

MINISTERIO DEL AMBIENTE

Vice Ministerio de Gestión Ambiental
Dirección General de Calidad Ambiental

GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS

En el marco del D.S. N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad
Ambiental para Suelos

2013

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
I. Introducción	3
II. Alcance de la Guía	4
III. Glosario	5
1. PLAN DE MUESTREO.....	7
1.1. Contenido del Plan de muestreo.....	7
1.2. Tipos de muestreo.....	7
1.2.1. Muestreo Exploratorio (ME).....	7
1.2.2. Muestreo de Caracterización o Detalle (DE)	9
1.2.3. Muestreo de Fondo (MF)	9
1.2.4. Muestreo Comprobatorio de la Remediación (MC).....	10
1.3. Consideraciones técnicas para el desarrollo del muestreo en un suelo contaminado.....	10
1.4. Consideraciones generales e información del Sitio	11
1.4.1. Ubicación y descripción del sitio contaminado	11
1.4.2. Información necesaria para completar la descripción del sitio	11
1.5. Estrategia de Muestreo	12
1.5.1. Muestreo dirigido o a juicio de expertos	12
1.5.2. Muestreo estadístico.....	12
2. MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL MUESTREO DEL SUELO.....	13
2.1. Criterios de selección	13
2.2. Instrumentos para la toma de muestras.....	14
2.3. Material de apoyo	14
2.4. Materiales para guardar y transportar muestras.....	15
3. CONSERVACIÓN, ETIQUETADO Y MATERIAL DE SEGURIDAD Y LIMPIEZA PARA LA MANIPULACIÓN DE MUESTRAS.....	15
4. MANEJO Y CONTROL DE MUESTRAS Y CADENA DE CUSTODIA.....	16
4.1. Libreta de campo.....	16
4.2. Cadena de Custodia.....	17
4.3. Para Metales y Metaloides.....	17
4.4. Para Hidrocarburos	17
4.5. Para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) o Hidrocarburos volátiles en gases o vapores de suelos.....	18
4.6. Para Pesticidas.....	19
5. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO A APLICARSE.....	19
5.1. Número mínimo de puntos de muestreo del muestreo exploratorio	19
5.2. Número mínimo de puntos de muestreo de caracterización o detalle	20
5.3. Número mínimo de puntos de muestreo para muestreos de fondo fuera del sitio.....	22
6. MUESTREO DE SEDIMENTOS.....	23
6.1. Especificaciones para el muestreo	23
6.2. Equipo de muestreo:	23
6.3. Contenedores, conservación y transporte de la muestra	23
6.4. Tratamiento de la muestra.....	24
7. BIBLIOGRAFÍA.....	25
ANEXOS	26
Anexo N° 1: Listado de contaminantes que posiblemente se encuentran en sitios donde se realicen actividades potencialmente contaminantes	26
Anexo N°2: Aspectos que debe considerarse en el plan de muestreo de suelos	29
Anexo N° 3: Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados con hidrocarburos	30

Anexo N° 4: Formato de tabla de datos del muestreo	35
Anexo N° 5: Estrategias de muestreos	36
Anexo N° 6: Preparación de las muestras de suelos contaminados con metales y metaloides en el laboratorio.....	38
Anexo N° 7: Procedimiento de muestreo comprobatorio de la remediación	40

I. Introducción

Esta guía establece especificaciones para definir la naturaleza, extensión de la contaminación (caracterización del sitio); así como el volumen del suelo contaminado y proceder a plantear las acciones de remediación requeridas.

Brinda también lineamientos para la realización de Estudios de Condiciones Ambientales del suelo para proyectos nuevos como parte de sus Instrumentos de Gestión Ambiental, sitios para actividades en curso y para el caso de emergencias, de conformidad con lo señalado por los artículos 6°, 7° y 9° del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, que regula los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Para el caso de pasivos ambientales de hidrocarburos y de minería, se utilizarán los ECA, bajo los procedimientos establecidos en la Ley N° 29134, Ley que Regula los Pasivos Ambientales del Subsector Hidrocarburos y su Reglamento, así como en la Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, su Reglamento y la Ley N° 28090, Ley que regula el Cierre de minas y su Reglamento. En tal sentido, para verificar el cumplimiento de lo establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, se debe incorporar dentro de los procedimientos para elaboración de los Planes antes mencionados el uso de la Guía para el Muestreo de Suelos, debiendo realizar el muestreo de caracterización, el muestreo de fondo y el muestreo para comprobar la remediación.

La aplicación de esta Guía, para la realización de muestreo en sitios presumiblemente contaminados, supone que ha habido un proceso sistemático de revisión de documentos, mapas e información del sitio (elementos de la evaluación preliminar), para determinar si una propiedad es o podría estar contaminada, y establecer la ubicación y dimensión de la posible contaminación.

En este sentido, la Guía tiene como objetivo orientar a los responsables de estudiar y evaluar los suelos contaminados bajo criterios técnicos organizados mediante un protocolo o conjunto de procedimientos que permitan la obtención de información que describa la magnitud de la contaminación del suelo tanto en extensión o volumen del suelo contaminado.

Se reconoce que tanto los planes de muestreo como el estudio de caracterización de un suelo responden a características específicas del sitio y las acciones realizadas en el suelo local, por lo que es necesario cumplir con todas las condiciones requeridas para lograr este propósito.

II. Alcance de la Guía

De conformidad con el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM por medio del cual se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, la **Guía para Muestreo de Suelos** tiene como objetivo brindar las especificaciones para el muestreo de suelos contaminados, determinando la presencia, identidad y cantidad de los contaminantes presentes, así como la extensión y el volumen de suelos contaminados en todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia.

En este sentido en la presente Guía se plantea aspectos que abordan las consideraciones técnicas para el desarrollo del muestreo de suelos, los tipos de muestreo, las estrategias, los instrumentos para la toma de muestras; así como el manejo y control de las muestras y la cadena de custodia comprendiendo el manejo de las mismas en el laboratorio, hasta sus análisis correspondientes, para la identificación y cuantificación de los contaminantes, entendiendo por éstos los señalados en el D.S. 002-2013-MINAM.

Los lineamientos de la presente Guía son también aplicables para la elaboración de Estudio de Condiciones Ambientales de suelos para los proyectos en nuevos, actividades en curso, para el caso de Emergencias (Artículo 9°) y de acuerdo a la tercera disposición complementaria final del D.S. 002-2013-MINAM. Para estos casos la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos señala el contenido de dichos estudios.

III. Glosario

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

Cadena de custodia: documento donde los responsables registran la obtención de muestras, su transporte, conservación y entrega de éstas al laboratorio para la realización de pruebas o de análisis físico-químico.

Depocentro, es el área de máxima deposición al interior de un ambiente sedimentario, donde se puede encontrar el mayor desarrollo de la deposición de sedimentos.

Derrame: Cualquier descarga, liberación, rebose, vaciamiento accidental de hidrocarburos o líquidos peligrosos en el suelo.

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

Ficha de caracterización: ficha técnica en la que se registra información resumida del proceso de muestreo.

Geo-referenciación: consiste en agregar coordenadas geográficas a una imagen o archivo vectorial que carezca de dicha característica.

GPS: equipo que tienen como base al Sistema de posicionamiento Global o Global Positioning System, su denominación correcta es NAVSTAR GPS que permite determinar la posición en cualquier parte del mundo de un objeto, persona o nave y funciona mediante una red de satélites.

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

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

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

Horizonte de un suelo: capa aproximadamente paralela a la superficie del suelo, que se puede distinguir de capas adyacentes por un conjunto distintivo en sus propiedades, producidas por sus procesos de formación. El término capa, en vez de horizonte, se utiliza cuando se crea que las propiedades son heredadas del material parental o no se tenga opinión clara si la capa es genética

Libreta de campo: cuaderno utilizado para registrar las observaciones, experiencias y reflexiones durante del desarrollo de las acciones de muestreo de campo, que ayudará a la sistematización del estudio.

Nivel de fondo: Concentración en el suelo de los químicos regulados que no fueron generados por la actividad objeto de análisis y que se encuentran en el suelo de manera natural o fueron generados por alguna fuente antropogénica ajena a la considerada y que se encuentran fuera del sitio contaminado.

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

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

Muestra duplicada: constituye una de dos o más muestras o sub-muestras que se obtienen separadamente en el mismo sitio, al mismo tiempo y con el mismo procedimiento de muestreo.

Muestra sub-superficial, muestra tomada por debajo de la muestra considerada superficial.

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

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

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

Punto de muestreo: Lugar específico del suelo donde se toma la muestra (superficial o vertical).

Sedimento: materiales de depósito o acumulados por arrastre mecánico de las aguas superficiales o el viento que a nivel edafológico constituyen el material de origen de los suelos aluviales y eólicos.

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

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

Suelos minerales: son aquellos que contienen menos de 12% de carbono orgánico, cuando se rebase este tenor, debe tomarse en cuenta la saturación en agua y el contenido en arcilla.

Suelos Orgánicos: aquellos que contienen cantidades de carbono orgánico por encima de las descritas para los suelos minerales.

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

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

1. PLAN DE MUESTREO

Antes de iniciar cualquier plan de muestreo en suelos cuyas características químicas han sido presumiblemente alteradas negativamente por la presencia de contaminantes (considerar Anexo N°1) que ponen en riesgo a la salud humana o al ambiente, es necesario definir claramente los objetivos que orienten un óptimo proceso de levantamiento de la información necesaria para la descripción del sitio contaminado, definiendo los tipos de muestreo, la determinación de la densidad, posición de puntos de muestreo, procedimientos de campo, métodos de conservación de muestras y las necesidades analíticas a desarrollarse.

De acuerdo a los objetivos establecidos, se determinará el grado de detalle y la precisión a ser adoptada en el plan de muestreo establecido para el área.

Para la determinación de los objetivos del muestreo, es importante contar con información previa existente del lugar (evaluación preliminar, ver el contenido del levantamiento técnico del sitio en la sección **1.3 Consideraciones técnicas** para el desarrollo del muestreo en un suelo contaminado y los resultados de la investigación histórica del sitio, en su caso).

Los contaminantes a muestrear se determinan sobre la base de las actividades y procesos principales, secundarios y auxiliares, que se desarrollan o se desarrollaron en el sitio de estudio.

1.1. Contenido del Plan de muestreo

Los planes de muestreo deben de contener por lo menos lo siguiente:

- a) La información básica del sitio contaminado, comprendiendo los mapas de ubicación, planos de distribución de la infraestructura y construcciones realizadas en el sitio contaminado.
- b) La definición de las responsabilidades y actividades del personal involucrado en cada procedimiento.
- c) La sustentación de la ubicación y el número de puntos de muestreo, la profundidad y el volumen de muestra a coleccionar.
- d) La estrategia y tipo de muestreo a realizar.
- e) Las técnicas, el equipo y los instrumentos a emplearse en el muestreo, que aseguren la homogeneidad y representatividad de las muestras.
- f) Los resultados del levantamiento técnico del sitio.
- g) El tipo y características de la preservación y conservación de las muestras a emplearse durante el transporte de las mismas al laboratorio.
- h) Las medidas de seguridad a seguirse durante el muestreo y manejo de muestras, lo suficientemente explicitadas para asegurar las condiciones óptimas para quienes toman la muestra y la calidad del muestreo.

En el Anexo N° 2 se precisan consideraciones adicionales.

1.2. Tipos de muestreo

1.2.1. Muestreo Exploratorio (ME)

Tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM. Junto a la evaluación preliminar forma parte de los **Estudios**

Preliminares establecidos en la Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos (PDS). Los resultados del Muestreo Exploratorio, determinan si se debe proceder a la elaboración del PDS.

Para la elaboración del muestreo exploratorio es necesario utilizar la información de la **evaluación preliminar** del sitio, que provee de insumos para la elaboración del **modelo conceptual inicial**, el mismo que debe ser lo suficientemente detallado para identificar claramente las fuentes potenciales o sospechosas de contaminación. La hipótesis de distribución de contaminantes contenidas en el modelo conceptual orientan el diseño del **muestreo exploratorio**.

- Se aplicará un muestreo exploratorio en el sitio para determinar la localización de las áreas contaminadas del suelo, la localización de depósitos de residuos y las características de peligrosidad y riesgo.
- El ME deberá ser de tipo estadístico sistemático o regular.
- Cuando se tiene previo conocimiento de la distribución del contaminante se podrá optar primero por una distribución dirigida de los puntos de muestreo en una Rejilla regular (Tabla N°1).
- El número mínimo de puntos de muestreo del ME se señala en la Tabla N° 3.
- El número mínimo de muestras a tomar a profundidad por punto de muestreo son 3; de forma justificada y fundamentada podrán tomarse menos de 3 muestras por punto de muestreo en el caso de que con un número menor pueda delimitarse verticalmente la contaminación.
- Considerar la aplicabilidad de los patrones de muestreo en función del sitio contaminado y las características del o los contaminantes (ver Tabla N° 1).
- Las desviaciones al Plan de Muestreo elaborado, deberán justificarse, fundamentarse y documentarse y ser señaladas en el informe del muestreo.

Con los resultados del muestreo exploratorio, y establecida la necesidad de la elaboración de un PDS, se elabora el Estudio de Caracterización, retroalimenta el modelo conceptual¹ y los objetivos del muestreo de caracterización o detallado.

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

Patrón de muestreo	En caracterización	En remediación
Con distribución uniforme		
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

¹ La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA), resume como los componentes principales a ser considerados en el modelo conceptual, la cobertura del suelo, relieve, matriz del suelo, granulometría, solución y vapor del suelo, escombros asociados a los contaminantes.

Patrón de muestreo	En caracterización	En remediación
Con distribución aleatoria		
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
Con distribución homogénea		
Diagonal simple	No recomendado	No recomendado
Diagonal cruzadas rotantes	No recomendado	Recomendado sólo en aquellos sitios donde la contaminación es uniforme y se va a dar seguimiento a una atenuación natural
Irregular en forma de N, S, X o W	No recomendado	No recomendado
Zigzag	No recomendado	No recomendado
Zigzag transverso	No recomendado	No recomendado

Fuente: Guía Técnica para orientar en la Elaboración de Estudio de Caracterización de sitios Contaminados, México, 2010

En el Anexo N° 3 se muestran Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados con hidrocarburos.

1.2.2. Muestreo de Caracterización o Detalle (DE)

Tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para determinar el área y volumen (la distribución horizontal y vertical) de la contaminación a detalle y determinar las características del suelo y subsuelo así como la migración vertical de la contaminación.

El muestreo de caracterización o detalle, cuantifica y delimita los cuerpos de contaminación del suelo y las plumas de propagación en el agua superficial o subterránea, tanto en espacio y tiempo, a partir del modelo conceptual redefinido. Caracteriza los medios en relación a factores que influyen en la liberación, migración y comportamiento de los contaminantes; a través de la delimitación de los focos, generación de modelos y cuantificación. Como resultado de la información generada (modelo conceptual final), se establece **la propuesta de acción de remediación**, restricciones de uso, acciones de emergencia, etc.

- Se aplicará un Muestreo Detallado (MD) en el sitio para determinar con mayor precisión la distribución espacial de la contaminación (el área, la profundidad y el volumen de suelo contaminado), las características hidrogeológicas del sitio, la localización de depósitos de residuos y para caracterizar las rutas y vías de exposición que determinan los riesgos a la salud y el ambiente.
- El MD deberá ser de preferencia del tipo dirigido. De forma justificada y con base en el muestreo exploratorio se puede aplicar un muestreo sistemático.
- El número mínimo de puntos de muestreo del MD se señala en la Tabla N° 4.

