Nota:** Cuando deba utilizarse el ciclón, éste previamente deberá desmontarse y su interior ser inspeccionado. Si en el aparece suciedad, deberá limpiarse frotando cuidadosamente con un trozo de algodón húmedo. Siempre que se aprecien muescas o rayas, el ciclón deberá desecharse.

Para muchos contaminantes, es opcional utilizar cassette de 2 ó 3 cuerpos. No obstante, con los cassettes de 3 cuerpos, puede mejorarse la distribución y fijación del contaminante sobre el filtro.

Los caudales de aire y los volúmenes a muestrear, son recomendados para cada contaminante, de acuerdo con la concentración permisible para el contaminante y la sensibilidad del método a utilizar.

En ocasiones puede ser conveniente disminuir o aumentar el volumen de muestreo recomendado, en función de la mayor o menor concentración ambiental esperada.

El volumen de aire recomendado para polvo inerte o molesto es de 100 litros para polvo total y 200 litros para su fracción respirable.

El flujo de la bomba debe situarse lo más próximo posible al valor recomendado.

**Nota:** Para evitar colmataciones en el filtro y desprendimientos de polvo, la captación de polvo sobre el filtro no deberá exceder de los 4 ó 5 mg en ningún caso.

## 3.7 MUESTREO DE RESIDUOS

### 3.7.1 Caracterización de residuos peligrosos

La *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos* (LGPGIR) señala en su Artículo 5º la siguiente definición:

Residuos Peligrosos: Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley.

En muchos sitios contaminados en especial en aquellos considerados como pasivos ambientales es muy frecuente encontrar además de la contaminación del suelo residuos peligrosos apilados, enterrados

o depositados de manera irregular en bodegas, patios y áreas productivas. También en algunas ocasiones se les ha utilizado como material de relleno y se les encuentra debajo de losas de concreto, edificaciones, estacionamientos y otras estructuras.

En algunos casos, sobre todo donde se desarrollaron actividades relativas a la fundición de minerales en los que se ven involucrados elementos potencialmente tóxicos como lo son el plomo, el arsénico, el cadmio y otros semejantes, los problemas ambientales derivan principalmente de los residuos depositados en forma de escorias masivas, escorias granulares o cenizas, calcinas y polvos. Es por ello que una de las principales tareas en la caracterización y remediación de un sitio tiene que ver con la determinación de los volúmenes de dichos residuos, la caracterización química de los mismos y la determinación de los riesgos al medio ambiente y la salud que de ellos se derivan.

En México la identificación y caracterización de residuos peligrosos se encuentra regulada por la LGPGIR y su Reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas que regulan técnicamente su clasificación e identificación las cuales son:

NOM-052-SEMARNAT-2005: que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos

NOM-053-SEMARNAT-1993: que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente

### 3.7.1.1 Tipo de muestra

En el muestreo de residuos peligrosos pueden considerarse tres tipos de muestras:

**Muestra simple:** Porción del residuo tomada puntualmente de las unidades seleccionadas estadísticamente del lote del residuo, la cual se utiliza cuando el residuo es homogéneo.

**Muestra compuesta:** Es la resultante de mezclar varias muestras simples, ésta se emplea cuando el residuo no es homogéneo en las unidades seleccionadas.

**Muestra representativa del lote o del proceso:** Es el número de unidades seleccionadas estadísticamente que representan las características del lote del residuo o del proceso.

### 3.7.1.2 Número de muestras

Se pueden presentar tres casos para determinar el número de muestras a tomar.

#### 1. Cuando se tiene información preliminar del residuo a muestrear

Si se cuenta con un estimado preliminar de la composición del residuo, por ejemplo a través de resultados de análisis CRETl realizados anteriormente, se puede determinar el promedio y la desviación estándar de la concentración de cada uno de los constituyentes que hacen peligrosos al residuo. Con estos datos y aplicando la siguiente ecuación se puede determinar el número mínimo de muestras a tomar:

$$n_1 = \frac{t_{0.2} * S_2}{\Delta Z}$$
$$n_1 = [t_{0.2} * S_2] / \Delta Z$$

Donde:	
i=	Número de unidades a muestrear
$t_{0,2}$ =	Valor de la tabla t de student para 2 colas con un valor de probabilidad de $\alpha = 0,2$
S=	Desviación estándar de la concentración del parámetro medido en el residuo.
D=	LMP-X
LMP=	Límite máximo permisible establecido en la Norma Oficial Mexicana (NOM-052-1993)
X =	Promedio de la concentración del parámetro en el residuo

Dentro de su manejabilidad, las muestras a tomar de las unidades del lote seleccionadas deben ser homogéneas y lo más grande posible en peso o volumen para minimizar la variación.

El número mínimo de unidades a muestrear debe corresponder al valor más grande obtenido para cada uno de los constituyentes que hacen peligroso al residuo.

Dependiendo de su homogeneidad, tomar las muestras de las unidades seleccionadas como muestras simples o compuestas. El número de muestras debe considerar muestras adicionales como medida de seguridad en caso de obtener un estimado insuficiente del promedio y la desviación estándar. Con esta medida se evita volver al sitio de muestreo para tomar más muestras.

## 2. Número de unidades en un lote con un proceso continuo

Para el muestreo de residuos que no se encuentran almacenados sino que están siendo producidos continuamente, se deberán obtener n muestras según el procedimiento anterior, pero en lugar de que se tomen en un mismo muestreo deberán ser tomadas en diferentes tiempos en forma aleatoria, en función del proceso específico y la temporalidad del mismo.

## 3. Cuando es desconocido el residuo a muestrear

En caso de no tener datos sobre la peligrosidad del residuo (Análisis CRET), se debe determinar la cantidad de residuo producida por un mismo proceso bajo las mismas condiciones de operación y con las mismas materias primas (o en su caso los residuos que por su apariencia, consistencia y localización parezcan ser homogéneos). Con estos datos se determina el **nivel de inspección** que se utilizará para la toma preliminar de unidades a muestrear, considerando las unidades o la forma en que se encuentran depositado ores, contenedores, pilas, montículos, suelo, cuerpos de agua, etc. Y en el contexto de muestreo de residuos de acuerdo a la siguiente tabla,

**TABLA 18. NIVELES DE INSPECCIÓN POR TAMAÑO DE LOTE**

Tamaño del lote (Unidades)	Niveles de inspección		
	I	II	III
2	8 A	A	B
9	15 A	B	C
16	25 B	C	D
26	50 C	D	E

51	90	C	E	F
91	150	D	F	G
151	280	E	G	H
281	500	F	H	J
501	1200	G	J	K
1201	3200	H	K	L
3201	10000	J	L	M
10001	35000	K	M	N
35001	150000	L	N	P
150001	500000	M	O	Q
500001	y mas	N	P	R

Para determinar el tamaño de las muestras preliminares utilizar la siguiente tabla.

**TABLA 19. TAMAÑO DE MUESTRA SEGÚN NIVEL DE INSPECCIÓN**

Letra Clave	Tamaño de la Muestra (número de unidades de producto a muestrear)
A	2
B	3
C	5
D	8
E	13
F	20
G	32
H	50
J	80
K	125
L	200
M	315
N	500
P	800
Q	1250
R	2000

Una vez determinado el número de muestras, cada una de ellas se debe tomar estrictamente al azar utilizando una tabla de números aleatorios. Se deben analizar tres muestras de cada lote de residuo.

La cantidad mínima en el caso de muestras sólidas o semisólidas es de 2,0 Kg y en el caso de muestras líquidas 4,0 L.

**Nota:** En caso de muestras multifásicas, cada fase representará una muestra independiente.

### 3.7.1.3 Medidas de seguridad durante el muestreo

La información preliminar sobre el residuo ayuda tanto a tomar las medidas de seguridad adecuadas como el equipo de protección necesario. Las hojas de manejo de materiales químicos pueden ser una fuente de información indispensable sobre aspectos de seguridad. Las medidas de seguridad en el muestreo deben ser más estrictas si se trata de residuos volátiles o de residuos de los cuales se presume que contienen elementos muy tóxicos que pueden ser inhalados durante el proceso de muestreo.

**Nota:** Deben considerarse las normas de seguridad de la STPS

**Selección del equipo y material a emplear:** La selección del equipo y material para el muestreo se realiza con base en el estado físico y las características del residuo generado, ya que generalmente éstos son complejos y se presentan en forma de sólidos, líquidos, lodos y mezclas.

**Manejo de muestras:** para garantizar la integridad del material, se debe colocar un sello a cada uno de los recipientes que contengan muestras de residuos ya sea colocando una tira de papel o plástico engomado alrededor de la tapa. Se debe evitar la ruptura de los sellos durante su traslado.

Las muestras deben transportarse tomando las precauciones necesarias para que no se alteren sus características. Estas medidas deben tomarse dependiendo del tipo de muestra para mantener su composición durante el transporte y almacenaje. Las muestras deben estar debidamente etiquetadas (ver ANEXO D, ANEXO A).

## 3.7.2 Caracterización de residuos sólidos urbanos y de manejo especial

A pesar de que el muestreo de residuos sólidos urbanos (municipales) no es estrictamente materia de la remediación de sitios contaminados la experiencia ha mostrado que en muchos pasivos ambientales, sobre todo los considerados abandonados, se encuentran grandes volúmenes de basura que puede estar impregnada con los contaminantes presentes en el sitio. De este modo, resulta ineludible y necesaria su caracterización ya que representan un rubro de costos durante la remediación.

Antes de disponer adecuadamente de estos residuos y como parte del programa de remediación se debe determinar el volumen de residuos a desalojar dependiendo de sus características. Dichos residuos deben ser muestreados en caso de considerarse (a juicio del experto que realiza el estudio de caracterización) que están impregnados con sustancias potencialmente tóxicas.

Un muestreo adecuado así como los resultados de los análisis químicos practicados a las muestras proveen el fundamento técnico y jurídico necesario para decidir si los residuos deben ser dispuestos en rellenos sanitarios, deben de ser transportados y dispuestos en un confinamiento autorizado de residuos peligrosos o deben ser tratados para su reciclaje por un prestador de servicios autorizado.

Los residuos sólidos pueden ser caracterizados bajo las siguientes definiciones de la LGPGIR.

**Residuo:** material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de

ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven;

**Residuos de Manejo Especial:** son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

**Residuos Sólidos Urbanos:** los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.

### 3.7.2.1 Procedimiento de muestreo por cuarteo

- La muestra debe ser representativa de la zona o estrato socioeconómico del área en estudio obtenido según la NOM-AA-61-1985
- Los residuos sólidos, resultado de la generación, se toman en bolsas de polietileno (NOM-AA-061). En ningún caso se toman más de 250 bolsas para efectuar el cuarteo.
- El contenido de las bolsas se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.
- El montón de residuos se traspalea hasta homogenizarlos, se divide en cuatro partes iguales y se eliminan las partes opuestas, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 Kg de residuos sólidos.
- De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 10 kg de residuos sólidos para los análisis de laboratorio, físicos, químicos y biológicos, con el resto se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in situ".

### 3.7.2.2 Normas aplicables al muestreo de residuos

**TABLA 20. NORMAS MEXICANAS EN MATERIA DE MUESTREO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

Norma	Objeto
NMX-AA-015-1985	Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo - método de cuarteo
NMX-AA-022-1985	Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - selección y cuantificación de subproductos
NMX-AA-052-1985	Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - preparación de muestras en el laboratorio para su análisis
NMX-AA-61-1985	Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de la generación

**Nota:** Los residuos sólidos presentes en el sitio contaminado deben ser analizados para los contaminantes que se presumen en el sitio.

### 3.7.2.3 Transporte y manejo de muestra

Las muestras obtenidas para los análisis físicos, químicos y biológicos deben trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (ver ANEXO 6A y 6D), evitando que queden expuestas al sol durante su transporte. Se debe tener cuidado para que durante el manejo de la bolsa que contiene la muestra, ésta no sufra ninguna rotura. El tiempo de transporte de la muestra no debe exceder de 8 horas.

## 3.8 MUESTREO DE BIOTA

Autor: Dra. Rosa María Flores del IINGEN de la UNAM

### 3.8.1 Aspectos a considerar en la caracterización de la biota

Para evaluar el efecto que tiene o ha tenido la contaminación en la biota del lugar, se deben hacer estudios comparativos que permitan contrastar la situación de los sitios contaminados con sitios no impactados. Estas comparaciones deben considerar la riqueza y abundancia de especies y la condición física de los individuos. Se sabe que la riqueza y abundancia de especies puede verse afectada por el grado de contaminación por diversos factores como: cambios drásticos de las condiciones del ecosistema, sensibilidad diferencial de las especies a los contaminantes, pérdida de microhábitats.

**Nota:** Deben utilizarse especies nativas

La evaluación del impacto de la contaminación en la biota puede realizarse de dos maneras:

**Comparación con zonas conservadas:** deben ubicarse zonas conservadas con el mismo tipo de ecosistema presente en la zona contaminada. Con base en la información obtenida de los sitios conservados (riqueza y abundancia de especies, presencia/ausencia de especies, condición de los individuos) se debe evaluar la condición de la zona contaminada.

**Gradiente de exposición:** se determina un gradiente desde la fuente de contaminación hacia zonas conservadas donde la exposición se reduzca. Se deben medir los cambios que se presenten en la biota a lo largo de este gradiente (riqueza y abundancia de especies, presencia/ausencia de especies, condición de los individuos). El gradiente debe incluir todos los tipos de ecosistema que se encuentren en el sitio.

Las comparaciones deben complementarse con lo registrado en la literatura (tesis, artículos científicos, libros). Existen diversos grupos biológicos que se encuentran ampliamente estudiados en el país en lo referente a riqueza, distribución y en algunos casos abundancia. El estudio de estos grupos puede ser de

gran ayuda cuando se necesite evaluar la situación de la zona. Es indispensable además incluir especies consideradas por sus características biológicas como bioindicadoras.

**Nota:** La descripción de las condiciones biológicas del sitio debe hacerse siempre de manera comparativa

La **condición de los individuos** se refiere al estado físico y de salud en el que se encuentren los organismos observados. Por ejemplo: se sabe que la contaminación puede tener efectos negativos a nivel de individuo como pérdida de peso, talla, alteraciones del sistema nervioso, cambios en coloración, malformaciones etc. Cualquier alteración detectada debe ser registrada.

**Presencia/ausencia de especies:** es sabido que con los cambios que genera la contaminación de un sitio, las especies sensibles tienden a desaparecer mientras que otras tienden a verse favorecidas por lo que se les encuentra abundantemente. Debe prestarse particular atención a casos donde especies originarias del sitio hayan desaparecido u otras no características del sitio hayan proliferado. Esta situación solo puede ser notada si se conoce la distribución de las especies características del sitio la cual debe consultarse en fuentes bibliográficas. En la mayoría de los grupos biológicos, la contaminación causa disminución de la diversidad.

Es evidente que no se pueden estudiar todos los grupos taxonómicos presentes en el ecosistema sin embargo se recomienda un enfoque que abarque el mayor número posible de grupos (vertebrados, hongos, parásitos, invertebrados, plantas) prestando especial atención a especies que se reconocen como bioindicadoras.

