

NMX-AA-132-SCFI-2006

**MUESTREO DE SUELOS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LA
CUANTIFICACIÓN DE METALES Y METALOIDES, Y MANEJO
DE LA MUESTRA**

**SOIL SAMPLING FOR METAL AND SEMIMETAL
IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION, AND SAMPLE
HANDLING**

PREFACIO

En la elaboración de la presente norma mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

- ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUÍMICA, A.C.
- CÁMARA MINERA DE MÉXICO, A.C.
- CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y DEL ACERO, A.C.
- COLEGIO DE BIÓLOGOS DE MÉXICO, A.C.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
Subdirección General Técnica.
Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas.
- COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA
Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.
Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.
- PROCURADURÍA FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE
Subprocuraduría de Auditoría Ambiental.
Subprocuraduría de Inspección Industrial.
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA
Coordinación General de Minería.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
Dirección General de Energía y Actividades Extractivas.
- SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Instituto de Geografía.
Instituto de Ingeniería.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

Número del capítulo		Página
0	Introducción	
1	Objetivo y campo de aplicación	
2	Resumen	
3	Definiciones	
4	Plan de muestreo	
5	Técnicas de muestreo	
6	Manejo y control de muestras	
7	Preparación de las muestras en el laboratorio.	
8	Tipos de muestreo	
9	Vigencia	
10	Bibliografía	
11	Concordancia con normas internacionales	
	Apéndice informativo A	
	Apéndice informativo B	
	Apéndice informativo C	



SECRETARIA DE
ECONOMIA

MUESTREO DE SUELOS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LA CUANTIFICACIÓN DE METALES Y METALOIDES, Y MANEJO DE LA MUESTRA

SOIL SAMPLING FOR METAL AND SEMIMETAL IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION, AND SAMPLE HANDLING

0 INTRODUCCIÓN

Esta Norma Mexicana establece especificaciones generales para el muestreo de suelos cuyo contenido de metales y metaloides requiere ser identificado y cuantificado en el sitio en estudio, para en caso de contaminación, ser remediados. Se reconoce que tanto los programas de muestreo como la remediación de un suelo responden a las características específicas del sitio, por lo que no hay un protocolo o conjunto de procedimientos que puedan cumplir con todas las condiciones. Con esta Norma, se prevé establecer una guía general para la conducción de los muestreos de los suelos. La aplicación de lo establecido en ella, supone que ha habido un proceso sistemático de revisión de documentos, mapas e información del sitio, para determinar si una propiedad es o podría estar contaminada, y para establecer la ubicación de la posible contaminación. Con base en el Plan de Muestreo, según lo establecido en esta Norma, y la aplicación de métodos analíticos, se podrá definir la naturaleza y extensión de la contaminación.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece las especificaciones técnicas para la obtención y el manejo de muestras, que permitan la caracterización de suelos en el sitio de estudio, a través de la identificación y cuantificación de metales y metaloides, entendiendo por éstos el arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio.

2 RESUMEN

La norma mexicana que se presenta establece especificaciones generales para la obtención y manejo de muestras de suelos potencialmente contaminados con arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio.

En los numerales 4, 5 y 6 se establece el contenido del Plan de Muestreo, especificaciones técnicas para la toma de las muestras, y el procedimiento para el manejo y control de las mismas. En el numeral 7 se señalan consideraciones generales para la preparación de las muestras y los procedimientos para la recepción, registro, secado, cribado, homogeneizado y cuarteo de las muestras, así como el almacenamiento de los finos. En él se establecen recomendaciones para evitar la contaminación de las muestras. El numeral 8 establece los diferentes tipos de muestreo, así como los métodos para determinar la localización y distribución de los puntos de muestreo. En él se incluyen especificaciones para obtener las muestras de suelo representativas para establecer la distribución horizontal de los metales y metaloides, y valorar su posible migración vertical a través de un muestreo preliminar denominado exploratorio. Asimismo, se establecen especificaciones para el muestreo de detalle, con el cual se deberá delimitar el área y estimar el espesor del suelo contaminado. El numeral 8 también establece especificaciones para la toma de muestras de fondo y para realizar el muestreo de comprobación posterior a la remediación.

Esta norma mexicana diferencia entre áreas urbanas o no urbanas. Con esta información se podrá determinar la presencia de metales y metaloides en el sitio.

El responsable del muestreo deberá integrar un documento que contenga la información y programación relacionada con cada una de las etapas que conforman el muestreo.

3 DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma mexicana se consideran las definiciones contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Ley de Aguas Nacionales, y sus Reglamentos, así como las siguientes:

3.1 Cadena de custodia

Documento donde los responsables registran la obtención de muestras, su transporte y entrega de éstas al laboratorio para la realización de pruebas o de análisis.

3.2 Envase

Recipientes destinados a contener y conservar la integridad física y química de las muestras de suelo colectadas, tales como, bolsas de polietileno y frascos de plástico o vidrio con tapas de plástico.

3.3 Horizonte

Capas del suelo paralelas a la superficie de la tierra que tienen características distintivas producto de los procesos físicos, químicos y biológicos, de formación del suelo.

3.4 Libreta de campo

Cuaderno en el cual se registran los datos y las actividades relacionadas con la toma de muestras.

3.5 Perfil de suelo

Sección vertical del terreno que permite identificar los horizontes que existen en el suelo a partir de la superficie, los cuales forman una serie de estratos con propiedades diferentes.

3.6 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.

3.7 Punto de muestreo

Lugar específico donde se toma una o varias muestras, ya sean superficiales o verticales.

3.8 Pozo

Perforación o excavación del suelo para conocer el perfil del mismo.

3.9 Suelos

Material no consolidado, de origen natural, compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que incluye aquél alterado por actividades antropogénicas.