1.2.3. Muestreo de Fondo (MF)

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

1.2.4. Muestreo Comprobatorio de la Remediación (MC)

Tiene como objetivo demostrar que las acciones de remediación implementadas en un suelo contaminado, alcanzaron concentraciones menores o iguales a los valores establecidos en el ECA Suelo o los valores establecidos en el Estudio de Evaluación de Riesgo a la Salud y el Ambiente (ERSA). El contenido del muestreo comprobatorio, es detallado en el Anexo N° 7.

1.3. Consideraciones técnicas para el desarrollo del muestreo en un suelo contaminado

Previo a la planeación del muestreo exploratorio se deberá realizar un levantamiento técnico de las condiciones físicas del sitio así como el levantamiento topográfico del sitio.

- **El levantamiento técnico del sitio** incluye entre otras cosas: el recorrido del sitio, memoria fotográfica del sitio durante el recorrido, el levantamiento topográfico de los límites del predio o predios, la localización de estructuras y construcciones, la identificación de todos los componentes, estructuras, instalaciones y obstáculos físico que influyen en la localización de los puntos de muestreo, la descripción y localización de todas las áreas con antecedentes de manejo de sustancias potencialmente contaminantes, la descripción de las características hidrogeológicas del suelo con base a la información documental, la descripción de los depósitos, apilamientos o hallazgos de residuos depositados, entre otros aspectos relevantes del sitio.
- Las muestras del suelo contaminado, siempre serán simples (material colectado en un solo punto de muestreo), a menos que se señale otra especificación dependiendo del contaminante.
- Evitar el uso de fluidos de perforación y la utilización de equipos y recipientes para las muestras que ocasione la pérdida de hidrocarburos volátiles y la contaminación cruzada.
- En el proceso de perforación para la obtención de muestras de suelo no se debe inducir a la contaminación de acuíferos o cuerpos de agua subterráneos.
- Para el control de calidad, se debe tomar una muestra duplicada cada 10 muestras.
- Cuando se trate de sitios con antecedentes de presencia natural de sustancias potencialmente tóxicas en el sitio en evaluación, se deberá tomar muestras fuera del área de influencia del contaminante, pero de características geográficas similares, que sirvan para establecer niveles de fondo de dichos contaminantes.
- Cuando se pueda recuperar una muestra del producto contaminante en fase libre (en el caso de compuestos orgánicos como por ejemplo hidrocarburos), debe entregarse dicha muestra al laboratorio junto con las muestras de suelo para la identificación del tipo de compuesto presente.
- Se elegirá el método y equipo para el muestreo de acuerdo a las condiciones geomorfológicas del sitio, el tipo de contaminante, el nivel de la napa freática; así como el tipo y profundidad de muestras a tomarse.
- El número mínimo de muestras dependerá de las características del sitio, pero nunca será menor al número mínimo de puntos de muestreo señalado en las Tablas N° 3 y N° 4. El número de puntos de muestreo podrá aumentarse, con la finalidad de reducir el grado de incertidumbre del estudio.
- Un muestreo correcto implica la minimización de los efectos de todos los errores de muestreo que pueden controlarse a través de técnicas de muestreo.
- Debe evitarse que el equipo de muestreo provoque contaminación, para ello se deberá limpiar el equipo y los instrumentos de muestreo con una brocha o cepillo, en caso de ser necesario limpiar con agua entre muestra y muestra.

1.4. Consideraciones generales e información del Sitio

El muestreo estará enfocado para determinar el área y el volumen del suelo contaminado con aquellas sustancias señaladas en el ECA Suelo y otras que pueden ser consideradas peligrosas tal como se señala en el artículo 12° del D.S. N° 002-2013-MINAM. Entre las consideraciones a tomar en cuenta, se enumeran las siguientes:

- El no contar con evidencia documental histórica de contaminación de un sitio, no es justificación para no muestrear dicha área.
- A medida que aumenta el número de muestras, aumenta la exactitud y precisión en la descripción de las condiciones de un sitio.
- A partir de un número mínimo de muestras, se determinará en cada caso, el incremento de muestras para determinar la densidad de muestreo y alcanzar una buena representatividad del sitio, disminuyendo la incertidumbre.
- El número total de puntos de muestreo incluye: el número de puntos de muestreo de la fase exploratoria y el número de puntos de muestreo de la fase de detalle, incluyendo los muestreos en profundidad.

1.4.1. Ubicación y descripción del sitio contaminado

La Guía para la elaboración de los planes de descontaminación de suelos considera como primera etapa la **evaluación preliminar** del sitio contaminado que permitirá la elaboración del muestreo exploratorio, para ello es necesario considerar los siguientes aspectos:

- El sitio contaminado se localizará usando coordenadas geográficas UTM (WGS84) para su cartografiado a escala adecuada que permita la representación de: todos los aspectos físicos y geográficos del sitio (instalaciones, depósitos de residuos, vías de comunicación, accesos, losas de concreto, infraestructura, orografía); todos los impactos ambientales y las áreas contaminadas; así como, las áreas de influencia directa e indirecta del sitio, para ello deberá de ayudarse en los levantamientos topográficos de geoposicionadores (Bench Mark, y GPS de precisión, estaciones totales) para tener un alto grado de certidumbre.
- Se debe localizar las instalaciones sobre la superficie, subterráneas (drenajes y tuberías, registros etc.), las actividades y/o los procesos productivos que se realizaron o realizan en el sitio, para determinar las zonas críticas.
- Evaluar los componentes físicos, estructurales y funcionales que permitan caracterizar el sitio y su entorno, de tal manera que permitan evaluar la distribución del contaminante y el grado de afectación, acompañándose con fotos del sitio en evaluación.
- Determinar el uso actual del suelo en el área de influencia directa e indirecta.
- En caso de un derrame reciente, el responsable de la contaminación debe indicar la cantidad aproximada y el tipo de contaminantes derramados.
- En el caso que se identifique un sitio contaminado no remediado, se debe realizar una recopilación de los antecedentes históricos sobre las actividades y sucesos que originaron la contaminación.
- Establecer el plan de muestreo conforme las características del sitio.

1.4.2. Información necesaria para completar la descripción del sitio

Para el caso de un sitio contaminado de pequeñas dimensiones o en el caso de un accidente, por regla general es suficiente la siguiente información:

- La ubicación, descripción y uso actual del sitio contaminado, incluyendo los cuerpos de agua que existan en el lugar.

- El tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación al ambiente.
- El área y volumen de suelo dañado.
- El plan de muestreo
- Planos del lugar a una escala tal que permita apreciar la información requerida georeferenciada con coordenadas UTM y orientación geográfica, donde se muestren topografía, cuerpos de agua superficiales, puentes y caminos de acceso, las áreas contaminadas del suelo y los puntos de muestreo, con las mismas denominaciones que se indican en los resultados de las determinaciones analíticas del contaminante.
- Planos isométricos de concentraciones y migración del contaminante en suelo y subsuelo.
- Documento comprobatorio de la cadena de custodia de las muestras.
- 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. En el Anexo 4 se presenta el Formato de Tabla de datos de muestreo, como modelo para la presentación de los resultados analíticos.
- Memoria fotográfica del levantamiento técnico y del muestreo del sitio.

Para el caso de sitios contaminados no remediados, además de la información señalada anteriormente, se requiere de información que puede provenir de la **Evaluación Preliminar** en el marco de la Guía PDS. La información que se requiere es:

- La descripción de la metodología a aplicar para cada tipo de pruebas de campo o laboratorio.
- La descripción de las condiciones geológicas, hidrogeológicas e hidrológicas del sitio.
- La descripción de las condiciones climáticas y físicas que afecten el comportamiento de los contaminantes.
- 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.

1.5. Estrategia de Muestreo

Establece los pasos necesarios para el desarrollo de acciones que conduzcan a la determinación de los suelos contaminados en una secuencia que oriente hacia el logro de los objetivos trazados, en el Anexo N° 5 se muestra el flujo de acciones que comprende el muestreo para la determinación de los suelos contaminados.

1.5.1. Muestreo dirigido o a juicio de expertos

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

1.5.2. Muestreo estadístico.

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

- a) **Sistemático**, también conocido como muestreo regular, en este tipo se reduce la variabilidad de las muestras debido a que su levantamiento sigue un patrón geométrico

específico (retícula), tomando las muestras a intervalos regulares y cubren de forma uniforme el sitio a muestrear (Fig. 1 y Fig. 2). Es conveniente para estimar con precisión las zonas críticas, patrones espaciales en dos o tres dimensiones y tendencias, calcular volúmenes de material contaminado y no requiere de conocimiento previo del sitio.

- b) **Aleatorio estratificado**, cuando se dispone de información previa y el sitio presenta características geográficas diferenciadas, es necesario estratificar o subdividir en subgrupos las muestras que tienen homogeneidad en el terreno y en cada estrato se aplica un muestreo aleatorio simple de manera independiente.
- c) **Aleatorio simple**, recomendado para áreas homogéneas menores a 5 hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la extensión del sitio. Se caracteriza por permitir todas las combinaciones posibles de puntos de muestreo. Los puntos de muestreo se enumeran en un plano cartesiano (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.

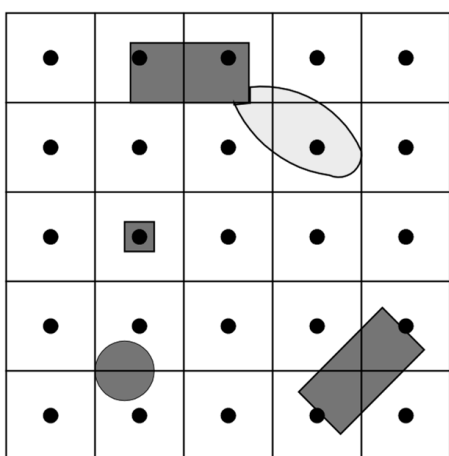


Fig.1. Esquema de distribución sistemática de puntos de muestreo utilizando una malla cuadrada. Las áreas demarcadas son aquellas consideradas sospechosas de ser contaminadas.

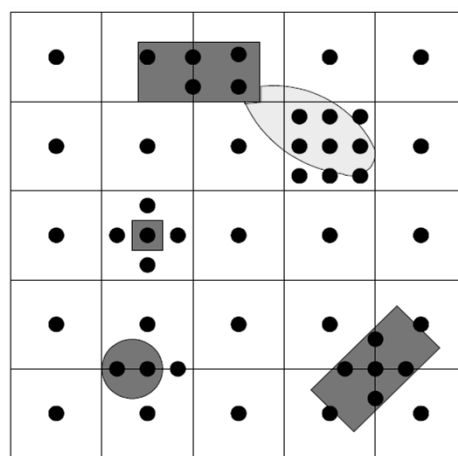


Fig.2. Esquema de distribución sistemática de puntos de muestreo y densificación de puntos previamente identificados como áreas sospechosas de contaminación (áreas sombreadas).

2. MATERIALES Y EQUIPOS PARA EL MUESTREO DEL SUELO

2.1. Criterios de selección

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

- La profundidad máxima a la que se va a tomar la muestra.
- El tipo de textura del suelo.
- El tipo de contaminante (volátil, semivolátil, no volátil) que se presuma en el sitio.
- La accesibilidad al punto de muestreo.
- El tamaño de muestra necesaria para los análisis requeridos, con base en la(s) característica(s) o propiedad(es) de interés del contaminante y del sitio, así como las especificaciones de los métodos analíticos.
- Las condiciones de humedad al momento del muestreo, así como las condiciones climáticas del sitio a muestrear.

- Los requerimientos del personal para el manejo de las muestras.
- La necesidad de protección de cuerpos de agua subterráneos al momento de la perforación y la recuperación o toma de muestras.

2.2. Instrumentos para la toma de muestras.

Por regla general se utilizará equipo de perforación por barrenación o empuje directo para la obtención de las muestras.

Se podrá utilizar las zanjas como técnica de muestreo cuando:

- se trate de contaminantes no volátiles como por ejemplo suelos contaminados con metales pesados y metaloides (Anexo N° 6), la toma de muestras pueda realizarse en forma manual en el interior de la zanja y el área a muestrear, permite el uso de maquinaria de excavación.
- se pretenda observar el perfil de distribución del contaminante en el suelo y subsuelo, cualquiera que sea su tipo y se tome o no muestras para su análisis respectivo.
- el material lítico, se encuentra cercano a la superficie del terreno e impida una perforación por barrenación o empuje directo.

En espacios reducidos como son interiores de edificaciones, en los cuales exista una imposibilidad de utilizar equipos de empuje directo o de barrenación y tampoco se puedan realizarse zanjas, la toma de muestras podrá ser llevada a cabo mediante equipos manuales de forma justificada y fundamentada.

La capacidad del instrumento para la toma de muestras y la capacidad de los envases o contenedores, para la conservación de las muestras deben cumplir con los requisitos y volúmenes señalados en los métodos y pruebas analíticas requeridos a practicar a las muestras por los laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) o los laboratorios aceptados expresamente por las autoridades competentes.

Los instrumentos para la colecta de muestras en campo, deben ser fáciles de limpiar, resistentes al desgaste y no deberán contener sustancias químicas que puedan contaminar o alterar las muestras.

En el caso de contaminantes orgánicos, los instrumentos de muestreo y los envases o contenedores para la conservación de la muestra no deberán contener sustancias químicas que puedan producir interferencias al momento de realizar las pruebas analíticas.

Cuando se trata de suelos contaminados con metales, se recomienda utensilios de plástico, teflón o acero inoxidable para el muestreo. Los más comunes son: palas rectas y curvas, picos, barrenas y barretas, nucleadores, espátulas, navajas y martillo de geólogo, considerar lápices, marcadores y etiquetas, así como, cinta métrica o flexómetro, planos o fotografías aéreas de la zona con la ubicación tentativa de los puntos de muestreo.

2.3. Material de apoyo

Durante las actividades de muestreo, es importante incluir como material de apoyo, cartas topográficas, edafológicas, climáticas y geológicas, un plano cartográfico del sitio y mapas de carreteras. Además, es recomendable incluir una libreta para registrar las acciones de campo, una cámara fotográfica y la cadena de custodia para las muestras.

2.4. Materiales para guardar y transportar muestras

El material a emplearse como recipiente tiene que ser compatible con el material de suelo a muestrear (ver Tabla N° 2), deber ser resistente a la ruptura y evitar reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación.

El volumen del contenedor debe ser aproximadamente el mismo de la muestra, a fin de minimizar el espacio vacío. Algunos de los materiales que pueden utilizarse para la colección de muestras son:

- Frascos de vidrio (boca ancha y angosta), para muestras con compuestos semi-volátiles, pesticidas y metales.
- Cartucho con sello que asegure la representatividad de las muestras hasta su análisis.
- Viales de vidrio, para muestras con compuestos volátiles.
- Contenedores de polietileno, para muestras a las cuales se medirá la conductividad.
- Bolsas de polietileno de alta densidad
- Cuando se trate de COV's o elementos volátiles, no es recomendable la toma de muestras de suelos por trasvase debido a las pérdidas y subestimaciones a las que estas últimas conducen. Esto es aún más importante y válido si se pretende realizar una evaluación de riesgos del sitio.

Tabla N°2. Tipo de recipientes para muestreo y características para su manejo

Parámetro	Tipo de recipiente	Temperatura de preservación	Tiempo máximo de conservación ²
Compuestos Orgánicos Volátiles COVs BTEX Hidrocarburos Fracción Ligera	Cartucho con sello que asegure la representatividad de las muestras hasta su análisis	4º C	14 días
Hidrocarburos Fracción Media Hidrocarburos Fracción Pesada Compuestos Orgánicos Semivolátiles COSVs Plaguicidas	Frasco de vidrio boca ancha, con tapa y sello de teflón (cartucho con sello que asegure la representatividad de las muestras hasta su análisis)	4º C	14 días
Metales Pesados y Metaloides	Bolsas de polietileno densa Cartucho con sello que asegure la representatividad de las muestras hasta su análisis	Sin restricciones	Sin restricciones
Mercurio (Hg)	Cartucho con sello que asegure la representatividad de las muestras hasta su análisis	4º C	14 días

3. CONSERVACIÓN, ETIQUETADO Y MATERIAL DE SEGURIDAD Y LIMPIEZA PARA LA MANIPULACIÓN DE MUESTRAS

Para la conservación de las muestras:

- La etiqueta debe ser colocada en un lugar visible y no sobrepasar el tamaño del recipiente.

