

MINISTERIO DEL AMBIENTE

Vice Ministerio de Gestión Ambiental
Dirección General de Calidad Ambiental

GUÍA PARA MUESTREO DE SUELOS

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

2014

ÍNDICE

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

LISTA DE ILUSTRACIONES

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

LISTA DE TABLAS

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

LISTA DE ANEXOS

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

LISTA DE ACRÓNIMOS

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

I. Glosario

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

II. Introducción

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

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

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

1. PLAN DE MUESTREO

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

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

1.1. Consideraciones Generales

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

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

1.2. Estructura del Plan de Muestreo

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

1. Datos generales
 - 1.1. Objetivo del muestreo: Definir de manera precisa las metas que se desean cumplir
 - 1.2. Vías de acceso al sitio: Explicitar el acceso geo-referenciado al sitio de interés
 - 1.3. Resumen de estudios previos: Identificar información relevante de acciones previas realizadas en el sitio de estudio
 - 1.4. Localización geográfica del sitio (UTM WGS 84): Para su respectivo mapeo
 - 1.5. Delimitación de las áreas de interés de muestreo: En base a la información disponible sobre las actividades anteladas o los procesos en curso.
2. Planeación y procedimiento del muestreo
 - 2.1. Tipo de muestreo
 - 2.2. Localización, distribución y número de puntos de muestreo
 - 2.3. Profundidad de muestreo
 - 2.4. Tipos de muestras (muestras simples o compuestas, de profundidad o superficiales)
 - 2.5. Estimación del Número total de muestras
 - 2.6. Parámetros de campo
 - 2.7. Equipo de muestreo de suelo
 - 2.8. Medidas para asegurar la calidad del muestreo
 - 2.9. Preservación de las muestras
 - 2.10. Tipo de recipientes y volumen de las muestras
 - 2.11. Plan de salud y seguridad del operario
 - 2.12. Plan de cadena de custodia
3. Anexos
 - 3.1. Planos de ubicación ¹
 - 3.2. Plano vial de carreteras, caminos o calles para llegar al sitio y edificaciones².
 - 3.3. Imagen aérea o satelital del sitio de alta resolución (de 15 cm a 60 cm) orto-rectificadas.
 - 3.4. Plano de la zona de estudio e identificación de los puntos de muestreo geo-referenciado en coordenadas UTM.
 - 3.5. Copia de la acreditación y de la aprobación del laboratorio vigente, con el listado de signatarios autorizados.

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

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

¹ Anexo N° 5: Orientaciones para elaboración de planos

² De acuerdo al Clasificador de Rutas del Sistema Nacional de Carreteras. SINAC

1.3. Tipos de muestreo

1.3.1. Muestreo de Identificación (MI)

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

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

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

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

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

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

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

Con la documentación y los resultados del muestreo de identificación, y establecida la necesidad de proceder con una fase posterior, se elaborará el Estudio de Caracterización, el cual retroalimenta el modelo conceptual³ y los objetivos del muestreo de detalle.

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

Patrón de muestreo	En identificación y caracterización	En remediación
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
Con distribución homogénea		
Diagonal cruzadas rotantes	No recomendado	Recomendado sólo en aquellos sitios donde la contaminación es uniforme y se va a dar seguimiento a una atenuación natural

Fuente: Adaptado de SEMARNAT (2010).

1.3.2. Muestreo de Detalle (MD)

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

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

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

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

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

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

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

1.3.3. Muestreo de Nivel de Fondo (MF)

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

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

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

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

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

1.3.4. Muestreo de Comprobación de la Remediación (MC)

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

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

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

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

a. Para áreas de contaminación de forma regular menores a 1 000 m²

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

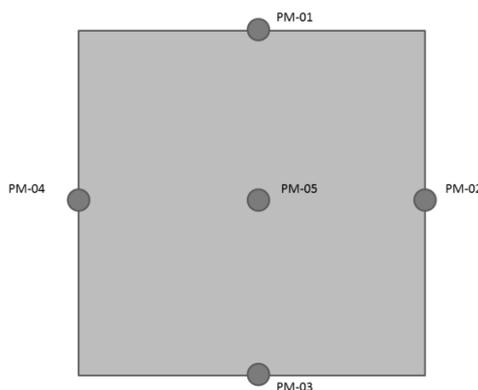


Ilustración 1: Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación regular: forma de cuadrado