3.10 Textura de suelo

Sensación que da al tacto el suelo húmedo como resultado de la mezcla de las partículas minerales (arcillas, limos y arenas) presentes en el suelo. Dependiendo del tipo de partícula predominante, en términos generales, puede describirse el suelo como arcilloso, limoso o arenoso, o una mezcla de estos tipos de textura.

4 PLAN DE MUESTREO

4.1 Consideraciones generales

El propósito del plan de muestreo es:

- a. Organizar y definir los procedimientos aplicables.
- b. Establecer las responsabilidades de los participantes.
- c. Describir la técnica de muestreo.
- d. Programar las actividades a realizar durante el muestreo, su duración, así como las herramientas y medidas de seguridad.
- e. Definir las medidas de aseguramiento de calidad de las etapas de los procesos de muestreo.

4.2 Consideraciones específicas

Un plan de muestreo debe contener al menos la siguiente información:

- a. El lugar y la fecha de elaboración.
- b. El nombre y la firma de los responsables de su elaboración.
- c. El tipo de muestreo que se va a desarrollar, el propósito del mismo y los parámetros a determinar.
- d. La localización del sitio, así como la delimitación y cuantificación de la superficie del área de muestreo. Se debe indicar en forma gráfica y/o escrita la localización geográfica y las vías de acceso al sitio.
- e. El diseño del muestreo.
- f. La justificación para la ubicación, los criterios utilizados y el método para la distribución de puntos de muestreo, selección del tipo de muestreo y registro de parámetros de campo.
- g. La ubicación y el número de puntos de muestreo
- h. Número de muestras
- i. Profundidad de las muestras.

- j. El procedimiento de muestreo, materiales, equipos de muestreo y seguridad, recipientes, etiquetas y registros de campo.
- k. La custodia de las muestras.
- l. El procedimiento de aseguramiento y control de calidad del muestreo.
- m. La descripción de actividades, responsables y tiempos de ejecución.
- n. Anexos que soporten el plan de muestreo.

5 TÉCNICAS DE MUESTREO

5.1 Material y equipo recomendado para la colecta de muestras

5.1.1 Especificaciones generales:

- a. Herramienta para la colecta de muestras de suelo en campo, fácil de limpiar, resistente al desgaste y que no contamine las muestras con impurezas.
- b. Envases con capacidad para contener al menos 500 g de muestra.
- c. Plumas, marcadores y etiquetas.
- d. Cinta métrica o flexómetro
- e. Cámara fotográfica.
- f. Libreta de campo.
- g. Plano, mapa o fotografía aérea de la zona de muestreo, con la ubicación tentativa de los puntos de muestreo.
- h. Instrumento que permita la ubicación de los puntos de muestreo.

5.1.2 Muestreo superficial

El muestreo se debe de realizar con una cuchara o espátula de acero inoxidable o plástico.

5.1.3 Muestreo vertical

El muestreo vertical se realiza a través de pozos que permitan obtener muestras para determinar el perfil del suelo a la profundidad proyectada.

Para el muestreo vertical se pueden utilizar excavaciones, que permitan el acceso de la persona que toma la muestra, o se pueden utilizar perforaciones para el hincado de un muestreador manual o mecánico que obtenga un núcleo que permita muestrear el perfil del suelo. Se debe tener precaución de utilizar perforadoras en buen estado que no provoquen contaminación.

5.2 Consideraciones para la toma de las muestras de suelo.

- 5.2.1 Se debe garantizar que la muestra obtenida sea de un tamaño tal que una vez tamizada contenga por lo menos 250 g de residuo fino para su análisis y que facilite y permita, la preparación de muestras compuestas en el muestreo de detalle .

- 5.2.2 Se debe evitar que el equipo de muestreo provoque contaminación entre las diferentes muestras, para lo cual se deberá limpiar con una brocha o cepillo. En caso de que la limpieza no sea suficiente, será necesario lavar con agua, entre muestra y muestra, el equipo y los instrumentos de muestreo. Cuando se utilicen detergentes, éstos deben estar libres de fosfatos.
- 5.2.3 En el muestreo vertical, deben identificarse los diferentes horizontes que forman el suelo en función de su aspecto físico (color, textura, grado de compactación, entre otros). Para horizontes con espesor menor a 30 cm, debe tomarse una muestra de canal vertical abarcando todo el espesor del mismo. Para horizontes mayores a 30 cm deben tomarse tantas muestras de 30 cm como sean necesarias para cubrir el espesor total. Para profundidades mayores a 2 m el intervalo de muestreo deberá ser definido con su justificación correspondiente.
- 5.2.4 En el muestreo de detalle, cada muestra compuesta se constituye con cinco muestras simples tomadas en tresbolillo (ver figura 1) distribuidas uniformemente, salvo para los casos indicados en la tabla 3. El proceso de homogeneización se puede desarrollar en campo asegurando que las muestras simples tengan masa o volumen similares. El homogeneizado puede lograrse utilizando bolsas de polietileno, haciendo girar la muestra en todas direcciones.
- 5.2.5 En caso de presencia de restos de plantas, se deben retirar antes del muestreo, salvo que se consideren importantes para el caso en estudio.
- 5.2.6 En caso de presencia de piedras mayores de 2 cm de diámetro (aproximadamente), éstas deben ser retiradas.
- 5.2.7 Se deben tomar fotografías del sitio y de los puntos de muestreo, los cuales deben estar claramente referenciados.