² El tiempo máximo de conservación indica el tiempo que no debe ser excedido, desde la toma de muestra hasta la extracción del analito de interés

- La etiqueta que acompañe a la muestra, debe contar con la siguiente información como mínimo: número o clave única de identificación, lugar del muestreo, nombre del proyecto, y la fecha y hora del muestreo, nombre de la empresa así como las iniciales de la persona que toma la muestra.
- Debe evitarse en lo posible el uso de agentes químicos para conservar muestras de suelo, salvo que las metodologías lo estipulen. Para su conservación es conveniente mantenerlas en lugares frescos (4 a 6 °C) y oscuros.

Con el objeto de garantizar la seguridad y salud de los trabajadores, las muestras deberán ser tomadas considerando las regulaciones en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

4. MANEJO Y CONTROL DE MUESTRAS Y CADENA DE CUSTODIA

4.1. Libreta de campo

Toda la información concerniente al muestreo en campo deberá ser anotada con tinta indeleble, en una libreta de campo foliada. Los datos que deben anotarse en la libreta de campo, al momento del muestreo, son:

- El nombre de la persona que realizó el muestreo.
- Los datos de ubicación del sitio.
- La clave de identificación de cada una de las muestras tomadas y el punto de muestreo correspondiente.
- La ubicación de los puntos de muestreo.
- La fecha y hora de recolección de cada muestra.
- Las observaciones de campo al momento del muestreo, tales como:

Características del sitio:

- Condiciones climáticas
- Presencia de vegetación
- Uso actual del suelo
- Edificaciones e infraestructura
- Losas de concreto presentes
- Obstáculos físicos
- Actividades ajenas al proceso propio de contaminación que pudieran influir en la calidad del muestreo
- Presencia de residuos o materiales de relleno.

Características del suelo:

- Textura
- Color
- Presencia de humedad
- Presencia de hojarasca
- Presencia de otros materiales eliminados durante el muestreo
- Resultados de otras mediciones hechas en campo.

Para la seguridad y limpieza en la manipulación de la muestra, se debe incluir guantes de látex-k, agua deionizada, lentes de seguridad, toallas de papel, mascarilla para polvos y franelas. Usar etiquetas adheribles, marcador indeleble, cinta adhesiva y bolígrafos. No se deben analizar muestras cuyos sellos han sido violados.

4.2. Cadena de Custodia

La Cadena de custodia debe contener al menos:

- El número de la hoja de custodia proporcionada por el Laboratorio acreditado
- El nombre de la empresa y del responsable del muestreo.
- Los datos de identificación del sitio.
- La fecha del muestreo.
- Las claves de las muestras.
- Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
- Los análisis o la determinación requerida.
- El número de envases.
- Observaciones.
- La identificación de las personas que participan en las operaciones de entrega y recepción en cada una de las etapas de transporte, incluyendo fecha, hora.
- Firma de los participantes en las operaciones de muestreo, entrega y recepción en cada una de las etapas de transporte.
- La cadena de custodia en original y dos copias debe acompañar a las muestras desde su obtención, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio. El laboratorio debe incluir una copia de esta cadena con los resultados del análisis, la copia debe estar firmada por todos los participantes en el proceso de muestreo y por la persona del laboratorio que recibe las muestras para su análisis.
- Hasta su entrega al laboratorio de análisis, las muestras deben permanecer selladas a una temperatura de menor o igual a 4 °C si se almacenan hasta por 3 días. Para ser almacenadas más días, deben mantenerse a una temperatura menor a -10°C.

4.3. Para Metales y Metaloides

- Cerrado hermético del envase conteniendo la muestra, garantizando su inviolabilidad hasta la recepción en laboratorio Etiquetar los recipientes inmediatamente después de tomar las muestras.
- Las muestras deben ser llevadas al laboratorio en donde serán preparadas conforme a la naturaleza de los metales y metaloides a identificar, siendo sometidas a los procesos de análisis y cuantificación correspondientes.
- Registrar toda la información de muestreo en la libreta de campo.
- Durante el traslado evitar el efecto de factores externos que puedan cambiar la naturaleza de las muestras (por ejemplo, cambios en la temperatura y exposición a los rayos ultravioleta).

4.4. Para Hidrocarburos

Para el envasado, etiquetado y sellado, tener en consideración:

- Los recipientes para el envasado de las muestras deben ser nuevos o libres de contaminantes.

- Las muestras a tomar de un suelo contaminado, siempre serán simples (material colectado en un solo punto de muestreo).
- 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.
- Cada muestra será sellada y etiquetada inmediatamente de ser obtenida y debe ser entregada para su análisis a un laboratorio acreditado.
- Todos los sellos deben contar con el número o clave única de la muestra.
- Para analizar hidrocarburos de fracción ligera y BTEX, la muestra se debe tomar en recipientes independientes del resto de las fracciones.
- Para la preservación y tiempo de conservación, así como el tipo de recipiente se debe tomar en consideración lo expuesto en la Tabla N° 2.
- La cadena de custodia en original y dos copias debe acompañar a las muestras desde su obtención, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio. El laboratorio debe incluir una copia de esta cadena con los resultados del análisis, la copia debe estar firmada por todos los participantes en el proceso de muestreo y por la persona del laboratorio que recibe las muestras para su análisis.

4.5. Para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) o Hidrocarburos volátiles en gases o vapores de suelos

- Antes de sacar y analizar las muestras de gases o vapores de suelos en el punto de muestreo debe esperarse hasta que se haya establecido en el punto de muestreo la temperatura del ambiente sin abrir los contenedores de los tubillos.
- Los viales sellados deben transportarse al laboratorio en un contenedor que prevenga la incidencia de algún tipo de luz en las muestras y/o su ruptura y conservarse según lo señalado en el método de prueba analítico y evitar condensación en las paredes del vial.
- Hasta su entrega al laboratorio de análisis, las muestras deben permanecer selladas a una temperatura de menor o igual a 4 °C si se almacenan hasta por 3 días. Para ser almacenadas más días, deben mantenerse a una temperatura menor a -10°C.
- Las muestras de gases de suelos deben de ser analizadas dentro de un periodo menor a 14 días.
- Se deberá señalar la norma o protocolo internacional en el cual se basa la toma de muestras. Si se utilizan otros tipos de contenedores de muestra de gases de suelos, a los señalados en el método de muestreo debe elaborarse y establecerse un protocolo de procedimiento y debe comprobarse que se alcanzan resultados sin errores y sin pérdidas.
- 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.
- Cuando se requiera medir las sustancias volátiles del suelo, el responsable del muestreo deberá fundamentar el método de muestreo elegido y realizar el muestreo en la mañana y nunca en época de lluvia.
- La profundidad real de muestreo para la toma de gases de suelo debe ser, por lo menos, de 1.5 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 1.6 m.
- El diámetro de perforación debe ser entre mínimo 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.

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

4.6. Para Pesticidas

- Los puntos de muestreo deben distribuirse regularmente (por ejemplo en diagonal, S o doble zigzag), evitándose las zonas limítrofes.
- Se aplica los mismos criterios para compuestos orgánicos semivolátiles o fracciones medias de hidrocarburos
- Las muestras se recogen a profundidades por debajo de la parte de suelo cultivado, en suelos con césped se toman por debajo de 10 cm. y en bosque y suelos no cultivados es necesario muestrear por debajo de 20 cm. En suelos de cultivos hortícolas se toman muestras en dos profundidades (0-25 cm y 25-50 cm). En suelos industriales inicia al nivel de terreno y en profundidades regulares hasta el límite inferior de la contaminación.
- Cuando se desee estudiar el movimiento vertical del plaguicida en el suelo, las muestras se recogen a distintas profundidades, por ejemplo 0-2.5, 2.5-5,5-10, 10-20 cm.

5. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO A APLICARSE

En la planeación del muestreo de los sitios contaminados, se debe tener en cuenta los resultados del levantamiento técnico del sitio, el número mínimo de puntos de muestreo, la representatividad de las muestras a tomar, que permita garantizar que se proporcione la información suficiente del sitio en evaluación que permita su caracterización con la menor incertidumbre posible.

El proceso de muestreo durante la caracterización del sitio previa a la remediación comprende, el Muestreo Exploratorio, el Muestreo de Detalle, y en su caso el Muestreo de Fondo.

Posterior a la remediación de un sitio, el proceso de muestreo incluye los Muestreos de Seguimiento al proceso de remediación y el Muestreo de Comprobación posterior a la remediación a través del cual se verifica si en el sitio quedan contaminantes por arriba de los ECAS.

5.1. Número mínimo de puntos de muestreo del muestreo exploratorio

El número mínimo de puntos de acuerdo a la superficie de estudio, se determina según lo establecido en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3. Número mínimo de puntos de muestreo para el Muestreo Exploratorio

Área del Sitio que se supone 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

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

$$N = 0.2355 x + 39.799$$

Dónde:

N= Número Mínimo de muestras

X =Superficie en hectáreas

5.2. Número mínimo de puntos de muestreo de caracterización o detalle

Para determinar el número mínimo de muestras se definirá el área a muestrear sumando las áreas que, conforme al muestreo exploratorio, registran valores por encima de las concentraciones establecidas en los ECAs.

La profundidad de muestreo, variará de acuerdo a los factores que influyen en la distribución del contaminante en el suelo (naturaleza del contaminante, tipo de suelo y condiciones del lugar). Por punto de muestreo se tomarán tantas muestras como sean necesarias para delimitar verticalmente la contaminación.

En el caso que con el MD no pueda determinarse la extensión y el volumen de suelo contaminado de forma representativa deberá llevarse a cabo un muestreo complementario.

El muestreo de detalle podrá también enfocarse a la determinación de las probables rutas y vías

de exposición y deberá considerar los posibles puntos de exposición en el caso de que se lleve a cabo un estudio de evaluación de riesgo ambiental

Tabla Nº 4. Número mínimo de puntos de muestreo del Muestreo de Detalle o de caracterización

Área Contaminada (ha)	Puntos de muestreo
0,1	6
0,2	7
0,3	8
0,4	9
0,5	10
0,7	11
1	12
2	17
3	21
4	24
5	27
6	29
7	32
8	34
9	36
10	38
11	40
12	42
13	43
14	45
15	46
16	48
17	49
18	51
19	52
20	54
21	55
22	56
23	58
24	59
25	60
26	61
27	62
28	63
29	65
30	66
40	80
50	100
60	120
70	140
80	160
90	180
100	200

Nota: para extensiones mayores a 100 hectáreas deberá considerar 2 muestras por hectárea.

De forma justificada se podrá aplicar ecuaciones en la determinación del número mínimo de puntos de muestreo durante el MD, en función a niveles de confianza (Tabla N° 5)

Z = nivel de confianza, E = Porcentaje de error

Tabla N° 5. Cálculo del tamaño de muestra de acuerdo a niveles de confianza*

Certeza	99%	98%	97%	96%	95%	94%
Z	2.58	2.33	2.17	2.06	1.96	1.88
Z²	6.66	5.43	4.71	4.24	3.84	3.53
e	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
E²	0.0001	0.0004	0.0009	0.0016	0.0025	0.0036

* Trabajar sobre el 95% de probabilidad de ocurrencia

Estos datos solo pueden determinarse si se realiza un muestreo exploratorio previo y a partir del cálculo de dichas variabilidades.

5.3 Número mínimo de puntos de muestreo para muestreos de fondo fuera del sitio

Para sitios en estudio menores a 100 hectáreas se tomarán muestras simples en por los menos 10 puntos de muestreo distintos más 1 duplicado.

Para sitios en estudio mayores a 100 hectáreas se tomaran muestras simples en concordancia con la extensión del predio en múltiplos 10, más 1 duplicado por cada 10 muestras.

Área Contaminada (ha)	Puntos de muestreo de fondo
Hasta 100	10
200	20
300	30
400	40
500	50

Los puntos de muestreo para la toma de las muestras se localizarán en una retícula regular.

La localización del área de muestreo considerará lo siguiente:

- el sitio de muestreo de fondo deberá esta fuera del sitio o predio en estudio.
- el sitio de muestreo de fondo deberá presentar una orografía similar al sitio en estudio.
- el sitio de muestreo de fondo debe de estar en la misma área climática y de vegetación.
- el sitio de muestreo de fondo no debe tener actividades antropogénicas actuales o pasadas.
- el sitio de muestreo de fondo no debe estar demasiado alejado del sitio en estudio.

6. MUESTREO DE SEDIMENTOS

6.1. Especificaciones para el muestreo

- Las muestras de sedimentos no perturbadas y tomadas en el depocentro³, dan una valoración de los niveles de contaminación presentes en el área.
- En muestras superficiales se recomienda tomarlas a 5 cm. de profundidad y en muestras sub-superficiales⁴ dependerá de la textura del material y de los objetivos del estudio.
- Para asegurar la representatividad de la muestra, debe colectarse y transportarse aproximadamente 100 gramos (g) de sedimentos en una bolsa de polietileno debidamente etiquetada.
- Para muestras que contengan mezclas de grava, arena y partículas del tamaño de limo y de la arcilla será necesario coleccionar 1 kg de muestra. Si estas mezclas se encontraran en las orillas de cuerpos de agua, se deberá evitar tomarlas.
- La presencia de agua en la parte superficial de la muestra, requiere que sea sifoneada lentamente para evitar su lavado.
- La presencia de materia orgánica debe ser cuantificada en sus componentes carbono orgánico total (COT), carbono inorgánico total (CIT) y carbono total (CT), ya que tiene influencia en la acumulación de contaminantes.
- La interfaz sedimento-agua debe ser medida y en el laboratorio por filtrado deben ser separados sus componentes líquido (agua) y sólido (sedimento) para su análisis por separado.
- Evitar tomar muestras en las orillas de cuerpos de agua con presencia de sedimentos de tamaños variables como la grava (>2 mm), arenas (2mm - 0.062mm), coexistiendo con los materiales finos (limo y arcilla).
- Como datos complementarios se debe registrar el color del sedimento (Tabla Munsell de colores de suelo), textura (grosso, medio y fino), Eh y pH, sulfatos volátiles en ácido (SVA).

6.2. Equipo de muestreo:

Dependiendo del tipo de sedimento se pueden usar equipos diseñados para tales propósitos, como:

- Dragas tipo Ekman-Birge (sedimentos finos) y su modificación Lenz (permite el fraccionamiento de la muestra), draga Petersen y Van Veen (arena, grava y arcilla), draga Ponar (colecta cualitativa y cuantitativa de bentos en sustratos gruesos), draga Shipek (sedimentos superficiales con mínimo de disturbio).
- Nucleadores, que permiten la obtención de muestras en perfiles de profundidad de sedimentos finos en agua dulce, estuarios y mares, sin generar perturbación y en muchos aspectos muestran condiciones superiores a las dragas.
- Espátulas de plástico.

6.3. Contenedores, conservación y transporte de la muestra

- Para el almacenamiento temporal de la muestra de sedimentos se pueden usar las bolsas de plástico o frascos de boca ancha.

³ Ver Glosario

⁴ Ver Glosario

- Cuando se requiera determinar trazas de metales es importante tomar la fracción más fina de la muestra (1-3 g) en frascos pequeños (vial) de polietileno, sellado y congelado durante el transporte.
- Mantener las muestras selladas y etiquetadas, conservándose a 4°C y en oscuridad.
- Evitar el uso de agentes químicos para conservar las muestras de sedimentos.