Se recomienda que el trabajo sea realizado por biólogos de campo ya que éstos se encuentran capacitados en aplicar un enfoque integral basado en búsquedas bibliográficas y evaluaciones en campo (identificación de especies, técnicas de captura, conocimientos de la biología de las especies).

Se deben considerar:

1. Antecedentes sobre riqueza (listados de especies) y abundancia de especies. Esta información puede obtenerse por revisión bibliográfica de tesis y/o artículos científicos.
2. Distribución de las especies que se encuentren registradas para el área.
3. Tipos de vegetación, su localización y fauna asociada a la misma.
4. Caracterización general de los hábitats para la fauna.
5. Realizar una interpretación de la vegetación en términos de distribución de biomasa, cobertura y ambientes existentes en el área de contaminación.
6. Se deben considerar las áreas que han sido muestreadas por otros investigadores.
7. Los sectores mejor conocidos tienen menor prioridad de muestreo.
8. Realizar visitas preliminares.
9. Establecer patrones generales de heterogeneidad, variaciones latitudinales y altitudinales.
10. El muestreo debe incluir el mayor número de ambientes posibles en un área de superficie operacionalmente manejable pero representativa.

11. La planificación de las campañas de muestreo deben considerar, la estacionalidad (época de estiaje y de lluvia) ya que la biota se ve afectada por ésta.
12. En el caso de la flora, la estacionalidad puede afectar la abundancia y riqueza de especies herbáceas y la cobertura de especies arbóreas.
13. En el caso de la fauna la estacionalidad puede afectar la presencia, distribución y abundancia de especies en el sitio. Existen especies de vertebrados (anfibios o reptiles) que durante la época de secas permanecen enterradas por lo que no es posible encontrarlas.
14. En el caso de la fauna además deben considerarse los patrones de actividad de los organismos a muestrear. Algunos patrones de actividad pueden ser: diurnos, crepusculares, nocturnos, unimodales, bimodales. Si estas características no se toman en cuenta el muestreo puede presentar un sesgo importante.
15. Para ese fin es recomendable utilizar especies nativas y que en otros estudios hayan mostrado sensibilidad a la contaminación, si esta información no está disponible, utilizar especies nativas cuyas características biológicas las hagan de mayor susceptibilidad o que se consideren bioindicadores.
16. En el caso de la fauna se deben considerar hábitos alimenticios, migratorios y reproductivos.

**Nota:** Es necesario tramitar un permiso (SEMARNAT-08-049) para recolectar organismos silvestres.

Dados los requerimientos mencionados, es importante considerar que un buen estudio de caracterización de biota necesita un periodo largo de ejecución, aquel que permita observar y registrar las diferencias biológicas inherentes a las épocas del año o estaciones. Bajo este esquema cabe mencionar que estudios de pocos meses pueden proporcionar buena información sin embargo, no la suficiente para determinar patrones de variación con un bajo margen de error.

## 3.8.2 Patrones de muestreo de biota

### 3.8.2.1 *Muestreo Mixto*

Incluye una aproximación cuantitativa y una aproximación no cuantitativa u “observacional”.

### 3.8.2.2 *Muestreo Cuantitativo*

Es un muestreo preferencial en base a transectos que serán distribuidos a distintas latitudes, generalmente perfiles altitudinales o gradientes ambientales reconocibles a través del análisis de antecedentes. En estos transectos serán cuantificadas las variables de composición y estructura de las comunidades.

### 3.8.2.3 *Muestreo Observacional*

Consiste en la recolección de información de componentes específicos de flora y fauna a través de recorridos amplios por el área de influencia, registrando distintos ambientes.

### 3.8.3 Métodos para la toma de muestra

#### 3.8.3.1 Método aleatorio

Consiste en darle a cada uno de los elementos de la población una probabilidad conocida de ser incluido en la muestra. Utilizando la tabla de números aleatorios, para la recolección de la muestra.

#### 3.8.3.2 Método sistemático

Consiste en establecer un parámetro el cual será seguido para la toma de muestra. Existen dos variantes:

**Método en X:** Consiste en dibujar una X imaginaria en la zona a ser muestreada y recolectar la muestra en los extremos y en el centro de la x de donde se ha de tomar la muestra hasta completar la cantidad necesaria.

**Método de zig-zag:** Consiste en dibujar un zig-zag imaginario en la zona a ser muestreada y recolectar la muestra hasta completar la cantidad necesaria.

### 3.8.4 Distribución y número de puntos de muestreo

Para estimar la frecuencia mínima de puntos de muestreo se debe considerar:

1. Cuan rápidamente se suceden en el transecto los pisos altitudinales descritos previamente (estimada en el área contaminada).
2. El número máximo de unidades homogéneas diferenciadas en la imagen satelital (en caso de utilizar dichas imágenes).
3. La selección del criterio dependerá de la variabilidad observada en terreno.
4. Un número adicional de puntos de muestreo se establecerá en zonas de variación ambiental compleja, en la medida que nuevas situaciones y ambientes de interés biológico sean encontrados (dunas costeras, esteros, manglares, humedales, jardines, huertos, formaciones particulares de vegetación, etc.).
5. Cada punto de muestreo consistirá en la demarcación de un área de 50 x 50 m para el caso de los estudios de vegetación y flora, y de un mínimo de 100 x 100 m para los estudios de fauna al interior de la cual se distribuirán las unidades de muestreo, en el caso de sitios con superficies reducidas.

### 3.8.5 Tipo, distribución y número de las unidades de muestreo

Las unidades de muestreo que se utilizarán para la cuantificación de las variables serán distintas dependiendo del componente ambiental en evaluación.

Debido a que la mayoría de los sitios contaminados, donde se requiere tomar muestras de la biota, son muy extensos y sus características pueden variar rápidamente ya sea si se trata de ambientes costeros o acuáticos la determinación del número de puntos de muestreo debe ser fundamentada a juicio del experto.

- En cada área de muestreo se caracterizará la biota en términos de su vegetación, flora y fauna.
- Se debe seleccionar el método de muestreo a emplear de acuerdo al tipo de muestra a tomar.
- Se debe de determinar la cantidad de la muestra a recolectar.
- Se debe tener cuidado en no remover residuos superficiales en la muestra durante la recolección, el empaque o transporte de la muestra.
- Los instrumentos que se utilizan para la toma de muestras deben estar perfectamente limpios para evitar cualquier tipo de contaminación de la muestra.

Las muestras deben de transportarse refrigeradas y mantenerse así hasta su análisis, debidamente selladas y etiquetadas.

### 3.8.6 Vegetación y flora

La vegetación debe ser caracterizada en términos de su distribución, estructura vertical y específica, aspectos de ecología y dinámica. La caracterización debe realizarse en cada formación vegetal determinando el listado de especies características mediante la realización de colectas de ejemplares que presenten estructuras reproductivas, las que son necesarias para su identificación. La distribución de las principales formaciones vegetales debe analizarse para cada área contaminada a partir de imágenes satelitales o fotografías aéreas en caso de utilizarlas.

La estructura vertical debe caracterizarse en cada uno de los puntos de muestreo registrando:

- Formas de vida dominantes
- Altura y número de estratos
- Cobertura

La estructura específica y la composición de especies deben determinarse integrando una lista de especies dominantes en cada una de las formaciones vegetacionales que sean muestreadas y su frecuencia relativa de acuerdo a los siguientes intervalos:

- Especies representativas: Presentes entre el 75 y el 100 % de los casos
- Especies comunes: presentes entre el 50 y 75 % de los casos
- Especies acompañantes, presentes entre el 25 y el 50 % de los casos
- Especies ocasionales: presentes entre el 1 y el 25 % de los casos

El tamaño de las parcelas se establecerá según las características fisonómicas descritas en la literatura.

La distribución de las parcelas seguirá un patrón aleatorio establecido previamente mediante una tabla de puntos aleatorios para la superficie de 50 x 50 m para cada uno de los puntos de muestreo o múltiplos de estas unidades.

Las muestras tomadas deben ser preparadas y conservadas de acuerdo a procedimientos estándares e identificadas por expertos.

Las muestras se colectarán en bolsas de polietileno o de papel encerado para su posterior identificación.

### **3.8.7 Fauna**

La fauna debe caracterizarse en términos de su composición, distribución y abundancia relativa en los ambientes definidos considerándose el estado de conservación de las especies. En ciertos casos resulta conveniente describir aspectos ecológicos de los organismos y si es factible de la dinámica de poblaciones y/o comunidades.

La superficie de muestreo dependerá de las particularidades del ambiente en que se este trabajando y de los organismos que se están muestreando. En términos generales el área muestreada no debe ser menor a 100 x 100 m. Dentro de esta área debe trazarse un itinerario intercalando sistemáticamente estaciones de censo, para realizar los muestreos de los diferentes grupos de animales. El tipo de muestreo debe elegirse dependiendo del grupo a evaluar.

Deben registrarse aspectos sobre estatus sucesional, estado de conservación de los ambientes, perturbaciones naturales frecuentes y actividades humanas observables en los sitios de muestreo.

La distribución de las especies con las que se trabaje debe consultarse en fuentes bibliográficas y durante el trabajo de campo hacerse mediante asociaciones a los diferentes ambientes. Resulta importante aclarar si existe alguna variación entre la distribución conocida y la detectada durante el trabajo de campo ya que es probable que especies sensibles a los contaminantes presentes en el sitio hayan desaparecido del mismo.

En forma adicional debe incorporarse la información observacional obtenida durante los desplazamientos entre transectos y entre puntos de muestreo. Debe tomarse en cuenta que organismos de gran talla son difíciles de observar o capturar por lo que observaciones indirectas (registro de huellas, excretas, pelos) son de gran utilidad.

En caso de que exista duda en la identificación de los organismos observados en terreno, éstos deben colectarse para determinar la especie y valorar su estado (condición de los individuos). La manipulación de los mismos debe ser lo más corta posible. Los individuos deben liberarse en el mismo sitio donde se encontraron. Aquellos organismos recolectados deben identificarse por expertos y prepararse y conservarse de acuerdo a procedimientos estándares.

### **3.8.8 Muestreo de biota acuática**

El muestreo de biota en ríos debe considerar los diferentes hábitats presentes y el fenómeno de mezcla que se da por corrientes. Los sistemas de ríos contienen pozas, bancos sobresalientes, troncos y detritos que influyen en la comunidad biológica. En cada uno de estos hábitats la velocidad de la corriente y la

disponibilidad de luz y sombra influye y estratifica a las comunidades biológicas. Un buen programa de muestreo debe considerar todos estos hábitats. Para un muestreo cualitativo, el biólogo debe cerciorarse de que todos los hábitats fueron investigados. Para un muestreo cuantitativo, una muestra representativa por unidad de área debe tomarse para cada hábitat.

Recomendaciones:

- Seleccionar sitios de muestreo con sustratos, profundidad, características físicas y velocidad similares
- Incluir al menos una estación referencial alejada de los puntos de descarga
- Incluir una estación ubicada directamente bajo la fuente de contaminación.
- Establecer estaciones a distintas distancias río debajo de la fuente de contaminación.
- Los sitios de muestreo de macroinvertebrados deben estar cerca de los sitios utilizados para el monitoreo químico y físico.
- Los sitios para muestreo no deben ser atípicos como presas y puentes, sin embargo; en áreas urbanas estas estructuras pueden ser típicas
- Se deben tener en cuenta, las áreas naturales definidas por cuencas de desagüe y rasgos de la geomorfología, así como los distintos tipos de ambientes acuáticos lóticos y lénticos permanentes, semi-permanentes y artificiales.

### 3.8.9 Transporte y manejo de la muestra

Dependiendo del tipo de muestra, éstas deben colectarse en bolsas de polietileno, bolsas de papel encerado, envases de vidrio y sacos de manta.

- Bolsas de papel o plástico para plantas.
- Sacos de manta para aves, roedores y murciélagos
- Bolsas de plástico para peces y anfibios
- Frascos o bolsas de plástico para renacuajos y macroinvertebrados.

**Nota:** Todos los organismos vivos deben tratarse con dignidad

En los casos en los que se tomen tejidos para medir la concentración de contaminantes en ellos, las muestras deben mantenerse en contenedores debidamente sellados y etiquetados y transportarse en una hielera para evitar cualquier alteración o contaminación de la muestra causada por cambios de temperatura, luz y/o aireación, hasta su entrega en laboratorio.

El análisis de las muestras deberá realizarse lo más pronto posible según el tipo de posibles contaminantes presentes.

## 3.9 MUESTREO DE EDIFICACIONES E INSTALACIONES

Para los fines del muestreo de sitios contaminados se entiende por edificación: toda construcción independiente y separada. Independiente significa en este contexto, que tiene acceso desde la vía pública; separada, que tiene paredes que permiten diferenciarla de otras edificaciones. Las edificaciones pueden tener varias entradas y pueden o no ser utilizadas como viviendas.

### 3.9.1 Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de edificaciones se ubican a juicio del experto en paredes, techos, piso o suelo, así como en instalaciones como: cárcamos, cisternas, drenajes, registros, cimentaciones, etc. Estos puntos son focos potenciales de contaminación por lo cual deben inspeccionarse.

El número de muestras para edificaciones ( $N_{med}$ ) está determinado por el número de tipos de materiales de construcción ( $N_m$ ) y el número de edificaciones independientes ( $N_{ed}$ ).

Tipos de materiales a muestrear independientemente son por ejemplo: tabiques, ladrillos, bloques, losas simples de concreto no armadas, losas de concreto armado, techos de lámina (metálica o asbesto), vigas de acero o de madera, tuberías y recubrimientos. El número de puntos de muestreo de edificaciones ( $N_{med}$ ) se calcula con la siguiente fórmula donde  $i$  es el número de materiales por edificación y  $J$  es el número de edificaciones en el sitio.

$$N_{med} = \sum_{i=1}^M N_{m_i} \times N_{ed_j}$$

Por ejemplo: en un sitio con 7 edificaciones (bodegas y edificios de producción)  $J = 7$ , se ha identificado en la visita de inspección que las bodegas tienen bloques en paredes, techos de lámina, vigas de acero y pisos de losa de concreto no armado. El número de muestras es de 21. Sin embargo debe considerarse que si existen materiales no impregnables en los que no se encuentre contaminación visible por ejemplo láminas de acero, el número de muestras puede reducirse de manera fundamentada.

### 3.9.2 Procedimiento

- El punto de muestreo debe perturbarse lo menos posible. Se debe impedir un desplome de las estructuras a muestrear durante el muestreo.
- Debe tomarse una muestra superficial y simple en al menos tres diferentes alturas de la pared; una a 20 cm del piso, otra a una altura media y una más en la parte superior de la pared. Las tres muestras simples se analizan por separado. Si la pared muestra un estado homogéneo y no se observan manchas de contaminación en distintas áreas se deben tomar tres muestras simples para conformar una muestra compuesta.

- En el caso en que fuera observable la presencia de manchas o de alteración en las paredes, pisos o techo de la edificación, se procederá a muestrear estas alteraciones a juicio del experto, considerando la extensión de dicha alteración.
- Se deberá tomar al menos un núcleo por pared a juicio del experto, que abarque todo el espesor de las paredes y muros.
- En el techo, la elección de los puntos de muestreo se hará dependiendo del tipo de techado de la edificación. Al menos debe elegirse una muestra.
- Si existen instalaciones (cárcamos, cisterna, registros, tanques, drenajes, etc.) debe tomarse una muestra en cada una en el caso de existir evidencia visible de la presencia de contaminantes.
- Todas las muestras tomadas deben estar debidamente selladas y etiquetadas.