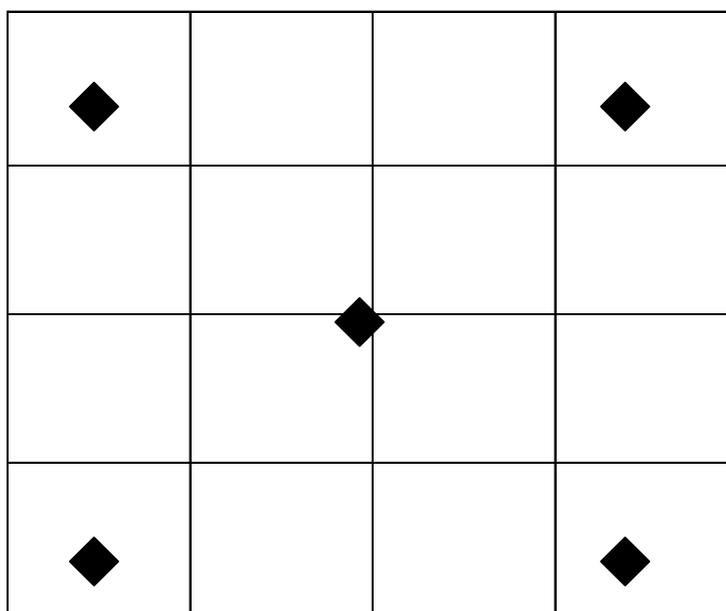


FIGURA 1.- Esquema de distribución en tresbolillo de los incrementos a tomar para la formación de una muestra compuesta.

6 MANEJO Y CONTROL DE MUESTRAS

6.1 Envasado y etiquetado de las muestras.

6.1.1 Al obtener las muestras de suelo, se debe registrar toda la información de muestreo en la libreta de campo.

6.1.2 Las muestras deben ser envasadas y etiquetadas conforme a las siguientes especificaciones:

- a. El envase debe ser cerrado de manera hermética garantizando su inviolabilidad hasta su llegada al laboratorio.
 - b. El etiquetado de los recipientes debe realizarse inmediatamente después de recolectar cada una de las muestras.
 - c. La etiqueta debe colocarse en un lugar visible y no sobrepasar las dimensiones del recipiente.
 - d. La etiqueta que acompañe a la muestra, debe incluir por lo menos su clave de identificación, lugar del muestreo o proyecto, y la fecha y hora del muestreo, así como las iniciales de la persona que toma la muestra.
- 6.1.3 Una vez envasadas y etiquetadas, las muestras deben ser llevadas al laboratorio en donde serán preparadas conforme a la naturaleza de los metales y metaloides a identificar y cuantificar, y sometidas a los procesos de análisis correspondientes.
- 6.2 Traslado de las muestras y cadena de custodia
- a. Durante el traslado es necesario evitar el efecto de factores externos que puedan cambiar la naturaleza de las muestras (por ejemplo, la temperatura y los rayos ultravioleta).
 - b. La cadena de custodia en original y dos copias debe acompañar a las muestras desde su toma, durante su traslado y hasta el ingreso al laboratorio. El laboratorio debe incluir una copia de esta cadena con los resultados del análisis.
- 6.3 La cadena de custodia debe contener, al menos:
- a. El nombre de la empresa y responsable del muestreo.
 - b. Los datos de identificación del sitio.
 - c. La fecha del muestreo.
 - d. Las claves de las muestras.
 - e. Nombre del laboratorio que recibe las muestras.
 - f. Los análisis o la determinación requerida.
 - g. El número de envases.
 - h. Observaciones.
 - i. 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 y firma de los participantes.
- 6.4 Libreta de campo
- 6.4.1 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:

- a. El nombre de la persona que realizó el muestreo.
- b. Los datos de ubicación del sitio.
- c. La clave de identificación de cada una de las muestras tomadas y el punto de muestreo correspondiente.
- d. La ubicación de los puntos de muestreo.
- e. La fecha y hora de recolección de cada muestra.
- f. 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
- 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.

6.5 Condiciones de seguridad

- 6.5.1 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.

7 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO

7.1 Consideraciones Generales

La preparación de las muestras es tan importante como el muestreo y análisis de las mismas. Se describe la metodología para la preparación de las muestras de suelo antes de su ingreso al proceso analítico, o de su almacenamiento.

- 7.1.1 La preparación de las muestras de suelo incluye la recepción, registro, secado, cribado, homogeneizado y cuarteo, y el almacenamiento para su conservación.

- 7.1.2 Deberá de evitarse en todo momento la contaminación de las muestras.
- 7.1.3 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.
- 7.1.4 Las muestras deben ser envasadas para su uso o almacenamiento.
- 7.2 Material y equipo recomendado
- a. Mazo o rodillo de madera.
 - b. Charolas de acero inoxidable o aluminio.
 - c. Tamices de acero inoxidable de malla de 2 mm (10) y de 9,51 mm.
 - d. Bitácora de laboratorio y libro de registro.
 - e. Horno de secado con circulación constante de aire caliente y extractor.
 - f. Envases.
 - g. Etiquetas.
 - h. Brochas y espátulas.
- 7.3 Procedimiento de preparación de muestras
- 7.3.1 Recepción y registro
- a. 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.
 - b. 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.
- 7.3.2 Secado
- a. El secado se realiza con el propósito de facilitar el manejo de las muestras, mejorar la homogeneización y disminuir los cambios químicos indeseables.
 - b. Las muestras de suelo se secarán de preferencia al ambiente. El secado debe realizarse extendiendo las muestras de suelo en las charolas.
 - c. 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.

7.3.3 Cribado

- a. 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 éstas últimas deban ser preservadas.
- b. 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.
- c. 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 10) 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.
- d. Se descarta el material grueso retenido en cada una de las mallas.
- e. La cantidad del suelo tamizado, finos, debe ser suficiente para realizar las determinaciones analíticas requeridas.

7.3.4 Homogeneizado 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 suelo una vez tamizado en el laboratorio, para lo cual se deben utilizar los métodos de cuarteo adecuados al método analítico que se aplique.