6.4. Tratamiento de la muestra

- Para el secado de la muestra (preparación para su análisis en laboratorio), la temperatura debe tener en cuenta la naturaleza del sedimento, el tipo de enlace que se forma o el análisis que se va a realizar, Se recomienda 105°C por 24 horas para determinar Sb, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn y 60°C por 16 horas para As y Hg.
- Las muestras deben ser tamizadas a malla de abertura 2 mm para separar la hojarasca y fracciones granulométricas mayores a la arena.
- Usar las fracciones granulométricas correspondientes a limo y arcilla para la realización de los contaminantes en sedimentos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- NOM-138-SEMARNAT/SS-2003. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. México, 21 p.
- NMX-AA-132-SCFI-2006. Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.
- GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN del RD 9/2005. Relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE- AGÊNCIA DE AGUAS (2011) Guía Nacional de Coleta e Presevação de amostras- Brasílias 325 p.
- USDA-Soil survey Division Staff (1993) Soil Survey Manual

ANEXOS

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

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

Guía para el Muestreo de Suelos

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

Guía para el Muestreo de Suelos

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

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

Referencias de contaminantes:

Asbestos: Crisotilo, crocidolita, otros.

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

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

Fenólicos: Fenol y Compuestos Fenólicos

Ftalatos: Grupo de sustancias Ftalatos

HC: Hidrocarburos Clorados

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

PAH: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (ej: Benzopireno)

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

PCB: Bifenilos policlorados

Plaguicidas: Incluye Carbamatos, Plaguicidas Clorados, Organofosforados, Piretroides, entre otros

Hidrocarburos: En sus diferentes fracciones

Varios: Incluye alguno de los anteriores

Anexo N°2: Aspectos que debe considerarse en el plan de muestreo de suelos

Localización del sitio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Objetivo del muestreo 2. Vías de acceso al sitio 3. Localización geográfica del sitio 4. Definición de Coordenadas UTM 5. Delimitación de la zona de muestreo 6. Bitácora 7. Lugar y fecha del muestreo 8. Datos del responsable técnico 9. Fecha de inicio del muestreo
Parámetros a estudiar	<ol style="list-style-type: none"> 10. Norma de referencia para el muestreo 11. Matriz de la muestras 12. Tipo de muestreo 13. Distribución de puntos de muestreo 14. Número de puntos de muestreo 15. Localización de los puntos de muestreo 16. Profundidad de muestreo 17. Tipos de muestras 18. Tipo de recipientes y volumen de las muestras 19. Equipo de muestreo de suelo
Procedimiento para el muestreo de suelo	<ol style="list-style-type: none"> 20. Equipo de protección personal de los involucrados en el muestreo 21. Parámetros de campo 22. Muestras de aseguramiento de la calidad 23. Clave única de identificación de las muestras 24. Sellos y etiquetas 25. Número total de muestras 26. Registros de perforación 27. Preservación de las muestras
Cadena de custodia	<ol style="list-style-type: none"> 28. Nombre del Laboratorio acreditado 29. Datos del cliente 30. Fecha y hora de muestreo de cada muestra 31. Cantidad recibida de cada muestra 32. Nombre o iniciales y firma del responsable de la toma de muestras 33. Número de recipientes que se entregan de cada muestra 34. Temperatura y condiciones de preservación 35. Observaciones
Anexos	<ol style="list-style-type: none"> 36. Mapa de carreteras, caminos o calles para llegar al sitio 37. Plano o imagen satelital del sitio 38. Plano de la zona de estudio e identificación de los puntos de muestreo 39. Copia de la acreditación y de la aprobación del laboratorio vigente, con el listado de signatarios autorizados.

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

Anexo N° 3: Patrones de muestreo para definir la localización de puntos de muestreo en suelos contaminados con hidrocarburos

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

Patrones de muestreo con distribución uniforme:

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

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

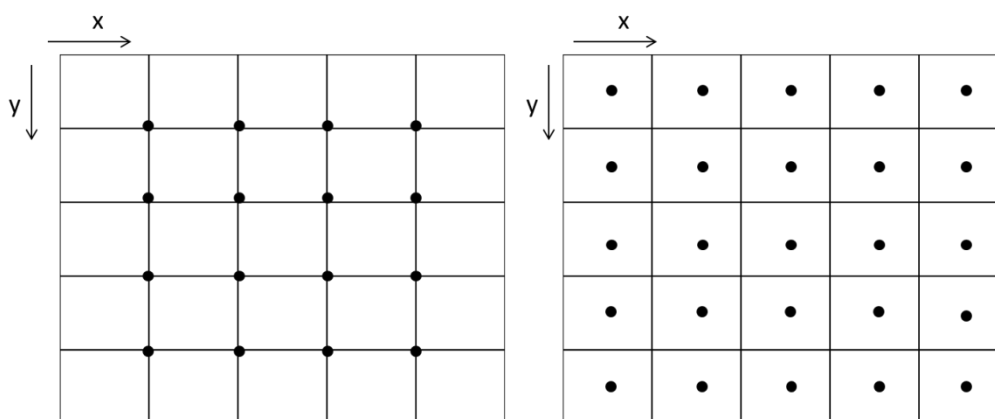
- Aleatorios
- Aleatorios en una rejilla regular
- Aleatorios desalineados en una rejilla regular

Patrones de muestreo con distribución heterogénea:

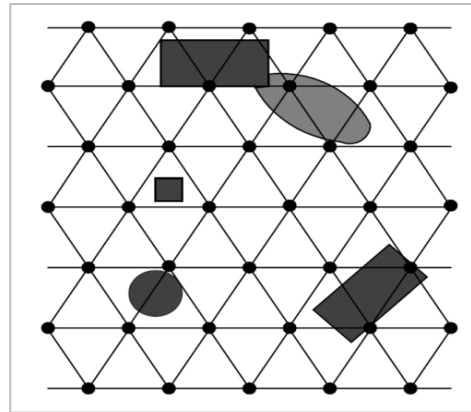
- Diagonal simple
- Diagonales cruzadas rotantes
- Irregular en forma de N, S, E o W
- Zigzag
- Zigzag transverso

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

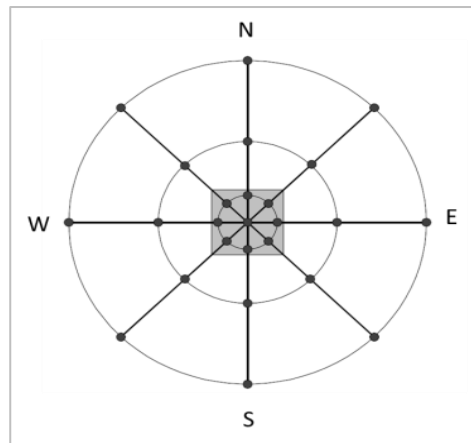
Rejillas regulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas y perpendiculares equidistantes, permitiendo que todas las celdas tengan las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera las celdas son más pequeñas. Se marca un punto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



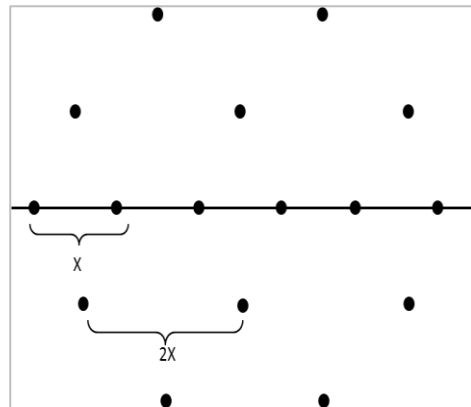
Rejillas triangulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas equidistantes tratando de conformar triángulos equiláteros, todos con las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera la rejilla es más cerrada. Cuando en este patrón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



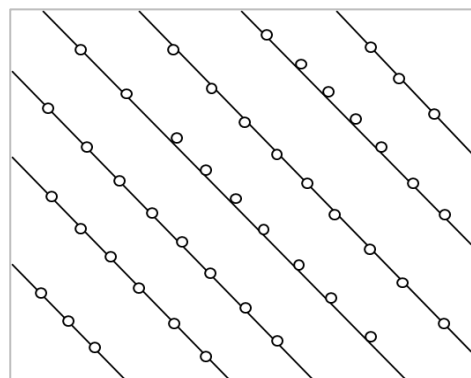
Rejilla circular. Es de utilidad para delimitar la zona contaminada en instalaciones donde existen tanques de almacenamiento o se conoce la fuente que corresponde a un solo punto. Para determinar la influencia se trazan círculos concéntricos, cuya separación es función del detalle que se requiera. Se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



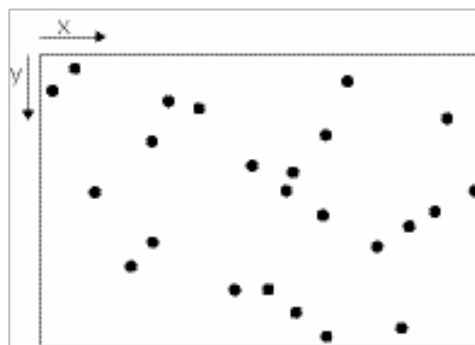
Sobre una línea. En el caso de que la contaminación siga una línea recta, como en aquellos referidos a fugas de ductos, los puntos de muestreo pueden ser marcados para cubrir la zona impactada y las zonas aledañas. Para ello se marca una línea recta sobre la tubería y puntos separados una distancia "x"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



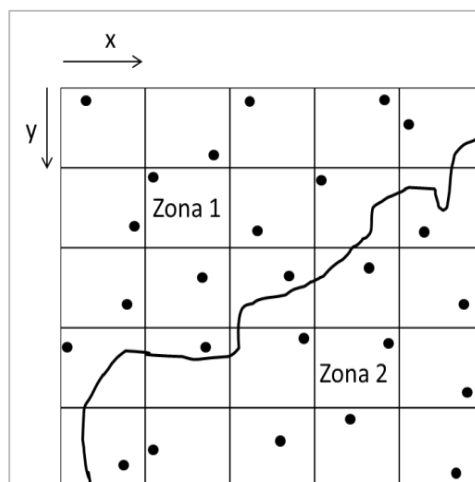
Diagonales múltiples. En el plano se traza una diagonal central y líneas paralelas, sobre las cuales se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Es deseable que la separación de las líneas sea similar a la distancia entre los puntos en una misma línea; entre mayor detalle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



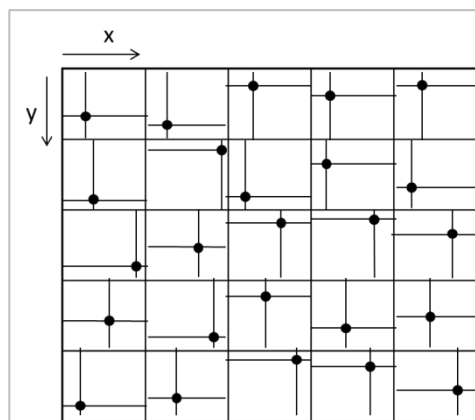
Aleatorio. Este es uno de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Los puntos de muestreo se eligen al azar, con ayuda de programas de cómputo o tablas estadísticas, no importa la distribución de instalaciones, ni los antecedentes del sitio. Este patrón es muy irregular, no sigue ninguna lógica.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



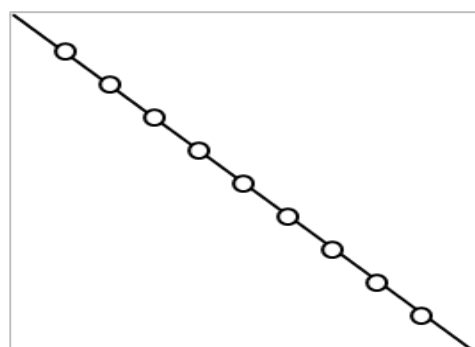
Aleatorio sobre rejilla regular. En inglés se conoce como “estratified”. Este es otro de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Para marcar los puntos de muestreo se crea una rejilla regular en el plano, se elige un número igual de puntos distribuidos aleatoriamente en cada celda, con ayuda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



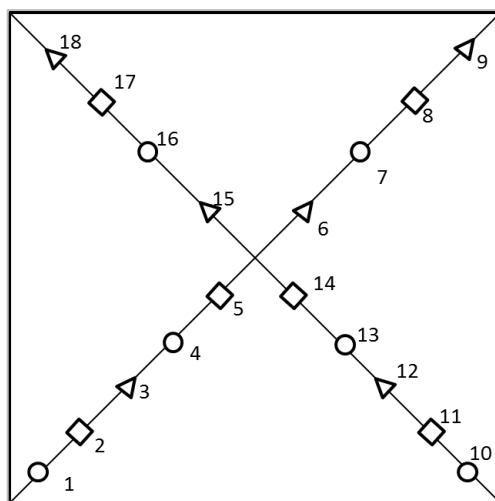
Aleatorio desalineado sobre rejilla regular. Este patrón es también empleado en los métodos estadísticos. Este patrón es similar al anterior, la diferencia radica en que en algunas celdas la coordenada “x” se mueve al azar, y en el resto de las celdas se mueve la coordenada “y”, o viceversa. El patrón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



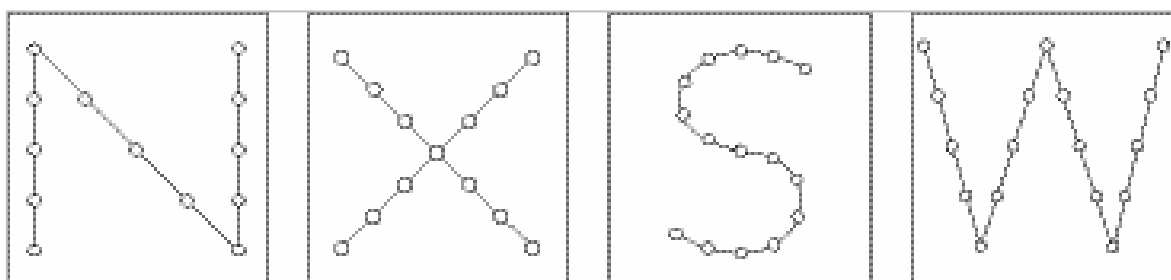
Diagonal simple. Sobre el plano se traza una línea diagonal, sobre la cual se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Este patrón no permite resultados representativos.