### 3.9.3 Transporte y manejo de la muestra

Las muestras que se presume, contengan contaminantes orgánicos deben colectarse en bolsas de polietileno debidamente selladas y etiquetadas. Hasta su entrega al laboratorio, deben mantenerse en una hielera para evitar cualquier cambio o contaminación de la muestra por efecto de temperatura, luz y/o aeración.

Si se desconocen los posibles contaminantes presentes, el análisis de las muestras debe realizarse lo más pronto posible.

## 3.10 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA EL MUESTREO

### 3.10.1 Equipo de seguridad mínimo durante la toma de muestras es:

- Cubre boca
- Guantes
- Overol o pantalón y camisa de Tyvek
- Casco
- Botas
- Lentes o Goggles
- Mascarilla para polvos y gases
- Botiquín de primeros auxilios.

### 3.10.2 Equipo convencional de muestreo de suelos

- Flexómetro
- Espátula
- Martillo neumático
- Martillo perforador
- Pica
- Sierras
- Plano de construcción

### 3.10.3 Material de muestreo para etiquetado y conservación de muestras

- Etiquetas
- Marcadores
- Tijeras y cuchilla
- Pinsetas
- Frascos
- Cartucho con contratapa o sello de PTFE que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis
- Frasco de vidrio boca ancha, con contratapa o sello de PTFE o cartucho con sello que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis,
- Cartucho con contratapa o sello de PTFE que asegure la integridad de las muestras hasta su análisis
- Bolsas de polietileno
- Hielera
- Guantes

Adicionalmente

- báscula,
- termómetro,
- barómetro,

- potenciómetro,
- conductímetro e
- higrómetros

#### **3.10.4 Material específico para muestreo de biota**

- Redes de niebla para murciélagos y aves.
- Trampas “sherman” para roedores.
- Trampas “toma Hawk” para mamíferos medianos.
- Redes para organismos acuáticos (renacuajos, peces, macroinvertebrados)
- Linternas de cabeza o de mano para los censos nocturnos
- Botas de hule para censos acuáticos

Si los organismos se transportan vivos además:

- Sacos de manta para aves, roedores y murciélagos
- Bolsas de plástico para peces y anfibios
- Frascos o bolsas de plástico para renacuajos y macroinvertebrados.

#### **3.10.5 Material de muestreo específico de vapores y gases de suelos**

- Tubo de adsorción
- Sonda de muestreo
- Hipodérmica de vidrio
- Bomba de succión
- Medidor de flujo del volumen
- Reloj

#### **3.10.6 Equipo y material de muestreo de aguas superficiales**

- Bomba de aspiración para muestreo personal y ambiental cuyo caudal se mantenga dentro del valor determinado, con una exactitud de  $\pm 5\%$ .

- Unidad de captación.
- Filtro de membrana de cloruro de polivinilo (PVC) de 37 mm. de diámetro y 0,5 micras de tamaño de poro, previamente tarado con una aproximación mínima de 0,01 mg. (se debe pesar el filtro, en una atmósfera libre de polvo y evitando tomarlo con los dedos, previamente secado aproximadamente a 60 °C para eliminar la humedad que haya podido adquirir del medio ambiente).
- Soporte de celulosa.
- Porta filtros o cassette de poliestireno de 2 ó 3 cuerpos, de 37 mm (1.5 in) de diámetro, en los que se coloca el filtro sobre el soporte de celulosa.
- Utilizar cassette de 2 cuerpos, para muestrear la fracción de polvo respirable.
- Ciclón de nylon de 10 mm.; solo utilizarlo para muestrear fracción de polvo respirable.
- Tubo flexible.
- Adaptador.
- Termómetro y manómetro.

## El Paseo Santa Lucía



En el centro de la ciudad de **Monterrey**, un predio de aproximadamente 50 hectáreas, aldaño al denominado parque Fundidora, albergaba los **graseros de una fundidora**. El sitio se encontraba contaminado por escorias de fundición masivas y granuladas que contenían plomo y arsénico y por calcinas de plomo.



En 2005 el gobierno del estado asumió el predio donde se encontraban los **graseros de una fundidora** en la ciudad de **Monterrey** y presentó un estudio de caracterización y de riesgo. Había además un proyecto de desarrollo urbano en el que estaba contemplada la construcción de un canal que uniera la macroplaza de la ciudad con el parque Fundidora.



En 2006 se inició el proyecto de remediación el cual consistió en un sistema de cobertura superficial o sistema multicapa para interrumpir las rutas de exposición que principalmente se debían a la generación de polvos. Las calcinas fueron trasladadas a un confinamiento de residuos peligrosos. Una vez aprobado el proyecto de cobertura se construyó el canal.

El 15 de septiembre de 2007 se inauguró el denominado **Paseo Santa Lucía** ubicado en el sitio donde se encontraban los **graseros de una fundidora** en la ciudad de **Monterrey**. Con este proyecto se controló la contaminación y los riesgos causados por ésta, se mejoraron las vialidades de la ciudad, se reintegró a la economía local un predio de alto valor y se creó un espacio para la sociedad con un fuerte atractivo turístico.



#### Links

[http://www.nl.gob.mx/?P=forum\\_paseo\\_stalucia](http://www.nl.gob.mx/?P=forum_paseo_stalucia)

#### **4. LINEAMIENTOS Y CONSIDERACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RUTAS Y VÍAS DE EXPOSICIÓN**



## 4. LINEAMIENTOS Y CONSIDERACIONES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RUTAS Y VÍAS DE EXPOSICIÓN

### 4.1 GLOSARIO

**Contaminantes críticos:** contaminante elegido por su toxicidad y peligrosidad para realizar la caracterización del riesgo.

**Clasificación de los tipos de exposiciones:** de acuerdo a la magnitud del periodo de exposición.

- Exposiciones crónicas: es la exposición a una sustancia química durante más de 3 meses.
- Exposiciones subcrónicas: exposiciones de corta duración, entre 1 y 3 meses.
- Exposiciones agudas: son exposiciones de un día o menos de duración y que suceden en un solo evento.
- Exposiciones subagudas: es la exposición a una sustancia química durante un mes o menos.
- El tipo de efecto tóxico que produce una sustancia sirve para hacer una clasificación en: cancerígenos, no-cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos.

**Dosis:** cantidad de una sustancia disponible que interactúa con el proceso metabólico o biológico de los receptores una vez que ha cruzado las barreras externas del organismo.

**Efecto adverso o daño:** cambio en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo o reproducción de un organismo, población, comunidad o ecosistema que resulta en el deterioro de la capacidad funcional y deterioro en la capacidad de compensar los efectos de factores de estrés adicionales. Es una función de la dosis de exposición y de las condiciones de exposición (vía de ingreso, duración y frecuencia de las exposiciones, tasa de contacto con el medio contaminado, entre otros). Para fines de esta guía considerar que es una función de la dosis y de las condiciones de exposición (vía de ingreso, duración y frecuencia de las exposiciones, tasa de contacto con el medio contaminado, etc.).

**Fuente de contaminación:** Punto o área de contaminación y dispersión de materiales peligrosos y residuos peligrosos al ambiente, fuente que emite contaminantes al medio ambiente en un sitio contaminado. Para el fin de esta guía considerar además las características fundamentales de su localización y los mecanismos de emisión. Se localiza y describe utilizando los datos de muestreo y la información preliminar que se tenga acerca del sitio. Se localizan los sitios dónde se están liberando, se liberaron o se espera que se liberen los tóxicos, identificando todos los mecanismos posibles de liberación y de medios receptores.

**Medio de retención y transporte:** Se refiere al medio responsable de exposición (aire, agua, suelo, polvo, alimento, etc.). Después de que la sustancia ha sido liberada le puede pasar lo siguiente: acumularse en uno

o más medios incluyendo el de recepción, transportarse por una corriente de agua, disuelto o suspendido en algún sedimento, o por los vientos en estado gaseoso o en polvos, transformarse físicamente (volatilización, precipitación), químicamente (fotólisis, hidrólisis, oxidación, reducción, etc.) o biológicamente (biodegradación). Para estudiar la distribución de una sustancia en el ambiente es necesario conocer sus propiedades físicas y químicas y las del medio y/o medios en los que se desplaza.

**Población receptora:** Poblaciones (humanas o biota) que están expuestas a los contaminantes. La población receptora es entonces la población expuesta.

**Punto de exposición:** Son los sitios en donde sucede el contacto de los organismos con los contaminantes. (área de recreación infantil, pozos profundos, grifos caseros, manglares, etc.). Son de mayor importancia los puntos de exposición donde la concentración que va a ser contactada sea la más alta y donde la población expuesta se clasifique como de interés especial por pertenecer a un grupo sensible.

Se consideran como puntos de exposición potencial todas las fuentes y medios contaminados si:

- El sitio se encuentra en uso
- El acceso al mismo no está restringido o de alguna forma limitado
- Si el contacto es posible en el futuro por un uso alterno del suelo.

**Ruta de exposición:** es el camino que sigue un agente químico potencialmente tóxico en el ambiente desde el lugar donde se emite hasta que llega a establecer contacto con la población o individuo expuesto. El análisis de la ruta de exposición describe la relación que existe entre: las fuentes y su localización, el tipo de derrames o liberación al medio ambiente, y los receptores lo cual incluye la localización de las poblaciones donde se encuentran, los patrones de actividad y otros factores como la pobreza.

Los elementos que constituyen una ruta de exposición son:

1. La fuente,
2. El medio de retención o de transporte,
3. El mecanismo de transporte,
4. El punto de exposición, y
5. Los individuos o poblaciones expuestas receptoras de la contaminación.

**Ruta de exposición completa:** si hay una liberación de una sustancia desde una fuente, un escenario de exposición donde pueda ocurrir un contacto y una vía de exposición o ingreso. El evaluador deberá identificar las rutas con un nombre que claramente las distinga. Este punto es muy importante ya que pueden presentarse casos en que varias rutas compartan elementos. Sin embargo, es más importante identificar las

rutas que comparten idéntica población receptora ya que en este caso, la dosis total de exposición, que es la sumatoria de las dosis de todas las rutas, puede llegar a superar el nivel tóxico del contaminante, lo que representa un riesgo para la salud de los organismos de la población receptora. La importancia de las rutas se determina por los siguientes puntos: número de personas afectadas por la ruta y características demográficas por sexo y edad, cantidad de contaminantes críticos identificados por ruta y rutas que comparten la misma población receptora.

*Nota aclaratoria:* Las rutas de exposición completas pueden ser actuales (presente) o futuras. Una ruta presente es aquella que al momento de realizar el estudio de evaluación de riesgo ambiental y existe como tal para el uso actual del predio. Una ruta de exposición futura es aquella dependiendo del uso o destino que se le vaya a dar al sitio después de la remediación. Estos usos propuestos por los responsables del sitio contaminado con base en el programa de remediación deben estar de acuerdo con los planes de ordenamiento urbano, municipal o regional que existan o en caso de no existir estos ser propuestos por responsable de la contaminación

**Ruta potencial:** Se consideran aquellas en las que alguno de los elementos de la ruta no están bien definidos. Queda a criterio del evaluador considerarla como una ruta importante.

**Tiempo de exposición:** es el período transcurrido entre el evento de exposición y las observaciones en el organismo expuesto. Es una variable muy importante a considerar especialmente en el caso de exposiciones intermitentes.

**Vías de exposición:** Proceso por el cual el contaminante entra en contacto directo con el cuerpo, tejidos o barreras de intercambio del organismo receptor. Para el propósito de la toxicología ambiental, se consideran de importancia las siguientes: por ingestión (agua, tierra, alimento, polvo), por inhalación (aire, partículas finas) y por contacto cutáneo. La selección de las vías de exposición que deben ser estudiadas, depende de los medios en los que se encuentre el tóxico en el punto de contacto.

## 4.2 LINEAMIENTOS GENERALES

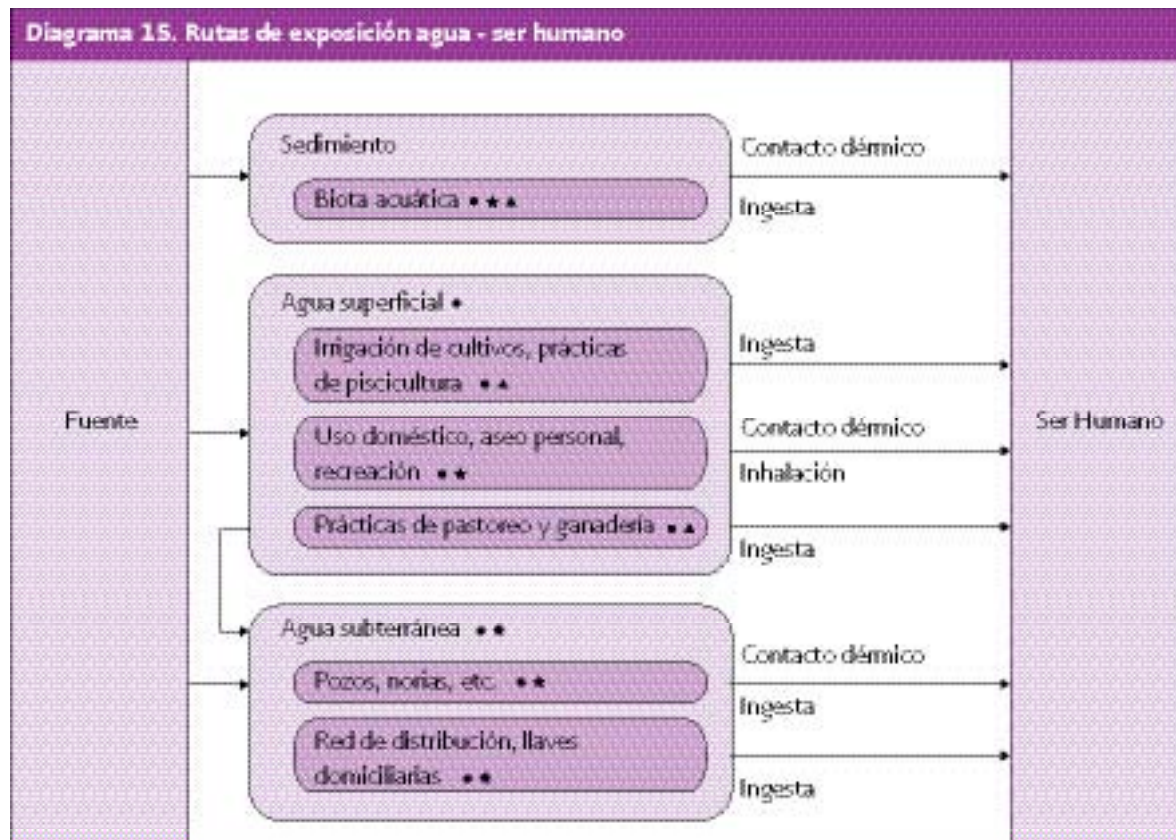
Uno de los propósitos del análisis de destinos y transportes es predecir las exposiciones futuras y para servir de base en el diseño de estrategias de prevención de la contaminación. El análisis del proceso de transporte de tóxicos en el medio ambiente permite esclarecer las ligas existentes entre las fuentes y los medios contaminados.