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

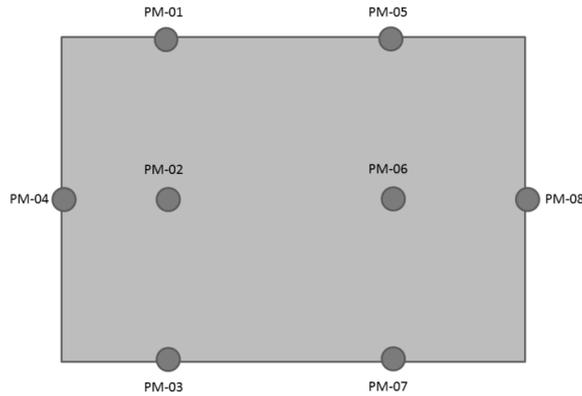


Ilustración 2: Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación Regular: forma de rectángulo

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

b. Para áreas de contaminación de forma irregular menores a 1 000 m² y hasta 5 000 m²

- El Número de muestras y distribución, será de una muestra por cada 15 – 20 metros lineales en las paredes del perímetro del área excavada y 2 en el fondo según la superficie (áreas menores a 1 000 m²) y 3 o 4 para áreas hasta 5 000 m², según sea el caso.

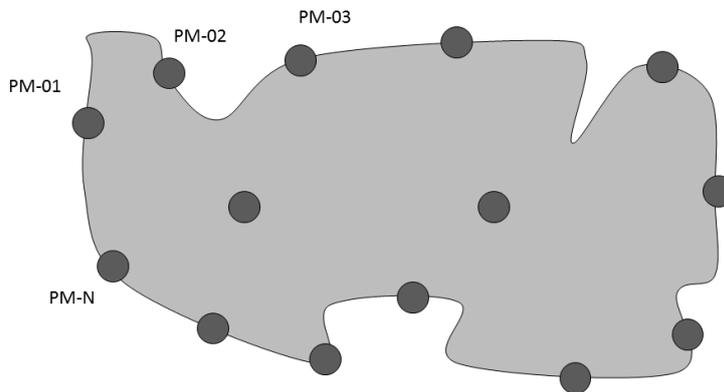


Ilustración 3: Localización de Puntos de Muestreo en el Área de Excavación Irregular

c. Para áreas de contaminación de forma regular de 1 000m² hasta 9 999 m²

- El número de muestras y distribución será:
 - Una muestra (1) por cada 75 a 100 m lineales en cada pared corta o larga (distancia/75 - 100 = NPM).
 - Dos muestra (2) en el fondo por cada 1 000 m².

d. Para áreas de contaminación de forma regular de 10 000 m² a 150 000m²

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

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

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

Donde

NPM = Número de puntos de muestreo;

A = Superficie en hectáreas.

Por ejemplo el total de puntos de muestreo para un área de 6,000 m² y 750 metros lineales de perímetro es de 12 muestras {2 x (6000 m² /1000 m²)} en el fondo, más 8 muestras en las paredes (750 m/100 m). En total son 20 puntos de muestreo más 2 duplicados.

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

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

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

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

2. TÉCNICAS DE MUESTREO

2.1. Consideraciones generales

El muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio, en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio⁴, constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos.

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

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

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

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

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

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

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

Durante el muestreo las condiciones organolépticas comprenden:

- El color determinado con la Tabla Munsell de colores.
- El olor teniendo cuidado de posibles intoxicaciones por inhalación de agentes contaminantes (por ejemplo olor petroquímico para gasolinas y productos petroquímicos, sulfuroso por presencia de H₂S, ácido proveniente de relaves mineros, aromático provenientes de hidrocarburos aromáticos como alquitrán, BTEX, dulce para solventes, almendrado para cianuros, etc.).