7.3.5 Almacenamiento de los finos de las muestras

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

- d. El tiempo entre la toma de la muestra y el análisis no debe exceder de un mes.

8 TIPOS DE MUESTREO

La presente Norma Mexicana establece los siguientes tipos de muestreo:

- Muestreo Exploratorio.
- Muestreo de Detalle.
- Muestreo de Fondo.
- Muestreo de Comprobación posterior a la Remediación.

8.1 Métodos para la distribución de los puntos de muestreo.

Una vez determinado el número de puntos de muestreo de acuerdo al tipo de muestreo seleccionado, se debe escoger un método para determinar la localización y distribución de los mismos, de entre los que se señalan a continuación:

8.1.1 Muestreo a Juicio de Experto

8.1.2 Muestreo Estratificado o Zonificado

8.1.3 Muestreo Sistemático

8.1.4 Muestreo Simple Aleatorio

8.1.5 Métodos indirectos debidamente validados

En el apéndice informativo A se encuentra una descripción somera de cada uno de los métodos de muestreo, señalando sus ventajas y desventajas, así como las condiciones para su uso apropiado.

8.2 Especificaciones para el Muestreo Exploratorio

8.2.1 Muestreo Exploratorio en áreas no urbanas

8.2.1.1 Objetivo

Obtener las muestras de suelo representativas para establecer la presencia de contaminación y en su caso la distribución horizontal de la misma, y valorar su posible migración vertical.

8.2.1.2 Procedimiento

El muestreo exploratorio se realiza en dos fases. En la primera, se toman muestras de suelo superficial y en la segunda, se toman muestras en perfiles de suelo (muestreo vertical).

a. Muestreo superficial (0 cm a 5 cm de profundidad).

- Tipo de muestras: Simple, en cada punto de muestreo.
- Número mínimo de puntos de muestreo: el indicado en la tabla 1 en función de la superficie del sitio que se asume puede estar contaminado.
- Distribución de los puntos de muestreo: Se puede utilizar el muestreo a juicio de experto, o el muestreo sistemático de acuerdo con las especificaciones establecidas en los apéndices informativos A y C.

b. Muestreo vertical

Para valorar la migración vertical de contaminantes, se pueden utilizar excavaciones, que permitan el acceso de la persona que toma la muestra, o se pueden utilizar perforaciones para el hincado de un muestreador manual o mecánico que obtenga un núcleo que permita ver y muestrear el perfil del suelo.

Los requerimientos para el muestreo vertical son:

- Tipo de muestra: simple, para cada intervalo
- Número mínimo de pozos: el indicado en la tabla 1, en función del área supuestamente contaminada.

- Profundidad de los pozos: está determinada por la profundidad a la que se obtengan valores iguales o menores a las concentraciones de referencia, establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables; el fondo del pozo está limitado por la existencia de roca firme o material consolidado, o la aparición de la zona de saturación de agua.
- Intervalos de muestreo: conforme al numeral 5.2.3.
- Distribución de los pozos: seguirá la misma metodología utilizada para la distribución de los puntos de muestreo, conforme a lo indicado en el inciso 8.2.1.2 a.

8.2.2 Muestreo Exploratorio en áreas urbanas.

8.2.2.1 Objetivo

Obtener las muestras de suelo representativas para establecer la presencia de contaminación y en su caso la distribución horizontal de la misma, y valorar su posible migración vertical.

8.2.2.2 Procedimiento

Las muestras deberán tomarse en suelos expuestos, aplicando los siguientes criterios específicos:

a) Muestreo superficial (0 cm - 5 cm)

- Tipo de muestras de acuerdo con lo definido en la tabla 3.
- Áreas de muestreo: con base en la información documental y de campo respecto a las posibles zonas afectadas, y en un mapa del área urbana, definir las áreas de muestreo.
- Número mínimo de puntos de muestreo: para cada área definida en el punto anterior, el número mínimo de puntos de muestreo será el indicado en la tabla 1 en función de la superficie a muestrear en cada área. Cada muestra se integra como se indica en la tabla 3.
- Distribución de los puntos de muestreo: en cada área definida se distribuirán los puntos de muestreo de manera reticular, radial o cualquier otra que sea específica para el sitio y que no conduzca a errores por sesgo, procurando que se incluyan parques y jardines públicos, jardines particulares, cajetes, jardineras y banquetas no cubiertas por concreto o materiales similares y calles no pavimentadas.

b) Muestreo vertical.

En los casos en que se considere necesario se realizarán muestreos verticales conforme a lo indicado en el numeral 8.2.1.2 b). Se recomienda hacer los pozos en sitios públicos.

TABLA 1. MUESTREO EXPLORATORIO

Superficie del sitio que se supone contaminado (Hectáreas)		Número mínimo de puntos de muestreo	Numero mínimo de pozos verticales
De	A		
0,1	0,19	6	1
0,2	0,29	7	1
0,3	0,39	8	2
0,4	0,49	9	2
0,5	0,69	10	2
0,7	0,99	11	2
1	1,99	12	2
2	2,99	14	3
3	3,99	16	3
4	4,99	18	4
5	5,99	19	4
6	6,99	20	4
7	7,99	21	4
8	8,99	22	4
9	10,99	23	5
11	11,99	24	5
12	13,99	25	5
14	15,99	26	5
16	17,99	27	5
18	19,99	28	6
20	21,99	29	6
22	24,99	30	6
25	27,99	31	6
28	29,99	32	6

Para extensiones menores a 0,1 ha y mayores a 30 ha aplicar la fórmula siguiente

$$Y = X^{0,3} \times 11,71 \quad \text{Ec. (1)}$$

donde:

- Y es el número mínimo de puntos de muestreo, y
- X es la superficie del suelo de la zona de estudio expresada en hectáreas.