Estos datos se alimentan en modelos que representan el transporte dentro del medio de recepción, las transferencias de este medio a otros y los transportes dentro de los medios a los que fue transferido.

**Nota:** Siempre se deberán considerar las características del contaminante en cuestión y del medio receptor

## 4.3 CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE RUTAS DE EXPOSICIÓN

### 4.3.1 Agua - Ser humano



● Puntos de muestreo para el agua

● Puntos de muestreo para recursos naturales

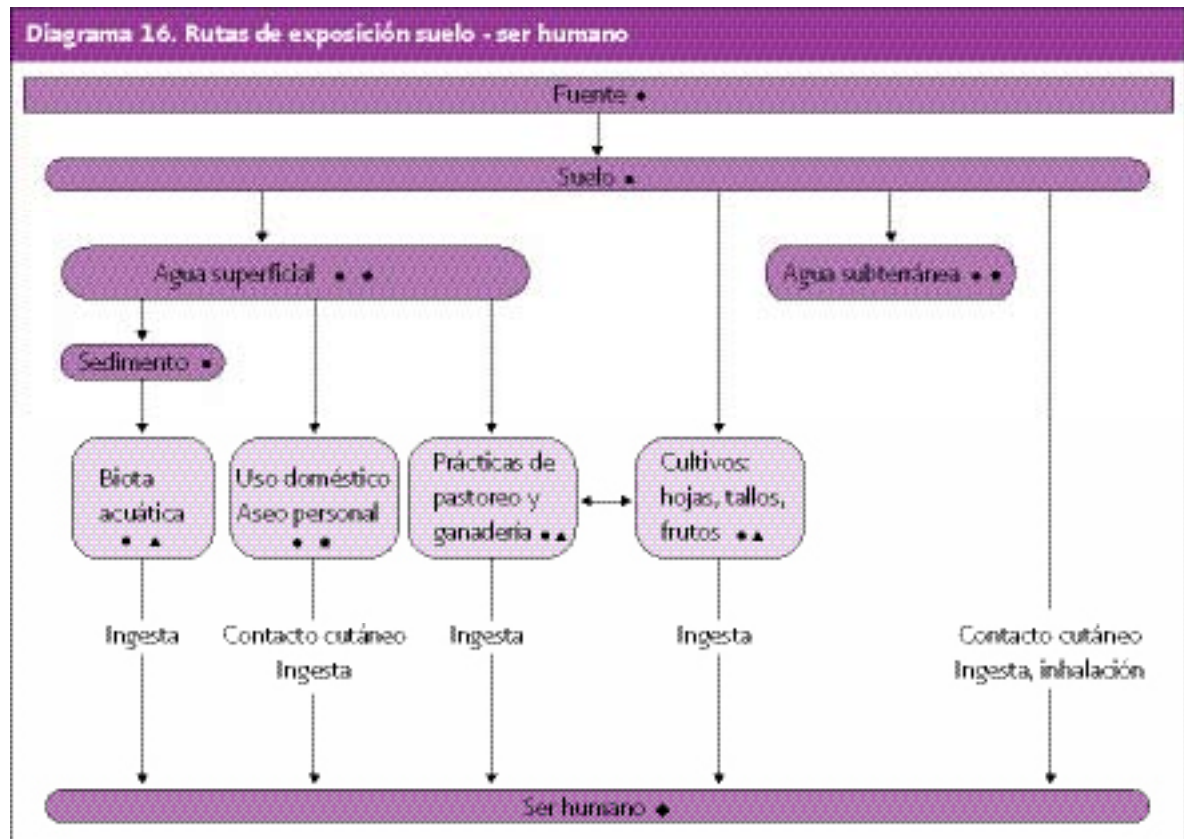
▲ Puntos de muestreo para recursos biológicos

◆ Puede ser muestreado en el caso de sospecharse una exposición

1. Perfil Geológico
2. Mapa de contornos de la tabla de agua y de pozos de monitoreo si los hubiere
3. Promedio Neto de precipitación pluvial y tasa de evaporación
4. Conductividad hidráulica de la zona de saturación (estimada o medida)
5. Datos del muestreo y descripción del muestreo, información básica sobre la localización de los pozos contaminados y el nivel de contaminación a través del tiempo.

### 4.3.2 Suelo - ser humano

1. Datos del muestreo y descripción del muestreo
2. Tipo y característica del suelo
3. Cubierta superficial

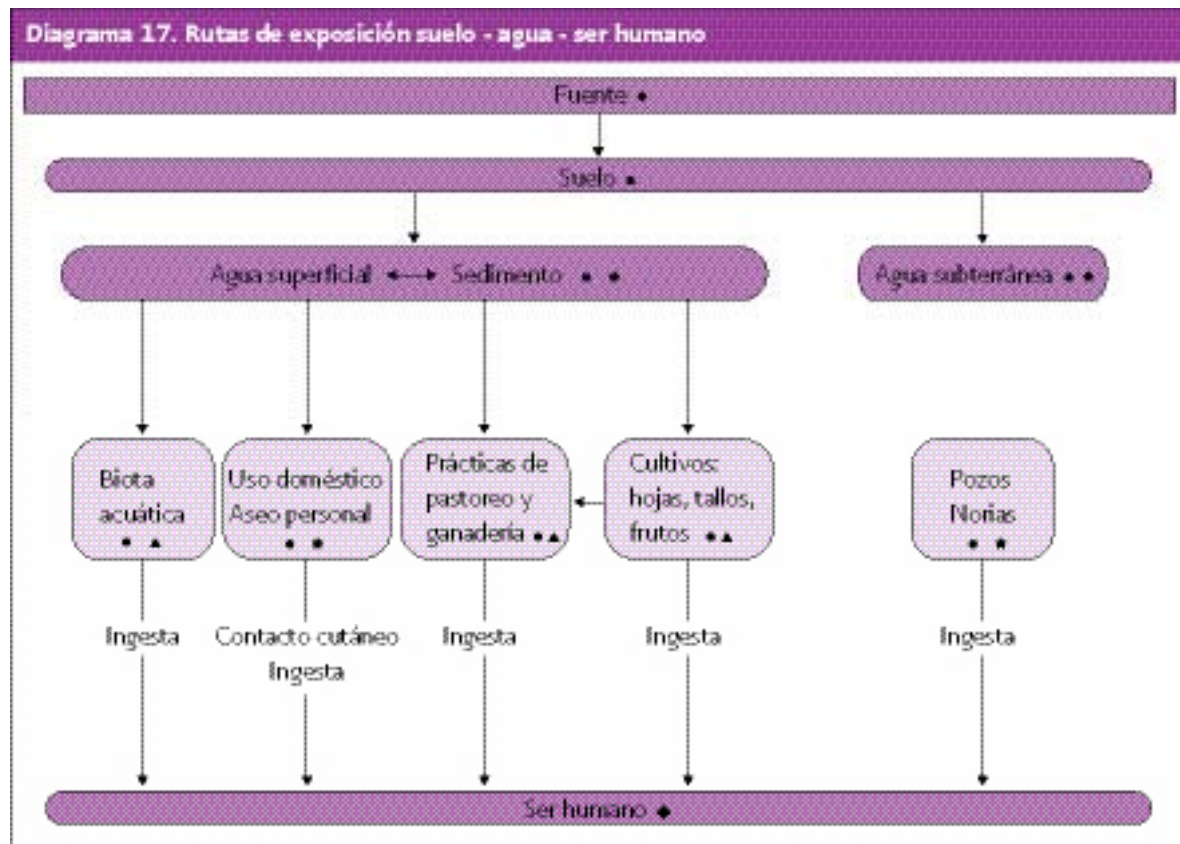


- Puntos de muestreo para el agua
- Puntos de muestreo para recursos naturales
- ▲ Puntos de muestreo para recursos biológicos
- ◆ Puede ser muestreado en el caso de sospecharse una exposición

Nota: Siempre se deberán considerar las características del contaminante en cuestión y del medio receptor.

### 4.3.3 Suelo-agua-ser humano

1. Mapa de inundaciones
2. Datos del muestreo y descripción del muestreo
3. Tipo y características del suelo
4. Datos de muestreo para gas proveniente del subsuelo

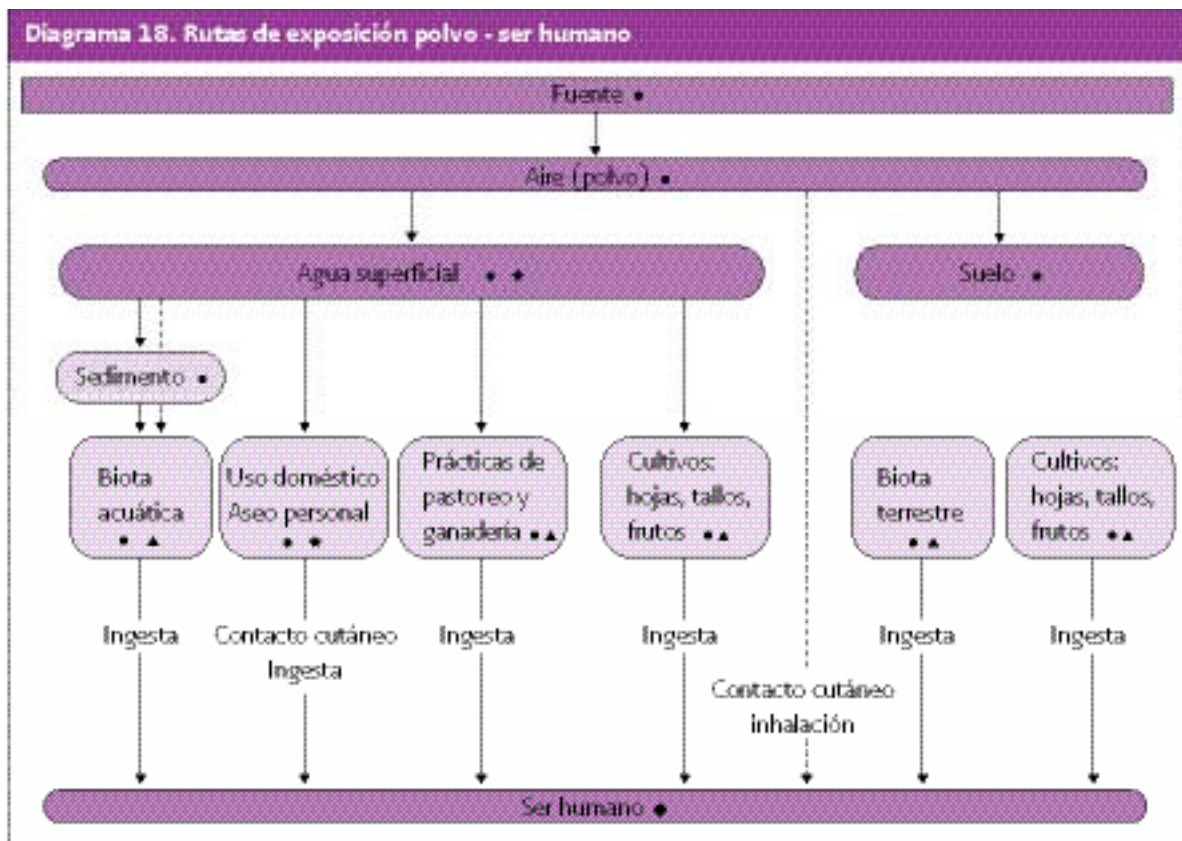


- Puntos de muestreo para el agua
- Puntos de muestreo para recursos naturales
- ▲ Puntos de muestreo para recursos biológicos
- ◆ Puede ser muestreado en el caso de sospecharse una exposición

Nota: Siempre se deberán considerar las características del contaminante en cuestión y del medio receptor.

#### 4.3.4 Residuos polvo-ser humano

1. Datos del muestreo y descripción del muestreo
2. Información climática
3. Rosa de los vientos
4. Datos de muestreo para gas proveniente del subsuelo

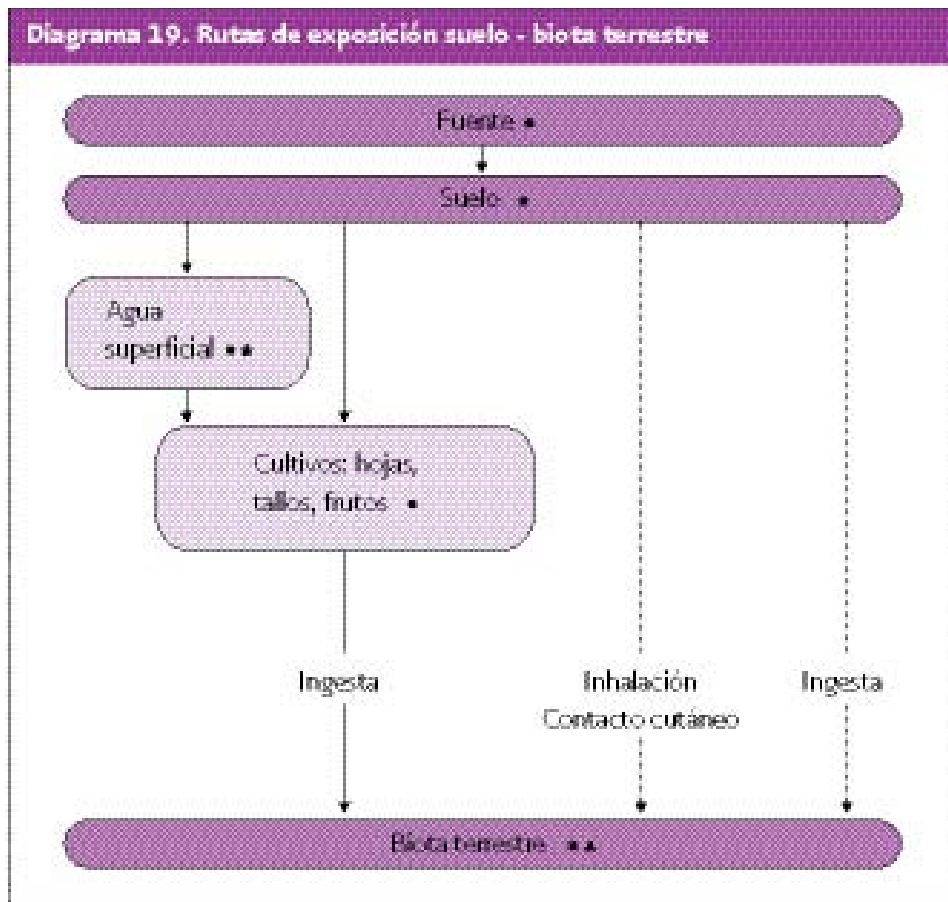


- Puntos de muestreo para el agua
- Puntos de muestreo para recursos naturales
- ▲ Puntos de muestreo para recursos biológicos
- Puede ser muestreado en el caso de sospechase una exposición
- > Rutas directas

Nota: Siempre se deberán considerar las características del contaminante en cuestión y del medio receptor.