2.2. Para muestras superficiales

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

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

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

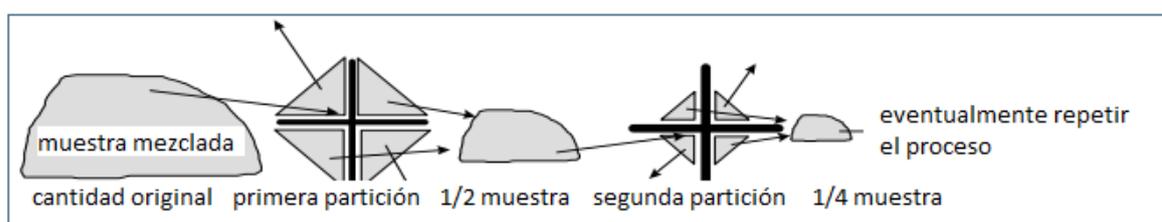


Ilustración 4: Partición de muestras

(Fuente: LfUMerkblatt 3.8/4; 2010, Alemania, adaptado).

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

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

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

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

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

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

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

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

2.3. Para muestras en profundidad

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

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

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

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

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

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

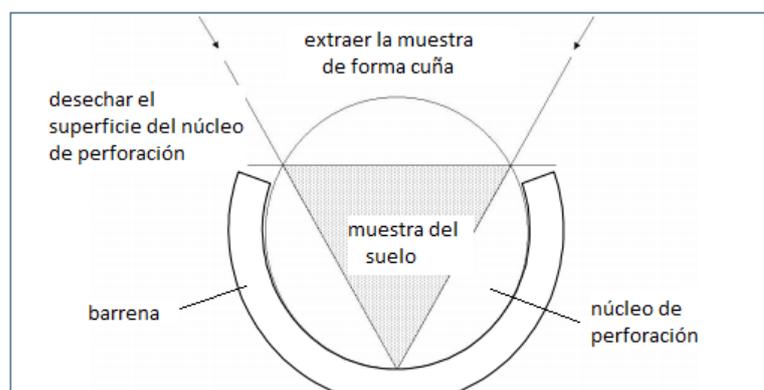


Ilustración 5: Croquis de la toma de muestra de un núcleo de perforación
(Fuente: LfU-Merkblatt 3.8/4: 2010, Alemania, adaptado)

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

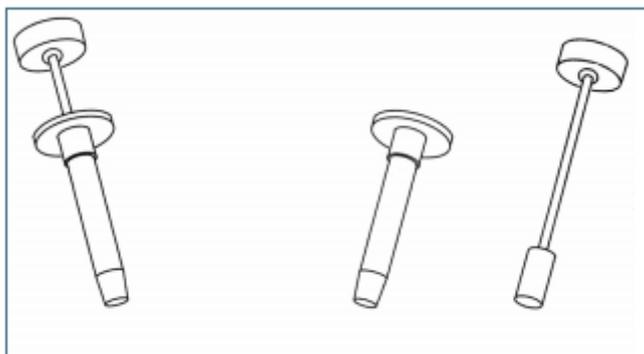


Ilustración 6: Ejemplos de dispositivos para la toma de muestras individuales
(Fuente: LfU-Merkblatt 3.8/4: 2010, Alemania, adaptado)