8.3 Especificaciones para el muestreo de detalle

8.3.1 Muestreo de detalle en áreas no urbanas

8.3.1.1 Objetivo

Determinar el volumen de suelo contaminado de acuerdo a las concentraciones de referencia establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables.

8.3.1.2 Procedimiento

a) Muestreo superficial en extensiones mayores a 0,1 ha y menores a 1 ha ($0,1 < X < 1$ ha).

- Tipo de muestra: Simple, en cada punto de muestreo
- Número mínimo de puntos de muestreo: conforme se indica en la tabla 2.
- Distribución de los puntos de muestreo: se puede usar el muestreo estratificado o el sistemático (ver apéndices informativos A, B y C).
- Profundidad de la muestra: 0 cm a 5 cm.

b) Muestreo superficial en extensiones mayores o iguales a 1 hectárea ($X \geq 1$ ha).

Definir el área a muestrear sumando las áreas que, conforme al muestreo exploratorio, registran valores por encima de las concentraciones de referencia establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables. Una vez definida la superficie contaminada, se divide el área por medio de figuras geométricas apropiadas de aproximadamente una hectárea. Para cada hectárea así definida, se deben tomar muestras conforme a los siguientes lineamientos:

- Tipo de muestras: compuestas como se indica en el inciso 5.2.4.
- Distribución y número de puntos de muestreo: cada hectárea se dividirá en partes iguales. A cada parte corresponde una muestra compuesta. Las muestras se tomarán en la zona central de cada parte.

- Número de partes por hectárea: es función de la superficie total contaminada, como se indica en la tabla 2. Para superficies mayores a 24 hectáreas, el número de partes por hectárea es constante y es de 2.
- Profundidad de muestreo:
Para uso de suelo residencial e industrial, la profundidad debe ser de 0 cm a 5 cm a partir de la superficie.
Para uso de suelo agrícola y forestal la profundidad debe ser de 0 cm a 30 cm a partir de la superficie.

c) Muestreo vertical

Cuando los resultados de los análisis químicos de las muestras tomadas en los perfiles de suelo del muestreo vertical durante el muestreo exploratorio, numeral 8.2.1.2.b, indiquen que puede existir migración vertical de los contaminantes, se deben tomar muestras por medio de pozos en cortes verticales hasta la profundidad a la que el muestreo exploratorio haya indicado valores iguales o menores a los niveles determinados, o bien hasta que se alcance roca firme o el nivel de saturación de agua. El tamaño de los pozos debe permitir el acceso al mismo de la persona que toma la muestra, y en caso necesario, se pueden utilizar perforaciones para el hincado de un muestreador manual o mecánico que obtenga un núcleo que permita ver y muestrear el perfil del suelo.

- Tipo de muestras: simple, para cada intervalo.
- Número de pozos: el número de pozos a realizar y muestrear se indica en la tabla 2, y está determinado en función del área total contaminada. El número de pozos puede modificarse a través de un estudio estadístico de los resultados, pero nunca puede ser menor al indicado en la tabla 2.
- Profundidad de los pozos: está determinada por la profundidad a la que se obtengan valores iguales o menores a las concentraciones de referencia, establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables; el fondo del pozo está limitado por la existencia de roca firme o material consolidado, o la aparición de la zona de saturación de agua.
- Intervalos de muestreo: conforme a lo indicado en el numeral 5.2.3.
- Distribución de los pozos: se determinará por muestreo a juicio de experto de preferencia en las áreas identificadas como contaminadas.

8.3.2 Muestreo de detalle en áreas urbanas

8.3.2.1 Objetivo:

Determinar el volumen de suelo contaminado de acuerdo a las concentraciones de remediación determinadas en las normas oficiales mexicanas aplicables.

8.3.2.2 Procedimiento

Las muestras deberán tomarse en suelos expuestos aplicando los siguientes criterios específicos:

a) Muestreo superficial (0 cm - 5 cm)

- Tipo de muestras: de acuerdo a lo definido en la tabla 3.
- Área de muestreo: definir el área a muestrear sumando las áreas para las que en el muestreo exploratorio se obtuvieron valores por encima de las concentraciones de referencia establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables.
- Número mínimo de puntos de muestreo: lo indicado en la tabla 2 en función de la superficie total del área a muestrear definida en el párrafo anterior.
- Distribución de los puntos de muestreo: distribuir los puntos de muestreo en las áreas contaminadas (áreas para las que en el muestreo exploratorio se obtuvieron valores por encima de las concentraciones de referencia establecidas en las normas oficiales mexicanas aplicables). Debe procurarse que se incluyan parques y jardines públicos, jardines particulares, jardineras, cajetes y banquetas no cubiertas por concreto o materiales similares y calles no pavimentadas.

b) Muestreo vertical.

En los casos en los que sea necesario se realizará conforme lo establecido en el numeral 8.3.1.2 c).

TABLA 2.- Muestreo de detalle

Superficie del sitio contaminado (hectáreas)		Número de partes por hectárea	Numero mínimo de puntos de muestreo superficial */	Número mínimo de pozos verticales
De	A			
0,1	0,19		6	3
0,2	0,29		7	4
0,3	0,39		8	4
0,4	0,49		9	5
0,5	0,69		10	5
0,7	0,99		11	6
1	1,99	12	12	6
2	2,99	8	17	8
3	3,99	7	21	10
4	4,99	6	24	12
5	5,99	5	27	13
6	6,99	5	29	15
7	7,99	5	32	16
8	8,99	4	34	17
9	9,99	4	36	18
10	10,99	4	38	19
11	11,99	4	40	20
12	12,99	4	42	21
13	13,99	3	43	22
14	14,99	3	45	22
15	15,99	3	46	23
16	16,99	3	48	24
17	17,99	3	49	25
18	18,99	3	51	25
19	19,99	3	52	26
20	20,99	3	54	27
21	21,99	3	55	27
22	22,99	3	56	28
23	23,99	3	58	29
24	24,99	2	59	29
25	25,99	2	60	30
26	26,99	2.	61	31
27	27,99	2	62	31
28	28,99	2.	63	32
29	29,99	2	65	32
30	30,99	2	66	33
31	31,99	2	67	34
32	32,99	2	68	34
33	33,99	2	69	35
34	34,99	2	70	35
35	∞	2	2 veces el número de ha	Número mínimo de muestras /2

NOTA.- */ Para superficies menores a 1 ha, las muestras son simples, y para superficies mayores a 1 ha son muestras compuestas.