### 4.3.5 Suelo-biota terrestre

1. Datos del muestreo y descripción del muestreo
2. Datos del muestreo biológico (flora y fauna)
3. Tipo y características del suelo
4. Cubierta superficial

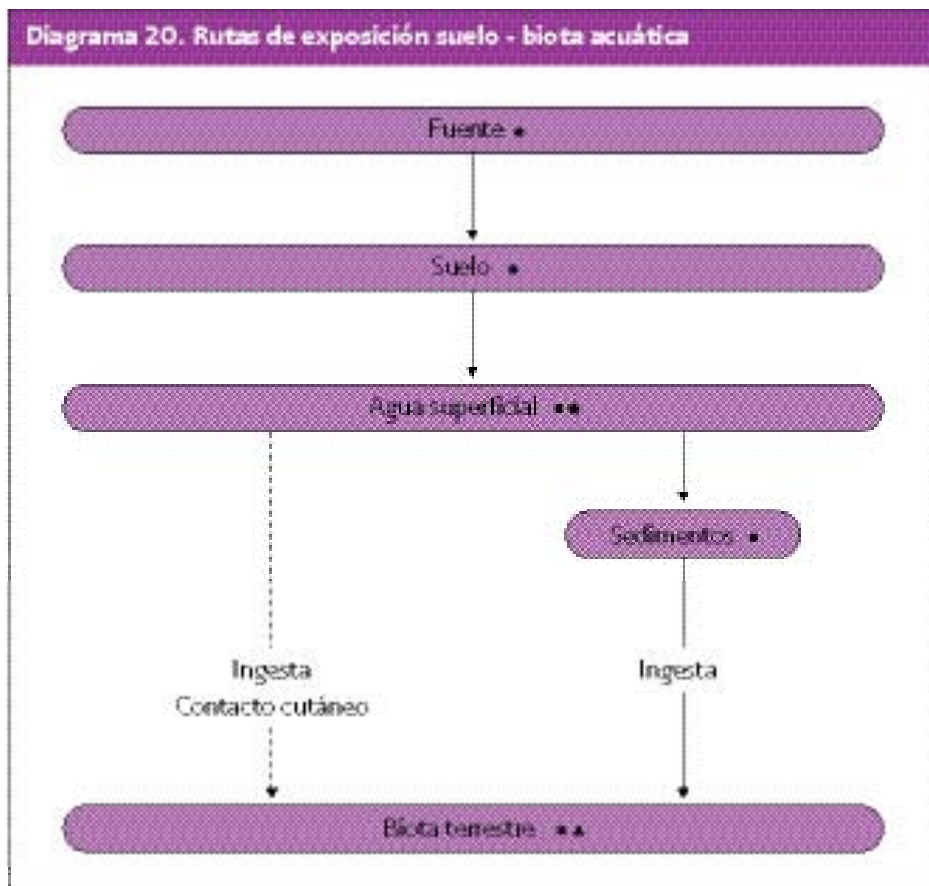


- Puntos de muestreo para el agua
- Puntos de muestreo para recursos naturales
- ▲ Puntos de muestreo para recursos biológicos
- > Rutas directas

Nota: Siempre se deberán considerar las características del contaminante en cuestión y del medio receptor.

### 4.3.6 Suelo-biota acuática

1. Datos del muestreo y descripción del muestreo
2. Datos del muestreo biológico (flora y fauna)
3. Tipo y características del sedimento
4. Cubierta superficial



- Puntos de muestreo para el agua
- Puntos de muestreo para recursos naturales
- ▲ Puntos de muestreo para recursos biológicos
- Rutas directas

Nota: Siempre se deberán considerar las características del contaminante en cuestión y del medio receptor.



## **LISTA DE DOCUMENTOS Y REFERENCIAS**



## LISTA DE DOCUMENTOS Y REFERENCIAS

1. APHA, AWWA, WPCF, 1992. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 19<sup>a</sup> Edición. E.U.A.
2. Lawrence H. Keitth. 1992. Environmental Sampling and Análisis. A Practical Guide. Lewis Publishers. E.U.A. 143 pp.
3. Lawrence H. Keitth. 1996. Principles of Environmental Sampling. ACS Professional referente Book. 2<sup>a</sup> Ed. E.U.A. 848 pp.
4. Wade H. Weisman. March 1998. Analysis of Petroleum Hydrocarbons in Environmental Media. Vol. 1. By Amherst Scientific Publishers. U.S.A. 98 pp.
5. Boulding R. J. 1994. Description and Sampling of Contaminated Soils. A field Guide. Lewis Publishers. 2<sup>a</sup> Ed. U.S.A.
6. NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
7. PROY-NOM-143-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos.KJH.
8. NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
9. American Petroleum Institute. 1987. Manual of sampling and analytical methods for petroleum Hydrocarbons in Groundwater and soil. API Publication No. 4449 Health and environmental Sciences department. Meryl Kane. USA.
10. Arce V.A.L., Calderón M.C.G. & Tomasini O.A.C. Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Comisión Nacional del Agua.
11. NMX-AA-132-SCFI-2006 Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.
12. NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos Sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
13. Métodos de Muestreo de Agua.
14. Peña E.C., Carter D.E. & Ayala-Fierro F. 2001. Toxicología Ambiental: Evaluación de riesgos y restauración Ambiental. Distributed on the via the Southwest hazardous Waste Program website at.
15. <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>.
16. Recomendaciones de Procedimiento para la toma de muestra de gases en suelos. Editor: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 21 pp.

17. Bannert. M., Berger W., Fischer H., Horchler D., Keese K., Lehnik-Habrink P., Lück D., Pritzkow J. & Win T. Mayo 2001. Exigencias para la toma de muestras, el manejo de muestras y los métodos químicos de investigación y análisis para propiedades federales (EPTMyMIA). Berlín. **Impresum:** Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). 70 pp.
18. Environmental Health Risk Assessment Guidelines for Assessing Human Health Risks from Environmental Hazards. Department of health and ageing and enhealth Coucil. Commonwealth of Australia. June, 2002. Australia. 258 pp.
19. Petroleum and solvent Vapours: Quantifying their Behaviour, Assessment and Exposure. Davis G.B. Trefy M.G. and Patterson B.M. July 2004. CSIRO Land and Water. 57 pp.
20. Métodos para la realización de sondeos
21. Department of Environmental Protection. Government of Western Australia. December, 2001. Development of Sampling and Analysis Programs. In: Contaminated Sites Management Series. 77 pp.
22. National Environmental Protection Council. 1999. Schedule B (2) Guideline Data Collection sample Design and Reporting. Government of Western Australia. 76 pp.
23. Innovations in Site Characterization. Case Study: The role of a conceptual site model for expedited site characterization using the triad approach at the Poudre: River Site, Fort Collins, Colorado. USEPA, November, 2006. 144 pp.
24. ATSDR Evaluación de riesgos en salud por exposición a residuos peligrosos. Atlanta, GA: ATSDR; 1995
25. [http://www.ine.gob.mx/dg/curg/sqre/ti\\_ev\\_riesgo.html](http://www.ine.gob.mx/dg/curg/sqre/ti_ev_riesgo.html)
26. Contaminated Site Management Series. Assessment Levels for Soil, Sediment and Water. Draft for public comment, Version 3. November, 2003.
27. NOM-087-ECOL-SSA1-2002. Protección ambiental – salud ambiental – residuos peligrosos biológico infecciosos- clasificación y especificaciones de manejo.
28. NOM-052-SEMARNAT-1993. Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
29. NOM-054-ECOL-1993. Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-052-ECOL-1993.
30. NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
31. NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente- Contaminación del suelo- residuos sólidos municipales- Muestreo y método del cuarteo.

32. NMX-AA-61-1985. Protección al Ambiente-Contaminación del suelo- residuos sólidos municipales- determinación de la generación.
33. NOM-025-SSA1-1993. "Salud ambiental, criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a las partículas menores a 10 micras (PM 10) valor permisible para la concentración de partículas menores de 10 micras (PM 10) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
34. PROY-NMX-AA-138-SCFI-2006. Residuos – obtención de muestras representativas, su manejo, conservación y transporte - especificaciones



**ANEXO 1. ACTIVIDADES INDUSTRIALES  
POTENCIALMENTE CONTAMINANTES  
DEL SUELO**



## ANEXO 1. ACTIVIDADES INDUSTRIALES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES DEL SUELO

Ramo	Descripción
Cuero	Preparación, curtido y teñido de pieles de peletería.
	Preparación, curtido y acabado del cuero.
Minerales no metálicos	Fabricación de artículos cerámicos de uso doméstico y ornamental.
	Fabricación de azulejos y baldosas de cerámica.
	Fabricación de productos minerales no metálicos diversos.
	Fabricación de vidrio y productos de vidrio.
	Reciclaje de desechos no metálicos.
Minerales metálicos	Extracción de minerales metálicos no féreos, excepto minerales de uranio y torio.
Energía	Extracción de crudos de petróleo y gas natural.
	Actividades de los servicios relacionados con las explotaciones petrolíferas y de gas, excepto actividades de prospección.
	Refino de petróleo
	Producción y distribución de energía eléctrica
	Producción de gas, distribución de combustibles gaseosos por conductos urbanos, excepto gasoductos
	Coquerías
Textil	Acabado de textiles
	Lavado, limpieza y teñido de prendas textiles y de piel (1).
	Fabricación de tejidos impregnados, endurecidos o recubiertos en materias plásticas
	Fabricación de fibras artificiales y sintéticas.
Residuos	Recogida y tratamiento de aguas residuales.
	Recogida y tratamiento de otros residuos.
	Actividades de saneamiento, descontaminación y similares (3).
	Depósito y almacenamiento de mercancías peligrosas.

Química	Fabricación de productos químicos básicos.
	Fabricación de pesticidas y otros productos agroquímicos.
	Fabricación de pinturas, barnices y revestimientos similares; tinta de imprenta y masillas.
	Fabricación de productos farmacéuticos.
	Fabricación de jabones, detergentes y otros artículos de limpieza y abrillantamiento.
	Fabricación de perfumes y productos de belleza e higiene.
	Fabricación de otros productos químicos.
	Laboratorios de revelado, impresión y ampliación fotográfica (1).
	Fabricación de fibras artificiales y sintéticas.
	Fabricación de grasas y aceites (vegetales y animales).
	Fabricación de productos de caucho.
	Fabricación de fibrocemento.
	Industria metal mecánica
Fabricación de tubos de hierro.	
Fabricación de tubos de acero.	
Otros procesos de primera transformación del hierro y del acero.	
Producción y primera transformación de metales preciosos.	
Producción y primera transformación de aluminio.	
Producción y primera transformación de plomo, zinc y estaño.	
Producción y primera transformación de cobre.	
Producción y primera transformación de otros metales no férreos.	
Fundición de metales.	
Fabricación de elementos metálicos para la construcción.	
Fabricación de cisternas, grandes depósitos y contenedores de metal.	
Fabricación de radiadores y calderas para calefacción central.	
Fabricación de generadores de vapor.	
Forja, estampación y embutición de metales; metalurgia de polvos	
Tratamiento y revestimiento de metales.	
Ingeniería mecánica general por cuenta de terceros.	
Fabricación de artículos de cuchillería y cubertería, herramientas y ferretería.	
Fabricación de cerraduras y herrajes.	
Fabricación de productos metálicos diversos, excepto muebles.	
Fabricación de máquinas, equipos y material mecánico.	
Fabricación de máquinas, equipo y material mecánico de uso general.	

Fabricación de maquinaria agraria.
Fabricación de máquinas-herramienta.
Fabricación de maquinaria diversa para usos específicos.
Fabricación de armas y municiones.
Fabricación aparatos electrodomésticos.
Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos.
Fabricación de motores eléctricos, transformadores y generadores.
Fabricación de aparatos de distribución y control eléctricos.
Fabricación de hilos y cables eléctricos aislados.
Fabricación de acumuladores y pilas eléctricas.
Fabricación de lámparas eléctricas y aparatos de iluminación.
Fabricación de otro equipo eléctrico.
Fabricación de válvulas, tubos y otros componentes electrónicos.
Fabricación de transistores de radiodifusión y televisión y de aparatos para la radiotelefonía y radiotelegrafía con hilos.
Fabricación de aparatos de recepción, grabación y reproducción de sonido e imagen.
Fabricación de equipo e instrumentos médico-quirúrgicos y de aparatos ortopédicos.
Fabricación de instrumentos y aparatos de medida, verificación, control, navegación y otros fines, excepto equipos de control para procesos industriales.
Fabricación de equipos de control de procesos industriales.
Fabricación de vehículos de motor.
Fabricación de carrocerías para vehículos de motor, de remolques y semirremolques.
Fabricación de partes, piezas y accesorios no eléctricos para vehículos de motor y sus motores.
Construcción y reparación naval.
Fabricación de material ferroviario.
Construcción aeronáutica y espacial.
Fabricación de motocicletas y bicicletas.
Fabricación de muebles.
Fabricación de otros artículos que utilicen sustancias peligrosas.
Reciclaje de chatarra y desechos de metal.
Fabricación de chapas, tableros, contrachapados, alistonados, de partículas aglomeradas, de fibras y otros tableros de paneles.
Mantenimiento y reparación de vehículos de motor.

Papel	Fabricación de papeles pintados
	Artes gráficas y actividades de los servicios relacionados con las mismas (1).
Comercio	Comercio al por mayor de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y productos similares.
	Comercio al por mayor de metales y minerales metálicos.
	Comercio al por mayor de pinturas y barnices.
	Comercio al por mayor de fertilizantes y productos químicos para la agricultura.
	Comercio al por mayor de productos químicos industriales.
	Comercio al por mayor de chatarra y productos de desecho.
	Comercio al por menor de combustibles.
	Intermediarios del comercio de combustibles, minerales, metales y productos químicos industriales.
	Venta, mantenimiento y reparación de motocicletas y ciclomotores y de sus repuestos y accesorios (2).
	Venta al por menor de carburantes para la automoción, cuando posean instalaciones de almacenamiento.
	Aserrado y cepillado de la madera, preparación industrial de la madera
Transporte	Transporte por ferrocarril.
	Otros tipos de transporte terrestre.
	Transporte por tubería.
	Otras actividades anexas de transporte marítimo.
	Otras actividades anexas de transporte aéreo.

(1) Excepto comercio al por menor.

(2) Excepto venta.

(3) Excepto los terrenos en los que se realicen labores de descontaminación a terceros.