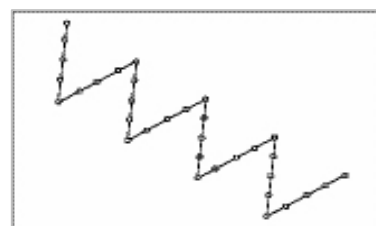
Diagonales cruzadas rotantes. Este patrón de muestreo es de utilidad en sitios que se deben estar monitoreando en forma permanente para obtener información de los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo aquellos donde se está dando seguimiento a una atenuación natural. Este arreglo se recomienda para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



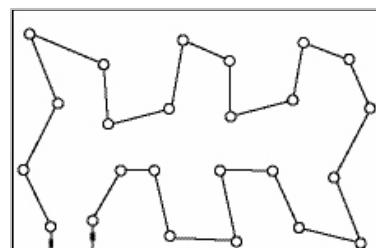
Muestreo irregular en forma de N, S, X o W. En superficies en forma cuadrada se dibujan las letras referidas y sobre las líneas se marcan los puntos de muestreo tratando de que sean equidistantes, sin embargo, estos patrones no permiten resultados representativos, ya que quedan espacios vacíos, donde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



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



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



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

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

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

Anexo N° 4: Formato de tabla de datos del muestreo

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

PM : Punto de Muestreo

BS : Base seca

Prof. : Profundidad

Dup. : Duplicado

HTP F1 : Fracción de Hidrocarburos F1

HTP F2 : Fracción de Hidrocarburos F2

HTP F3 : Fracción de Hidrocarburos F3

B : Benceno

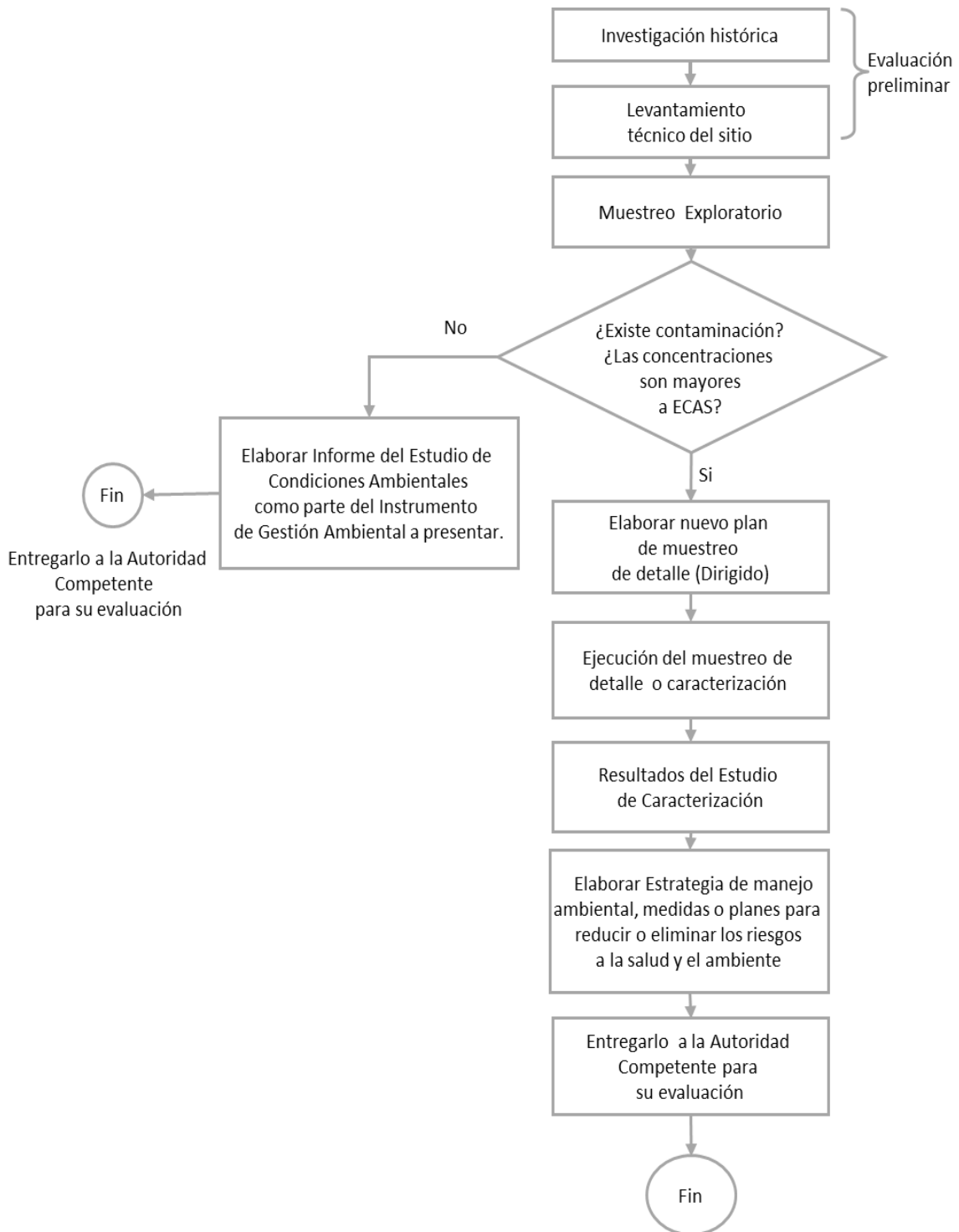
T : Tolueno

EB : Etil benceno

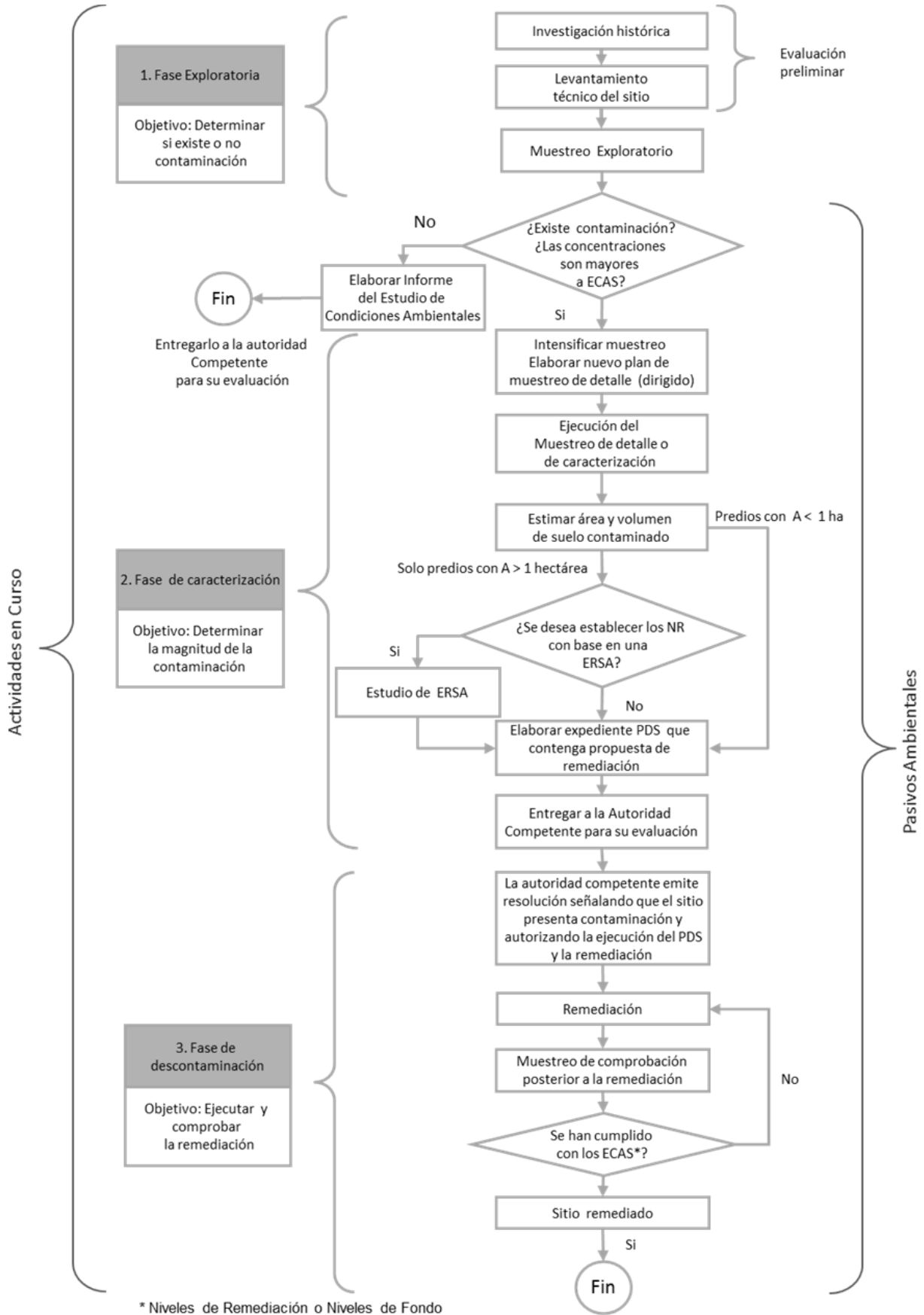
X : Xileno

Anexo N° 5: Estrategias de muestreos

PROYECTOS NUEVOS



ESTRATEGIA GENERAL DE MUESTREO PARA ACTIVIDADES EN CURSO



Anexo N° 6: Preparación de las muestras de suelos contaminados con metales y metaloides en el laboratorio

1 Consideraciones Generales

El objetivo de la preparación de la muestra, antes de su ingreso al proceso analítico, es homogeneizar la muestra de suelo para ser usada en los análisis químicos y físicos.

- La preparación de las muestras de suelo incluye la recepción, registro, secado, cribado, homogeneizado y cuarteo, y el almacenamiento para su conservación.
- Evitar en todo momento la contaminación de las muestras o su alteración.
- Debido a que los elementos a estudiar se pueden encontrar a muy bajas concentraciones, el riesgo de contaminar con los diferentes dispositivos para preparar la muestra es relativamente alto. Por lo que se debe evitar el uso de material metálico en mal estado o deteriorado, así como el que contiene pintura como protección, dado que pueden ser fuente de contaminación con zinc, cadmio o plomo.
- Las muestras deben ser envasadas adecuadamente para su uso o almacenamiento.

2 Material y equipo recomendado

- Mazo o rodillo de madera.
- Charolas de acero inoxidable o aluminio.
- Tamices de acero inoxidable de malla de 2 mm (malla N°10) y de 9,51 mm.
- Bitácora de laboratorio y libro de registro.
- Estufa con circulación constante de aire caliente y extractor.
- Envases, bolsas o frascos de plástico con tapa para almacenar las muestras.
- Etiquetas.
- Brochas y espátulas.

3 Procedimiento de preparación de muestras

3.1 Recepción y registro

- Al llegar las muestras al laboratorio deben registrarse con la clave de identificación de campo indicada en la etiqueta y la lista de las determinaciones requeridas señaladas en la cadena de custodia.
- El laboratorio puede asignar un número de registro a cada muestra, que conviene se realice con números seriados, para facilidad del manejo interno. Este registro debe estar correlacionado con la clave de identificación de campo.

3.2 Secado

- El secado se realiza con el propósito de facilitar el manejo de las muestras, mejorar la homogeneización y disminuir los cambios químicos indeseables.
- Las muestras de suelo se secarán de preferencia al ambiente. El secado debe realizarse extendiendo las muestras del material de suelo en las charolas.
- Las muestras deben extenderse sobre la charola logrando una profundidad inferior a 2,5 cm, colocarse a la sombra a una temperatura no mayor a 35°C y una humedad relativa entre 30 y 70%. Cuando por condiciones ambientales se requiera, se pueden secar en un horno a una temperatura no mayor de 35°C.

3.3 Cribado

- Una vez secadas las muestras y antes de disgregarlas, deben retirarse las piedras y los restos de plantas, a menos que la cadena de custodia indique que estas últimas deban ser preservadas.
- La disgregación de las muestras, puede realizarse manualmente con un mazo o rodillo de madera, o mecánicamente con un equipo diseñado para tal efecto. Se prohíbe el uso de molinos que pueda variar la textura original de las muestras.
- Una vez disgregadas las muestras deben ser cribadas en una malla de 9,51 mm y posteriormente por una de 2 mm de diámetro (malla Nº10) de acero inoxidable. La parte de la muestra que logra pasar ambas mallas es la que tiene el grado de fineza conveniente para la mayoría de los análisis requeridos, para cuantificar las sustancias buscadas.
- Se descarta el material grueso retenido en cada una de las mallas.
- La cantidad del suelo tamizado, finos, debe ser suficiente para realizar las determinaciones analíticas requeridas.

3.4 Homogenizado y cuarteo

Este paso es necesario para asegurar que la cantidad de muestra que se analiza representa la composición de la cantidad total de los finos del material de suelo una vez tamizado en el laboratorio, para lo cual se deben utilizar los métodos de cuarteo adecuados al método analítico que se aplique.

3.5 Almacenamiento de los finos de las muestras

- Una porción de las muestras analizadas, debe almacenarse para posteriores comprobaciones u otros usos. Para ello pueden ser utilizados los envases originales debidamente cerrados, con el fin de disminuir los cambios químicos.
- Estas muestras deben permanecer cerradas y debidamente identificadas. Para esto se recomienda conservar el número de registro del laboratorio, junto con la etiqueta de campo.
- La muestra almacenada puede sufrir cambios lo cual debe tenerse presente en usos posteriores. En todo caso, es conveniente especificar si los resultados analíticos provienen de muestras recientes o con cierto tiempo de almacenamiento.
- El tiempo entre la toma de la muestra y el análisis no debe exceder de un mes.

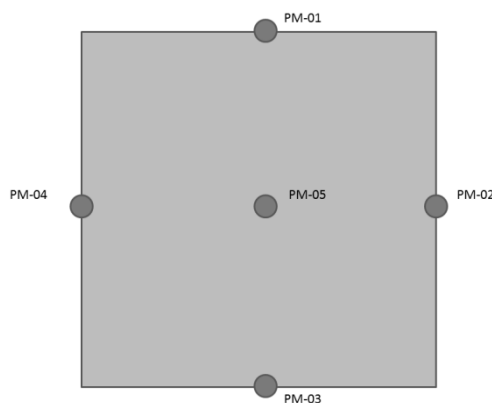
Anexo N° 7: Procedimiento de muestreo comprobatorio de la remediación

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

CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO EN ÁREAS DE EXCAVACIÓN, CUANDO EL SUELO FUE RETIRADO

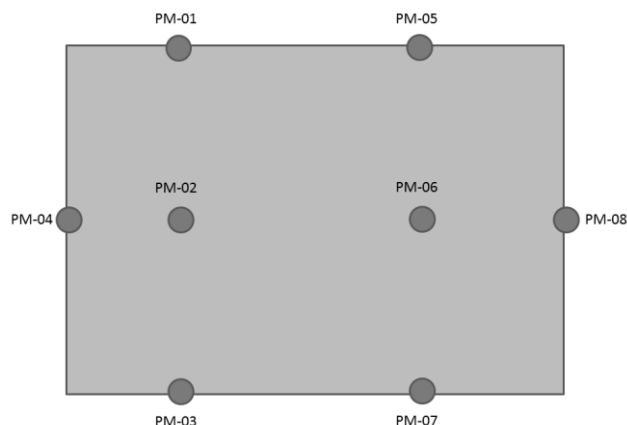
- Cuando el área de contaminación es $<$ a 1000 m²- y tiene FORMA REGULAR: Forma de un cuadrado:
- Número de muestras y distribución: una muestra en cada pared (4) y una en el fondo (1), total 5 muestras.
- En todos los casos se requiere tener un plano de localización.

FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO EN EL AREA DE EXCAVACION REGULAR: FORMA DE CUADRADO



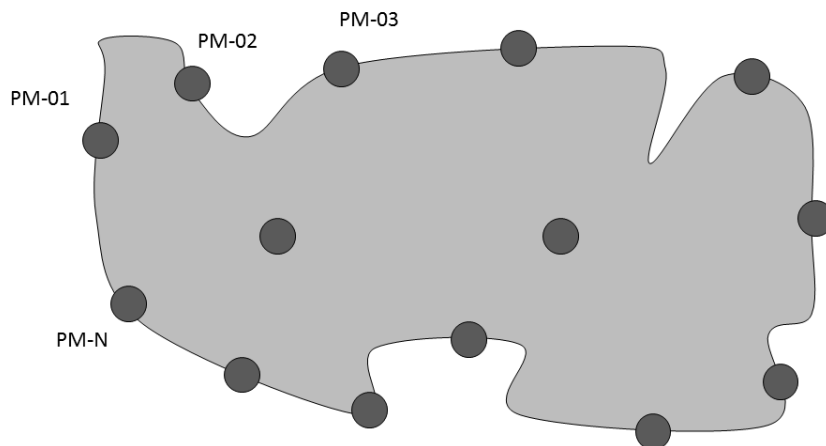
- Cuando el área de contaminación es $<$ a 1000 m²- FORMA REGULAR: Forma de un rectángulo:
- Número de muestras y distribución: una muestra en cada pared corta (2), dos en cada pared larga (4) y dos en el fondo (2), total 8 muestras.