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

2.4. Para muestras en la fase gaseosa del suelo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

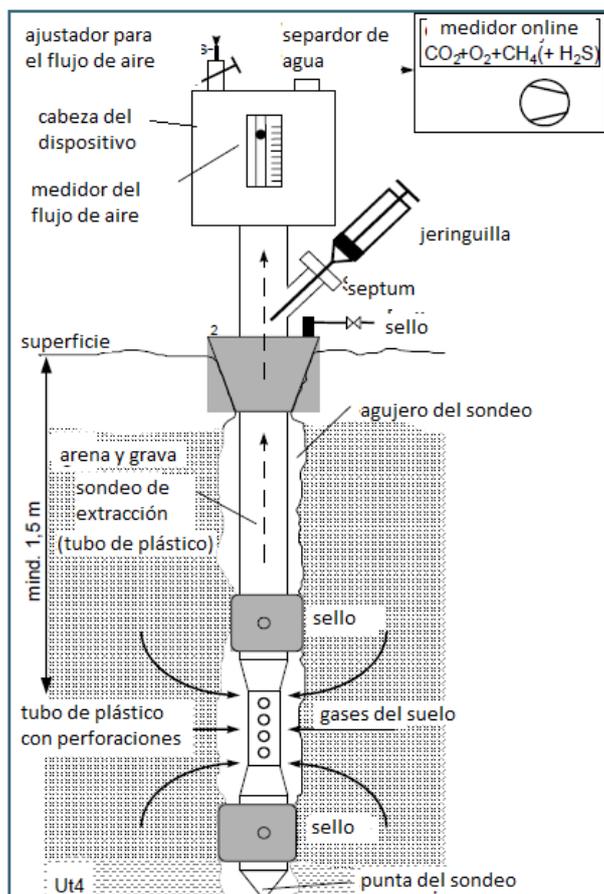


Ilustración 7: Ejemplo de la toma de una muestra gaseosa del subsuelo
(Fuente: LfU-Merkblatt 3.8/4: 2010, Alemania, adaptado)

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

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

3. MANEJO DE LAS MUESTRAS

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

3.1. Materiales para guardar y transportar muestras

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

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

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

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

3.2. Etiquetado

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

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

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

3.3. Ficha de muestreo

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

3.4. Cadena de Custodia

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

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

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

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

3.5. Condiciones de seguridad de las muestras

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

4. MEDIDAS DE SEGURIDAD OCUPACIONAL DURANTE EL MUESTREO

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

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

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

5. DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

5.1. Consideraciones generales

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

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

5.2. Número mínimo de puntos de muestreo

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

5.2.1. Para el Muestreo de Identificación

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

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

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

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

$$N = 0.1X + 40$$

Dónde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo

X =Superficie en hectáreas

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

5.2.2. Para el Muestreo de Detalle

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

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

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

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

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

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

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

MI = Muestreo de Identificación

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

$$N = 1.75X + 2$$

Dónde:

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

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

5.2.3. Para el Muestreo de Nivel de Fondo

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

5.2.4. Para el Muestreo de Comprobación

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

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

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

6. BIBLIOGRAFÍA

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

ANEXOS

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

RAMO	TIPO	PROCESOS ESPECÍFICOS	PRINCIPALES CONTAMINANTES
Cuero	Curtiembre	Procesos de tratamiento de cuero ovino, bovinos y equinos, particularmente curtido al cromo, nevado de ovinos (plomo), desengrase (Percloroetileno), pre tratamiento con biocidas y funguicidas (Pentaclorofenol, entre otros).	COV, Fenoles, Formaldehído, MP, Hidrocarburos
	Peletería fina	Curtido de pieles finas con curtientes inorgánicos (cromo y arsénico).	COV, Fenoles, Formaldehído, 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 y grasas.
	Usina de	Sistema de transformadores y condensadores eléctricos.	PCB, D&F

Guía para Muestreo de Suelos

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

Guía para Muestreo de Suelos

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

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

Referencias de contaminantes:

Asbestos: Crisotilo, crocidolita, otros.

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

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

Fenólicos: Fenol y Compuestos Fenólicos

Ftalatos: Grupo de sustancias Ftalatos

HC: Hidrocarburos Clorados

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

PAH: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (ej: Benzopireno)

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

PCB: Bifenilos policlorados

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

Hidrocarburos: En sus diferentes fracciones

Varios: Incluye alguno de los anteriores

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

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

Muestreo dirigido o a juicio de expertos

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

Muestreo estadístico

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

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

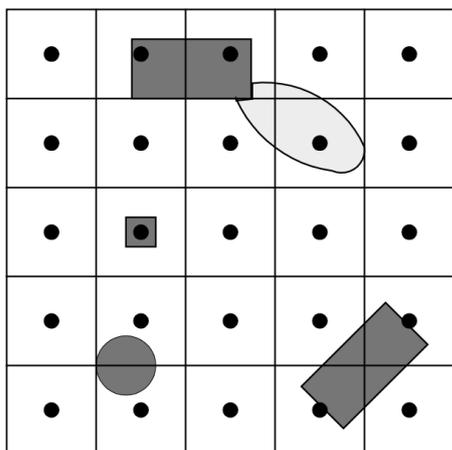


Fig.1. Esquema de distribución sistemática de puntos de muestreo utilizando una malla cuadrada. Las áreas demarcadas son aquellas consideradas sospechosas de ser contaminadas.