**ANEXO 2. LISTADO DE CONTAMINANTES QUE  
POSIBLEMENTE SE ENCUENTRAN EN  
SITIOS DONDE SE REALICEN ACTIVIDADES  
POTENCIALMENTE CONTAMINANTES**



**ANEXO 2. LISTADO DE CONTAMINANTES QUE POSIBLEMENTE SE ENCUENTRAN EN SITIOS DONDE SE REALICEN ACTIVIDADES POTENCIALMENTE CONTAMINANTES**

Ramo	Tipo	Procesos específicos	Principales contaminantes
Cuero	Curtiembre	Procesos de tratamiento de cuerpo ovino, bovinos y equinos, particularmente curtido al cromo, nevado de ovinos (plomo), desengrase (Percloroetileno), pre tratamiento con biocidas y funguicidas (Pentaclorofenos, entre otros)	COV, Fenoles, Formaldehido, MP, TPH
	Peletería fina	Curtido de pieles finas con curtientes inorgánicos (cromo y arsénico)	COV, Fenoles, Formaldehido, MP, TPH
Metalúrgica	Deposito de chatarra	Depósito y desguace de chatarra: artículos metálicos ferrosos y no ferrosos en desuso o averiados (ej: vehículos, equipamiento eléctrico). Quemadas, derrames y accidentes.	D&F, Fenoles, MP, PCB
	Fundición no ferrosa	Fundición de chatarra de plomo, bronce, estaño, aluminio, y otros metales no ferrosos.	COV, D&F, Fenoles, Ftalatos, MP, TPH
	Galvanoplastia	Tratamiento de piezas metálicas, entre otros: Cromado y Pasivado (Cr), Cadmiado (Cd), Galvanizado (Zn), Postgalvanizado (Pb), Niquelado (Ni).	D&F, Fenoles, HC, MAH, MP
	Industria Automotriz	Fabricación de automotores, motocicletas y bicicletas, o piezas para este fin (incluye procesos específicos como galvanizados)	COV, MP, TPH
	Mecanizado	Torneado, fresado, rectificado, trefilado y otros procesos de mecanizado industrial de piezas ferrosas y no ferrosas	COV, D&F, Fenoles, Ftalatos, HC, MP, TPH
	Siderúrgica	Fabricación de acero a partir de mineral o chatarra de hierro, incluye fundición de hierro, mecanizado de palanquilla de hierro y procesos de laminado. Productos de acero y aleaciones (Cr, As)	COV, D&F, Fenoles, MP, PAH. PCB, TPH
	Transformadores y capacitores	Fabricación, reparación o mantenimiento de transformadores y capacitores eléctricos	D&G, MP, PCB

Minerales no metálicos	Asbesto	Extracción de minerales de asbesto, y fabricación de artículos (ej: fibrocemento)	Asbesto, COV Fenoles, Ftalatos, MP
	Cerámico	Fabricación industrial de artículos cerámicos. Ej: uso de aditivos de ladrillos refractarios (AS, Cr)	MP
	Vidrio	Fabricación industrial de artículos de vidrio. Uso de aditivos: decoloración (As), vidriado cerámico (Pb), pigmentos (Cd, Cr), espejos (Hg)	MP
Minerales metálicos	Extractiva	Minería y procesamiento de minerales metálicos. Ej: contaminantes metálicos presentes en los residuos	COV, D&F, Fenoles, Ftalatos, MAH, MP, TPH
Energía	Deposito de combustible	Sistema de almacenamiento de combustible (derivados del petróleo) para su distribución. Incluyendo las estaciones de servicio. Derrames y perdidas y manejo de fondos de tanque	COV, HC, Fenoles, MAH, MP, PAH, TPH
	Derivados de petróleo	Fabricación de derivados de petróleo excluyendo las operaciones realizadas en refinería. Incluyendo la fabricación de alcohol, petroquímicos, lubricantes, entre otros.	Fenoles, Ftalatos, HC, MP, PBC, TPH
	Refinería	Procesamiento de petróleo para la fabricación de combustible y otros derivados. Uso de aditivos y catalizadores (ej: Pb como antidetonante gasolina)	D&F, Fenoles, Ftalatos, MP, PCB, TPH
	Usina de transformación eléctrica	Sistema de transformadores y condensadores eléctricos. Mantenimiento o cambio de aceite dieléctrico. Derrames y otros accidentes	PCB, D&F
Textil	Terminación	Operaciones de limpieza y tratamiento especial de tejidos. Limpieza PCE (Solvente y agentes de limpieza). Teñido y estampación industrial de fibras (uso de colorantes, pigmentos y mejoradores del baño de tición). As (mordiente). CR (colorante. Medio de tición)	COV, HC, Fenoles, Formaldehidos, Ftalatos, MAH, MP, Plaguicidas
Varios	Accidentes químicos	Vertidos no intencionales de sustancias y productos químicos durante su transporte y/o almacenamiento	(varios)

	Soporte y mantenimiento de transporte aéreo, marítimo y terrestre	Puertos, aeropuertos y otras terminales de carga de pasajeros y mercancías. Talleres de reparación y mantenimiento ferroviario, aéreo, transporte carretero, entre otros.	COV, Fenoles, MAH, MP, PCB, TPH
	Deposito de químicos	Deposito de productos químicos	(varios)
	Fabricación artesanal de ladrillos	Manejo de residuos industriales y domésticos como combustibles o en la mezcla de composición del adobe (ej: viruta de cuero)	(varios)
Residuos	Incinerador	Incineradores hospitalarios, crematorios y similares para la destrucción de residuos. Disposición final cenizas y materiales no combustibles tratamiento de aguas de lavado de gases	COV, D&F, MP, TPH
	Quemas	Quema a cielo abierto de conductores eléctricos y otro tipo de cables. Entre otros Pb (aislación), Cd (aislación plástica), D&F (no intencional)	COV, D&F, MP, TPH
	Saneamiento	Sistemas de tratamiento de efluentes domésticos que integran efluentes de las actividades mencionadas anteriormente. Disposición final de barros	(varios)
	Vertederos RSI	Disposición final de residuos industriales. Incluye el relleno de grandes depresiones naturales y/o artificiales con residuos industriales (canteras, bañados, lagunas, otras depresiones)	(varios)
	Vertederos RSU	Enterramiento de residuos urbanos. Incluye el relleno de grandes depresiones naturales y/o artificiales con residuos domésticos (canteras, bañados, lagunas, otras depresiones)	(varios)
	Tratamiento y reciclaje de residuos	Instalaciones o actividades informales para el tratamiento o clasificación de residuos peligrosos. Incluye: depósito y desguace de baterías plomo-acido, tratamiento y acondicionamiento de residuos de accidentes químicos, entre otros.	(varios)

Química	Baterías	Armado de baterías plomo-acido. Pb (componente en placas, rejillas y electrolito), As (componente menos aleaciones Pb)	MP
	Caucho	Uso de aditivos en la fabricación de artículos de caucho, ebonita y caucho sintético	Fenoles, Formaldehido, ftalatos, MAH, MP, PCB, TPH
	Celulosa	Fabricación de pasta de celulosa, fundamentalmente uso de productos clorados en el blanqueo	COV, D&F, Fenoles, Formaldehidos, Ftalatos, MP, PCB, TPH
	Cloro, soda	Plantas de fabricación de cloro y soda caustica, particularmente proceso de electrolisis de salmuera con celdas de mercurio	D&F, MP
	Fertilizante	Fabricación, formulación, envasado y/o deposito de fertilizantes fosfato. Cd (componente menor en minerales fosfato)	MP
	Papel y cartón	Disposición final de residuos de papel y cartón, y barros de sistema de tratamiento de efluentes	CV, C&F, Fenoles, Formaldehidos, Ftalatos, MP, PCB, TPH
	Explosivos	Fabricación de explosivos para uso civil o militar	Fenoles, For4maldehídos, Ftalatos, HC, MP
	Pintura	Fabricación y formulación de pinturas, colorantes, pigmentos, barnices, plastificantes, tintas y otros afines. Hg (acetato de Fenil-Hg solvente, pigmentos), Pb (Octoato Pb secante, pigmentos, minio pintura antioxidante), Cr (pigmentos y colorantes), Cd (pigmentos y colorantes), As (pigmentos y colorantes)	COV, Fenoles, Ftalatos, HC, MP, PAH, TPH
	Plaguicidas	Fabricación, formulación, envasado y/o deposito de plaguicidas (insecticidas, herbicidas, fuguicidas, otros) de uso domestico, agrícola, veterinario y forestal	COV, Fenoles, Formaldehidos, HC, MP, PAH, Plaguicidas

	Plástica	Fabricación de artículos plásticos a partir de resinas, principalmente uso de aditivos y pigmentos (ej: Cd como estabilizante y pigmento, Cr como pigmento, estearatos y ftalatos de Pb como estabilizantes, PCB como pirorretardante)	COV, Fenoles, Ftalatos, MP, PCB, TPH
	Productos inorgánicos	Síntesis química y formulación de productos inorgánicos. Fabricación de productos químicos de uso industrial agropecuario y domestico	(varios)
	Productos orgánicos	Síntesis química y formulación de productos orgánicos. Fabricación de productos químicos de uso industrial, agropecuario y domestico	(varios)
	Tratamiento de madera	Tratamiento industrial de madera, impregnación con preservantes (CCA, Pentaclorofenol, Creosota)	COV, D&F, Fenoles, Formaldehido, Ftalatos, MP, PAH, Plaguicidas, TPH

#### Referencias de contaminantes:

Abestos:	Crisotilo, Amianto COV Compuestos Orgánicos Volátiles
D&F:	Dioxinas (Dibenzo-p-dioxinas policloradas) y Furanos (Dibenzofuranos policlorados). Las emisiones no intencionales incluyen también PCB y HCB (Hexaclorobenceno)
Fenolicos	Fenol y Compuestos Fenólicos
Ftalatos	Grupo de sustancias Ftalatos
HC	Hidrocarburos Clorados
MAH	Hidrocarburos Aromáticos Monocíclicos (ej: Benceno, Tolueno, Xileno)
PAH	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (ej: Benzopireno)
MP:	Incluye alguno de los metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Pb, entre otros)
PCB:	Bifenilos policlorados
Plaguicidas	Incluye Carbamatos, Plaguicidas Clorados, Organofosforados, Piretroides, entre otros
TPH	Hidrocarburos de Petróleo Totales
Varios	Incluye alguno de los anteriores



**ANEXO 3. PATRONES DE MUESTREO PARA DEFINIR  
LA LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE  
MUESTREO EN SUELOS CONTAMINADOS  
CON HIDROCARBUROS**



# **ANEXO 3. PATRONES DE MUESTREO PARA DEFINIR LA LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO EN SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS**

Dra. Susana Saval

Instituto de Ingeniería, UNAM

ssavalb@iingen.unam.mx

Para elegir la estrategia de muestreo por aplicar en un sitio en particular, es muy importante conocer primeramente las razones por las cuales se realizará el muestreo, que puede ser cualquiera de las que se enlistan a continuación:

Si se trata de un estudio de caracterización,

- por investigación voluntaria
- para cumplimiento ambiental previa observación de una auditoría
- por requerimiento legal
- posterior a la atención de una emergencia
- actualización de un estudio previo o bien, cuando se trata de una remediación
- al inicio
- durante el seguimiento y control
- en el muestreo final confirmatorio

Para cualquiera de los casos anteriores, existen dos tipos de estrategias para definir la localización de los puntos de muestreo de suelo en el plano horizontal: muestreo dirigido y muestreo estadístico. Lo importante es tener claro que el estudio deberá permitir delimitar o acotar la mancha de contaminación en los planos horizontal y vertical.

El **muestreo dirigido** es aquel en el que los puntos se determinan con base en alguna de las siguientes opciones:

1. Por observación directa cuando la contaminación es evidente, por ejemplo derrames de crudo o combustóleo.
2. Según la distribución de instalaciones, considerando los puntos con mayores probabilidades de afectación, por ejemplo: válvulas de alimentación o drenado, tanques y líneas fuera de operación, presas de lastres, manchas de aceite.

3. Por resultados de estudios previos, observaciones de auditorías, requerimientos legales que indiquen la zona de interés. En estos casos es indispensable contar con los documentos comprobatorios.
4. Cuando la afectación no es visible a simple vista, pero existen estudios previos donde se hayan medido hidrocarburos volátiles en sondeos exploratorios (también conocida como gasometría). Esta técnica es una valiosa herramienta de apoyo, pero también se debe definir previamente el patrón a utilizar para la localización de los sondeos.
5. Cuando se tiene bien delimitada la zona de afectación a partir de un estudio de caracterización y se requiere actualización o remediación.

El **muestreo estadístico** se menciona con mucha frecuencia en la literatura, sin embargo, en ningún caso se describe un procedimiento claro de aplicación, y mucho menos se hace mención de sus virtudes y limitaciones. Lo que sí es muy común es encontrar el concepto del "criterio de experto", sin que tampoco exista una base clara para calificar al experto. Eso mismo genera opiniones contrarias que no permiten llegar a un acuerdo, ni mucho menos a resultados claros y contundentes a ojos de cualquiera.

Para evitar discrepancias y tomando como base que en el caso de suelos contaminados, la distribución de los contaminantes por naturaleza es heterogénea, debido principalmente a la heterogeneidad propia del suelo, se plantea utilizar **patrones de muestreo**, y dejar la parte estadística para definir el número de muestras, sólo en casos donde la normatividad aplicable pueda tener limitaciones.

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

#### **Patrones de muestreo con distribución uniforme:**

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

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

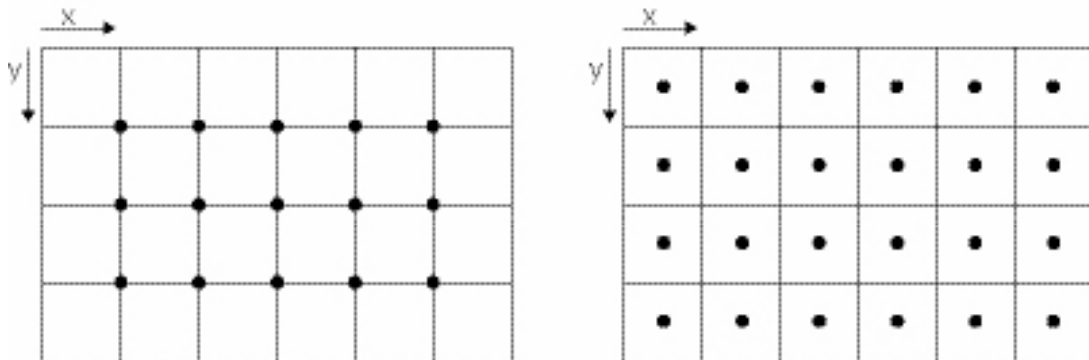
- Aleatorios
- Aleatorios en una rejilla regular
- Aleatorios desalineados en una rejilla regular

### Patrones de muestreo con distribución heterogénea:

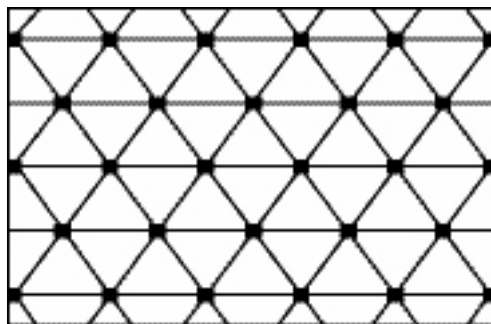
- Diagonal simple
- Diagonales cruzadas rotantes
- Irregular en forma de N, S, X o W
- Zigzag
- Zigzag transverso

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

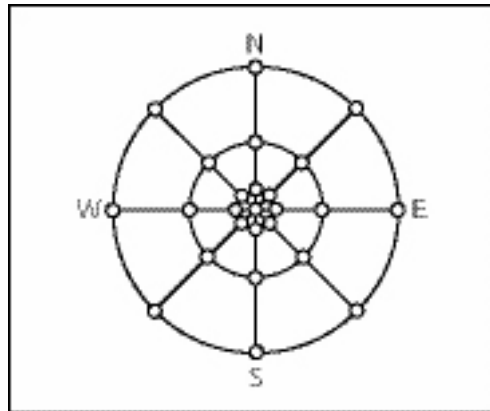
**Rejillas regulares.** En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas y perpendiculares equidistantes, permitiendo que todas las celdas tengan las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera las celdas son más pequeñas. Se marca un punto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