FIGURA 2: LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO EN EL AREA DE EXCAVACION REGULAR: FORMA DE RECTANGULO



- Cuando el área de contaminación es < a 1000 m² y hasta 5000 m²: y tiene FORMA IRREGULAR:
- Número de muestras y distribución: una muestra por cada 15 – 20 metros lineales en las paredes del perímetro del área excavada y 2 en el fondo según la superficie (áreas menores a 1000 m²) y 3 o 4 para áreas hasta 5000 m², según sea el caso.

FIGURA 3: LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO EN EL AREA DE EXCAVACION IRREGULAR



- Cuando el área de contaminación es de 1,000 m² (0.1 hectáreas) hasta 9,999 m² (0.999 hectáreas): FORMA REGULAR:

Número de muestras y distribución:

- una muestra (1) por cada 100 m lineales en cada pared corta o larga (distancia/75-100 = N),
- dos muestra (2) en el fondo por cada 1000 m².

- Cuando el área de contaminación es de 10,000 m² (1 hectárea) a 150,000 m² (15 hectáreas): FORMA REGULAR:

Número de muestras y distribución:

- una muestra (1) por cada 75 a 100 m lineales en cada pared corta o larga (distancia/75-100 = N),
- NPM en el fondo según la siguiente ecuación.

A partir de 1 hectárea y hasta 15 hectáreas se aplicará la siguiente ecuación en la determinación del número de puntos de muestreo.

$$NPM = 18 + 2.3694 * A$$

Donde

NPM = número de puntos de muestreo;

A = superficie en hectáreas

Por ejemplo el total de puntos de muestreo para un área de 6,000 m² y 750 metros lineales de perímetro es de 12 muestras en el fondo más 8 muestras en las paredes. En total son 20 puntos de muestreo más 2 duplicados.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO EN BIOPILAS

- Se requiere tener un plano de localización de las biopilas y de las celdas de tratamiento.
- Se debe de contar con los metros lineales de cada biopila y con el volumen medido en banco y con abundamiento de cada biopila, el volumen total de cada celda de tratamiento y el total de todas las celdas de tratamiento.
- Se requiere el volumen de suelo medido en banco (calculado por área y profundidad de excavación) y el volumen de suelo por abundamiento debido a que en la planeación y la ejecución de la remediación los volúmenes pueden variar y también porque de otra manera se dan cifras distintas al solicitar la autorización del PRSC y al momento de la conclusión de la remediación. El suelo se abunda con aprox. 17 – 20 % más de volumen al ser excavado, en algunos casos el abundamiento llega al 30%.

FIGURA 4: FOTOGRAFÍA AÉREA DE LA LOCALIZACIÓN DE UNA CELDA DE TRATAMIENTO (fuente: PEMEX REF 2009 -2010)



FIGURA 5: DIAGRAMA DEL ÁREA DE LOCALIZACIÓN DE UNA CELDA DE TRATAMIENTO (fuente: PEMEX REF 2009 -2010)

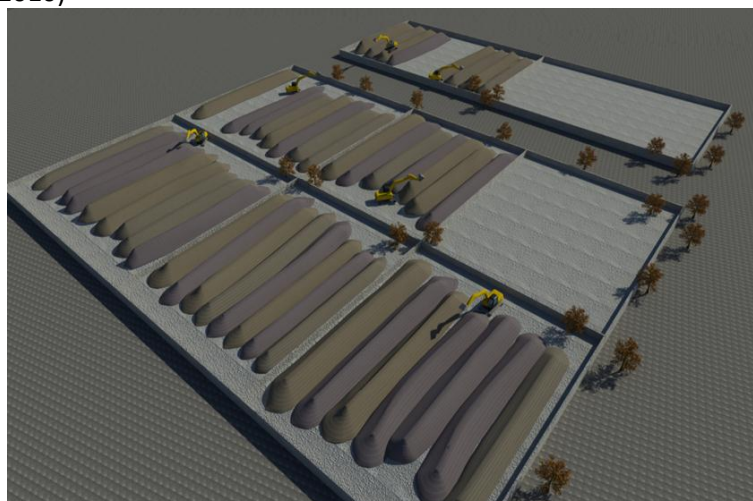


Tabla A: Ejemplo de datos a solicitar por biopila y celda de tratamiento.

Celda	Biopila	Longitud (m)	Alto (cm)	Volumen medido en banco (m ³)	Volumen con abundamiento (m ³)	No. de unidades de muestreo	Distancia entre unidades de muestreo	Acumulado de unidades	Volumen de biopila / volumen total
I	1	70	595	1639.4	1918.1	70	1	70	12.06%
	2	70	595	1481.2	1733	70	1	140	10.90%
	3	70	595	1478.8	1730.2	70	1	210	10.88%
	4	70	595	1372.7	1606.1	70	1	280	10.10%
	5	70	595	1377.7	1611.9	70	1	350	10.14%
	6	70	595	1257.9	1471.8	70	1	420	9.26%
	7	70	595	1182.4	1383.4	70	1	490	8.70%
	8	70	595	792.3	927	70	1	560	5.83%
	9	70	595	913.8	1069.2	70	1	630	6.72%
	10	70	595	1011.4	1183.3	70	1	700	7.44%
	11	70	595	1081.5	1265.4	70	1	770	7.96%
Total				13589.1	15899.4				

Tabla B: Ejemplo de datos para todas las celdas de tratamiento.

Celda	Volumen por celda medido en banco	Volumen por celda medido con abundamiento	Volumen de biopila / volumen total
I	13,589	15,899	13.87%
II	11,652	13,633	11.89%
III	13,306	15,568	13.58%
IV	7,868	9,206	8.03%
V	7,465	8,734	7.62%
VI	7,511	8,788	7.66%
VII	9,094	10,639	9.28%
VIII	13,758	16,097	14.04%
IX	13,758	16,097	14.04%
TOTAL	98,000	114,660	100.0%

- Los metros lineales por biopila sirven para determinar la localización y espesor de las unidades de muestreo en donde se tomara la muestra. Una unidad de muestreo según las condiciones del sitio y el suelo tiene una longitud de 1 m, para biopilas más altas esta longitud es menor (por ejemplo 0.25 m).
- Por regla general se debe de requerir que se aplique 1 muestra simple por cada 250 – 300 m³, cuando se trate de tratamiento de remediación por biopilas y landfarming con aeración mecánica (con excavadora “mano de chango” o similar, sin cribado industrial previo). La densidad de muestreo de las biopilas puede varias en más o menos 10 – 15 %. La densidad de muestreo de todas las biopilas debe de estar siempre alrededor de 5 - 10 % de la regla general (1 Muestra /250 – 300 m³ ± 5 – 10 %).
- Se debe solicitar un duplicado por cada 10 muestras.
- En biopilas de longitudes menores a 50 m, cada biopila debe de ser muestreada por lo menos una vez. Para biopilas mayores a 50 m de longitud por lo menos 2 veces. SIN EXCEPCION.
- Las muestras se toman aleatoriamente siguiendo el siguiente esquema.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACION DE PUNTOS DE MUESTREO EN BIOPILAS

- En la figura siguiente se muestra la división de los cuadrantes para las biopilas del tratamiento, ésta se encuentra dividida en 4 triángulos de dimensiones semejantes. Dependiendo del cuadrante en que se encuentre la toma de muestra es la profundidad a la que corresponderá, siendo para los cuadrantes A, C y D una Prof. de 0.8m (80 cm) y para el cuadrante B 1.8 m (180 cm).

FIGURA 6: DIAGRAMA DE SECCIONES TRANSVERSALES EN BIOPILAS PARA SU MUESTREO (fuente: PEMEX REF 2009 -2010)

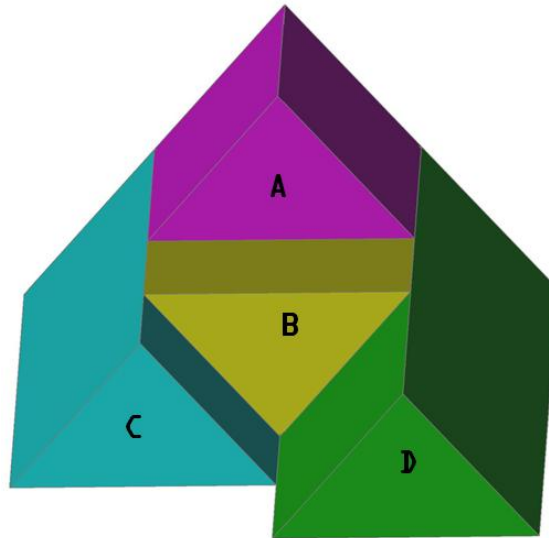


Tabla C: Ejemplo de unidad de muestreo a muestrear según la longitud. En oscuro se señala la unidad y el cuadrante a muestrear.

A	B	C	D
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36
37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48
49	50	51	52
53	54	55	56
57	58	59	60
61	62	63	64
65	66	67	68
69	70	71	72
73	74	75	76
77	78	79	80
81	82	83	84
85	86	87	88
89	90	91	92
93	94	95	96
97	98	99	100
101	102	103	104
105	106	107	108
109	110	111	112
113	114	115	116
117	118	119	120
121	122	123	124
125	126	127	128
129	130	131	132
133	134	135	136
137	138	139	140
141	142	143	144
145	146	147	148

- La realización de un tratamiento con aeración mecánica sin cribado puede llevar a que se realicen varios Muestreos Comprobatorios Finales de Remediación del mismo material hasta que se comprueba que ha cumplido con los Niveles de Remediación (NR). Este riesgo aumenta los costos de muestreo y análisis. En el siguiente ejemplo de un caso real se muestra como en un mismo volumen (aprox. 18,072 m³) de material en tratamiento se tuvieron que efectuar 4 Muestreos Comprobatorios Finales de Remediación (MCFR) hasta que todo el volumen de material cumplió con los Niveles de Remediación (NR). Esto se debe a que el tratamiento sin cribado conduce a que los grumos del material sean grandes y junto con la existencia de materiales extraños (por ejemplo rocas, escombros, raíces) conduce a una aeración del material problemática y deficiente.

Tabla D: Ejemplo de muestreos finales Comprobatorios en un mismo material sin cribado

Primer Muestreo Final Comprobatorio	Biocelda muestreada	Volumen medido en banco m ³	Volumen con abundamiento m ³	No. de biopilas muestreadas	No. de muestras	No. de muestras (con ajuste)	Densidad
	1	5,006.22	6031.62	8	16	18	335
	2	4132.35	4978.74	10	20	22	226
	3	5,861.41	7061.93	11	23	24	294
	Total	14,999.98	18,072.29	29	59	64	282
Segundo Muestreo Final Comprobatorio	Biocelda muestreada	Volumen medido en banco m ³	Volumen con abundamiento m ³	No. de biopilas muestreadas	No. de muestras	No. de muestras (con ajuste)	Densidad
	1	4382.47	5280.11	7	15	16	330
	2	2890.67	3482.75	5	14	16	218
	3	2597.78	3129.85	5	10	11	285
	Total	9870.92	11892.71	17	39	43	277
Tercer Muestreo Final Comprobatorio	Biocelda muestreada	Volumen medido en banco m ³	Volumen con abundamiento m ³	No. de biopilas muestreadas	No. de muestras	No. de muestras (con ajuste)	Densidad
	1	3,212.66	3870.67	5	10	11	352
	2	972.71	1171.95	2	4	5	234
	3	535.33	644.97	1	2	2	322
	Total	4,720.70	5,687.59	8	16	18	316
Tercer Muestreo Final Comprobatorio	Biocelda muestreada	Volumen medido en banco m ³	Volumen con abundamiento m ³	No. de biopilas muestreadas	No. de muestras	No. de muestras (con ajuste)	Densidad
	1	1,964.45	2366.81	3	6	6	394
	2						
	3						
	Total	1,964.45	2366.81	3	6	6	394
		Volumen medido en banco m ³	Volumen con abundamiento m ³	No. de muestras (con ajuste)	Densidad		
	Muestreo 1			64			
	Muestreo 2			43			
	Muestreo 3			18			
	Muestreo 4			6			
		14,999.98	18,072.29	131	138		

- En este ejemplo la densidad de muestreo para el volumen de suelo en tratamiento paso de alrededor 390m³/muestra a 138m³/muestra. El número de muestras y análisis se duplicó y triplicó (considerando que cada muestra debía ser analizada a las 3 fracciones de los hidrocarburos de petróleo señaladas en la NOM 138 SEMARNAT 2003). El aumento de costo por muestreos y análisis aumenta considerablemente además de que el tiempo de tratamiento se extendió varios meses más.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO EN BIOPILAS CON CRIBADO MECANICO PREVIO

- Para determinar el número total de muestras en este caso se puede aplicar el siguiente procedimiento, cuando se propone un muestreo sistemático con una distribución equidistante entre puntos muestreados a lo largo de las unidades de muestreo. El tamaño de muestra se calculó utilizando un muestreo aleatorio irrestricto para lo cual se aplicó la siguiente ecuación.

Ecuación 02

$$n = \frac{N * S_N^2 * Z_{\alpha/2}^2}{N * d^2 + S_N^2 * Z_{\alpha/2}^2}$$

Donde

- n: es el tamaño de muestra
- N: es el tamaño de la población de unidades de muestreo
- S_N Es la varianza poblacional
- X: Promedio de la varianza poblacional
- d: Es la precisión de la media deseada
- $Z_{\alpha/2}$: Es el valor del percentil de la distribución de Z de acuerdo al grado de confiabilidad que se desee = 1.645 que corresponde a un nivel de confianza de 95%

Para ejemplificar el uso de la ecuación se presentan los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1:

n:	Es el tamaño de muestra	
N:	Es el tamaño de la población de unidades de muestreo	= 5338
S_N	Es la varianza poblacional	= 878,377.6238
	Promedio de la varianza poblacional	= 2340.6522
d:	Es la precisión de la media deseada	= precisión (15%) x promedio de la varianza (de los datos de concentración iniciales en el suelo) (2340.6522) = 0.15 * 2340.6522= 351.1
$Z_{\alpha/2}$:	Es el valor del percentil de la distribución de Z de acuerdo al grado de confiabilidad que se desee	= 1.645 que corresponde a un nivel de confianza de 95%
	Volumen de suelo	= 98,000.06 m ³

En el ejemplo que se señala da como resultado lo siguiente:

- El tamaño de la muestra calculado es de n = 19.
- Al tamaño de muestra obtenido se le agregó un 10% como medida de seguridad, dando un tamaño de muestra de n = 21, este dato se obtuvo al tomar una muestra estadística de cinco celdas.

- Se realizó una extrapolación a los 98,000.06 m³, por lo que nos da un resultado de 38 muestras para el volumen total.
- Se realizó un ajuste para lograr al menos 2 muestras por pila nos da un total de 158 muestras sin duplicado, 173 muestras incluidos los duplicados.
- Este ajuste se debe a que la precisión aplicada es de 15% y la densidad de muestreo era de $98,000/38 = 2578.9$ m³ por muestra. Considerando el ajuste se tenía una densidad de muestreo de 620.2 m³/muestra pero con el mínimo de 2 muestras por biopila.
- El número de muestras por cada 10,000 m³ de suelo tratado es de aprox. 15 más 1 duplicado por cada 10 muestras simples. Entonces el tamaño de muestra definido fue de 158 de un universo de 5,338 unidades. Para hacer un muestreo sistemático equidistante se tiene que muestrear cada 33 unidades ($5338/158$). El arranque es aleatorio, así que usando la función aleatoria del Excel, se selecciona al azar un número entre 1 y 33. Cada biopila debe de ser muestreada por lo menos 2 veces.