8.4 Especificaciones para el Muestreo de Fondo.

8.4.1 Muestreo de Fondo en áreas no urbanas

8.4.1.1 Objetivo

Obtener muestras representativas de los suelos contiguos al área que se presume contaminada, que permitan determinar las concentraciones de metales y metaloides en suelos no modificados por el ser humano. Con ello se definirán los niveles de fondo locales que sirvan de referencia y representación del suelo natural no afectado.

8.4.1.2 Procedimiento

- La selección del área y puntos de muestreo está en función de:
 - a. La geología del sitio, para que los valores reflejen la composición de las rocas madres.
 - b. Los suelos que tengan una matriz mineralógica y valores de pH similares a la de los suelos de la zona de estudio.
 - c. La topografía del suelo, si es irregular se debe evitar muestrear en zonas bajas como canales, arroyos o trincheras.
 - d. La localización del sitio, en caso de ubicarse en algún arroyo, las muestras de fondo deben ser tomadas aguas arriba del mismo.
 - e. La historia del sitio, que indique que los suelos no han sido afectados. En caso de que alrededor del sitio evaluado existan otras posibles fuentes de contaminación antropogénica, los sitios correspondientes a esa contaminación deben ser evitados para el muestreo de fondo.
- Tipo de muestra: simple, para cada punto de muestreo
- Número mínimo de puntos de muestreo: 12 muestras por cada tipo de suelo definidos según su matriz mineralógica.
- Distribución de los puntos de muestreo: se recomienda utilizar el muestreo simple aleatorio (ver apéndice informativo A).
- Profundidad del muestreo: 0 cm a 5 cm a partir de la superficie.

8.4.2 Muestreo de Fondo en áreas urbanas

8.4.2.1 Objetivo

Obtener muestras representativas del sitio en estudio, que permitan determinar las concentraciones de los metales y metaloides en suelos no afectados por la fuente de contaminación. Con ello se definirán los niveles de fondo locales que sirvan de referencia y representación del suelo no afectado.

8.4.2.2 Procedimiento

Los criterios para la toma de la muestra son los siguientes:

- Tipo de muestra: de acuerdo a la distribución indicada en la Tabla 3.
- Número mínimo de puntos de muestreo: 12 muestras por cada tipo de suelo definido según su matriz mineralógica.
- Profundidad del muestreo: 0 a 5 cm. a partir de la superficie.
- Ubicación de los puntos de muestreo: las muestras se deben de ubicar en sitios que, con base en la información documental y de campo específica para el caso en estudio, no estén afectados por la fuente de contaminación del sitio evaluado, cuidando de muestrear los puntos indicados en la tabla 3.

TABLA 3. Muestreo en áreas urbanas

Tipo de punto de muestreo.	Equivalencia de muestras.
Parques y jardines	La muestra equivale a una muestra compuesta que se formará con el número de muestras simples que indican las tablas 1 o 2 (en función de la superficie del terreno).
Jardines de menos de 0,1 ha.	Tomar una muestra compuesta de acuerdo al numeral 5.2.4.
Jardineras, cajetes y banquetas no cubiertas y calles no pavimentadas.	La muestra equivale a una muestra compuesta que se formará de 6 muestras simples tomadas en 100 metros lineales.

8.5 Muestreo de comprobación posterior a la remediación

8.5.1 Objetivo

8.5.1.1 El muestreo de comprobación posterior a la remediación tiene como objetivo demostrar que un suelo, que se determinó contaminado con metales y metaloides y que ha sido sometido a una remediación, ha alcanzado concentraciones menores o iguales a los valores establecidos como concentraciones objetivo.

8.5.2 Procedimiento de muestreo para remediaciones de suelos no excavados

Este procedimiento de muestreo debe tener las mismas características que el "Muestreo de Detalle", por lo que se refiere al número de puntos de muestreo y a su localización, sólo que en este caso las muestras serán simples; si se utilizó el método de distribución de retícula, las cuadrículas de muestreo correspondientes deberán ser desplazadas por lo menos media retícula de la posición de las cuadrículas originales, tanto para las muestras superficiales, como para los pozos en caso de riesgo ambiental.

8.5.3 Procedimiento de muestreo para remediaciones de suelos excavados

El procedimiento para el muestreo de suelo remediado por remoción en el lugar, debe de realizarse previo al proceso de su reubicación. Para esto el número de muestras dependerá del volumen total del suelo remediado, y se calcula de la siguiente manera:

$$N_C = 15 (a/1\ 000)^{1/2}$$

donde:

N_C es el número de muestras, y
 a es el volumen del lote en m^3

El valor de N_C se deberá redondear al valor entero más cercano.

La distribución de los puntos de muestreo y el tipo de muestreo se realizará según se encuentre dispuesto el material.

8.5.4 Procedimiento de muestreo del área excavada producto de la remoción del suelo contaminado.

Se utilizará el tipo de muestreo de detalle descrito en el inciso 8.3.1 en el fondo de la excavación.