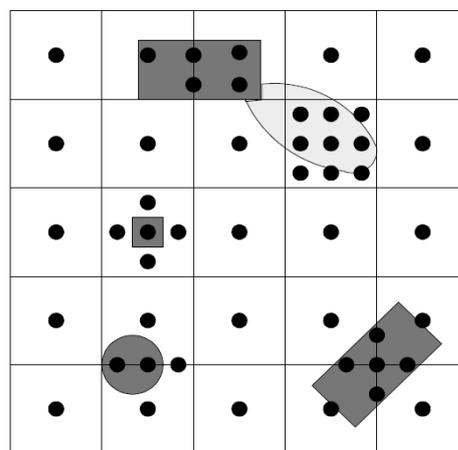


Fig.2. Esquema de distribución sistemática de puntos de muestreo y densificación de puntos previamente identificados como áreas sospechosas de contaminación (áreas sombreadas).

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

Patrones de muestreo con distribución uniforme:

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

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

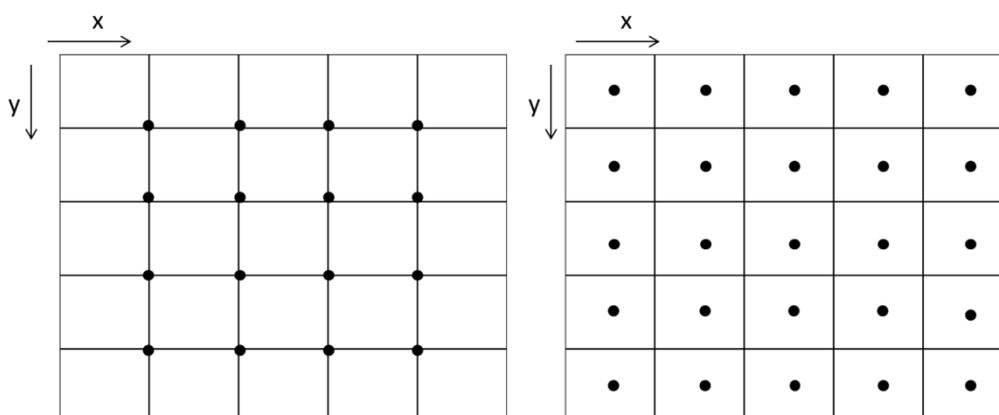
- Aleatorios
- Aleatorios en una rejilla regular
- Aleatorios desalineados en una rejilla regular

Patrones de muestreo con distribución heterogénea:

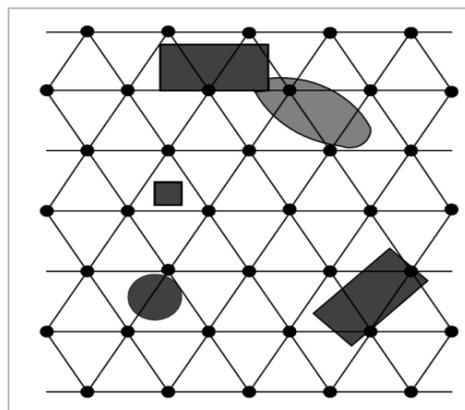
- Diagonal simple
- Diagonales cruzadas rotantes
- Irregular en forma de N, S, E o W
- Zigzag
- Zigzag transverso

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

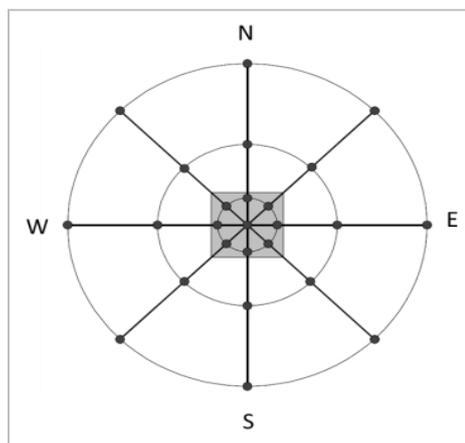
Rejillas regulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas y perpendiculares equidistantes, permitiendo que todas las celdas tengan las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera las celdas son más pequeñas. Se marca un punto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