Ejemplo 2:

n:	Es el tamaño de muestra	
N:	Es el tamaño de la población de unidades de muestreo	= 1456.8
S_N	Es la varianza poblacional de la fracción media base seca	= 558,457.29
	Promedio de la varianza poblacional	= 1,211.3
d:	Es la precisión de la media deseada	= precisión (21%) x promedio de la varianza (de los datos de concentración iniciales en el suelo) = $0.21 * 1,211.3 = 254.373$
$Z_{\alpha/2}$:	Es el valor del percentil de la distribución de Z de acuerdo al grado de confiabilidad que se desee	= 1.645 que corresponde a un nivel de confianza de 95%
	Volumen de suelo	= 35,000 m ³

En el ejemplo que se señala da como resultado lo siguiente:

- El tamaño de la muestra calculado es de $n = 56$.
- El número de duplicados es de 6.
- El total de muestras es de 62 incluidos los duplicados.
- Entonces el tamaño de muestra definido fue de 62 de un universo de 1456.8 unidades. Para hacer un muestreo sistemático equidistante se tiene que muestrear cada 23.5 unidades ($1456.8/62$). El arranque es aleatorio, así que usando la función aleatoria del Excel, se selecciona al azar un número entre 1 y 23. La densidad de muestreo (con la precisión de 21%) es de $(35,000/56) = 625$ m³/muestra.
- Cada biopila debe de ser muestreada por lo menos dos veces.
- En estos caso la densidad de muestreo puede variar entre 400 – 600 m³/muestra ($\pm 5\%$), el motivo de esto es que el material cribado muestra una mayor homogenización en el tamaño de grumo y no presenta materiales no valorables como son rocas, residuos de demolición o raíces. La aeración mecánica posterior al cribado conduce a mejores resultados y a tiempos de tratamiento menores.

CRITERIOS PARA LA DETERMINACION DEL NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO EN AREAS CON TRATAMIENTOS IN-SITU

Diseño de muestreo para zonas de tratamiento in situ en general:

Se aplica un modelo con dos tipos de tasas de error: Tasas de Error Tipo 1 y Tipo 2. Estas tasas de error reflejan las variaciones dentro del desarrollo del muestreo y las variaciones intrínsecas al sitio. Las Tasas de Error Tipo 1 y Tipo 2 significan que los resultados de un muestreo pueden resultar en un falso positivo (error tipo 1), es decir, se declara al sitio limpio cuando en realidad no es así, o puede resultar en un falso negativo (error tipo 2), donde se declara al sitio contaminado cuando en realidad cumple con los niveles de limpieza.

El símbolo α representa la probabilidad de una decisión de falso positivo (error tipo 1) y el símbolo β representa la probabilidad de una decisión de falso negativo (error tipo 2).

Los valores de este tipo de errores deben de ser consensuados con la autoridad y establecidos de manera previa a la ejecución del muestreo, bajo la consideración de que si son reducidos, la probabilidad de tomar la decisión correcta aumenta, aunque esto implica un incremento considerable en el número de muestras (EPA, 1989).

En la literatura, guías de referencia y otros casos de estudio se han propuesto o manejado comúnmente valores de 0.01, 0.05 y 0.1 para α y de 0.15-0.20 para β (EPA, 1989; EPA, 1992; Patil y Tailie, 1994; EPA, 1996; Gibbons y Coleman, 2001; MDA, 2003; EPA, 2006).

Valores de las Tasas de error para el Muestreo Comprobatorio Final de Remediación (MCFR): De acuerdo a lo reportado en literatura, se ha establecido que una primera aproximación al problema del muestreo puede darse con los siguientes valores: $\alpha=0.05$ y de $\beta=0.2$.

Estos valores dependen de los objetivos del proyecto de remediación y las circunstancias del terreno, ya que se le da mayor peso a evitar los falsos positivos (evitar erróneamente decir que un sitio está limpio) que a un falso negativo (EPA, 1989; EPA, 1996; EPA, 2006). De esta manera, se puede tener un 95% de certidumbre de que se declarará correctamente que el sitio no ha sido remediado y un 80% de probabilidad de declarar correctamente que el sitio está limpio.

El esquema que se muestra en la siguiente tabla se puede considerar conservador para beneficio de una mayor seguridad para el ambiente y la salud humana (pero implica una mayor carga hacia el remediador), no obstante, establece de antemano que la prioridad es la correcta remediación del sitio, dentro de tiempo y costos razonables, guardando un equilibrio entre los dos tipos de error.

Tabla E: condiciones de cumplimiento en MCFR

Decisión en base a muestreo	Condición verdadera del sitio	
Cumplido	Cumplido (decisión correcta, Poder= $1-\beta$)	No Cumplido (Error tipo 1, Falso positivo, $P=\alpha$)
No Cumplido	Cumplido (Error tipo 2, falso negativo, $P=\beta$)	No cumplido (decisión correcta, Certidumbre= $1-\alpha$)

El muestreo y el análisis estadístico considera que existe un nivel de incertidumbre sobre la decisión a tomar con base en los resultados obtenidos y que como consecuencia de esto, es posible decidir

que un sitio está limpio cuando en realidad no es así o viceversa. En el primer caso y de acuerdo a si los niveles fueron establecidos en función a una evaluación de riesgo, implica una potencial amenaza a la salud o el ambiente. En el segundo caso, implica un mayor costo económico al tener que continuar con el tratamiento del sitio a pesar de que realmente se hayan cumplido los objetivos. Ambas situaciones son consideradas y ponderadas durante el análisis estadístico (falsos positivos y falsos negativos).

El muestreo bajo esta perspectiva considera que una vez obtenidos los resultados del muestreo final, se aplica un primer filtro para simplificar el proceso de análisis. Se puede dar el caso en que todos los valores de concentración reportados por el muestreo se encuentren por debajo de los niveles de limpieza y dado que el tamaño de muestra es estadísticamente representativo del material tratado, se puede concluir que el suelo efectivamente esta remediado. En caso contrario, se pasa a un segundo filtro de datos y toma de decisiones.

El muestreo considera la aplicación de un segundo filtro para simplificar el análisis de los resultados. Este segundo filtro está diseñado para evaluar la eficiencia general del tratamiento, ya que es directamente dependiente de las concentraciones reportadas por el muestreo. En caso de resultar afirmativo (la media de las concentraciones está por debajo de los niveles de remediación autorizados), demuestra un tratamiento relativamente homogéneo, ya que la varianza es un parámetro importante para aplicar esta prueba y da pie a establecer con mayor seguridad la segunda toma de decisiones (tercer filtro). En caso de ser negativo, (que la media este por arriba de los Niveles de Remediación autorizados) puede deberse a dos situaciones:

- que el tratamiento aún no fue suficiente ni siquiera para garantizar que la concentración promedio del material alcanzara los niveles de remediación, o
- que el tratamiento sí fue eficiente pero que pueden existir algunos valores extremos (concentraciones muy altas) que afectan el resultado de la prueba y que requieran de una consideración especial.

El muestreo considera que para aplicar este segundo filtro, se emplea un procedimiento estadístico para determinar la media de los datos de muestreo junto con su desviación estándar e intervalos de confianza. Se aplica la siguiente fórmula para establecer el límite superior de porcentaje de confianza de una cola 100 (1- α) alrededor de la media de la población (EPA, 1989):

Ecuación 03

$$\mu U \alpha = x + t_{1-\alpha,df} * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

X: es la media estimada de las concentraciones

S: es su correspondiente desviación estándar

n: es el tamaño de muestra

t: es un parámetro estadístico a un valor de α y grados de libertad definidos

Este límite superior es usado para tomar la decisión en base a:

Condición	Consecuencia
Si $\mu U \alpha <$ nivel de remediación	Concluir que la concentración promedio es estadísticamente menor al Nivel de Remediación autorizado.
Si $\mu U \alpha \geq$ nivel de remediación	Concluir que la concentración promedio no es estadísticamente menor al Nivel de Remediación autorizado.

El muestreo considera que una vez que se ha definido estadísticamente si la concentración media del material muestreado está o no por debajo de los niveles de limpieza, es necesario definir qué proporción del material es la que efectivamente se encuentra por debajo del nivel de limpieza. Para ello se emplea una prueba no paramétrica basada en una distribución binomial. Cada resultado analítico es codificado con “1” si sobrepasa el nivel de limpieza, y con “0” si está por debajo.

La proporción de suelo es estimada a partir de esta codificación de datos. Si la proporción de “0” es alta, la proporción de suelo contaminado es mínima y se puede decir que la gran mayoría del suelo ha cumplido con los niveles de limpieza, quedando solo un remanente que es estadísticamente menor a la proporción establecida y que puede ser tratado de manera específica y puntual. Por el otro lado, si la proporción de “1” es alta, la proporción de suelo contaminado es mayor al criterio previamente permitido, indicando que puede no tratarse de cuestiones puntuales y en realidad sean áreas mayores de suelo todavía impactado.

El muestreo considera la aplicación de un tercer filtro para simplificar el análisis de los resultados. Para aplicar este tercer y último filtro, se emplea un procedimiento estadístico para determinar la proporción de los datos de muestreo que sobrepasan los criterios de limpieza junto con su desviación estándar e intervalos de confianza. Esta proporción del muestreo es un estimado de toda el área o volumen analizado, por lo que es necesario proveerlo de un rango de valores para estadísticamente asegurar la confiabilidad del resultado. Se aplica la siguiente fórmula para establecer el límite superior de porcentaje de confianza de una cola 100 (1- α) (EPA, 1989):

Ecuación 04

$$P \cup \alpha = P_{st} + Z_{1-\alpha} * S_{pst}$$

- P_{st}: es la proporción estimada a partir de los resultados de muestreo
- S_{pst}: es su correspondiente desviación estándar
- Z: es un estadístico a un valor de α definido

Este límite superior es usado para tomar la decisión en base a:

Tabla F: Condiciones y consecuencias en MCFR en áreas de tratamiento in-situ

Condición	Consecuencia
Si $PU_{\alpha} < P_0$, donde P_0 es el valor de proporción de suelo contaminado máximo permisible	Concluir que la proporción de suelo por encima de los niveles de remediación es estadísticamente menor a la proporción permitida. Esto indicaría que solo algunas concentraciones puntuales requieren de una decisión específica.
Si $PU_{\alpha} \geq P_0$	Concluir que la proporción de suelo por encima de los niveles de remediación es estadísticamente mayor a la proporción permitida.

En función a la proporción obtenida (ej. 12, 20 o 50%), se evaluará si se requiere una acción sobre un volumen específico de suelo o si se requiere un tratamiento total del suelo.

Esta prueba se podrá aplicará para cada contaminante en cuestión, y para tomar una decisión de total cumplimiento se deberá de garantizar que la proporción de cada contaminante este por debajo de los niveles de remediación. De lo contrario, se aplicarán las acciones correctivas en función al contaminante en cuestión y en función a otros parámetros como son el análisis de riesgo a la salud considerando la profundidad de la contaminación y la ubicación de la infraestructura del parque; así como la atenuación natural.

El tamaño de la muestra para cada estrato se determinará usando la siguiente ecuación (EPA, 1989):

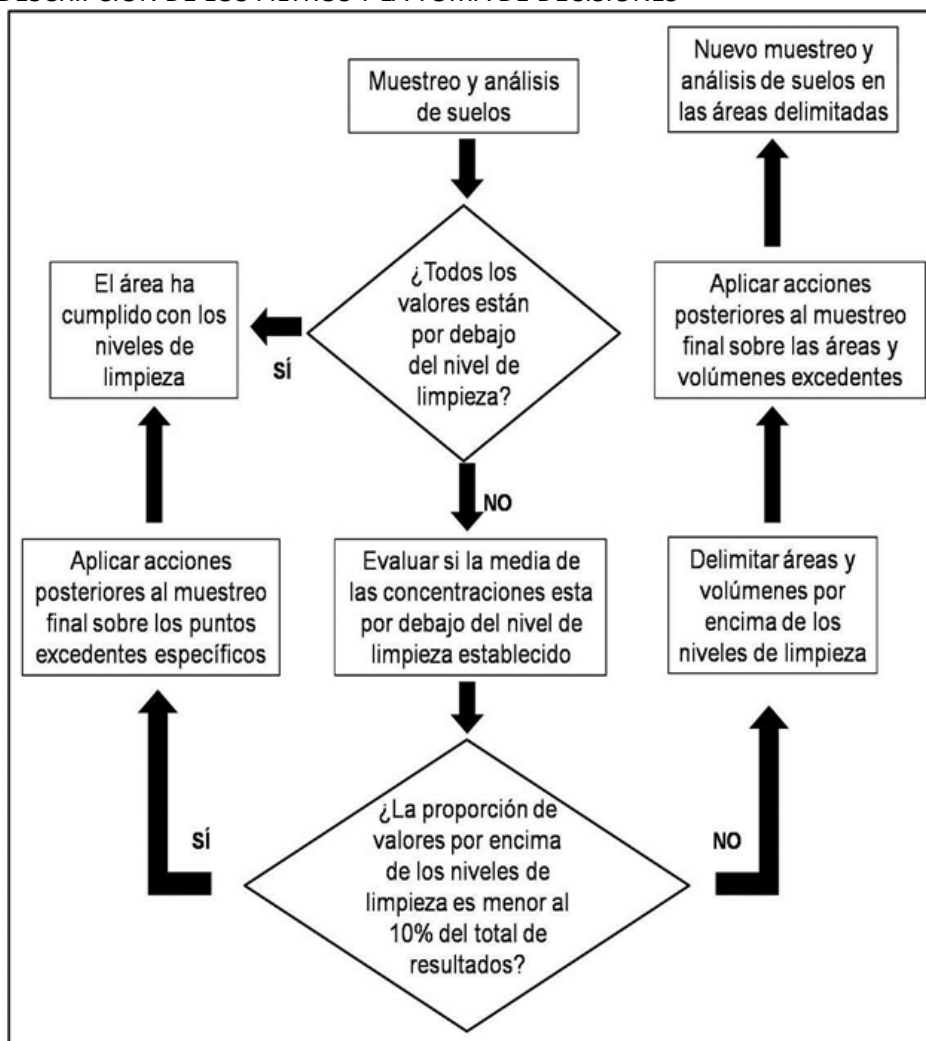
Ecuación 05
$$n_{hd} = P_o (1 - P_o) \left[\frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{P_o - P_1} \right]^2 W_h$$

Donde

- n_{hd} : es el tamaño de muestra teórico para un estrato específico
- P_o : representa la proporción de suelo que no debe de superar los niveles de remediación
- h : es un estrato específico
- W_h : es la proporción de volumen de suelo que se encuentra dentro del estrato h
- $Z_{1-\alpha}$ y $Z_{1-\beta}$: estadísticos para la distribución normal en función de la probabilidad de error tipo 1 y tipo 2; y P_1 es un parámetro control que representa la proporción máxima de suelo (menor a P_o) en la que aun sobrepasando los niveles de remediación se puede aceptar la hipótesis alternativa tomando en consideración la probabilidad del error tipo 2. Este parámetro es convenido previamente, bajo la consideración de su influencia significativa sobre la determinación del número de muestras, ya que si llega a igualar a P_o la n se eleva a infinito.

En el siguiente diagrama se describen los filtros y la toma de decisiones, como se puede observar si un área no pasa el tercer filtro, se realizan acciones de remediación adicionales y posteriormente se realiza un nuevo Muestreo Comprobatorio Final de la Remediación (MCFR), después de haber aplicado las medidas de remediación posteriores al MCFR inicial.