9 VIGENCIA

La presente norma mexicana entrará en vigor 60 días naturales después de la publicación de su declaratoria de vigencia en el **Diario Oficial de la Federación**.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Innovative Technology Summary Reports (1999). Smart Sampling™. Subsurface contaminant focus area. Prepared for U.S. Department of Energy. (Reportes Sumarios de Tecnologías Novedosas (1999). Muestreo Inteligente^{MR}. Área de concentración de contaminantes en el subsuelo. Preparado para el Departamento de Energía de los Estados Unidos).
- International Organization for Standardization (2002). ISO 10381-1:2002 (E), Soil Quality-Sampling. (Organización Internacional de Estandarización (2002). ISO 10381-1:2002. Muestreo de Suelos-Muestreo).

- Ontario Ministry of Environment and Energy (1996) Standards. Guidance on Sampling and Analytical Methods for Use at Contaminated Sites in Ontario. Development Branch. December, (Ministerio de Energía y Medio Ambiente. Estándares. Guía de Muestreo y Métodos Analíticos para su Uso en Sitios Contaminados en Ontario. Departamento de Desarrollo).
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection. Use in Developing a Quality Assurance Project Plan. EPA QA/G-5S Quality Staff Office of Environmental Information. Washington, DC 20460 December 2002. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Guía para la Selección de un Diseño de Muestreo para la Captura de Datos Ambientales. Para utilizar en el Desarrollo del Plan de Aseguramiento de Calidad. EPA QA/G-5S. Oficina Asesora de Calidad para la Información Ambiental. Estados Unidos. Washington, DC 20460 Diciembre 2002).
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) (1997) Sampling and Analysis Plan. (Field Sampling Plan and Quality Assurance Project Plan) with Guidance. Prepared by: Quality Assurance Program. Region IX. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1997) Plan para el Muestreo y Análisis. (Plan Proyecto para el Muestreo en Campo y Aseguramiento de Calidad) con Guía. Preparado por: Programa de Aseguramiento de Calidad. Región IX)
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) (1996). Soil Screening Guidance: User's Guide. Appendix C. Pub 9355.4-23. Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington D.C. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1996). Guía para el tamiz o cribado del suelo. Manual del usuario, Apéndice C. Pub. 9355.4-23. Oficina de residuos sólidos y respuesta a emergencias. Washington D.C.).
<http://www.epa.gov/superfund/resources/soil/attachc.pdf>
- U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) (1992). Ground Water Issue. Behavior of Metals in Soils. Joan E. Mclean and Bert E. Bledsoe. (EPA/540/S-92/018) Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington D.C. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1992). Asuntos de Agua. Comportamiento de los Metales en Suelos. Joan E. Mclean and Bert E. Bledsoe. (EPA/540/S-92/018) Oficina de Residuos Sólidos y Respuesta a Emergencias. Washington D.C.).

10 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta norma mexicana no es equivalente a ninguna norma internacional por no existir referencia alguna al momento de su elaboración.

APÉNDICE INFORMATIVO A

Descripción somera de los métodos para la distribución de los puntos de muestreo

Método	Descripción general	Condiciones para su uso apropiado	Ventajas	Desventajas
I. Muestreo a juicio de experto	La selección de la localización de la muestra se basa sólo en juicio profesional sin ninguna aleatoriedad. Útil para determinar la existencia o nivel de contaminación de un sitio	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere tener conocimientos físicos e históricos seguros del sitio, o generar por métodos indirectos este conocimiento Se requiere de profesionistas con capacitación académica sólida y amplia experiencia en el tema 	<ul style="list-style-type: none"> Para muestreos rápidos y de bajo presupuesto Si se cumplen las condiciones indicadas resulta ser muy eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> Depende del conocimiento y experiencia del experto No se pueden determinar estimaciones confiables de variabilidad de los datos La interpretación de datos depende sólo del experto Se utiliza por lo general en áreas menores a 7 hectáreas

Método	Descripción general	Condiciones para su uso apropiado	Ventajas	Desventajas
II. Muestreo estratificado o zonificado (Ver Apéndice informativo B)	<p>En un método en el que se utiliza la información previa de la población de muestras para determinar grupos (denominados <i>estratos</i>) que son muestreados independientemente. Lo más común es la determinación de estratos geográficos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los estratos se deben definir con la ayuda de los datos confiables de otra variable (<i>variable auxiliar</i>) que sea altamente correlacionable con la variable principal • Los resultados tendrán mayor precisión que si no se usan estratos • Los estratos deben de ser lo más homogéneos posibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Se optimizan los recursos para obtener una mayor precisión, reduciendo el número de muestras, o con las mismas muestras aumentando la precisión • Se pueden utilizar diferentes métodos de muestreo en cada estrato 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere conocimiento previo de la población de muestras para definir en forma apropiada y efectiva los estratos y la localización de las muestras • Requiere de una variable auxiliar altamente correlacionable con la de interés • Requiere de estratos que tengan similitud física para la facilidad del muestreo
III. Muestreo sistemático (Ver Apéndice informativo C)	<p>También llamado muestreo regular, se basa en un patrón geométrico específico donde las muestras son tomadas a intervalos regulares a lo largo de ese patrón. Útil para cubrir en forma fácil y uniforme un sitio, de forma que toda la población de muestras está representada en la muestra</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa para estimar con precisión zonas críticas, características estadísticas del sitio, patrones espaciales en dos o tres dimensiones y tendencias • Se adapta fácilmente a estudios estadísticos • La primera muestra se escoge aleatoriamente, y el resto de acuerdo al patrón asignado • La retícula puede tener diferentes formas geométricas 	<ul style="list-style-type: none"> • Asegura que la población de muestras está representada en forma total y uniforme • No requiere de conocimiento previo del sitio o población de muestras • Ideal para obtener volúmenes de material contaminado • Fácil de interpolar y configurar entre muestras 	<ul style="list-style-type: none"> • Asume que hay correlación entre las muestras cercanas • Hay que asegurar que el patrón de retícula no coincida con el de la contaminación