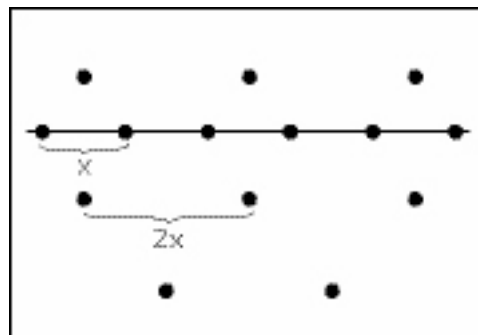
**Rejillas triangulares.** En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas equidistantes tratando de conformar triángulos equiláteros, todos con las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera la rejilla es más cerrada. Cuando en este patrón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



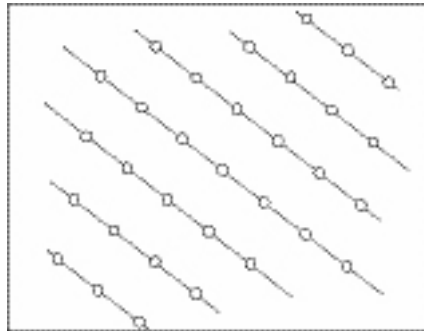
**Rejilla circular.** Es de utilidad para delimitar la zona contaminada en instalaciones donde existen tanques de almacenamiento o se conoce la fuente que corresponde a un solo punto. Para determinar la influencia se trazan círculos concéntricos, cuya separación es función del detalle que se requiera.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



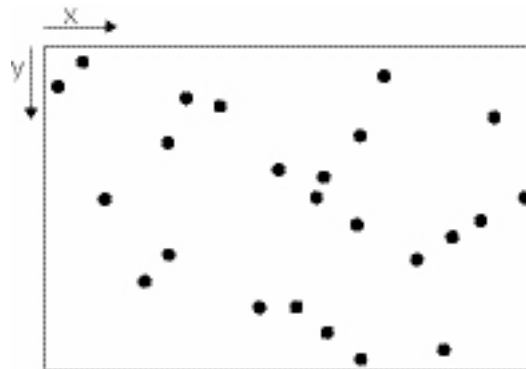
**Sobre una línea.** En el caso de que la contaminación siga una línea recta, como en aquellos referidos a fugas de ductos, los puntos de muestreo pueden ser marcados para cubrir la zona impactada y las zonas aledañas. Para ello se marca una línea recta sobre la tubería y puntos separados una distancia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



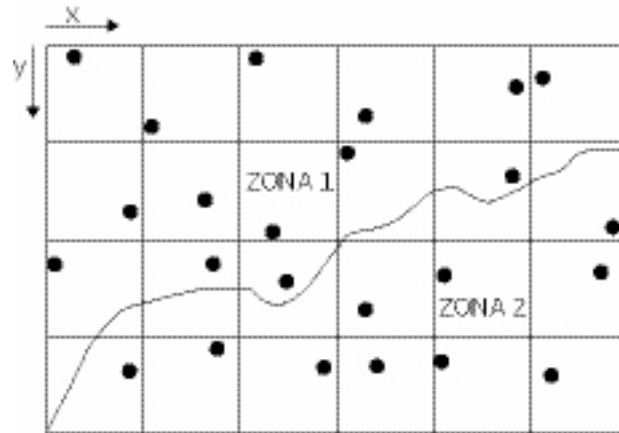
**Diagonales múltiples.** En el plano se traza una diagonal central y líneas paralelas, sobre las cuales se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Es deseable que la separación de las líneas sea similar a la distancia entre los puntos en una misma línea; entre mayor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



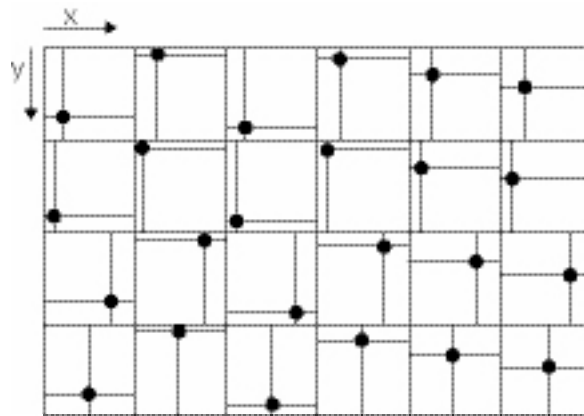
**Aleatorio.** Este es uno de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Los puntos de muestreo se eligen al azar, con ayuda de programas de cómputo o tablas estadísticas, no importa la distribución de instalaciones, ni los antecedentes del sitio. Este patrón es muy irregular, no sigue ninguna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



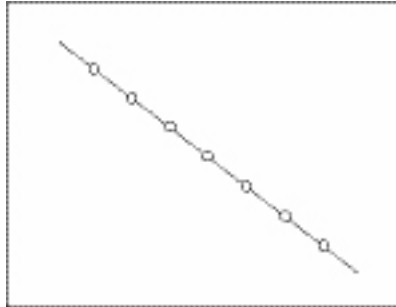
**Aleatorio sobre rejilla regular.** En inglés se conoce como “estratified”, pero en este escrito se eliminó el término para evitar confusiones en caso de referirse a los estratos del suelo. Este es otro de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Para marcar los puntos de muestreo se crea una rejilla regular en el plano, se elije un número igual de puntos distribuidos aleatoriamente en cada celda, con ayuda de una tabla de números aleatorios o con programas de cómputo; el plano se divide en zonas. Este patrón tiene la desventaja de que algunos puntos pueden quedar muy cercanos y otros muy alejados, en los espacios vacíos pueden pasar desapercibidas contaminaciones puntuales.



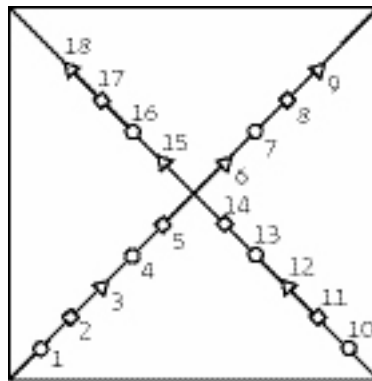
**Aleatorio desalineado sobre rejilla regular.** Este patrón es también empleado en los métodos estadísticos. Este patrón es similar al anterior, la diferencia radica en que en algunas celdas la coordenada “x” se mueve al azar, y en el resto de las celdas se mueve la coordenada “y”, o viceversa. El patrón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



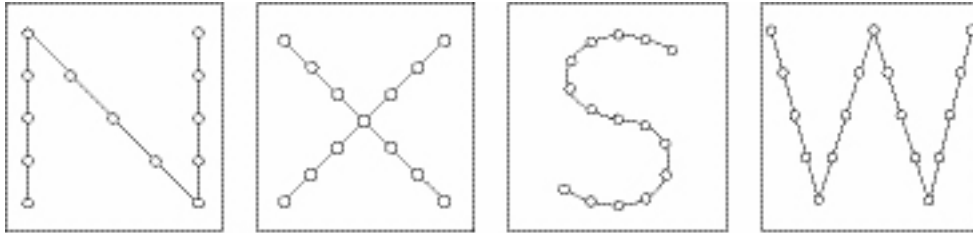
**Diagonal simple.** Sobre el plano se traza una línea diagonal, sobre la cual se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Este patrón no permite resultados representativos.



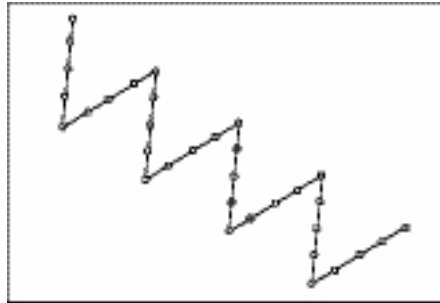
**Diagonales cruzadas rotantes.** Este patrón de muestreo es de utilidad en sitios que se deben estar monitoreando en forma permanente para obtener información de los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo aquellos donde se está dando seguimiento a una atenuación natural. Este arreglo se recomienda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



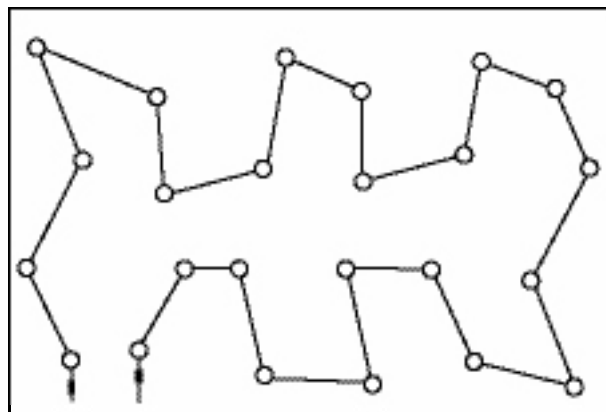
**Muestreo irregular en forma de N, S, X o W.** En superficies en forma cuadrada se dibujan las letras referidas y sobre las líneas se marcan los puntos de muestreo tratando de que sean equidistantes, sin embargo, estos patrones no permite resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde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



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



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



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

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

### Resumen sobre patrones de muestreo

Cuando no se conoce la distribución de contaminantes en el sitio, los patrones de muestreo recomendables son:

Rejilla regular  
Rejilla triangular

Cuando se tiene previo conocimiento de la distribución de contaminantes en el sitio, los patrones de muestreo más recomendables son:

Para contaminación puntual  
Sobre una línea (un caso de ductos)  
Rejilla circular

Para contaminación distribuida de manera uniforme

Rejilla regular  
Rejilla triangular  
Diagonales múltiples

### APLICABILIDAD DE LOS PATRONES DE MUESTREO EN CASOS DE CARACTERIZACIÓN Y REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS

Patrón de muestreo	En caracterización	En remediación
<b>con distribución uniforme</b>		
Rejillas regulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas triangulares	Recomendado ampliamente	Recomendado ampliamente
Rejillas circulares	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas o derrames puntuales	Recomendado en sitios donde se aplique una remediación in-situ en contaminaciones puntuales
Sobre una línea	Recomendado en sitios donde hayan ocurrido fugas a lo largo de ductos	Recomendado en sitios donde se aplique una remediación in-situ a lo largo de ductos
Diagonales múltiples	Recomendado sólo si se asegura equidistancia entre los puntos	Recomendado sólo si se asegura homogeneidad en el suelo y equidistancia entre los puntos
<b>con distribución aleatoria</b>		
Aleatorio	No-recomendado, podría subestimar la mancha de contaminación	No-recomendado

Aleatorio sobre rejilla regular	No-recomendado, podría subestimar la mancha de contaminación	No-recomendado
Aleatorio desalineado sobre rejilla regular	No-recomendado, podría subestimar la mancha de contaminación	No-recomendado
<b>con distribución heterogénea</b>		
Diagonal simple	No-recomendado	No-recomendado
Diagonales cruzadas rotantes	No-recomendado	Recomendado sólo en aquellos sitios donde la contaminación es uniforme y se va a dar seguimiento a una atenuación natural
Irregular en forma de N, S, X o W	No-recomendado	No-recomendado
Zigzag	No-recomendado	No-recomendado
Zigzag transverso	No-recomendado	No-recomendado

## Definición del número de puntos de muestreo

Para definir el número de puntos de muestreo que estadísticamente aplica a un sitio de estudio, es necesario contar con información de estudios previos. En caso de que no existan antecedentes, se deberá realizar un muestreo preliminar que permita generar la información requerida que es la siguiente:

- La concentración más alta "R" de los hidrocarburos de interés.
- La varianza "s" a partir de la "R" obtenida de estudios previos,  $s^2 = (R/4)^2$ .
- El error estándar "D" que se va a permitir a la media de la población de muestras.
- El límite de confianza, que generalmente 95%.
- El número "t" que corresponden para la probabilidad del 95% de una distribución t, que arbitrariamente se define para 10 grados de libertad y se modifica por reiteración según el valor que se obtenga en un primer cálculo (los valores de "t" se buscan en libros de estadística).

Cuando se tiene toda la información, se calcula el número de puntos de muestreo "n" mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{t^2 \cdot s^2}{D^2}$$

Se obtiene el valor de “n” en un primer cálculo y si éste es mucho más grande que los grados de libertad que se dieron inicialmente, por reiteración se busca en la misma tabla de probabilidad de una distribución t, el nuevo valor de “t” y con éste se repite el cálculo. El número que se obtenga corresponde al número de puntos de muestreo que aplica para las condiciones previamente establecidas.

Si el número de puntos de muestreo se considera alto por el costo que representa, se puede disminuir mediante un aumento del error estándar (D) o por disminución del límite de confianza a 90%. Sin embargo, esto repercutirá en la calidad de los resultados.

Es conveniente mencionar que mediante este cálculo únicamente se define la distribución de los puntos de muestreo en un plano horizontal, las profundidades a muestrear se deben establecer para demostrar que se alcanzó el fondo de la contaminación.

### **Glosario de los conceptos estadísticos utilizados:**

**Media:** es el promedio aritmético de un parámetro en toda la población de muestras.

**Varianza:** es la dispersión de un parámetro con respecto a la media.

**Desviación estándar:** es la raíz cuadrada de la varianza.

**Coefficiente de variabilidad:** es la desviación estándar expresada en porcentaje respecto a la media.

**Error estándar:** indica la confiabilidad de la media.

**Límite de confianza:** es el intervalo de concentraciones representativas de un parámetro, expresado en porcentaje.

### TABLA DE PROBABILIDAD DE LA DISTRIBUCIÓN “T” CON GRADOS DE LIBERTAD

Probability Points of the t Distribution with $\nu$ Degrees of Freedom							
Tail Area Probability							
$\nu$	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	3.718	3.106
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
$\infty$	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

## **BIBLIOGRAFÍA**

Bautista Z.F., Cram H.S. y Sommer C.I., 2004. Suelos, Cap. 2 del libro Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales, UNAM, UAY, CONACyT, INE, Eds. Bautista Z.F., Delfín G.H., Palacio P.J.L. y Delgado C.M.C.

Navarro A.J., 2004. Cap. 1 Introducción al diseño y análisis del muestreo de poblaciones finitas. Cap. 1 del libro Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales, UNAM, UAY, CONACyT, INE, Eds. Bautista Z.F., Delfín G.H., Palacio P.J.L. y Delgado C.M.C.

Crépin J. and Johnson R.L., 1993. Soil Sampling and Methods of Analysis, Chapter 2: Soil Sampling for Environmental Assessment. Canadian Society of Soil Science. Eds. Carter M.R., Lewis Publishers, USA.

Environmental Protection Agency, 1986. Sampling Plan. Chapter 9. [www.epa.gov/sw-846pdfs/chap9.pdf](http://www.epa.gov/sw-846pdfs/chap9.pdf)

Environmental Protection Agency, 1992. Preparation of Soil Sampling Protocols: Sampling Techniques and Strategies. EPA/600/R-92/128.