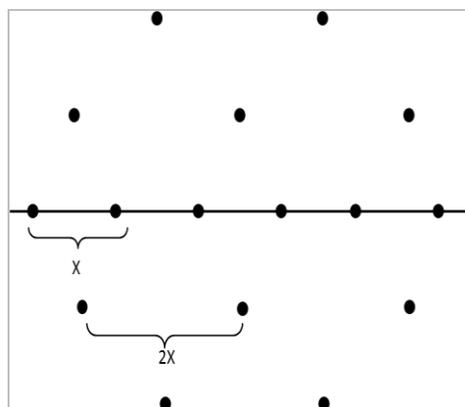
Rejillas triangulares. En el plano se trazan rejillas con líneas paralelas equidistantes tratando de conformar triángulos equiláteros, todos con las mismas dimensiones. El tamaño de las celdas depende del detalle requerido, entre más detalle se requiera la rejilla es más cerrada. Cuando en este patrón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



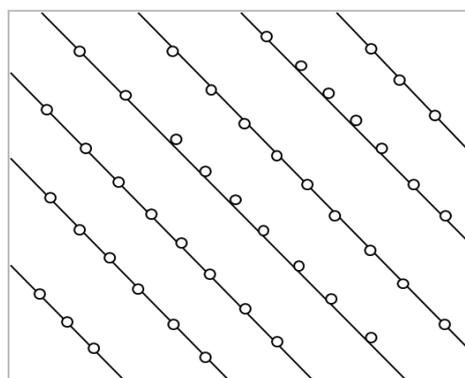
Rejilla circular. Es de utilidad para delimitar la zona contaminada en instalaciones donde existen tanques de almacenamiento o se conoce la fuente que corresponde a un solo punto. Para determinar la influencia se trazan círculos concéntricos, cuya separación es función del detalle que se requiera. Se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



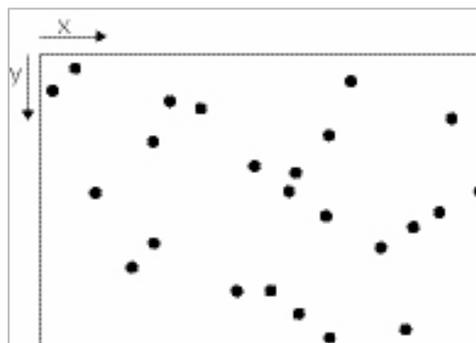
Sobre una línea. En el caso de que la contaminación siga una línea recta, como en aquellos referidos a fugas de ductos, los puntos de muestreo pueden ser marcados para cubrir la zona impactada y las zonas aledañas. Para ello se marca una línea recta sobre la tubería y puntos separados una distancia "x"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



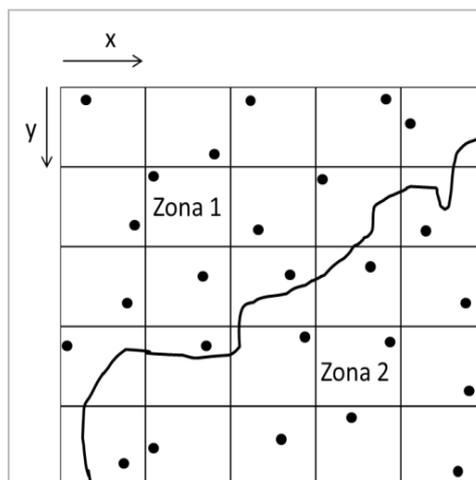
Diagonales múltiples. En el plano se traza una diagonal central y líneas paralelas, sobre las cuales se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Es deseable que la separación de las líneas sea similar a la distancia entre los puntos en una misma línea; entre mayor detalle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



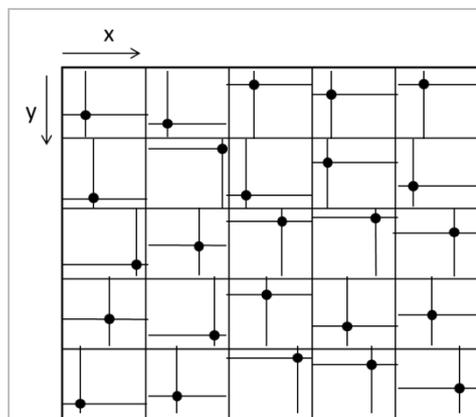
Aleatorio. Este es uno de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Los puntos de muestreo se eligen al azar, con ayuda de programas de cómputo o tablas estadísticas, no importa la distribución de instalaciones, ni los antecedentes del sitio. Este patrón es muy irregular, no sigue ninguna lógica.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



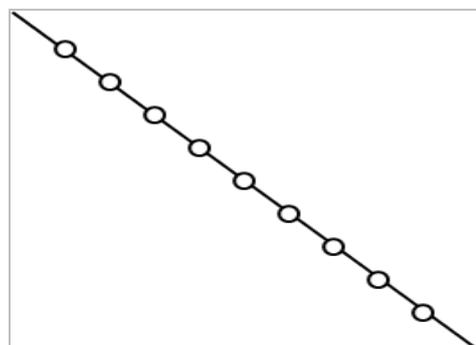
Aleatorio sobre rejilla regular. En inglés se conoce como "estratified". Este es otro de los patrones empleados en los métodos estadísticos. Para marcar los puntos de muestreo se crea una rejilla regular en el plano, se elige un número igual de puntos distribuidos aleatoriamente en cada celda, con ayuda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



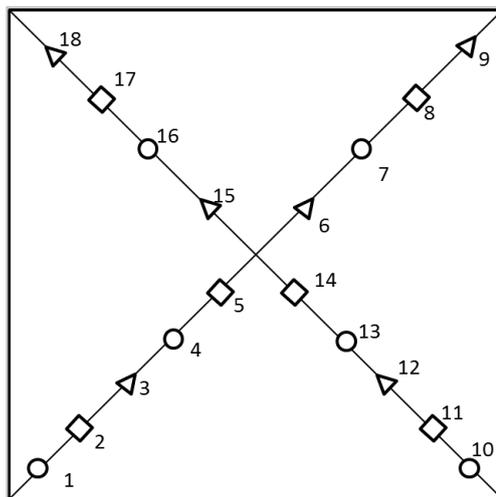
Aleatorio desalineado sobre rejilla regular. Este patrón es también empleado en los métodos estadísticos. Este patrón es similar al anterior, la diferencia radica en que en algunas celdas la coordenada "x" se mueve al azar, y en el resto de las celdas se mueve la coordenada "y", o viceversa. El patrón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



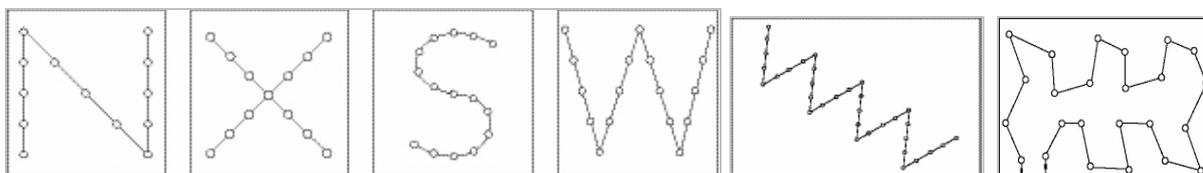
Diagonal simple. Sobre el plano se traza una línea diagonal, sobre la cual se ubican los puntos de muestreo, manteniendo la misma distancia entre ellos. Este patrón no permite resultados representativos.



Diagonales cruzadas rotantes. Este patrón de muestreo es de utilidad en sitios que se deben estar monitoreando en forma permanente para obtener información de los cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo aquellos donde se está dando seguimiento a una atenuación natural. Este arreglo se recomienda para superficies en forma cuadrada, sobre el plano se marcan dos líneas diagonales perpendiculares a partir de los vértices. Sobre cada línea se marcan los puntos de muestreo como se muestra en la siguiente figura, en los muestreos 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

Anexo N° 3: Ficha de muestreo de suelo

Datos generales:

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

Datos del punto de muestreo:

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

Datos de las muestras:

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

Textura:								
Compactación/Consistencia:								
Humedad:								
Componentes antropogénicos:								
Estimación de la fracción > 2 mm (%):								
Cantidad de la muestra: (Volumen o peso)								
Medidas de conservación:								
Tipo de muestra: (simple/compuesta)								
Para muestras superficiales compuestas:								
Área de muestreo (m ²):								
Número de sub-muestras:								

Comentarios:

Croquis:

Anexo N° 4: Orientaciones para la elaboración de planos

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

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