Método	Descripción general	Condiciones para su uso apropiado	Ventajas	Desventajas
IV. Muestreo simple aleatorio	<p>Diseño de muestreo más simple y fundamental basado en probabilidad. Se usa una tabla de números aleatorios para localizar las muestras. El muestreo simple aleatorio de n muestras se define como un población de muestras seleccionadas al azar de una población de muestras, de manera que otras n muestras de la misma población de muestras tienen la misma oportunidad de ser elegidas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Para poblaciones relativamente pequeñas y homogéneas • Útil para los tipos de muestreo de fondo y de comprobación • Debe utilizarse sólo en áreas menores a 4 hectáreas • El análisis estadístico de los datos es sencillo debido a la característica de aleatoriedad en la localización de las muestras 	<ul style="list-style-type: none"> • Protege contra la selección sesgada de la localización de las muestras, garantizando la representatividad de las mismas • Fácil de implementar 	<ul style="list-style-type: none"> • Una desventaja es que debido a la localización aleatoria de las muestras, éstas por azar se pueden agrupar geográficamente; el aumento del número de muestras disminuye esta posibilidad • No toma en cuenta la información propia del sitio ni de la contaminación, ni tampoco el conocimiento del profesionalista

APÉNDICE INFORMATIVO B

Muestreo estratificado o zonificado

Con objeto de determinar la distribución de los puntos de muestreo en el sitio, se zonifica el área de estudio en base a su importancia relativa, la cual se determinará en función de:

- La extensión del área de estudio;
- La distancia a la fuente de la contaminación;
- Los patrones de dispersión eólicos e hídricos.

Para determinar el valor de la importancia relativa, se divide el área del sitio en zonas, ponderando el grado de importancia en escala de 0 a 1 (ver ejemplo). Los ponderadores se fijarán de acuerdo a las características propias del sitio, dando una mayor ponderación al área que se presume más contaminada. En cualquier caso, es posible establecer procedimientos alternos de zonificación estadísticamente fundamentados. Para determinar el número de muestras (ρ_n) de cada una de las zonas se utiliza la siguiente ecuación:

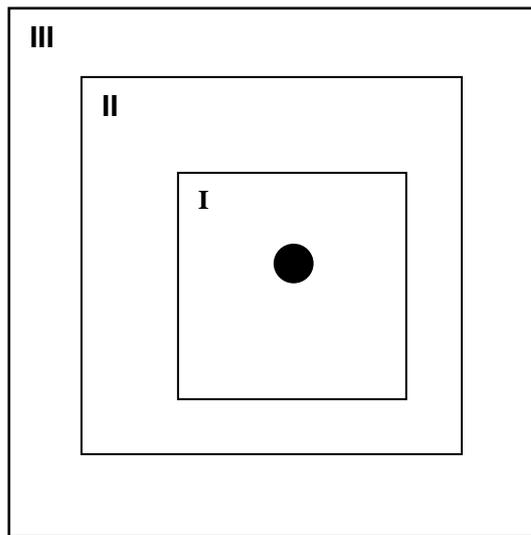
$$\rho_n = IR_n * Y$$

donde:

ρ_n : Número de puntos de muestreo de la zona n (n = 1, 2, 3 ...);
 IR_n : Importancia relativa de la zona (n), e
Y: Número mínimo de puntos de muestreo para el sitio según tabla 2.

Para la ubicación de los puntos de muestreo, se asigna a cada zona un patrón de muestreo, de preferencia geométrico, que se adapte a su forma espacial. Las muestras se toman en el centro de cada una de la figuras del patrón.

EJEMPLO. Ponderación del área de estudio para la distribución de muestras



Zona de estudio

● **Área de mayor contaminación**

Con base en la información documental y de campo específica para el caso en estudio, se delimitan las diferentes zonas de importancia relativa (IR) en escala 0 a 1, tomando en cuenta:

- a) El área que se presume más contaminada y patrones de dispersión, y
- b) El área de las diferentes zonas.

zona I	IR = 0,6
zona II.....	IR = 0,3
zona III.....	<u>IR = 0,1</u>
Total	Σ IR = 1

Distribución de cantidad de puntos de muestreo por zona: se asume que el número de puntos de muestreo a distribuir es 100, por lo que de acuerdo a la figura anterior:

zona I:	$0,6 \times 100 = 60$ puntos de muestreo
zona II:	$0,3 \times 100 = 30$ puntos de muestreo
zona III:	$0,1 \times 100 = 10$ puntos de muestreo

Total de puntos de muestreo: 100

Los puntos de muestreo se distribuirán uniformemente de acuerdo a la forma geométrica de las zonas. En este ejemplo se harían retículas cuadradas y los puntos de muestreo se distribuirían uniformemente en las retículas trazadas.

APÉNDICE INFORMATIVO C

Muestreo sistemático

El muestreo se realizará por medio de una cuadrícula sobrepuesta a toda la superficie por estudiar y el tamaño de los cuadros es función del número de puntos de muestreo y de la superficie de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C = (a/n)^{1/2}$$

Donde:

- C es la longitud de los lados de cada cuadro;
- A es la superficie, y
- n es el número de puntos de muestreo de acuerdo con la tabla 1 ó 2, según el caso.

La longitud de los cuadros se debe redondear hacia abajo, aún cuando el número de puntos de muestreo aumente; no hay que olvidar que el número de puntos de muestreo indicado en las tablas es mínimo y de acuerdo a las circunstancias locales se deben tomar muestras adicionales. Las muestras son tomadas en las intersecciones de la retícula de la cuadrícula.

México D.F., a

**MIGUEL AGUILAR ROMO
DIRECTOR GENERAL**

RCG/OMF/DLR.