FIGURA 7: DESCRIPCION DE LOS FILTROS Y LA TOMA DE DECISIONES



Ejemplo de aplicación de la ecuación para determinar el número de muestras

Valor	Variables
10%	$P_h = P_0$ Solo se permitirá que cuando mucho el 10% del suelo sobrepase los niveles de limpieza, para en función de esto tomar decisiones específicas.
$W_h =$	En función a las proporciones presentadas en la tabla 1.
0.05	α
0.20	β
4%	P_1 Se estimó de manera que se logrará un tamaño de muestra equivalente al empleado durante la etapa 1 de remediación.
1.645	$Z_{1-\alpha}$
0.842	$Z_{1-\beta}$

En función a lo anterior, se calculó el número de muestras teórico (n_{hd}) y el teórico redondeado al número inmediato superior para cada estrato (polígono).

Posteriormente se determinó la n final redondeado al número par inmediato superior (en caso de ser necesario), dado que se pretenden manejar dos muestras por pozo.

Dentro de cada estrato (polígono), se establecerá una malla de muestreo y se realizará una ubicación aleatoria dentro de cada celda del punto de muestreo (pozo). Cada punto de muestreo constará de dos profundidades de muestreo, siendo la primera a 1.2 m y la segunda a 2.4 m de tal manera que los resultados del muestreo final puedan ser comparables con los datos obtenidos durante el muestreo inicial, el cual manejó estas profundidades.

Tabla G: El número de muestras de suelo y de puntos de muestreo para los polígonos.

Polígono	n_{hd}	n_{hd} redondeado	n final	pozos
P1	22.81	23	24	12
P2	20.15	20	20	10
P3	23.36	24	24	12
TOTAL	66.32	67	68	34

Nota: área total de tratamiento 13,008.40 m². Representa una densidad de muestreo de un pozo de muestreo por cada 382 m² aproximadamente

La aleatorización es importante para poder realizar consideraciones de probabilidad y confianza sobre los resultados del muestreo. Cada punto de muestreo será ubicado de manera independiente a los otros puntos. Por su parte, la distribución sistemática de los puntos garantiza ubicar todos los puntos de manera uniforme sobre el polígono a evaluar y define fronteras para cada muestra tomada (tamaño de la celda).

DISEÑO DE MUESTREO PARA ZONAS DE TRATAMIENTO POR EXTRACCIÓN DE VAPORES (POLÍGONOS EV)

Se plantea un muestreo estratificado en función al volumen de suelo que cada polígono de EV representa con respecto al volumen total. De esta manera se determina un tamaño de muestra que sea representativo de toda la población, y las muestras se distribuyen dentro de cada estrato (polígono) en función a la proporción que representan.

El tamaño de la muestra para cada estrato se determinará usando la siguiente ecuación (EPA, 1989):

Ecuación 06

$$n_{hd} = P_h (1 - P_h) \left[\frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{P_o - P_1} \right]^2 W_h$$

Donde

- n_{hd} : es el tamaño de muestra teórico para un estrato específico
- P_h : representa la proporción de suelo que no debe de superar los niveles de limpieza y dado que es la misma para todos los estratos se considera igual a P_o
- h : es un estrato específico
- W_h : es la proporción de volumen de suelo que se encuentra dentro del estrato h
- $Z_{1-\alpha}$ y $Z_{1-\beta}$: son estadísticos para la distribución normal en función de la probabilidad de error tipo 1 y tipo 2; y P_1 es un parámetro control que representa la proporción máxima de suelo (menor a P_o) en la que aún sobrepasando los niveles de remediación se puede aceptar la hipótesis alternativa tomando en consideración la probabilidad del error tipo 2. Este parámetro es convenido previamente, bajo la consideración de su influencia significativa sobre la determinación del número de muestras, ya que si llega a igualar a P_o la n se eleva a infinito.

Ejemplo de aplicación de la ecuación para determinar el número de muestras

Valor	Variables
10%	$P_h = P_o$ Solo se permitirá que cuando mucho el 10% del suelo sobrepase los niveles de limpieza, para en función de esto tomar decisiones específicas.
	W_h = en función a las proporciones presentadas en la tabla 1.
0.05	α
0.20	β
4%	P_1 Se estimó de manera que se logrará un tamaño de muestra equivalente al empleado durante la etapa 1 de remediación.
1.645	$Z_{1-\alpha}$
0.842	$Z_{1-\beta}$

En función a lo anterior, se calculó el número de muestras teórico (n_{hd}) y el teórico redondeado al número inmediato superior para cada estrato (polígono EV). Posteriormente este número fue redondeado al múltiplo de tres inmediato, dado que se pretenden manejar tres muestras por pozo.

Dentro de cada estrato (polígono EV), se establecerá una malla de muestreo y se realizará una ubicación aleatoria dentro de cada celda del punto de muestreo (pozo). Cada punto de muestreo constará de tres profundidades de muestreo (1.2, 2.4 y 3.5 m), de tal manera que los resultados del muestreo final puedan ser comparables con los datos obtenidos durante el muestreo inicial, el cual manejó estas tres profundidades.

Tabla H: El número de puntos de muestreo de las áreas de EV.

Polígono	n_{hd}	n_{hd} redondeado	n final	pozos
EV1	26.24	27	27	9
EV2	53.76	54	54	18

EV3	71.63	72	72	24
TOTAL	151.63	153	153	51

Nota: área total de tratamiento por EV es 11,048.65m². Representa una densidad de muestreo de un pozo de muestreo por cada 216 m² aproximadamente.

Diseño de muestreo para zonas de tratamiento por inyección de aire (polígonos IA).

En polígonos de tratamiento por inyección de aire, en donde el suelo fue tratado in-situ por debajo del nivel freático (nivel de aguas subterráneas), se determina un tamaño de muestra que sea representativo de la población, y las muestras se distribuyen dentro del mismo.

El tamaño de la muestra para cada estrato se determinará usando la siguiente ecuación (EPA, 1989):

Ecuación 07

$$n_{hd} = P_h(1 - P_h) * \left\{ \frac{Z_{1-\alpha} + Z_{1-\beta}}{P_0 - P_1} \right\}^2 W_h$$

Donde

- n_{hd} : es el tamaño de muestra teórico para un estrato específico
- P_h : representa la proporción de suelo que no debe de superar los niveles de limpieza y dado que es la misma para todos los estratos se considera igual a P_0
- h : es un estrato específico
- W_h : es la proporción de volumen de suelo que se encuentra dentro del estrato h
- $Z_{1-\alpha}$ y $Z_{1-\beta}$: son estadísticos para la distribución normal en función de la probabilidad de error tipo 1 y tipo 2; y P_1 es un parámetro control que representa la proporción máxima de suelo (menor a P_0) en la que aún sobrepasando los niveles de remediación se puede aceptar la hipótesis alternativa tomando en consideración la probabilidad del error tipo 2. Este parámetro es convenido previamente, bajo la consideración de su influencia significativa sobre la determinación del número de muestras, ya que si llega a igualar a P_0 la n se eleva a infinito.

Ejemplo de aplicación de la ecuación para determinar el número de muestras

Se consideran los siguientes valores:

Valor	Variables
10%	$P_h = P_0$ Solo se permitirá que cuando mucho el 10% del suelo sobrepase los niveles de limpieza, para en función de esto tomar decisiones específicas.
	$W_h =$ en función a las proporciones presentadas en la tabla 1.
0.05	α
0.20	β
4%	P_1 Se estimó de manera que se logrará un tamaño de muestra equivalente al empleado durante la etapa 1 de remediación.
1.645	$Z_{1-\alpha}$
0.842	$Z_{1-\beta}$
	Los estratos a muestrear se encuentran desde 3.5 hasta 8.4 metros mediante una red de puntos de inyección a cada 7 metros, y el cual integra la tercera población o grupo de suelo por evaluar.

En función a lo anterior, se calculó el número de muestras teórico (n_{hd}) y el teórico redondeado al número inmediato superior. Posteriormente este número fue redondeado al múltiplo par inmediato, dado que se pretenden manejar cuatro muestras por pozo.

Dentro del polígono se establecerá una malla de muestreo, para sí tener el panorama integrar de la zona saturada y no saturada en esta área de tratamiento. Cada punto de muestreo IA constará de

cuatro profundidades de muestreo (4.8, 6.0, 7.2 y 8.4 m), de tal manera que los resultados del muestreo final puedan ser comparables con los datos obtenidos durante el muestreo inicial, el cual manejó estas cuatro profundidades.

Tabla I: El número de puntos de muestreo de las áreas de IA.

Polígono	n_{hd}	n_{hd} redondeado	n final	pozos
AM-IA1	95.47	96	96	24
TOTAL	95.47	96	96	24

Nota: área total de EV es 5,177.62 m². Representa una densidad de muestreo de un pozo de muestreo por cada 215 m² aproximadamente.

CONDICIONES A SEGUIR EN LA LOCALIZACION DE PUNTOS DE MUESTREO

En la localización de los puntos de muestreo para el MCFR en áreas con tratamiento in – situ deberán seguirse las siguientes consideraciones:

- Los puntos de muestreo (PM) deberán ser equidistantes de los pozos de venteo o extracción de vapores.
- Tanto el interior del área como los linderos u orillas del área contaminada deben de ser muestreados.
- Las profundidades de muestreo deben ser acordes a las profundidades de la contaminación e incluir tanto los márgenes inferiores como superiores.

ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD EN CAMPO Y LABORATORIO

Los procedimientos de aseguramiento y control de calidad son evaluados por la autoridad competente. Estos procedimientos requieren de:

- El muestreo sea realizado por personal capacitado y de preferencia acreditado.
- El laboratorio debe de ser acreditado.
- Se presenten cadenas de custodia originales para todas las muestra tomada y que éstas estén firmadas por signatarios autorizados.
- Qué se tome una muestra duplicado por cada diez obtenidas.
- Se haya solicitado, con por lo menos diez días hábiles de anticipación, a la entidad fiscalizadora que esté presente durante el muestreo y se observe su presencia con su firma en la cadena de custodia original.
- Observando, mediante la presentación de un reporte de laboratorio original firmado por signatario autorizado, que los análisis químicos se realicen en laboratorios acreditados.
- Se presenten cromatogramas (espectrograma) que respalden los resultados presentados.
- Transporte, almacenamiento y preservación de las muestras sea descrito y registrado.
- El reporte fotográfico debe contener en cada imagen la fecha y hora del MCFR.

Manejo de valores menores al Límite de Detección (LD) en la tabla de resultados resumidos del MCFR. Debe de señalarse numéricamente los LD's de las sustancias analizadas.

- Concentración = Límite de detección
- Concentración = Mínimo valor detectado

TOMA DE DECISIONES

Los criterios para considerar si un sitio ha quedado remediado en tratamientos a un lado del sitio (biopilas y tratamientos semejantes) son:

Criterio	Consecuencia
Concentraciones de todas las muestras < Nivel de Remediación	Limpio (cumplió con los NR) puede concluir la remediación

En caso de que una biopila muestre concentraciones por arriba de los Niveles de Remediación dicha biopila continúa en tratamiento y se realiza con posterioridad un nuevo Muestreo Comprobatorio Final (MCFR) bajo las mismas premisas y condiciones que el primer MCFR. Esto aplica para cualquier MCFR subsecuente.

Los criterios para considerar si un sitio ha quedado remediado en tratamientos in situ (Extracción de vapores-EV, Inyección de Aire- IA, o semejantes) son:

Filtro	Criterio	Consecuencia
Primer	Concentraciones de todas las muestras < Nivel de Remediación	Limpio (cumplió con los NR) puede concluir la remediación
Segundo	Media de Concentraciones de un polígono < Niveles de Remediación	Limpio (cumplió con los NR) puede concluir la remediación
Tercer	La proporción indica < 0.1 Prueba de hipótesis	Limpio (cumplió con los NR) puede concluir la remediación

Acciones a implementar en base a los resultados del muestreo final: de acuerdo con los filtros y a la aplicación de las pruebas estadísticas propuestas, se aplicarán las distintas acciones en función a los siguientes escenarios:

- (a.) si todos los resultados analíticos están por debajo de los niveles de remediación: Dado que se considera que el número de muestras es representativo de la población de estudio, se declarará que el área ha sido tratada satisfactoriamente y que las concentraciones de suelo están por debajo de los niveles de remediación autorizados.
- (b.) si la prueba de hipótesis (segundo filtro) refleja que la media está por debajo de los niveles establecidos, y la prueba de hipótesis (tercer filtro) sobre la proporción indica que se está por debajo del 0.1, entonces: Dado que las pruebas estadísticas empleadas permiten establecer que el sitio ha sido remediado satisfactoriamente, y que los resultados por encima de los niveles de remediación se pueden atribuir a factores puntuales más que a patrones de contaminación, se realizará lo siguiente: (b.1) continuar el tratamiento en el polígono o (b.2) realizar la extracción del suelo a partir de las muestras que hayan reportado valores por encima de los niveles, tomando como zona de inició de los trabajos el punto de muestreo y profundidad específica para realizar una excavación de forma radial, verificando con equipo de campo (por ejemplo sonda petrosense) las concentraciones del suelo removido, hasta que se alcancen los Niveles de Remediación en las paredes y fondo de la excavación, lo cual será corroborado después de la conclusión de trabajos por un Muestreo Comprobatorio Final de la Remediación (MCFR) subsecuente de suelos por un laboratorio acreditado. Una vez concluidas estas acciones, y comprobado a través del MCFR subsecuente que se cumplieron con los Niveles de Remediación se declarará que el área ha

sido tratada satisfactoriamente y que las concentraciones de suelo en los polígonos están por debajo de los niveles establecidos por la autoridad.

- (c.) Si la prueba de hipótesis (segundo filtro) refleja que la media está por encima de los niveles establecidos, y la prueba de hipótesis (tercer filtro) sobre la proporción indica que se está por debajo del 0.1, entonces: Debido a que la segunda prueba (de proporciones) permitiría concluir que la media fue influenciada por la presencia de algunos valores extremos, pero que realmente las concentraciones excedentes están dadas por datos puntuales y no por una gran proporción del total de resultados, se aplicarían las mismas acciones que con el supuesto anterior.
- (d.) Si la prueba de hipótesis (segundo filtro) refleja que la media está por encima o por debajo de los niveles establecidos, y la prueba de hipótesis (tercer filtro) sobre la proporción indica que se está por encima del 0.1, entonces: dado que las pruebas estadísticas empleadas indicarían que el polígono en cuestión no ha sido remediado satisfactoriamente, y que los resultados por encima de los niveles de remediación se pueden atribuir más a patrones de contaminación que a cuestiones meramente puntuales, sería necesario aplicar un esquema de evaluación de los resultados más detallado para un posible re-tratamiento o plan emergente. En primer lugar, se elaborarían mapas interpolados de distribución de contaminantes (mapas de iso-concentración), empleando para ello la totalidad de resultados y agrupados por profundidad de muestreo, para así identificar patrones en superficie y a profundidad que permitan delimitar áreas y volúmenes por encima de los niveles de remediación. Posteriormente, se realizará (d.1) la continuación del tratamiento o (d.2) la extracción del suelo a partir de las áreas y volúmenes previamente delimitados en campo, verificando con equipo portátil (por ejemplo sonda petrosense) las concentraciones del suelo removido, hasta que se alcancen los Niveles de Remediación en las paredes y fondo de la excavación o hasta alcanzar la profundidad máxima de remediación. Las mediciones de campo serán corroboradas por un muestreo de suelos de dichas paredes y fondos en laboratorio acreditado. Una vez concluidas estas acciones y removido todo el volumen de suelo por encima de los niveles de remediación, se procederá a realizar un MCFR subsecuente y los análisis de suelos realizados por un laboratorio acreditado, sobre las zonas previamente acotadas para garantizar que el área ha sido remediada satisfactoriamente.