Environmental Protection Agency, 1996. Soil Screening Guidance: User's Guide. Publication 9355.4-23, second edition.

International Standard ISO 10381-1, 2002. Soil Quality-Sampling- Part 1: Guidance on the design of sampling programmes.

Petersen R.G. and Calvin L.D., 1986. Sampling, Chap. 2: Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods, Second Edition, Ed. Klute A., Number 9 (Part 1) Series Agronomy, American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.



## **ANEXO 4. EJEMPLOS DE DISTINTOS EQUIPOS DE MUESTREO**



#### ANEXO 4. EJEMPLOS DE DISTINTOS EQUIPOS DE MUESTREO

Equipo de muestreo (denominación)	AMS Power Probe 9100 VTR (Tecnología de Empuje Directo).	AMS Power Probe 9630-GAS (Tecnología de Empuje Directo y barrenación helicoidal hueca)	Equipo de Perforación manual o AMS Soil Environmental Kit (Tecnología manual).	Equipo de perforación ambiental CME-75 (Tecnología de barrenación helicoidal hueca).	Equipo de perforación CME-55 serie 3838J denominado BHH (Tecnología de barrenación helicoidal hueca).
Descripción	Equipo de perforación, muestreo e instalación de pozos de monitoreo o remediación, mediante tubería dual.	Equipo de perforación, muestreo e instalación de pozos de monitoreo o remediación, mediante tubería dual.	Esta conformado de ademes manuales de acero inoxidable, varillas de conexión, martillo, recolector de núcleos y accesorios; el cual viene en un estuche que facilita su transportación al sitio de trabajo	Se encuentra montada sobre un camión Mercedes Benz L2121 esta maquina de 8.22 m de altura desarrolla una gran potencia la cual nos permite realizar perforaciones en suelos de composición dura y a profundidad considerable.	Consiste de una máquina perforadora con motor industrial Ford de 6 cilindros a gasolina conformada por: Una torre de 8,0 m. malacates, bombas y plataforma de perforación; los cuales están montados en un camión Dodge D-600.
Tipos de suelos en los que se puede aplicar	Suelos blandos tales como arenas, arcillas y limos	Suelos blandos tales como arenas, arcillas y limos	Suelos blandos tales como arenas, arcillas y limos	Permite realizar perforaciones en suelos de composición dura, inclusive con granulometría mediana a grande	Permite realizar perforaciones en suelos de composición dura, inclusive con granulometría mediana a grande

<p>¿Cuál es el tipo de técnica de perforación?</p>	<p>Sistema por Empuje Directo</p>	<p>Empuje Directo y Barrenación Helicoidal Hueca</p>	<p>Manual (Rotación de cuchillas)</p>	<p>Barrenación helicoidal hueca (Hollow STEM auger) de 1.52 m de longitud y los diámetros de los sondeos son de 6"5/8 (un diámetro interno de 3"1/8), 8" (un diámetro interno de 4"1/8) y 10" (un diámetro interno de 6"5/8), dependiendo del diámetro del barreno a utilizarse en las perforaciones ambientales.</p>	<p>Barrenos helicoidales Huecos (Hollow STEM auger) de 1.52 m de longitud al cual se le coloca una cabeza dentada hueca para poder perforar y los diámetros de los sondeos son de 6" 5/8 (diámetro interno de 3" 1/8), 8" (diámetro interno de 4" 1/8) y 10" (diámetro interno de 6" 5/8) dependiendo del proyecto a realizarse</p>
--	-----------------------------------	--	---------------------------------------	---	---

<p>¿Qué es lo que se muestrea?</p>	<p>Obtención de muestras inalteradas de suelos, Muestreo continuo de suelo Muestreo de gases de suelo Muestreo de agua subterránea someras Descripción y conformación de estratigrafía de suelo de forma detallada y precisa. Instalación de pozos de monitoreo o de inyección de 3/4".</p>	<p>Obtención de muestras inalteradas de suelos, Muestreo continuo de suelo Muestreo de gases de suelo Muestreo de agua subterránea someras Descripción y conformación de estratigrafía de suelo de forma detallada y precisa. Instalación de pozos de monitoreo o de inyección de 3/4 de pulgada.</p>	<p>Extracción de muestras de suelo, para su evaluación visual, medición de gases y análisis del laboratorio</p>	<p>Extracción de muestras inalteradas de suelo Instalación de pozos de monitoreo de agua subterránea con medidas de 1", 2", 4" y 6". Pozos de extracción de contaminantes Pozos de inyección de aire</p>	<p>Extracción de muestras inalteradas de suelo Instalación de pozos de monitoreo de agua subterránea con medidas de 1", 2", 4" y 6". Pozos de extracción de contaminantes Pozos de inyección de aire</p>
<p>¿Qué usos se le puede dar además de lo anterior?</p>	<p>Instalación de pozos de monitoreo, instalación de pozos de extracción de contaminantes, instalación de pozos de inyección de compuestos de remediación, desplegar equipos de prueba geofísicos o geotécnicos (diámetro restringido)</p>	<p>Instalación de pozos de monitoreo, instalación de pozos de extracción de contaminantes, instalación de pozos de inyección de compuestos de remediación, desplegar equipos de prueba geofísicos o geotécnicos (diámetro restringido).</p>	<p>No recomendable otros usos.</p>	<p>Instalación de pozos de monitoreo, instalación de pozos de extracción de contaminantes, instalación de pozos de inyección de compuestos de remediación, desplegar equipos de prueba geofísicos o geotécnicos (amplia variedad de diámetros)</p>	<p>Instalación de pozos de monitoreo, instalación de pozos de extracción de contaminantes, instalación de pozos de inyección de compuestos de remediación, desplegar equipos de prueba geofísicos o geotécnicos (amplia variedad de diámetros)</p>

Tipos de contaminantes que pueden ser muestreados sin grandes pérdidas	Muestreo continuo o por intervalos para compuestos volátiles, semivolátiles, orgánicos pesados, metales y una amplia gama de compuestos inorgánicos. Los cartuchos de contención variarán para cumplir con el objetivo y se deberá cuidar los tiempos de retención de cada una de las muestras. El sistema de lavado es sencillo y el liner ayuda a minimizar el contacto de la muestra con la tubería metálica	Muestreo continuo o por intervalos para compuestos volátiles, semivolátiles, orgánicos pesados, metales y una amplia gama de compuestos inorgánicos. Los cartuchos de contención variarán para cumplir con el objetivo y se deberá cuidar los tiempos de retención de cada una de las muestras. El sistema de lavado es sencillo y el liner ayuda a minimizar el contacto de la muestra con la tubería metálica.	Compuestos inorgánicos diversos, orgánicos pesados y metales; menos recomendable para compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles.	Muestreo por intervalos para compuestos volátiles, semivolátiles, orgánicos pesados, metales y una amplia gama de compuestos inorgánicos. Los cartuchos de contención variarán para cumplir con el objetivo y se deberá cuidar los tiempos de retención de cada una de las muestras. El sistema de lavado y generación de recortes es más complejo.	Muestreo por intervalos para compuestos volátiles, semivolátiles, orgánicos pesados, metales y una amplia gama de compuestos inorgánicos. Los cartuchos de contención variarán para cumplir con el objetivo y se deberá cuidar los tiempos de retención de cada una de las muestras. El sistema de lavado y generación de recortes es más complejo.
¿Cuál es la profundidad de muestreo alcanzable?	1.5 metros de profundidad con tubería de 2" de diámetro y muestreo continuo (en condiciones óptimas).	1.5 metros de profundidad con tubería de 2" de diámetro y muestreo continuo (en condiciones óptimas). Hasta 7.5 metros de barrenación helicoidal hueca.	4.5 metros de profundidad con barrenos de 2" y 3" (en condiciones óptimas)	40.0 mts de profundidad con barrenos de 6" 5/8, 20 mts de profundidad con barrenos de 8" 20.0 mts de profundidad con barrenos de 10"	40.0 mts. de profundidad con barrenos de 6" 5/8 20.0 mts de profundidad con barrenos de 8" 20.0 mts de profundidad con barrenos de 10"

¿Requiere de fluidos de barrenación?	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Tipo de muestreador	Para la colección de muestras de suelo el AMS Power Probe 9100-VTR cuenta con el sistema de muestreo de tubo individual y tubo doble, además de barrenos helicoidales individuales y tubo doble.	El AMS Power Probe 9630-GAS cuenta con el sistema de muestreo de tubo individual y tubo doble, además de barrenos helicoidales huecos de 8"	Barreno hueco de cuchillas helicoidales	Barrenación Helicoidal Hueca (Hollow STEM auger)	Barrenación Helicoidal Hueca (Hollow STEM auger)	Barrenación Helicoidal Hueca (Hollow STEM auger)
Dimensiones	0.91m x 2.37m x 2.37m	2.5 m x 4.2 m x 6.53 m		2.5 m x 8.22 m x 8.5 m	2.5 m x 8.0 m x 8.1 m	
¿Dónde se puede utilizar el equipo?	Puede utilizarse dentro de edificaciones con acceso restringido	Puede utilizarse en algunas edificaciones amplias y en espacios abiertos	Muestras superficiales donde el acceso a máquinas más poderosas.	Puede utilizarse en espacios abiertos o en estructuras amplias y sin mobiliario	Puede utilizarse en espacios abiertos o en estructuras amplias y sin mobiliario	

Fuente: Corporación Ambiental Mexicana CAM



## **ANEXO 5. HOJA DE CAMPO Y ETIQUETA**



**ANEXO 5. HOJA DE CAMPO Y ETIQUETA**

Hoja de campo	Suelo			Polvo	Residuos	Sedimento	Agua	Edificaciones	Biota
	Metales	Cov's	Hidro-carburos						
Localización del sitio de muestreo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Carac. Gales. Del sitio de muestreo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
No. De muestras	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Método de muestreo (estadístico o no estadístico)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Equipo utilizado en la toma de muestra	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Equipo utilizado en la perforación del punto de muestreo muestra	X	X	X			X			
Peso aprox.	X	X	X	X	X	X		X	
Volumen aprox.							X		
Intervalo de prof. De la muestra (superficial o profunda)	X	X	X		X	X	X	X	
Muestra etiquetada como	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hora de toma de muestra inicial y final	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tipo de contenedor(es) de muestra	X	X	X	X	X	X	X	X	X





Etiqueta	Suelo			Agua	Sedimento	Polvo	Residuos	Edificaciones	Biota
	Metales	Hidrocarburo	Covs						
Nombre persona que efectuó el muestreo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fecha y hora del muestreo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Nombre de la empresa	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lugar del muestreo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Clave única misma que la del sello	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cuerpo receptor en estudio				X					
Numero de la muestra	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Temp. Ambiente °C		X	X	X	X	X	X		X
Identificación de la descarga				X			X		
Análisis a efectuar	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Profundidad	X	X	X	X	X		X	X	
Cantidad de muestra	X	X	X	X	X	X	X	X	
Tipo de preservación	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ph				X					
C.E.				X					
O <sub>2</sub>				X					
Eh				X					

**ANEXO 6. ETIQUETAS Y HOJA DE REGISTRO  
(RECOMENDACIONES-NO OBLIGATORIO)**



## ANEXO 6. ETIQUETAS Y HOJA DE REGISTRO (RECOMENDACIONES-NO OBLIGATORIO)

### A.

HOJA DE REGISTRO			
Fecha y hora del muestreo:		Matriz a analizar:	
Número y nombre de la estación:			
Clave de la muestra:		Peso de muestra (kg):	
Coordenadas geográficas (UTM):		Localidad, Municipio, Estado:	
Tipo de perforador:		Diámetro de perforación (in):	
Profundidad de muestreo:			
Condiciones atmosféricas:	Temperatura (°C):	Presión (mmHg):	pH:
Conductividad eléctrica		Gasto (m/s):	Humedad relativa:
Análisis a efectuar:			
Conservador:			
Responsable del muestreo:			
Observaciones:			

**B.**

HOJA DE CAMPO				
Nombre del proyecto:				
Clave de la muestra:				
Fecha y hora de construcción del punto de muestreo:		Inicial:	Final:	
Fecha y hora de la toma de muestra		Inicial:	Final:	
Nombre de la empresa que realiza el muestreo:				
Nombre del ejecutante del muestreo:				
Equipo de perforación:				
Diámetro de la perforación	<input type="checkbox"/> <1 in	<input type="checkbox"/> 1-1.5 in	<input type="checkbox"/> 1.5-2 in	<input type="checkbox"/> >2 in
Profundidad (m)				
Construcción de paredes de soporte:		Si <input type="checkbox"/>	Cual :	
Material del soporte de paredes	Metal <input type="checkbox"/>	PVC <input type="checkbox"/>	HDPE <input type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>
				Cual:
Sellamiento	Si <input type="checkbox"/>		No <input type="checkbox"/>	
Tiempo de espera entre la perforación y el muestreo (min)				
Diámetro de la sonda (in):				
Volumen de la sonda (cm <sup>3</sup> )				
Volumen de la muestra (ml)				
Velocidad de muestreo (ml/min)		<input type="checkbox"/> Aprox. 50	<input type="checkbox"/> Otro	
		<input type="checkbox"/> Aprox. 100	Cual:	
Tipo de contenedor de la muestra	Pipeta Pasteur <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Otro	Cual:	
Volumen de la muestra (ml)				
Denominación del testigo de la muestra				
<i>En caso de muestreo doble</i>				
Tubillos de adsorción		Denominación:		Tipo:
Material de adsorción		Carbón activado <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Otro	Cual:
CONDICIONES DE CAMPO				
Sellado superficial	Si <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> No	Cual:	
Perfil de estratos	Si <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> No	Cual:	
CONDICIONES METEOROLÓGICAS				
Clima	<input type="checkbox"/> Soleado	<input type="checkbox"/> Nublado	<input type="checkbox"/> Otro	Cual:
Temperatura °C:	Presión atmosférica:		Humedad relativa:	
COMENTARIOS Y SUCESOS ESPECIALES				

**C.**

HOJA DE REGISTRO			
Fecha y hora del muestreo:		Matriz a analizar:	
Número y nombre de la estación:			
Clave de la muestra:		volumen de muestra (Lts.):	
Coordenadas (UTM):		Localidad, Municipio, Estado:	
Nivel Piezométrico:			
Tipo de descarga:			
Profundidad de muestreo:			
Condiciones atmosféricas:	Temperatura (°C):	Presión (mmHg):	pH:
C.E.:		Gasto (m/s):	Eh:
Oxígeno disuelto:			
Análisis a efectuar:			
Conservador:		Cual:	
Responsable del muestreo:			
Observaciones:			

**D.**

FORMATO ETIQUETA	
Clave de la muestra:	
Hora:	Fecha del muestreo:
Localidad:	
Nombre del muestreador:	
Conservador:	Cual:
Observaciones:	

Guía Técnica para Orientar en la Elaboración  
de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados  
se terminó de imprimir en el mes de septiembre de 2010  
México D.F.

El tiro consta de 2,500 ejemplares

El cuidado de la edición estuvo a cargo de la Coordinación General de Comunicación Social, el contenido es responsabilidad de la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas