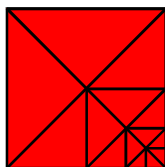


1997-07-23

**GESTIÓN AMBIENTAL.
CALIDAD DE SUELO. MUESTREO. GUÍA PARA EL
DISEÑO DE PROGRAMAS DE MUESTREO**



MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO

E: ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. SOIL QUALITY.
SAMPLING GUIDANCE ON THE DESIGN OF SAMPLING
PROGRAMMES

CORRESPONDENCIA: esta norma es una adopción equivalente
(EQV) de la ISO/DIS 10381-1

DESCRIPTORES: calidad de suelo; gestión ambiental;
muestreo; diseño de programas.

I.C.S.: 13.080

Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)
Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. 6078888 - Fax 2221435

Prohibida su reproducción

PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 2269 de 1993.

ICONTEC es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

La NTC 4113-1 fue ratificada por el Consejo Directivo en 1997-07-23.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

A continuación se relacionan las empresas que colaboraron en el estudio de esta norma a través de su participación en el Comité Técnico. 000017 Gestión ambiental. Suelo.

EMPRESA DE ENERGÍA DE BOGOTÁ
INGENIO DEL CAUCA
INSTITUTO COLOMBIANO DEL
PETRÓLEO - ICP.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN
CODAZZI
LEVAPAN S.A.
MINISTERIO DE DESARROLLO

ICONTEC cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales.

DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

**GESTIÓN AMBIENTAL.
CALIDAD DE SUELO. MUESTREO.
GUÍA PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE MUESTREO**

0. INTRODUCCIÓN

Este documento es una de varias normas destinadas a ser utilizadas en conjunto con cada una de las otras partes según sea adecuado y necesario. La NTC 4113 se refiere a los procedimientos de muestreo para los diversos propósitos de investigación del suelo.

La terminología general usada está de acuerdo con la establecida en el comité ISO/TC 190 "Calidad del suelo" y, más en particular, con la terminología sobre muestreo dada en la norma ISO 11074-2.¹

Otras partes de esta serie NTC 4113 son:

Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo²

Parte 3: Guía sobre seguridad²

Parte 4: Guía sobre el procedimiento para la investigación de sitios naturales, cuasinaturales y cultivados²

Parte 5: Guía sobre el procedimiento para la investigación de contaminación del suelo de sitios urbanos e industriales¹

Parte 6: Guía sobre la recolección, el manejo y el almacenamiento de suelo para la evaluación de procesos microbianos aeróbicos en el laboratorio.

1. OBJETO

Esta norma establece los principios generales que se deben aplicar en el diseño de programas de muestreo para el propósito de caracterizar y controlar la calidad del suelo, y para identificar fuentes y efectos de contaminación de suelo y material relacionado. En otras partes de esta norma se dan instrucciones detalladas para situaciones específicas de muestreo.

¹⁾ En preparación por parte del ISO/TC 190.

²⁾ Actualmente en la etapa de ISO/DIS

2. NORMAS QUE SE DEBEN CONSULTAR

Las siguientes normas contienen disposiciones que, mediante referencia en este texto, constituyen disposiciones del mismo. Al momento de la publicación eran válidas las ediciones indicadas. Todas las normas están sujetas a actualización. Los usuarios de esta norma deben procurar aplicar la última versión de las normas indicadas a continuación.

NTC-ISO 9000, Administración de la calidad y normas de aseguramiento de la calidad. Directrices para la selección y el uso.

NTC 4113-2:1997, Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre técnicas de muestreo.

NTC 4113-3:1997, Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre seguridad.

NTC 4113-4:1997, Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre los procedimientos para la investigación de sitios naturales, cuasinaturales y cultivados.

ISO 10381-5³, Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre los procedimientos para la investigación de suelos contaminados de sitios urbanos e industriales.

NTC 4113-6:1997, Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para la recolección, manejo y almacenamiento de suelo para la evaluación de procesos microbiológicos aeróbicos en el laboratorio.

ISO 11074-1:1997, Soil Quality. Vocabulary. Part 1: Terms and Definitions Relating to Soil Protection and Soil Contamination

ISO 11074-2³, Soil Quality. Vocabulary. Part 2: Terms and Definitions Relating to Sampling

ISO 11259⁴, Soil Quality. Description of Soils and Sites

ISO 11277⁵, Soil Quality. Determination of Particle Size Distribution in Mineral Soil Material. Method by Sieving and Sedimentation.

NTC-ISO 11464:1995, Gestión ambiental. Calidad de suelo. Pretratamiento de muestras para análisis fisicoquímico.

NTC 3001:1993 (EN 45001), Criterios generales para la operación de laboratorios de ensayos.

NTC 3005:1993 (EN 45003), Criterios generales para la evaluación de laboratorios de ensayos.

NTC 3006:1993 (EN 45002), Criterios generales para la acreditación de laboratorios

NTC 3110 (EN 45011):1989, Criterios generales relativos a los organismos de certificación que realizan certificación de producto

NTC-EN 45012:1994, Criterios generales relativos a organismos de certificación que realizan certificación a sistemas de calidad.

3) Se encuentra en proceso de elaboración.

4) Actualmente en la etapa de proyecto de comité.

5) Se publicará próximamente.

SECCIÓN UNO: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

3. INTRODUCCIÓN

Las muestras se recogen y se examinan, principalmente para determinar sus propiedades físicas, químicas, biológicas y radiológicas. Esta sección se refiere a los factores más importantes que se deben considerar al diseñar un programa de muestreo para el suelo y el material relacionado. En las secciones siguientes se da información más detallada.

Siempre que se requiera caracterizar un volumen de suelo, generalmente no es posible examinarlo “todo” y, por tanto, se hace necesario tomar muestras. Las muestras recogidas deben ser tan representativas como sea posible con respecto al “todo” que se va caracterizar; se deben tomar, además, todas las precauciones para asegurar que, hasta donde sea posible, las muestras no sufran ningún cambio en el intervalo de tiempo entre el muestreo y el análisis. El muestreo de sistemas polifásicos, tal como suelos que contengan agua otros líquidos, gases, material biológico, radionúclidos y otros sólidos no pertenecientes en forma natural al suelo (por ejemplo, materiales de desecho), pueden presentar problemas especiales. Además, el examen de algunos parámetros físicos del suelo puede requerir las muestras de suelo denominadas “suelo no disturbado” para que sea posible la realización correcta de la medición pertinente.

Antes de concebir un programa de muestreo es importante que primero se establezcan los objetivos, puesto que éstas son las principales condiciones al determinar por ejemplo, la posición y la densidad de los puntos de muestreo, el tiempo del muestreo, los procedimientos de muestreo, el tratamiento posterior de las muestras y los requisitos analíticos. Los detalles de un programa de muestreo dependen de si la información requerida es, el promedio, la distribución o la variabilidad de determinados parámetros del suelo.

También conviene dedicar alguna consideración al grado de detalle y de precisión que se requiera, así como la forma en que los resultados se deben expresar y presentar; por ejemplo, concentraciones de sustancias químicas, valores máximo y mínimo, promedios aritméticos, valores medianos, etc. Adicionalmente, se debe compilar una lista de los parámetros que interesen y se deben consultar los procedimientos analíticos pertinentes, porque éstos generalmente orientan en cuanto a las precauciones que se deben observar durante el muestreo y el manejo posterior de las muestras de suelo.

A menudo puede ser necesario efectuar un programa exploratorio de muestreo y análisis antes de que se puedan definir los objetivos finales. Es importante; por tanto, tener en cuenta todos los datos pertinentes de los programas previos en localizaciones semejantes o similares y cualquier otra información sobre las condiciones locales. También puede ser muy valiosa la experiencia personal previa. El tiempo y el dinero que se asignen al diseño de un programa de muestreo apropiado, generalmente se justifican muy bien porque se asegura que la información requerida se obtenga en forma eficiente y económica.

Se hace hincapié en que el logro completo de los objetivos en las investigaciones del suelo, depende principalmente de un adecuado diseño y ejecución del programa de muestreo.

A continuación se hace referencia a los aspectos principales sobre los cuales se deben tomar decisiones al diseñar un programa de muestreo. En donde se requiere, se indican los numerales precedentes pertinentes.

3.1 EL OBJETIVO

Descripción del (de las) área(s) que se debe investigar; fijación de objetivos para la investigación en su conjunto; mención de los parámetros que se deben determinar y sobre cualquier otra

información que se requiera para que sea posible la interpretación de los resultados, contenido del informe de la muestra. Decisiones acerca de convenios contractuales relacionados con muestreo, acuerdos gerenciales y estimación de costos.

3.2 INFORMACIÓN PRELIMINAR

¿Qué se sabe ya? ¿Qué información se puede obtener fácilmente? ¿A quién se debe contactar con respecto a ciertas fuentes (históricas)? ¿Hay algún problema de tipo legal, por ejemplo para ingresar al sitio? Primera visita al sitio.

Véanse detalles en el numeral 6 y en las normas NTC 4113-4, 6 y la ISO 10381-5.

3.3 ESTRATEGIA

Decisiones con respecto a patrones de muestreo, puntos de muestreo, profundidad del muestreo, tipo de muestras que se deben obtener y métodos que se deben utilizar: por ejemplo, perforaciones, barrenados, canteras de prueba, etc.

Véanse detalles en el numeral 10 y en la norma NTC 4113-4, 6 y la ISO 10381-5.

3.4 MUESTREO

Coordinación con el personal responsable de la preparación y el análisis de la muestra. Selección de herramientas de muestreo apropiadas, almacenamiento, medidas de preservación, rotulado y transporte. Ensayos de campo que se deben efectuar si así se especifica.

Véanse detalles en los numerales 7, 8 y 10 y en la norma NTC 4113-2, 4, 6 y la ISO 10381-5.

3.5 SEGURIDAD

Consideración de todas las precauciones de seguridad necesarias en el sitio. Información a los propietarios, a las autoridades de construcción, a las autoridades locales. Consideración de esfuerzos de protección de los datos. Requisitos acerca de la eliminación del suelo sobrante o del material de ensayo.

Véanse detalles en el numeral 9 y en las normas NTC 4113-2, 3, 4, 6 y la ISO 10381-5.

3.6 INFORME DE MUESTREO

El contenido básico del informe de muestreo debe ser como se especifica en esta norma. El cliente debe especificar claramente la información adicional que se requiera y estipularla en un contrato escrito. Cualquier desviación posterior se debe justificar para evitar deficiencias con respecto a la evaluación de la investigación y para evitar conflictos entre las partes comerciales interesadas.

Véanse detalles en los numerales 11, 12 y 13 y en la norma NTC 4113-4, 6 y la ISO 10381-5.

4. OBJETIVOS DEL MUESTREO

4.1 GENERALIDADES

Los cuatro objetivos principales del muestreo del suelo se pueden resumir como sigue:

- muestreo para la determinación de la calidad general del suelo
- muestreo para la elaboración de mapas de suelos
- muestreo para respaldo legal o para acción reglamentaria
- muestreo como parte de una evaluación con respecto a un peligro o un riesgo.

A continuación se analizan estos cuatro objetivos principales.

La utilización del suelo y del sitio es de importancia variable, dependiendo del objetivo principal de una investigación. Por ejemplo, mientras en el muestreo para la evaluación de riesgos es particularmente importante considerar la utilización pasada, presente y futura del sitio, esto es menos importante en el caso de mapeo de suelos ya que aquí lo que interesa es una descripción más, que una evaluación del suelo. En el caso de objetivos tales como evaluación de la calidad del suelo, valoración de tierras y monitoreo del suelo, la utilización se tiene en cuenta en grados variables.

Los resultados obtenidos en campañas de muestreo para evaluar la calidad del suelo con propósitos de mapeo pueden indicar la necesidad de una investigación adicional, por ejemplo, si se detecta contaminación que indique la necesidad de identificar y evaluar peligros y riesgos potenciales.

4.1.1 Muestreo para determinar la calidad general del suelo

Generalmente este muestreo se realiza a intervalos de tiempo irregulares para determinar la calidad del suelo con determinado propósito, por ejemplo para agricultura. En tal sentido, dicho muestreo tiende a concentrarse en factores tales como tipo, cantidad de nutrientes, pH, contenido de materia orgánica y concentraciones de elementos traza, y las propiedades físicas, que suministran una medida de la calidad actual y son susceptibles de ser controladas. El muestreo se suele efectuar dentro de la zona superficial y también a profundidades mayores pero a veces se lleva a cabo sin diferenciar los horizontes o las capas.

La orientación dada en la NTC 4113-4 es particularmente importante.

4.1.2 Muestreo para la elaboración de mapas de suelos

Los mapas de suelos se elaboran para la descripción de las unidades cartográficas de suelos, valoración de tierras con fines catastrales (impuestos), y en sitios de monitoreo de suelos para establecer la información básica sobre génesis y distribución de suelos de origen natural o antrópicos, su composición química, mineralógica, biológica, y sus propiedades físicas en una posición seleccionada. La elaboración de mapas de suelos implica la elaboración de calicatas o muestreo de reconocimiento con descripción detallada de las horizontes y estratos del suelo. Para preservar las muestras en sus condiciones físicas y químicas originales se requieren técnicas especiales. El muestreo es casi siempre un procedimiento que se realiza de una sola vez.

La orientación dada en la NTC 4113-4 es particularmente importante.

4.1.3 Muestreo para respaldo legal o para acción reguladora

El muestreo se puede requerir para establecer condiciones de línea base, antes de una actividad que pueda afectar la composición o la calidad del suelo; o se puede requerir a continuación de un efecto antropogénico tal como la introducción de un material indeseable que pueda provenir de un punto determinado o de una fuente difusa.

Las técnicas de muestreo se tienen que desarrollar con base en el sitio específico.

Para que el muestreo pueda respaldar adecuadamente la acción legal o de regulación, es necesario dedicar atención especial a todos los aspectos del aseguramiento de la calidad, incluyendo por ejemplo los "procedimientos en la cadena de custodia".

La orientación dada en la norma ISO 10381-5 es particularmente importante. La incluida en la NTC 4113-4, también puede ser pertinente.

4.1.4 Muestreo para evaluación de riesgos y peligros

Cuando la tierra está contaminada con productos químicos y otras sustancias que sean potencialmente peligrosas para la salud humana, la seguridad o el medio ambiente, puede ser necesario efectuar una investigación como parte de una evaluación de riesgos y peligros, es decir, para determinar la naturaleza y el alcance de la contaminación, identificar los riesgos asociados con la contaminación, identificar los blancos potenciales y las rutas de exposición, a fin de evaluar los riesgos relacionados con el uso actual y futuro del sitio y de la tierra vecina. Un programa de muestreo para evaluación de riesgos (en este contexto: investigación de fase I, fase II, fase III y fase IV) quizás deba cumplir requisitos legales o reglamentarios (véase el numeral 4.1.3); es recomendable además dedicar atención cuidadosa a la integridad de la muestra. Las estrategias de muestreo se deben desarrollar tomando como base el sitio específico.

La orientación dada en la norma ISO 10381-5 es particularmente importante. La incluida en la NTC 4113-4 también puede ser pertinente.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dependiendo del (de los) objetivo(s) principal(es), generalmente es necesaria la determinación para todo el suelo considerado o parte del mismo:

- la naturaleza, las concentraciones y la distribución de las sustancias de origen natural
- la naturaleza, las concentraciones y la distribución de los contaminantes (sustancias extrañas)
- las propiedades y las variaciones físicas
- la presencia y la distribución de las especies biológicas que interesen.

A menudo es necesario tener en cuenta cambios en los parámetros anteriores con el paso del tiempo, causados por la migración, las condiciones atmosféricas y la utilización del suelo.

En los numerales que siguen se sugieren algunos objetivos detallados, aunque la lista no es exhaustiva.

4.2.1 Muestreo para la determinación de parámetros químicos del suelo

Aunque hay muchas razones para la investigación química del suelo y del material relacionado, a continuación se mencionan las más importantes. Es importante que cada rutina de muestreo se acondicione de tal modo que se ajuste al suelo y a la situación en consideración.

Las investigaciones químicas se efectúan para:

- a) identificar los riesgos inmediatos para la salud humana y la seguridad y el medio ambiente
- b) determinar la aptitud de un suelo para un uso previsto, por ejemplo, producción agrícola, desarrollo de vivienda
- c) estudiar los efectos de los contaminantes atmosféricos, incluyendo la precipitación radiactiva sobre la calidad del suelo. Esto también puede suministrar información sobre la calidad del agua y también indicar si hay posibilidad de que surjan problemas, por ejemplo, en los acuíferos cercanos a la superficie
- d) evaluar los efectos de las entradas directas al suelo; puede haber contribuciones procedentes de:
 - sustancias de origen natural que sean mayores que los valores locales básicos, por ejemplo ciertas fases de mineral en los depósitos de metal
 - contaminación (no) esperada por la aplicación de productos agroquímicos
 - contaminación (no) esperada debida a procesos industriales
- e) evaluar el efecto de la acumulación y liberación de sustancias, por los suelos, sobre otros extractos de suelos o sobre otros comportamientos ambientales, por ejemplo, la transferencia de sustancias de un suelo a una planta
- f) estudiar el efecto de la eliminación de desechos, incluyendo la eliminación de lodo de cañerías sobre un suelo (aparte de contribuir a la carga de contaminación, esas eliminaciones pueden producir otras reacciones químicas tales como la formación de compuestos persistentes, metabolitos o la evolución de gases, tales como el metano)
- g) identificar y cuantificar los productos liberados por los procesos industriales y generados por accidente (generalmente esto se hace mediante investigación de sitios de los cuales se sospecha o de sitios contaminados)
- h) evaluar el suelo derivado de trabajos de construcción, pensando en utilización posible o adicional de tales suelos o en la eliminación como desecho.

Comúnmente, se utilizan técnicas de muestreo que requieren la toma de muestras bien sea de horizontes de suelo identificables, o de profundidades especificadas (por debajo de la superficie

del terreno). Ahora bien, conviene evitar la mezcla de los dos enfoques, particularmente cuando se tomen muestras de horizontes naturales, puesto que esto puede dificultar la comparación de resultados. Sin embargo, una combinación coherente de los dos enfoques a veces puede ser útil en sitios industriales antiguos en donde haya variación tanto en la naturaleza del relleno como en la profundidad de penetración de los contaminantes móviles en el piso, es decir, que hay dos razones independientes para los cambios en las propiedades del suelo y/o del relleno.

Para el diseño de algunos programas de muestreo es ventajoso conocer la forma en que determinadas sustancias químicas tienden a distribuirse entre los diferentes compartimientos de aire, suelo, agua, sedimento y organismos vivos. De manera análoga, también es ventajoso conocer el comportamiento de aquellos organismos vivos afectados por sustancias químicas o que causan efectos sobre la disponibilidad de sustancias debido a los procedimientos microbiológicos.

4.2.2 Muestreo para la determinación de parámetros físicos del suelo

El muestreo del suelo para la determinación de algunas propiedades físicas requiere una consideración especial puesto que la exactitud y la extrapolación de los datos medidos depende de la obtención de una muestra que conserve sus características estructurales "in situ".

En muchas circunstancias puede ser preferible efectuar mediciones en el campo puesto que la remoción de una muestra inclusive no disturbada, puede cambiar la continuidad y las características de las propiedades físicas del suelo y dar lugar a resultados erróneos.

Sin embargo, la situación de campo se puede controlar sólo en forma parcial; por ejemplo, la situación hidrológica. Por tanto, las mediciones de laboratorio son esenciales.

Las diferencias y los cambios en la estructura del suelo afectan la elección del tamaño de la muestra. Por consiguiente, para cada tipo de suelo que se vaya a estudiar se debe determinar un volumen representativo o un número mínimo de reproducciones.

La clase de humedad del suelo al tomar la muestra puede influir en las mediciones físicas, por ejemplo, al rehumedecer puede ocurrir histéresis, y muchas muestras se toman cuando el suelo está cerca de la capacidad de campo (tolerancia).

Muchas propiedades físicas tienen componentes verticales y laterales, y esto se debe considerar antes del muestreo.

En los casos en que se requieren muestras de suelo pequeñas no disturbadas, se puede aplicar la excavación manual de núcleos, terrones o agregados de suelo. El equipo de muestreo se debe diseñar en tal forma que al suelo se le cause una mínima perturbación física. Para obtener una muestra con perturbación mínima en el caso de muestras más grandes, es preferible utilizar equipo hidráulico de muestreo y dispositivos de corte. Se debe tener cuidado tanto en el diseño como en la fabricación del equipo para asegurar que no ocurra compresión o compactación interna de la muestra.

En los casos en que sea difícil obtener una muestra no disturbada para las mediciones del laboratorio, por ejemplo, en suelos pedregosos o de capa férrea, entonces las mediciones "in situ" pueden ser el método más apropiado.

4.2.3 Muestreo para la evaluación de parámetros biológicos del suelo

En las investigaciones biológicas del suelo se consideran varios interrogantes diferentes con respecto a qué les está sucediendo a las formas biológicas o qué causan éstas en el suelo y sobre el mismo, incluyendo tanto la fauna como la flora en el ámbito micro y macro. A los

interrogantes ecotoxicológicos se les suele asignar la primera prioridad. Por ejemplo, realización de ensayos para verificar los efectos de productos químicos agregados al suelo sobre las formas biológicas, y también los efectos posibles de las formas biológicas en el suelo sobre las plantas (por ejemplo, cosechas de alto valor) y en el medio ambiente, especialmente sobre la salud humana.

En algunos casos los procedimientos de ensayos biológicos de suelos operan con suelos artificiales, pero generalmente la principal tarea del muestreo es seleccionar un suelo o un sitio confiable para efectuar los ensayos.

En la NTC 4113-6 se trata el muestreo para la evaluación de procesos microbianos aeróbicos.

4.3 MUESTREO DE OTRO MATERIAL EN CONEXIÓN CON INVESTIGACIÓN DEL SUELO

Los programas de investigación del suelo, y particularmente los efectuados en sitios contaminados, también pueden requerir que se tomen muestras distintas del suelo. Con respecto a los detalles técnicos, se deben consultar normas internacionales o normas nacionales pertinentes en los casos en que no se disponga de normas internacionales.

En el Anexo A se suministra una lista de normas internacionales sobre muestreo de agua, lodo y sedimento, las cuales pueden ser adecuadas para el uso en investigaciones de calidad y contaminación del suelo. Junto con el nombre de las normas se incluye una breve descripción de sus respectivos objetos.

SECCIÓN DOS: CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA EL MUESTREO DE SUELOS

5. INTRODUCCIÓN

En esta sección se hace referencia a aspectos que pueden incidir en el diseño de un programa de muestreo (por ejemplo, conocimiento preexistente del sitio) y varios aspectos detallados del diseño y la implementación (por ejemplo, patrones de muestreo, manejo de la muestra).

En el numeral 7 se llama la atención sobre los requisitos para el personal de muestreo, y en el numeral 8 se mencionan brevemente las precauciones de seguridad necesarias en diversas situaciones, pero en la NTC 4113-3 lo anterior se describe detalladamente.

6. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

6.1 GENERALIDADES

Antes de realizar cualquier programa de muestreo se debe efectuar una investigación preliminar, aunque el esfuerzo que se dedique a ello depende del objetivo de la investigación.

La investigación preliminar siempre debe comprender (fase I de la investigación):

- un estudio de escritorio, y
- una visita o reconocimiento del sitio.

Además, se pueden llevar a cabo un número limitado de muestras (fase II de la investigación:

Los objetivos principales del estudio preliminar son:

Obtener conocimiento acerca de la condición actual del sitio, y de las actividades pasadas realizadas en el mismo y en la tierra adyacente, que pueda haberlo afectado, con el propósito de:

- posibilitar el diseño del (de los) programa(s) de muestreo de tal modo que sea(n) efectivo(s) tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista económico.
- identificar medidas que se requieran para proteger la salud y la seguridad del personal de investigación;
- identificar medidas necesarias para proteger el medio ambiente durante el programa de muestreo.

También se puede reunir otra información pertinente para la realización del programa de muestreo (por ejemplo medios de acceso para el equipo, localizaciones para las instalaciones del sitio (por ejemplo, laboratorios, almacenes, descontaminación del equipo), disponibilidad de energía).

Tales investigaciones preliminares son de particular importancia cuando se vayan a efectuar investigaciones relacionadas con evaluación de riesgos.

6.2 ESTUDIO DE ESCRITORIO

Este estudio incluye la recolección de toda la información pertinente acerca del sitio, por ejemplo referencias a la localización, infraestructura, utilización, información acerca de los antecedentes históricos.

Las fuentes posibles de esta información son publicaciones, mapas (verifíquese la exactitud del mapa usado), aerofotografías e imágenes de satélite procedentes, por ejemplo, de oficinas de agrimensura, investigaciones geológicas, juntas de administración de aguas, juntas de inspección industrial, juntas mineras, compañías mineras, instituciones geotécnicas, archivos urbanos regionales y locales, autoridades de agricultura y silvicultura y juntas supervisoras de construcción. Resulta particularmente importante la información sobre las propiedades físicas y químicas y la distribución espacial posible del parámetro del suelo que se esté investigando.

6.3 VISITA AL SITIO

Como parte de la investigación preliminar se debe efectuar una visita al sitio, preferiblemente en conjunto con el estudio de escritorio, aunque ambas cosas pueden ser independientes. Dependiendo de la variabilidad local del sitio y de la dificultad técnica de la investigación proyectada, para esta tarea se debe escoger un profesional o técnico especializado.

Esa visita proporciona una primera impresión acerca de la correlación de los mapas existentes y de la realidad, y suministra mucha información adicional en un tiempo comparativamente corto.

En algunos casos, en esta etapa puede ser necesario dibujar un primer mapa o uno adicional.

Durante las investigaciones preliminares no es frecuente que se tomen muestras; si se toman, suelen hacerse para obtener una visión general acerca de la clase de suelo y, entonces, elegir el equipo correcto para las actividades posteriores.

En las partes 4 y 6 de la NTC 4113 y en la norma ISO 10381-5, se especifica el intervalo de las investigaciones preliminares usado dentro de sus respectivos alcances.

6.4 RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

Para resumir los hallazgos reales de las investigaciones preliminares, se debe elaborar un informe en el cual se estipulen las conclusiones (o hipótesis) obtenidas con respecto a las condiciones previstas del sitio (por ejemplo, en cuanto a la geología, hidrología, y contaminación posible) que sean pertinentes para el diseño del programa de muestreo.

Este informe debe permitir evaluar en una fecha posterior la conveniencia de la estrategia de muestreo adoptada.

7. ACTIVIDADES DE CAMPO

Algunas de las actividades de campo o realizadas en el sitio son:

- obtención de muestras para análisis y ensayos en el sitio o fuera de éste
- mediciones y ensayos en el sitio
- ensayos de campo indirectos.

En el caso de las dos primeras actividades, el interés principal es identificar las localizaciones adecuadas para el muestreo o los ensayos (véase el numeral 9).

7.1 ENSAYOS INDIRECTOS DE CAMPO

Las mediciones directas en muestras de suelo se pueden complementar con el uso de técnicas geofísicas para determinar las propiedades "in situ". Algunas de estas técnicas son:

- métodos aplicados en la superficie del suelo:

 sísmicas: geoelectricas; electromagnéticas; radar; gravimétricas; radiometría;
 termografía.
- métodos aplicados en orificios/orificios perforados:

 sísmicos (orificio transversal-descendente; orificio ascendente-descendente);
 sísmico (registro acústico); geoelectrico (registro de resistividad, registro latero,
 registro microlátero, medidor de buzamiento, registro autopotencial); radiometría
 (registro gama, registro gamma-gamma, registro neutrón); registro de
 temperatura; registro de calibre .

Estos métodos se pueden usar junto con la investigación preliminar, pero también se usan en relación directa con puntos de muestreo definidos.

7.2 ENSAYOS EN EL SITIO

A menudo las muestras se ensayan en el sitio. El personal experimentado en muestreo debe estar capacitado para efectuar algunos de estos ensayos. Si no es así, el diseño del programa de muestreo debe incluir la cooperación necesaria entre el personal de muestreo y el personal analítico/científico, en la localización del muestreo.

Es posible que se requieran instalaciones de ensayo en el sitio:

- 1) para la investigación de propiedades físicas del suelo (métodos "*in situ*")
- 2) para la investigación de parámetros químicos del suelo
 - con el fin de obtener rápidamente información sobre la presencia de sustancias o clases de sustancias (determinaciones cualitativas) o sobre las concentraciones presentes (determinaciones semicuantitativas o cuantitativas), a fin de decidir sobre la necesidad de un análisis adicional más específico.
 - porque la medición inmediata de un contaminante es la única manera de cuantificar su concentración, es decir, debido a su inestabilidad, volatilidad, etc.
 - con el fin de tener un rápido análisis de los materiales en el sitio, es decir, para tener una respuesta analítica inmediata
 - con el fin de reducir los costos de análisis, es decir, se evitan costos de transporte.
- 3) para suministrar una indicación de la presencia de sustancias o condiciones (por ejemplo, vapores tóxicos, gases inflamables, líquidos ácidos) peligrosas para la seguridad del personal de la investigación.

Antes de que comience el trabajo de campo, se deben preparar todos los programas necesarios en el sitio.

8. PERSONAL DE MUESTREO

8.1 GENERALIDADES

Para evitar que surjan problemas debido a personal sin experiencia en la obtención de muestras, en el diseño de programas de muestreo se debe considerar lo siguiente:

- experiencia del personal de muestreo
- contribuciones del personal de muestreo en el diseño de los programas de muestreo.

8.2 EXPERIENCIA DEL PERSONAL DE MUESTREO

Hay buenas razones para que quien tome muestras tenga conocimiento detallado de la ciencia del suelo, pero en muchas regiones los suelos tienen poca diferenciación de horizontes y, en los casos en que sea así, generalmente se obtienen muestras relacionadas con la profundidad. Esto lo pueden hacer personas que tengan poco o ningún conocimiento detallado acerca del suelo. Pero este enfoque resulta más difícil de aplicar cuando el perfil del suelo está diferenciado en horizontes distintos, y es esencialmente inutilizable cuando se presentan diferencias profundas entre horizontes contiguos; entonces se deben tomar muestras del perfil mediante los horizontes.

En el último caso es esencial un conocimiento detallado de edafología y, en menor grado, de geología, hidrogeología y geomorfología. En muchas situaciones sólo un científico experimentado puede tomar adecuadamente las muestras del suelo. Cuando el científico no tome las muestras, entonces quienes realicen el muestreo deben ser supervisados por el científico o por otra persona calificada y experimentada en la materia.

Quien tome las muestras debe tener conocimiento de las técnicas y herramientas aplicadas comúnmente, sus ventajas y desventajas. Esta persona es responsable del uso adecuado de las herramientas, lo cual también incluye la limpieza del equipo entre las operaciones de muestreo para evitar la contaminación cruzada (véase la NTC 4113-2). Quien tome las muestras debe asesorarse con respecto a la selección del equipo de muestreo.

El personal que trabaje en el sitio debe tener conocimiento detallado de las precauciones de seguridad necesarias, en particular cuando se tomen muestras en sitios contaminados y cuando se aplique equipo de perforación operado por máquina, así como al cavar calicatas (canteras de prueba) de descripción y muestreo (véase la NTC 4113-3).

El personal empleado para tomar muestras de sitios industriales abandonados o sitios potencialmente peligrosos en alguna otra forma, siempre tienen que recibir capacitación apropiada.

8.3 EL PERSONAL DE MUESTREO Y EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE MUESTREO

El muestreo depende del trabajo en equipo. En todas las etapas de la campaña de muestreo las responsabilidades deben estar claramente asignadas, tanto en el campo como en la oficina.

Quien tome muestras nunca debe obtener las muestras sin tener una idea de para qué se toman.

Si es apropiado, el encargado de tomar las muestras debe ser invitado a participar en las etapas preparatorias de una campaña de muestreo. Esto debe ser una práctica común con todas las estrategias de muestreo diseñadas para sitios contaminados o para sitios de los cuales se sospecha que estén contaminados.

Salvo que haya un laboratorio móvil de campo, los analistas raramente están presentes en el sitio. En algunas situaciones, esto tiene la desventaja de que las muestras que lleguen al laboratorio pueden que no reflejen el estado químico original del sitio, especialmente si el material es muy heterogéneo (por ejemplo, terraplenes, rellenos). Debido a incidentes inesperados, es posible que se tengan que tomar decisiones y éstas no deben ser responsabilidad únicamente de la persona que toma las muestras. El diseño del programa de muestreo debe prever tales situaciones.

Finalmente, se deben evaluar los datos y tomar en consideración las observaciones pertinentes de quien tome las muestras, además de lo que se haya descrito en el informe del muestreo.

9. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Esto se describe en detalle en la NTC 4113-3.

Es esencial que el personal responsable del diseño de los programas de muestreo y de efectuar las operaciones de muestreo, se asegure de tomar en consideración los requisitos de las regulaciones pertinentes sobre seguridad nacional. Típicamente, esto incluye:

- la necesidad de una política de seguridad, planeamiento y administración con respecto a la seguridad.
- información y capacitación para el personal encargado del muestreo
- investigación preliminar del sitio de muestreo para localizar peligros posibles o reales, por ejemplo, contaminación, gases inflamables, líneas de suministro de energía, subsuelos cubiertos.
- consideración de los sitios vecinos con respecto a si pueden originar peligro o si pueden ser afectados por peligros derivados de las medidas tomadas en el sitio sometido a investigación.
- conocimiento de los riesgos derivados del manejo de equipo y de productos químicos.
- conocimiento de las medidas para asegurar una correcta formación de las canteras de prueba, no sólo durante el tiempo del muestreo sino también después, para evitar accidentes.
- es recomendable la referencia a las regulaciones nacionales y orientación respecto a la seguridad; por ejemplo, regulaciones con respecto a la exposición a sustancias peligrosas para la salud, prevención de accidentes y monitoreo, responsabilidad del empleador.

10. MUESTRAS Y PUNTOS DE MUESTREO

10.1 GENERALIDADES

La selección, localización y preparación de los puntos de muestreo depende de:

- los objetivos de la investigación
- la información preliminar disponible
- las condiciones en el sitio.

La naturaleza de las muestras que se van a obtener debe ser apropiada para el propósito de la investigación, y se debe especificar en el programa antes de que comience el trabajo de campo.

10.2 PATRONES DE MUESTREO

Los patrones de muestreo se basan en la estimación de la distribución de los constituyentes del suelo (sustancias químicas en la mayoría de los casos) en un área, o en el tipo de sustancia que entra en contacto con el suelo.

Se pueden identificar cuatro patrones de muestreo principales fijos:

- patrones basados en la estimación no específica de la distribución de sustancias
- patrones basados en la distribución local de la sustancia, y que se conoce como un "punto caliente"
- patrones basados en distribuciones a lo largo de una línea
- patrones basados en distribuciones semejantes a franjas.

Junto con éstos, existen varios patrones (por ejemplo, basados en el depósito de sustancias procedentes del aire, entradas debidas a inundaciones).

Todos los patrones fijos se tienen que ajustar a las condiciones locales y están sujetos a modificación.

En el muestreo agrícola se establece un pequeño número de patrones de muestreo, apropiados para obtener información, por ejemplo, sobre demanda de nutrientes o residuos de pesticidas de áreas relativamente grandes. En el Anexo C se dan algunos patrones posibles (véanse las Figuras C.1.1, C.1.2 y C.1.3). En la NTC 4113-4 se incluye información adicional. Sin embargo, se debe destacar que la mayoría de los patrones de muestreo de rejilla no son muy eficientes durante la temporada de cultivo, y difícilmente son aplicables.

La investigación de sitios contaminados, que puede tener consecuencias considerables en lo económico y para la salud, generalmente requiere una selección y aplicación de patrones de muestreo mucho más detallada, para dar puntos de muestreo calculados, estimados o seleccionados al azar en una figura de 1, 2 ó 3 dimensiones. La selección del patrón debe ser el resultado de la investigación preliminar de un sitio, más que de una decisión "ad-hoc" tomada en el campo.

Algunas investigaciones se efectúan sin planes de patrón predeterminado. Esto no se debe confundir con la aplicación de distribución de puntos de muestreo al azar, porque una persona generalmente no puede distribuir puntos de muestreo al azar sin preparación, es decir, sin tener la seguridad de que en cada punto del área, independientemente de la posición de los otros puntos de muestreo, existe la misma probabilidad de obtener una muestra. El muestreo sin un plan patrón predeterminado (muestreo "ad hoc") le da a la pericia individual de la persona que obtiene la muestra, una importancia decisiva. Así pues, el muestreo es afectado por diversos factores que pueden falsificar los resultados, por ejemplo, tomar muestras apenas en sitios fácilmente accesibles, o tomar muestras en donde el suelo esté evidentemente flojo. El personal menos experimentado o las personas muy familiarizadas con la localización, tienden a seleccionar localizaciones en donde se pueden esperar valores muy altos o muy bajos. De este modo, las muestras obtenidas no dan una visión representativa del área, más bien permiten identificar puntos individuales que se pueden correlacionar con valores medidos específicos si se elaboró un buen informe de muestreo.

Tampoco se debe confundir con la aplicación de planes de muestreo para verificar hipótesis especiales que, con respecto al problema, deben ser desarrollados y justificados por el investigador (muestreo para juzgar).

En el Anexo C se dan ejemplos de varios patrones de muestreo aplicados comúnmente, que cumplen diferentes requisitos estadísticos (véanse las Figuras C.5 a la C.9). La experiencia (y las consideraciones teóricas) demuestran que en muchos casos el muestreo sistemático en una rejilla regular es práctico y proporciona una imagen suficientemente detallada de las variaciones en las propiedades del suelo que se deben establecer. El número de puntos de muestreo se puede incrementar fácilmente (por ejemplo, en áreas que ameriten una investigación más detallada), la rejilla es fácil de marcar en el sitio y los puntos de muestreo generalmente se reubican fácilmente. El muestreo sistemático se puede complementar con muestreo para juzgar, en los casos en que sea apropiado. En la norma ISO 10381-5 se dan ejemplos de aplicación de patrones para el muestreo de sitios contaminados.

Para la selección de patrones de muestreo, véase la Figura C.9 que aparece en el Anexo C.

10.3 IDENTIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE MUESTREO

Cuando se toman muestras compuestas para propósitos de agricultura, generalmente no es necesario identificar puntos de muestreo. En los casos en que se tomen muestras en puntos predefinidos, es importante su localización e identificación exactas por tres razones principales:

- permitir visitas adicionales a las localizaciones reales de muestreo, si es necesario.
- permitir la representación exacta de los datos en relación con las características del sitio, de tal modo que se pueda planificar adecuadamente cualquier tratamiento necesario (por ejemplo, adiciones de nutrientes o eliminación de contaminación).
- permitir el almacenamiento y el procesamiento de los datos en computador (por ejemplo, para estudios de modelado, elaboración de mapas, en sistemas de información geográfica).

Además, es recomendable elaborar un mapa en forma de boceto en el cual se presente toda la información pertinente sobre la localización del muestreo. Tanto los mapas como las fotografías deben incluir una escala y un indicador de dirección.

Para la interpretación de los datos, especialmente en sitios industriales abandonados, etc., es importante tener información detallada sobre los niveles de la superficie en las localizaciones del muestreo.

Las localizaciones del muestreo se deben determinar con un grado apropiado de exactitud, pues ocasionalmente puede ser necesario variar la localización actual, alejándola de la ubicación predeterminada, debido a la presencia de obstrucciones, etc. Por esto puede ser preferible realizar la revisión exacta de las localizaciones del muestreo una vez que se termina el ejercicio del muestreo o a medida que avanza.

Cuando se investiguen sitios industriales abandonados, basureros u otros sitios potencialmente contaminados, se debe registrar la localización horizontal y vertical de los puntos de muestreo o de los puntos de sondeo.

Antes de que el muestreo comience se debe marcar la localización de los puntos de dicho muestreo, etc, usando para ello pértigas/marcadores o atomizadores de color. Pero, si se tienen que tomar muestras del aire del suelo, no se deben usar esos atomizadores de color.

10.4 PREPARACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO

Dependiendo del objetivo de la investigación, en la etapa de diseño se selecciona un patrón de muestreo (véase el numeral 10.2) que después se aplica en el campo. Los patrones varían desde el establecimiento de puntos de muestreo sencillos hasta patrones muy complejos desarrollados con la ayuda de estadística aplicada en computador. La preparación para el muestreo, por ejemplo, localización de los puntos de muestreo deseados en el terreno, puede entonces ser muy dispendiosa y larga si se deben obtener muestras mediante técnicas de perforación o en calicatas.

La preparación del sitio incluye, por ejemplo: eliminación de depósitos superficiales (como depósitos no controlados de desechos urbanos), establecimiento de medidas de seguridad, instalación de dispositivos de medición si junto con el muestreo se efectúan ensayos de campo, localización exacta de los puntos de muestreo. En muchos casos, la preparación del sitio toma más tiempo que los procedimientos reales de muestreo.

Durante el muestreo y cuando éste se termine se deben tomar todas las medidas de seguridad necesarias para evitar riesgos para la salud y la seguridad de cualquier persona que ingrese al sitio, o para el medio ambiente.

10.5 BARRERAS PARA EL MUESTREO

Por diversas razones (por ejemplo, árboles, grandes rocas, construcciones, cimientos o instalaciones enterradas de servicios, dificultades de acceso) en ocasiones puede que no sea posible tomar las muestras en una localización planificada; por esto se deben hacer anticipadamente planes para tratar esas situaciones. La acción que se debe tomar depende de las circunstancias. El investigador puede decidir pasar por alto el punto, o seguir reglas predeterminadas para elegir la sustitución por una localización cercana (por ejemplo, una posición alternativa dentro del 10 % del espacio de la rejilla o muestreo pareado a lo largo de líneas de la rejilla, en cualquier lado de la obstrucción). Las decisiones "Ad hoc" tomadas en el campo a medida que surjan las dificultades puede dar lugar a sesgo. Cuando se marque el sitio se debe procurar identificar tales obstrucciones previamente al trabajo real de campo.

En todos los casos en que se tenga que reubicar un punto de muestreo, en el informe se debe indicar claramente ese hecho y las razones de la reubicación.

10.6 SELECCIÓN DE EQUIPO APROPIADO PARA OBTENER MUESTRAS

La selección del equipo de muestreo apropiado depende del objetivo del muestreo, y se debe hacer después de un análisis por parte del analista o del científico responsable de la determinación posterior. En la NTC 4113-2 se da orientación sobre equipo usado comúnmente para el muestreo del suelo y del material relacionado.

En el objeto de cada una de las partes 4, 6 de la NTC 4113 y la ISO 10381-5, se describen las necesidades en relación con propósitos específicos.

10.7 PROFUNDIDAD DEL MUESTREO

No se puede dar una recomendación general sobre las profundidades a las que se deben tomar las muestras o sobre las profundidades finales hasta las que se deben extender las canteras de prueba o las perforaciones o barrenados. Esto depende de los objetivos y puede estar sujeto a cambio durante un programa de muestreo. En la investigación del suelo con respecto a las características químicas se pueden distinguir dos situaciones generales:

- La investigación de suelos agrícolas y cuasinaturales similares, en donde se requiere información principalmente sobre el suelo superior u horizonte arado o zona arable pero a menudo sobre un área amplia, es decir una situación de análisis bidimensional.
- La investigación de sitios de los que se sabe o se sospecha que están contaminados, y se requiere información desde horizontes más profundos, a veces hasta una profundidad de varias decenas de metros. El alcance del área suele ser más bien pequeño en comparación con los sitios agrícolas, es decir, una situación de análisis tridimensional. En el Anexo D se suministra una tabla guía sobre profundidades de muestreo.

En los así llamados "sitios de suelo monitoreado permanentemente" se efectúa una mezcla de estas dos situaciones, lo cual representa áreas más grandes de desarrollo de suelo homogéneo y en la mayoría de los casos se establecen para monitorear los efectos ambientales hasta el perfil completo durante una escala de tiempo larga.

Se debe hacer una descripción precisa de todas las capas u horizontes de suelo que se encuentren durante el ejercicio de muestreo, y esto se debe incluir en el informe (véase el numeral 11).

Si se van a tomar muestras de un perfil, se debe tener cuidado de tomar muestras de cada estrato u horizonte que interese y de que no se mezclen las capas u horizontes diferentes. En general, de los sitios contaminados se deben tomar muestras horizonte por horizonte, salvo que el cliente lo estipule de otro modo.

Cuando se usen calicatas, puede ser apropiado tomar muestras de más de un lado de esta excavación.

Un programa de muestreo relacionado con la profundidad se basa en varias convenciones, dependiendo del proyecto. No es tan representativo con respecto al suelo, como puede serlo un programa de muestreo con respecto a horizontes. Se debe especificar cuidadosamente el modo de tomar las muestras de cada profundidad, por ejemplo el alcance máximo de la profundidad (generalmente no más de 100 m) y cómo se deben tratar las variaciones horizontales.

Se debe registrar la profundidad total alcanzada, el espesor de los horizontes y las capas penetrados y la profundidad a la cual se han obtenido las muestras. Todos los datos se deben registrar en m por debajo de la superficie. La profundidad del suelo se debe medir desde la superficie del terreno, registrando en forma separada el espesor de la horizonte de humus esparcido (hojarasca descompuesta).

Las regiones montañosas o las áreas de terreno quebrado con pendientes pronunciadas requieren una consideración especial. Para las pendientes de 10° y más, las longitudes verticales de perforación se deben extender de acuerdo con la regla del coseno para mantener constantes los

espesores paralelos a las pendientes de las horizontes del suelo. El factor de extensión es $1/\cos$ de la pendiente. Sin corrección, por ejemplo, el error resulta ser 2 % en una pendiente de $11,5^\circ$.

10.8 TIEMPO DE MUESTREO

En algunas circunstancias, puede ser necesario restringir el muestreo a períodos específicos del año. Por ejemplo, es posible que la característica o sustancia que se va a determinar sea afectada por factores estacionales o actividades humanas (el clima, el acondicionamiento - fertilización del suelo, el uso de pesticidas o herbicidas); esto se debe tener en cuenta en el diseño de un programa de muestreo. Esto es particularmente importante en el caso en que el monitoreo dure varios meses o años o se continúe periódicamente. Por lo tanto, requiere condiciones similares cada vez que se efectúe el muestreo.

10.9 CANTIDAD DE LA MUESTRA

La cantidad de la muestra para la determinación de los parámetros químicos del suelo debe suministrar suficiente material para los duplicados, el submuestreo, la homogeneización y el análisis. La cantidad de la muestra debe presentar, hasta donde sea posible, una sección transversal característica del suelo en la localización del muestreo.

Para los análisis químicos se deben obtener al menos 500 g de suelo fino como muestra tomada. Esta cifra se aplica tanto a muestras sencillas como a muestras compuestas, en el último caso después de una homogeneización suficiente. Las muestras obtenidas para que sirvan como material de referencia o para ser almacenadas en un banco de especímenes de suelo, deben ser de tamaño mayor, generalmente mayores de 2 000 g.

En caso que el muestreo de suelo implique la separación de material que esté en tamaños muy grandes, mayor de 2 mm (es decir, granos de mineral, arena, guijarros y todos los otros materiales), debido a granulado muy áspero o condiciones de suelo heterogéneo, el material retirado se debe pesar, registrar y describir para que sea posible suministrar resultados analíticos con referencia a la composición de la muestra original. Estos procedimientos se deben efectuar de acuerdo con la norma ISO 11464.

Esta norma no especifica las cantidades de muestra que se usen para la determinación de los parámetros físicos del suelo. Los detalles se dan en los métodos respectivos. En particular, la determinación de la distribución del tamaño de partícula puede requerir una masa muy grande de material de suelo. La masa real requerida depende del mayor tamaño de grano que se debe determinar (véase la norma ISO 11277).

La cantidad de muestra de suelo necesaria para las investigaciones biológicas, es altamente dependiente del propósito de la investigación.

10.10 MUESTRAS SENCILLAS EN COMPARACIÓN CON MUESTRAS COMPUESTAS

En caso de que sea necesario determinar la concentración promedio de una sustancia en una capa u horizonte definido, generalmente se requieren muestras compuestas.

En los casos en que se requiere la distribución de una sustancia en un área definida o con profundidad, se requieren muestras sencillas.

La mayoría de directrices sobre muestreo para investigaciones agrícolas o similares, recomiendan la obtención de muestras compuestas, mediante la toma de cierto número de submuestras (de acuerdo con la NTC 4113-4 se deben obtener al menos 25 submuestras) y combinarlos para formar una muestra compuesta. En el numeral 10.2 se da información adicional.

Cuando se preparen muestras compuestas se deben tomar en consideración los requisitos analíticos. Por ejemplo, nunca se deben usar muestras compuestas si se necesita determinar compuestos volátiles.

10.11 PRESERVACIÓN, MANEJO Y ENVASADO, ROTULADO Y TRANSPORTE DE LAS MUESTRAS DE SUELO

10.11.1 Consideraciones generales

Las muestras de suelos y los materiales relacionados son susceptibles de sufrir cambios en grados diferentes como resultado de reacciones físicas, químicas o biológicas que pueden tener lugar entre el tiempo del muestreo y el análisis. Esto es especialmente cierto en relación con los suelos contaminados por constituyentes volátiles.

Las causas de las variaciones son numerosas y pueden incluir:

- cambios de ciertos constituyentes debido a las actividades de organismos vivientes en el suelo
- oxidación de ciertos compuestos debido al oxígeno atmosférico
- cambios en la naturaleza química de ciertas sustancias debido a cambios de temperatura, presión e higroscopicidad (por ejemplo, pérdida en la fase de vapor)
- modificación del pH, conductividad eléctrica, contenido de dióxido de carbono, etc. mediante la absorción de dióxido de carbono del aire
- adsorción irreversible sobre la superficie de los contenedores de metales en solución o en un estado coloidal, o ciertos compuestos orgánicos.
- polimerización o despolimerización.

El grado de estas reacciones es una función de la naturaleza química y biológica de la muestra, su temperatura, su exposición a la luz, la naturaleza del recipiente en el cual se coloque, el tiempo entre el muestreo y el análisis, las condiciones (por ejemplo, reposo o agitación durante el transporte) a las cuales se someta, las condiciones estacionales, etc.

Además, se debe destacar que estas variaciones son a menudo suficientemente rápidas como para modificar la muestra considerablemente en el término de varias horas. Por tanto, en todos los casos es esencial tomar las precauciones necesarias para minimizar estas reacciones, y en el caso de muchos parámetros, analizar la muestra con un mínimo de retraso.

10.11.2 Preservación

En relación con el muestreo de suelos, no es una práctica común agregar preservativos químicos o agentes estabilizadores. Esto se debe a que para un gran número de determinaciones diferentes, generalmente se usa una muestra de suelo sencilla y, además, se tiene que someter a preparación (secado, molienda etc.) durante la cual pueden ocurrir reacciones no deseadas y no cuantificables en los conservantes.

Si, en casos especiales, es necesario preservar muestras se debe elegir un método que no introduzca contaminación inaceptable.

En términos amplios, la estabilidad de las muestras se puede considerar tres clases:

- 1) Muestras en las cuales el (los) contaminante(s) es (son) estable(s).
- 2) Muestras en las cuales el (los) contaminante(s) es (son) inestable(s), pero en las que se puede lograr la estabilidad mediante un método de preservación.
- 3) Muestras en las cuales el (los) contaminante(s) es (son) inestable(s) y no se puede lograr la estabilidad fácilmente.

Para aquellos contaminantes que son inestables, la pérdida o el cambio (químico o biológico) del contaminante se debe minimizar bien sea preservando el contaminante, por ejemplo, con congelamiento o adición de un agente estabilizador, o haciendo que el análisis se realice inmediatamente o con prontitud después del muestreo. Es efectivo el uso de nitrógeno líquido para el congelamiento profundo inmediato de las muestras de suelo en la fase de vapor; se recomienda utilizar recipientes hechos de acero inoxidable (no usar recipientes con placa de cromo o níquel). Algunos contaminantes no se estabilizan fácilmente de una manera compatible con el análisis posterior. Los solventes volátiles están en esta categoría y algunos de ellos pueden comenzar a volatilizarse tan pronto como el suelo sea expuesto debido al muestreo. Para minimizar esa pérdida se necesita un procedimiento de muestreo especial.

Aunque se han efectuado numerosas investigaciones con el propósito de recomendar métodos que permitan almacenar las muestras de suelo sin que se modifique su composición, es imposible dar reglas absolutas que cubran todos los casos y todas las situaciones y que no tengan excepciones.

En cada caso, el método de almacenamiento debe ser compatible con las técnicas analíticas que se vayan a usar, y debe ser discutido con el laboratorio analítico.

10.11.3 Uso de recipientes apropiados

La selección y la preparación de recipientes puede ser de gran importancia. Los problemas que se encuentran con más frecuencia son:

- adsorción sobre las paredes de los recipientes;
- limpieza a medias que ocasione contaminación del recipiente antes del muestreo
- contaminación de la muestra debido al material del cual esté elaborado el recipiente
- reacción entre los constituyentes de la muestra y el recipiente.

El propósito del recipiente es proteger la muestra con respecto a las pérdidas debidas a la adsorción, volatilización o relativas a la contaminación por sustancias extrañas.

Al seleccionar el recipiente que se va a utilizar para recoger y almacenar la muestra, se deben tomar en consideración otros factores, entre ellos los siguientes:

- resistencia a las temperaturas extremas

- resistencia a la rotura
- estanqueidad con respecto a agua y gas
- facilidad de reapertura
- tamaño, forma y masa
- disponibilidad
- potencial para la limpieza y la reutilización.

La limpieza del recipiente de la muestra es una parte muy importante de cualquier programa para muestreo/análisis. Se pueden distinguir dos situaciones básicas:

- limpieza de los nuevos recipientes para eliminar el polvo y el material de empaque
- limpieza de los recipientes usados, antes de la reutilización.

El tipo de limpiadores usados depende de la clase del material del recipiente y de los constituyentes que se vayan a analizar. Al seleccionar los ácidos u otros agentes de limpieza se debe tener la seguridad de que no ocasionen contaminación de los recipientes, con relación a los constituyentes que se vayan a analizar y, más aún, que no haya peligro para el medio ambiente o para la salud.

Los recipientes usados para investigaciones en sitios contaminados no se deben usar de nuevo, porque los recipientes de limpieza de suelos que contengan sustancias desconocidas pueden ocasionar riesgos para la salud.

La determinación de los constituyentes orgánicos puede requerir procedimientos de secado o enfriamiento en condiciones controladas cuidadosamente para evitar la contaminación microbiana. Siempre que se deban efectuar determinaciones biológicas o microbiológicas se requiere esterilización.

En las normas NTC 4113-4, 6 y la ISO 10381-5, se dan instrucciones especiales. En la NTC 4113-2 se suministra información sobre la aplicabilidad de diferentes materiales de recipientes en relación con las sustancias que se deban determinar.

10.11.4 Transporte y almacenamiento

Los recipientes que contengan muestras deben estar protegidos y sellados de manera que las muestras no se deterioren, ni pierdan alguna parte de su contenido durante el transporte. El embalaje debe proteger los recipientes de posible contaminación externa, particularmente cerca de la apertura y, en sí mismo, no debe ser una fuente de contaminación.

En la mayoría de los procedimientos usados en los análisis químicos del suelo se recomienda que las muestras se lleven al laboratorio inmediatamente después del muestreo, pero en algunos casos se concede un margen de tiempo dentro del cual la muestra debe llegar al laboratorio.

Durante el transporte y el almacenamiento las muestras se deben mantener en frío y en la oscuridad.

Con el propósito de incrementar el período disponible para el transporte y el almacenamiento, se pueden usar procedimientos de enfriamiento o congelación, pero sólo se deben usar previa consulta con el laboratorio analítico. La congelación, especialmente, requiere control detallado del proceso de congelación y deshielo para retornar la muestra a su equilibrio inicial después del deshielo.

Los constituyentes del suelo sensibles a la luz requieren almacenamiento en la oscuridad o, al menos, en recipientes que absorban la luz.

Las muestras de suelo no disturbado se deben transportar evitando la vibración u otro daño, con el fin de mantener la estructura original.

Las muestras de suelo disturbado, y especialmente las de suelos muy secos no cohesivos, tienden a separarse en fracciones de partículas diferentes durante el transporte. En tales casos, el material del suelo debe ser rehomogenizado antes del tratamiento previo adicional y el análisis.

Se debe observar cualquier regulación nacional con respecto al embalaje y al transporte de materiales peligrosos.

10.11.5 Rotulado

Una vez que se obtiene una muestra se debe marcar en forma clara e inequívoca. Normalmente, una muestra contenida en un recipiente debe tener una etiqueta en la cual aparezca toda la información requerida. Esto se puede hacer, por ejemplo, usando etiquetas adhesivas, escribiendo la información directamente sobre el recipiente, o poniendo la etiqueta dentro del recipiente que contiene la muestra. Si se coloca dentro del recipiente, la etiqueta no se debe afectar por la muestra, pues esto puede causar pérdida de información. Cuando se deban determinar vestigios de componentes orgánicos, no se deben colocar etiquetas dentro del recipiente. Las etiquetas deben tener leyendas cortas y sencillas, para evitar que surjan errores en los números descriptivos.

Se recomienda que al menos el número de la muestra se coloque tanto en el recipiente como en la tapa para evitar confusiones indeseadas entre los recipientes y sus tapas. El número de la muestra no se debe colocar solamente en la tapa.

Es esencial que las etiquetas y las inscripciones sean estables para las condiciones ambientales circundantes. Considerando el área del muestreo, la clase de material de suelo y las condiciones requeridas de almacenamiento y transporte, las etiquetas y las inscripciones deben ser resistentes al calor y al frío, a la radiación solar, a la abrasión, al agua y a las reacciones químicas. La limpieza de etiquetas sucias no debe ocasionar pérdida de información o contaminación de la muestra.

Algunas etiquetas adhesivas y lapiceros marcadores comercialmente disponibles, contienen solventes orgánicos. Aunque la absorción de estas sustancias orgánicas por las partículas del suelo probablemente sea insignificante, esto puede sin embargo originar contaminación en las muestras del aire de suelo.

Antes de despachar las muestras y durante la recepción en el laboratorio, se debe verificar que los números de la muestra en el recipiente y en la tapa se puedan correlacionar con el respectivo informe de la muestra.

10.11.6 Eliminación del material de suelo sobrante

El suelo sobrante que surja directamente de las operaciones de muestreo en el campo (perforación, calicatas) o como tratamiento previo o procedimientos analíticos en el laboratorio, o

resultante de la evacuación de material almacenado y, especialmente, en el caso de evacuación o contaminación esperada, se debe eliminar de forma que se eviten riesgos para la salud humana y para el medio ambiente, de acuerdo con la legislación pertinente del país.

En la NTC 4113-3 se da información adicional.

11. INFORME DE MUESTREO

Antes de que se inicie el muestreo, en un programa de muestreo detallado se debe especificar toda la información que se requiere para cada muestra. Una pro-forma es una manera conveniente de hacer esto.

A continuación, se describe la información mínima que se requiere para un informe de muestreo, independientemente del propósito de la investigación. Dependiendo de los objetivos, esta lista se puede ampliar.

Los caracteres se deben escribir en forma clara usando un color azul o rojo, en lugar de negro, para una identificación más fácil de los datos anotados en un formato en blanco, si se usa. La información del campo se debe presentar en forma clara y legible, porque las hojas de datos no siempre se mecanografían, sino que se presentan al cliente y o se archivan en su forma original. Se recomienda distinguir los dígitos 0, 1 y 2, con respecto a las letras O, I y Z, por ejemplo usando la convención *Rothamsted* para señalar las letras (una barra sobre Ø, un palo sobre I y una línea a través de Z).

Cuando las muestras se requieren para propósitos legales, son particularmente importantes los formularios en cadena de custodia. La cadena de custodia controla la posesión de la muestra desde su origen hasta el análisis de los datos. Estas clases de muestras no se deben dejar sin vigilancia por cualquier razón, para evitar la posibilidad de que se rompa la cadena de custodia.

El personal que trabaja en el proyecto debe poder consultar el informe del muestreo en cualquier etapa del tratamiento previo, del análisis y de la evaluación.

Los elementos del conjunto de datos mínimo requerido para cada muestra son:

- datos del título (véase el numeral 11.1)
- datos del sitio (véase el numeral 11.2)
- procedimiento de muestreo (véase el numeral 11.3)
- transporte y almacenamiento (véase el numeral 11.4).

11.1 DATOS DEL TÍTULO

Una muestra y su localización de muestreo se deben identificar de manera inequívoca en una identificación de muestra. Esta identificación puede ser en números o en letras o en ambas cosas. En caso de que los datos obtenidos de una muestra se destinen a almacenamiento a largo plazo en bancos de datos, se recomienda utilizar el mismo número de la muestra durante todo el muestreo, y los procedimientos analíticos y de evaluación. Por tanto, resulta ventajoso incluir coordenadas x y y de la localización de la muestra (por ejemplo, sistemas cartesianos convencionales o Mercator Transversal Universal (UTM) en el número de la muestra para una referencia rápida (véase también el numeral 10.3).

El cambiar los números de las muestras durante los diversos pasos de la investigación presenta un riesgo de falsa transferencia en los datos y la posibilidad de complicar la identificación de la localización original del muestreo.

La formulación de la fecha del muestreo es muy importante. Se recomienda registrar las fechas en el siguiente orden:

año: mes: día [hora: minuto: segundo], por ejemplo, 99-12-31 ó 1999-12-31 (excepción: por ejemplo, 31 de diciembre de 1999).

11.2 DATOS DEL SITIO

La información acerca del sitio que se agregue a cada muestra se debe reducir a un mínimo. Eso se debe dejar para la descripción del sitio, que debe ser parte del informe sobre toda la investigación.

Los datos del sitio deben constar de las coordenadas del mismo (véase también el numeral 11.1) y palabras clave acerca de la utilización en el momento del muestreo. Se recomienda seguir la norma ISO 11259 o que se especifique cualquier otra publicación clave destinada a tal efecto.

11.3 PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Para beneficio de los analistas y/o intérpretes, se deben registrar los detalles del procedimiento de muestreo porque pueden afectar a los resultados de la determinación. Se debe estipular claramente si la muestra se obtuvo en una calicata, en exposición natural, o mediante perforación/barrenado (dado por el diámetro interno del barreno, en mm).

La clase de muestreo se debe describir designando la profundidad del muestreo bien sea por debajo o por encima del horizonte del suelo mineral, y especificando en detalle:

- el límite superior e inferior del horizonte del cual se tomó la muestra, en m ó mm
- el límite superior e inferior de la profundidad del muestreo dentro de un horizonte
- si se ha obtenido una muestra sencilla o una muestra compuesta; y el número de incrementos y el área para la cual debe ser representativo el valor que se va a medir
- si la muestra se ha obtenido en dirección horizontal o vertical en relación con la posición del horizonte
- las herramientas usadas para obtener la muestra, es decir, cilindro de corte de núcleo (incluyendo el material, el diámetro y la altura, en mm, o el volumen, en cm³), o marco de muestreo (incluyendo el material, las dimensiones, en mm, ó el área, en mm²). Así mismo, se debe estipular el número de muestras paralelas que constituyen una muestra compuesta, si es pertinente
- si la muestra se relaciona con el volumen o con la masa.

11.4 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Se debe indicar el material del recipiente, por ejemplo, vidrio, acero inoxidable, polietileno, otro material plástico, etc.

Se deben informar las condiciones del transporte, indicando si la muestra se enfrió, congeló o se transportó sin enfriamiento. Además, se debe informar el período de transporte (horas/días).

12. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA, EL PERFIL Y EL SITIO

Las descripciones detalladas de los suelos, los perfiles y los sitios son dispendiosas y, por tanto, se debe aclarar si se deben efectuar para cada muestra individual o para cierto número de muestras. Esto depende en gran medida de la variabilidad local del suelo, la densidad de los puntos de muestreo, y la escala del patrón de muestreo. Por ejemplo, en mapeo de suelos es un procedimiento estándar considerar estos aspectos particularmente cuando los suelos se describen en detalle.

12.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA Y DEL PERFIL

Hay varias maneras de describir una muestra, sea una muestra individual o una parte de un perfil. Si se requiere tal descripción esto se debe estipular claramente en la definición de los objetivos y, si es posible, se debe agregar una observación sobre documentación clave publicada, en caso de que no se disponga de una norma internacional armonizada.

Generalmente las descripciones de una muestra y del perfil para los individuos o cuerpos del suelo natural incluyen aspectos tales como el tipo de suelo, el grupo de suelo, el tipo de roca, el espesor de las horizontes y las capas, el color, el olor, el contenido de humus o materia orgánica (estimado), el contenido de carbonato (estimado), los contenidos de hierro y sesquióxidos (estimados), la humedad, la densidad, la textura del suelo y otros, según como lo especifique el cliente.

La descripción de los suelos antrópicos, hechos por el hombre o afectados por éste, requiere experiencia de campo en mapeo de áreas urbanas (véase el Anexo E).

12.2 DESCRIPCIÓN DEL SITIO

En algunos casos se requiere una descripción muy detallada del sitio, que incluye: el clima, las condiciones atmosféricas, el relieve de la superficie, el paisaje, las características de la erosión, la exposición, la pendiente, el régimen de aguas subterráneas, las medidas de mejoramiento, la vegetación, el uso actual y el uso histórico de la tierra en las cercanías, las fuentes de contaminación, y otras si el cliente lo especifica.

A menudo es suficiente una descripción más restringida.

13. INTERPRETACIÓN EQUIVOCADA DE LAS PERFORACIONES

Las investigaciones preliminares (fase I y fase II) según se describen en el numeral 6, deben suministrar tanto detalle como sea posible sobre las condiciones esperadas en el sitio y, por tanto, deben servir como orientación en el diseño y la ejecución del programa de muestreo. Sin embargo, no pueden proteger totalmente contra el peligro de interpretación equivocada de los resultados de las perforaciones, y esto se debe tener en cuenta al seleccionar los puntos de muestreo.

Como algunos ejemplos de posibles malas interpretaciones se pueden mencionar:

- horizontes o capas de suelo muy delgados que no se reconocen en una muestra de núcleo, a veces debido a manchas en los contactos con la pared del suelo;

- correlación errónea de horizontes en diferentes perfiles de suelo de la misma área
- anomalías en el suelo "omitidas" por las perforaciones, por ejemplo, cimientos de construcciones, sitios de desechos, barreras, tanques
- indicación errónea del límite superior del horizonte rocoso debido a que se encuentran fragmentos de rocas
- indicación errónea del límite superior del horizonte rocoso debido a que se "golpean" los soportes de un canal
- no detectar la secuencia natural de las horizontes/capas debido a formación casi vertical de horizontes (ocurre especialmente en material geológico y en rellenos y desechos cuando hay "extremo en punta").

Ciertos métodos geofísicos pueden dar información útil que puede ayudar a evitar esas malas interpretaciones. Los méritos de usar tales métodos dependen de los objetivos del estudio y de diversos factores relacionados con el sitio específico.

14. CONTROL DE LA CALIDAD, ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y OPERACIÓN Y ENSAYOS DE LOS LABORATORIOS

El muestreo se hace por diversas razones y con diversos objetivos, por lo cual no puede haber de procedimientos de control de calidad y de aseguramiento de calidad que puedan ser seguidos por las diversas organizaciones que ofrecen servicios de muestreo en todas las circunstancias. En consecuencia, es más difícil establecer principios para los ensayos de proficiencia que para los procedimientos analíticos del suelo. Sin embargo, se recomienda que hasta donde sea posible se sigan las directrices estipuladas en la norma ISO 9000. Las organizaciones que ofrecen servicios analíticos deben seguir los requisitos que se establecen en las normas NTC 3001, NTC 3005, NTC 3006, NTC 3110 (EN 45001, EN 45002, EN 45003, EN 45011, respectivamente) y NTC-EN 45012.

Anexo A (Informativo)**Fuentes de información adicional**

Las normas internacionales aquí relacionadas contienen detalles que se pueden usar en el marco de esta norma.

A.1 MUESTREO DE AGUA

NTC-ISO 5667-2, suministra orientación sobre técnicas de muestreo con especial mención del equipo adecuado para obtener y contener muestras que incluyen formas biológicas.

NTC-ISO 5667-3, suministra orientación sobre métodos de preservación y manejo de muestras de agua, e incluye una tabla que contiene diferentes agentes de preservación en relación con el parámetro que se vaya a estudiar.

NTC-ISO 5667-4, suministra orientación sobre técnicas para obtener muestras de agua procedentes de lagos, excluyendo muestreo para exámenes microbiológicos

NTC-ISO 5667-6, suministra orientación para tomar muestras de agua procedentes de ríos y arroyos, pero no se aplica a aguas de estuarios o de costas, y es de limitada aplicabilidad para el muestreo de canales y otras aguas interiores con regímenes de flujo restringido. Así mismo, la toma de muestras de sedimento y biológicas no son objeto de esta parte de la norma ISO 5667.

NTC-ISO 5667-8, suministra orientación sobre técnicas de muestreo para recoger depósitos húmedos, es decir, agua precipitada de la atmósfera como lluvia y nieve/hielo. Esto excluye (por razones técnicas) niebla, bruma, rocío y aguas de nubes. Esta parte se puede usar para obtener información pertinente durante la investigación preliminar y para la descripción del sitio.

NTC-ISO 5667-9, suministra orientación sobre técnicas para tomar muestras de agua procedentes de aguas marinas, tales como aguas de mareas (estuarios, entradas de mareas), región costera y el mar abierto. No se aplica en la recolección de muestras para exámenes biológicos y microbiológicos o para la recolección de sedimentos.

NTC-ISO 5667-10, suministra orientación sobre el muestreo de aguas residuales. Esto puede ser de interés en casos en que los conductos de aguas residuales hagan pensar que son un posible peligro para el suelo y para el agua subterránea, en caso de exfiltración.

NTC-ISO 5667-11, suministra orientación sobre el muestreo para el control general de la calidad de las aguas subterráneas, pero no sobre el control operacional cotidiano de las extracciones de dichas aguas subterráneas.

A.2 MUESTREO DE LODO Y SEDIMENTO

La norma ISO 5667-12 suministra orientación y es aplicable para el muestreo de materiales sedimentarios en arroyos de arena de ríos interiores, lagos y masas estancadas similares y áreas de estuarios y fondeaderos, es decir, sedimentos subacuáticos, incluyendo información sobre equipo, técnicas y medidas de preservación adecuadas. Se excluyen específicamente los lodos industriales y de trabajos residuales junto con sedimentos de océanos abiertos, aunque algunas de las técnicas se pueden aplicar a estas situaciones. No está dentro del objeto de esta norma el muestreo para las mediciones de velocidades de depósito.

La norma ISO 5667-13 suministra orientación sobre el muestreo de lodos, por ejemplo lodos residuales, incluyendo información sobre equipo, técnicas y medidas de preservación adecuadas.

A.3 MUESTREO DE MATERIAL DE VACIADEROS RESIDUALES, DEPÓSITOS RESIDUALES CUBIERTOS Y ACUMULACIONES HETEROGÉNEAS SIMILARES

Aunque estas situaciones son comparablemente corrientes en la investigación de suelo en sitios contaminados, no existe una norma armonizada para afrontar los problemas relacionados. Con respecto a las definiciones presentes, los depósitos residuales, etc. también se consideran como suelos o materiales similares al suelo a la luz de la protección del suelo. Actualmente, esta norma no se aplica directamente al muestreo de estos materiales, pero al diseñar un programa de muestreo se recomienda seguir la idea general de esta norma. En el ámbito del conocimiento actual es casi imposible tomar muestras de estas acumulaciones en una forma que permita obtener muestras estadísticamente representativas.

Al presente, los usuarios de esta norma deben referirse a las normas y directrices nacionales [se refiere a E.U.A.] si existen.⁶

A.4 MUESTREO DE AIRE DE SUELO

En la actualidad no existe ni está en preparación una norma internacional o una directriz internacional similar sobre muestreo de aire de suelo, aunque se ha elaborado una propuesta. Por tanto, se recomienda referirse a las normas nacionales, si existen.

A.5 MUESTREO DE DEPÓSITOS SECOS (CAÍDA DE PARTÍCULAS) Y HÚMEDOS

La norma ISO/DP 4222.2 suministra orientación sobre un método para estimar la "caída de polvillo" de depósitos atmosféricos, usando un medidor de depósito horizontal. Esto incluye tanto depósitos secos como húmedos.

Además de esta norma internacional en desarrollo, existen varias normas y directrices nacionales [E.U.A.] que se pueden tomar en consideración, si es necesario.

REFERENCIAS

ISO/CD 4222.2 Ambient Air - Measurement of Particulate Fall-Out - Horizontal Deposit Gauge Method

NTC-ISO 5667-2:1995, Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Guía sobre las técnicas de muestreo.

NTC-ISO 5667-3:1995, Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para la preservación y manejo de muestras.

NTC-ISO 5667-4:1996, Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo en lagos y represas.

⁶ Al momento de preparar esta norma se inició el trabajo en el CEN/TC 292 (Comité Técnico), Caracterización de residuos, incluyendo procedimientos para tomar muestras de materiales residuales. Los usuarios pueden solicitar información sobre el avance actual del trabajo en el CEN/TC 292, a través de los organismos nacionales de normalización, del CEN/CS, Bruselas, o de ISO/CS, Ginebra.

NTC-ISO 5667-6:1996, Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de ríos y corrientes.

NTC-ISO 5667-8:1996, Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de depósitos húmedos.

NTC-ISO 5667-9:1996, Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas marinas.

NTC-ISO 5667-10:1995, Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas residuales.

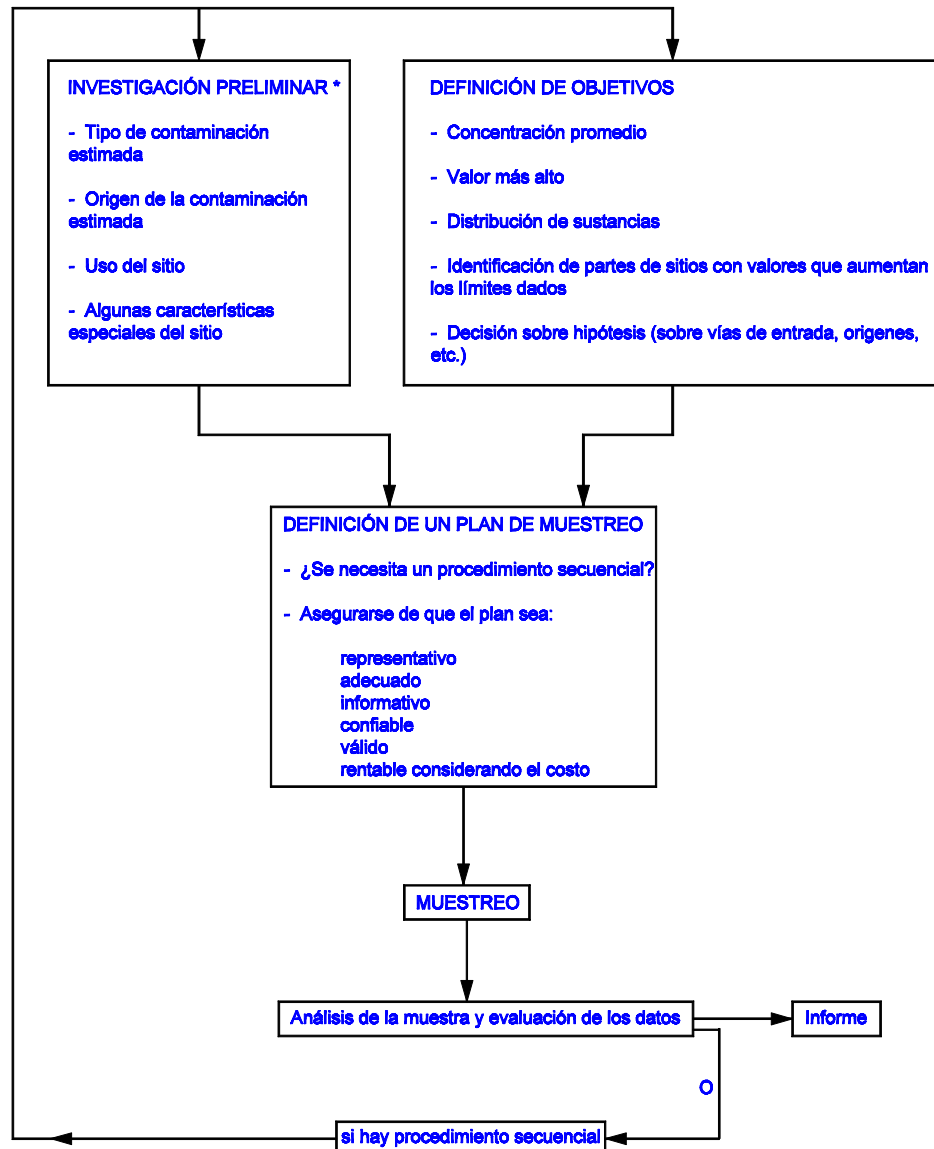
NTC-ISO 5667-11:1996, Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas.

ISO/DIS 5667-12, Water Quality. Sampling. Part 12: Guidance on Sampling Bottom Sediments

ISO/CD 5667-13, Water Quality. Sampling. Part 13: Guidance on Sampling of Sewage, Waterworks and Related Sludges

Anexo B (Informativo)

Procedimiento para la determinación de un plan de muestreo



* Típicamente solo es pertinente para la investigación sobre contaminación

Anexo C (Informativo)

Ejemplos de diferentes patrones de muestreo usados en programas de muestreo de suelos

La mayoría de las propiedades naturales del suelo varía continuamente en espacio y, en consecuencia, los valores en los sitios que están más próximos entre sí tienen mayor tendencia a ser similares que aquéllos que están más alejados. Ellos dependen entre sí en un sentido estadístico. Esta propiedad se conoce como dependencia espacial y sus implicaciones para el muestreo se llevan a cabo mediante métodos de geoestadística, es decir, estadística espacial.

Desde el punto de vista matemático, el valor de una propiedad del suelo en cualquier lugar está en una función de su posición. El único enfoque practicable considera tal propiedad como una variable aleatoria y trata su variación en el espacio estadísticamente. Tales propiedades se conocen como variables regionalizadas. La aplicación de la teoría de la variable regionalizada mediante el desarrollo de variogramas es una herramienta común en geoestadística.

Otro enfoque geoestadístico es el muestreo y el análisis de multietapas o anidado, que también se puede ligar con una teoría de variable regionalizada.

La aplicabilidad de los métodos geoestadísticos no depende de los valores observados en esos sitios, sino de la configuración de los puntos de muestreo en relación con el área o el bloque (si se consideran tres dimensiones) que se va a estimar. Un criterio general en cuanto a la utilidad de un patrón de muestreo debe ser la disminución de la parte del área total relativamente más grande de la cual no se están tomando muestras. En términos de muestreo estadísticamente eficiente una rejilla regular de triángulos equiláteros representa la mejor selección de puntos de muestreo. Para una rejilla con un nodo por unidad de área los puntos de muestreo próximos están separados por una distancia de 1,0746 unidades, y ningún punto está a más de 0,6204 unidades de distancia con respecto a un punto de muestreo. Para propósitos prácticos, los patrones de muestreo se basan en rejillas rectangulares.

Para una rejilla con un nodo por unidad de área, la distancia entre los puntos de muestreo es 0,7071 unidades de distancia, es decir, la mayor facilidad de uso de la rejilla cuadrada es compensada por el área ligeramente mayor del sitio sin toma de muestras.

C.1 PATRONES NO SISTEMÁTICOS (MUESTREO IRREGULAR)

En investigación de tierras agrícolas o de horticultura se usan ampliamente los patrones de muestreo en "N", "S", "W" y "X" (véase la Figura C.1.1). La premisa general consiste en que la distribución de los constituyentes del suelo es relativamente homogénea. Los patrones usados son simplificaciones del método de muestreo aleatorio estratificado (C.5). A lo largo del trazado de tal patrón se toma cierto número de muestras y después se juntan y se mezclan para suministrar una muestra que se destina al análisis. La distribución de puntos de muestreo posiblemente es inadecuada para suministrar la localización de contaminación de puntos, y en cualquier caso, al mezclar estas muestras se perderán los niveles de contaminante elevado. Así pues, en la mayoría de las investigaciones de tierras contaminadas estos patrones posiblemente no sean útiles porque oscurecen altos niveles de contaminación de puntos (o contaminación "local").

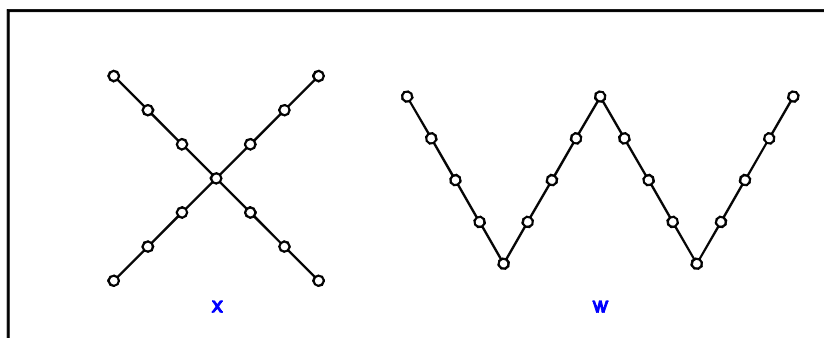


Figura C.1.1 Patrones no sistemáticos

Siempre que haya posibilidad de la existencia de diferencias en el tipo o las condiciones del suelo, en el crecimiento de cosechas, en las especies de plantas, en los cultivos anteriores etc., el sitio se debe subdividir de acuerdo con estas diferencias y entonces se debe tomar una muestra por separado de cada área.

El muestreo a lo largo de una diagonal sencilla de un campo o de una unidad sólo se recomienda en caso de una distribución de contaminantes en forma de franjas en áreas agrícolas, debido a la aplicación de fertilizantes. Aplicando una diagonal para el muestreo se evita el sesgo sistemático por un medio sencillo y eficaz, que surgiría con el muestreo en franjas paralelas. Sin embargo, se debe preferir un mayor número de diagonales. Dos diagonales (en forma de X) introducen un sesgo serio hacia el área central del campo (véase la Figura C.1). Esto se debe tomar en consideración en la evaluación de los resultados de las determinaciones.

La aplicación de patrones diagonales se debe basar en lo siguiente:

- estimación de una distribución uniforme de las sustancias;
- sólo es útil para áreas desarrolladas uniformemente. De las partes que se desvíen del área se deben tomar muestras en forma separada
- se recomienda la aplicación de más de una diagonal (por ejemplo, paralelas o en forma de X)
- la distancia de los puntos de muestreo debe ser igual para cada diagonal, es decir que las diagonales más cortas deben tener menos puntos de muestreo;
- la selección del punto de muestreo es independiente de las características locales. Los puntos se fijan preferiblemente por pasos.

Otra forma de aplicar un patrón no sistemático consiste en atravesar el área en *zig-zag*, en una forma como la que se muestra en la Figura C.1.2.

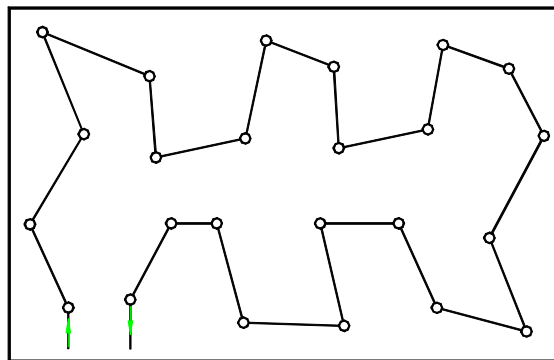


Figura C.1.2. Patrón de muestreo transversal en zig-zag

Para áreas monitoreadas permanentemente se desarrolló una excepción general del "patrón de diagonales sesgadas", para lograr información acerca de los cambios a largo plazo dentro de sitios seleccionados, debido a la influencia humana. El propósito es disponer de muestras procedentes de un área representativa del medio ambiente circundante para un número definido de exámenes que se deben efectuar a lo largo de algunos años.

Se recomienda seguir el siguiente procedimiento (véase la Figura C.1.3)

- 1) Se selecciona un área representativa de aproximadamente 1 000 m².
- 2) Se divide esta área en cuatro cuadrados, cada uno de 250 m².
- 3) Dentro de cada cuadrado se trazan dos diagonales, a lo largo de cada una de las cuales se obtienen nueve muestras (véase la Figura C.1.3).
- 4) Se toman muestras de acuerdo con los requisitos especificados.
- 5) Se preparan las muestras compuestas 1, 2 y 3 mediante,
 - la mezcla de las muestras sencillas de las posiciones 1, 4, 7, 10, 13 y 16 para dar la muestra compuesta 1
 - la mezcla de las muestras sencillas de las posiciones 2, 5, 8, 11, 14 y 17 para dar la muestra compuesta 2
 - la mezcla de las muestras sencillas de las posiciones 3, 6, 9, 12, 15 y 18 para dar la muestra compuesta 3
- 6) El muestreo rotacional del área se puede efectuar mediante,
 - la toma de muestras en las intersecciones de los puntos de muestreo (posiciones 1 a 18 en la Figura C.1.3)
 - la rotación de las diagonales en el sentido de las manecillas del reloj, alrededor del centro del cuadrado en pasos de 22,5° de tal modo que todos se puedan efectuar en las cuatro series de muestreo, en posiciones no disturbadas.

Un área seleccionada y muestreada de acuerdo con el modelo antes mencionado sirve para ocho series de muestreo. Después de la serie final, el área se puede considerar inadecuada para muestreo adicional. La extensión o la reducción de las dimensiones del área de ensayo puede requerir cambios en el número total de muestra y, por tanto, también afecta las muestras compuestas.

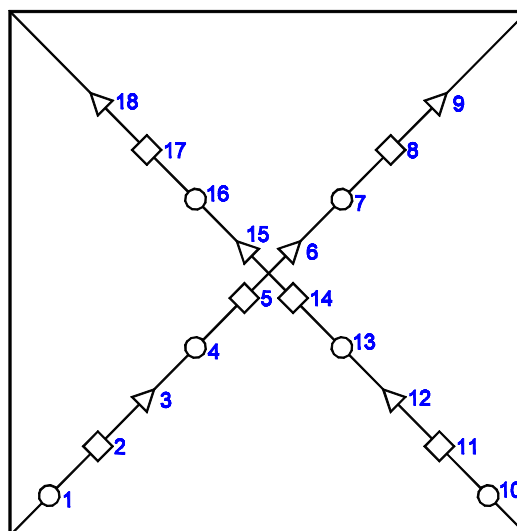


Figura C.1.3 Patrón de diagonales en rotación para áreas monitoreadas permanentemente.

C.2 REJILLAS CIRCULARES

Las rejillas circulares son útiles para delinear contaminaciones locales tales como tanques de almacenamiento, pero también para indicar influencias alrededor de una fuente de emisión regional, por ejemplo precipitación procedente de plantas industriales. El muestreo se efectúa en la sección de círculos concéntricos (cuyos radios dependen del área en la cual se sospecha que hay contaminación) y las líneas de los ocho puntos principales del compás (véase la Figura C.2).

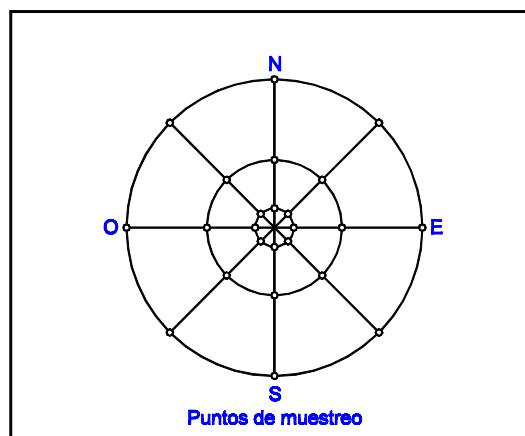


Figura C.2 Rejilla circular

El muestreo basado en rejillas circulares puede dar lugar a varios tipos de información:

- información sobre concentraciones de sustancias en el centro de la rejilla (valores máximos)
- información sobre distribución de contaminación (tamaño de un área en particular con contaminación creciente)
- forma de distribución de la contaminación

Las desventajas de las rejillas circulares son:

- la localización en forma de estrella (radial) de los puntos de muestreo es practicable, pero no es óptima. La rotación de los círculos concéntricos de 22,5° da lugar a una mayor calidad del patrón (véase la Figura C.3).
- La relación entre las densidades de los puntos de muestreo de las ocho muestras usuales próximas al centro y las ocho muestras usuales en una distancia mayor, podría no ser óptima en todos los casos. Si, por ejemplo, se buscan los bordes de distribución de un área contaminada, se deben tomar muestras de los puntos menos centrales, pero tomando más muestras en los márgenes de la rejilla.
- las rejillas circulares puede significar una extensión uniforme de la contaminación en todas las direcciones. Generalmente éste no es el caso. En las modificaciones de la rejilla circular se deben considerar las direcciones preferidas, por ejemplo debido a la dirección principal del viento en caso de contaminantes generados en el aire; por ejemplo un número incrementado de puntos de muestreo en direcciones críticas, extendiendo la distancia del muestreo desde el centro de éstas en direcciones críticas.
- Las rejillas circulares generalmente no se aplican para tomar muestras compuestas, porque los valores medidos en ese caso no dan información ni sobre el promedio ni sobre la concentración máxima del área de la cual se tomaron muestras.

C.3 MUESTREO SISTEMÁTICO (REJILLAS REGULARES)

En muchos casos se selecciona una rejilla regular. Como hay una relación directa entre la distancia óptima del punto de muestreo y la dimensión (estimada) de la contaminación, el espaciamiento entre los puntos de muestreo no debe exceder el mayor alcance (estimado) de la contaminación.

Las dimensiones de la rejilla dependerán de cuánto detalle se requiere. El espaciamiento asignado difiere de acuerdo con el objetivo del muestreo, por ejemplo, recoger muestras de grado de contaminación promedio, localizar fuentes aisladas de contaminación o establecer el alcance de zonas contaminadas (horizontal y vertical). El último es de particular importancia en casos en que se ha localizado una contaminación y se hace necesario un programa de muestreo de seguimiento.

Aunque las rejillas regulares se usan más frecuentemente para la investigación de la contaminación del suelo, también son adecuadas para investigaciones sobre la fertilidad del mismo, etc.

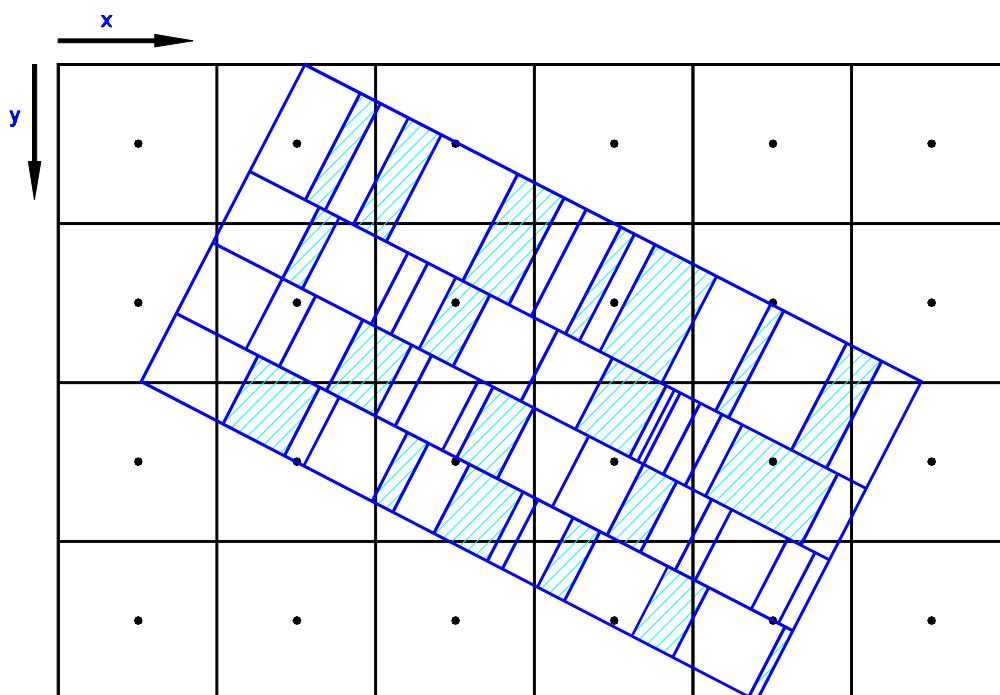


Figura C.3. Distribución regular de puntos de muestreo en una rejilla regular.
Las áreas sombreadas indican contaminación

Una ventaja de la rejilla regular consiste en que puede ser instalada fácilmente y sus dimensiones se pueden variar.

Es fácil la interpolación entre los puntos de muestreo y retornar a la rejilla, y efectuar un muestreo más intenso en áreas localizadas para delinear más las fuentes de contaminación del punto.

También es posible fijar los puntos de muestreo en las intersecciones de las líneas de la rejilla.

C.4 MUESTREO ALEATORIO

En caso de presuntas ocurrencias irregulares de zonas contaminadas, se puede aplicar el muestreo aleatorio. Los puntos de muestreo dentro del área se seleccionan usando números aleatorios; éstos se pueden encontrar en tablas incluidas en manuales de estadística o que pueden generarse mediante programas de computador. Esta técnica tiene la desventaja del cubrimiento irregular y dificulta la interpolación entre los puntos de muestreo (véase la Figura C.4). En general, el muestreo aleatorio también se puede aplicar para investigaciones de fertilidad del suelo, etc. En la práctica, el muestreo aleatorio (en su forma más pura) raramente se usa en los estudios de suelo.

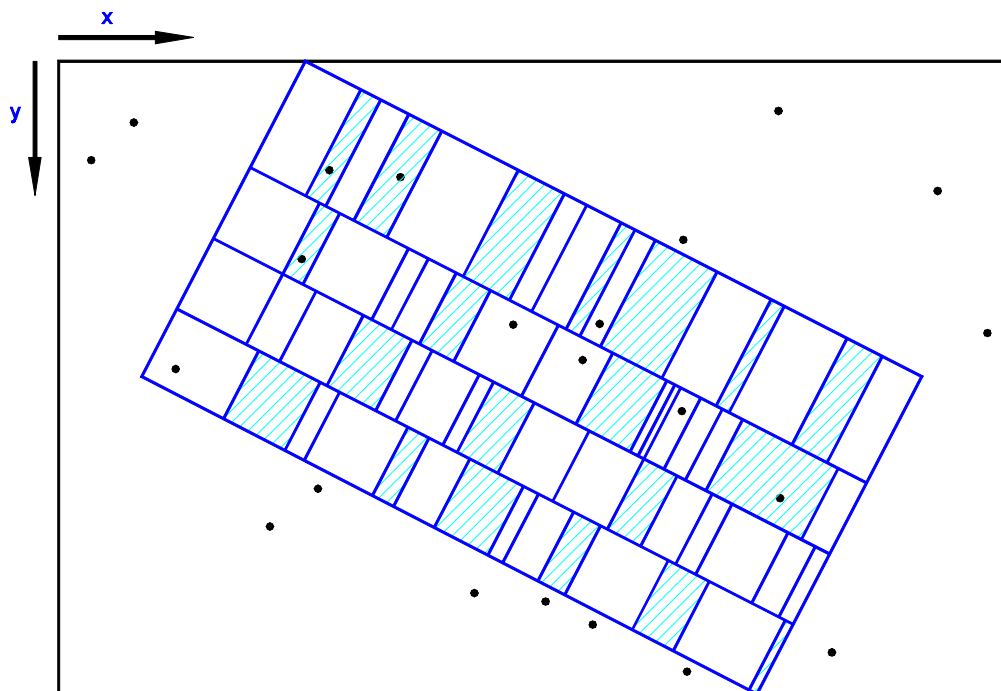


Figura C.4. Muestreo aleatorio sin rejilla

C.5 MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO

Este método evita algunas de las desventajas del muestreo aleatorio. El sitio se divide en varias celdas de rejilla, y en cada celda se elige un número dado de puntos de muestreo distribuidos aleatoriamente (véase la Figura C.5). En general, el muestreo aleatorio estratificado también se puede aplicar en investigaciones de fertilidad del suelo, etc. El método tiene desventajas en términos de interpolación entre los puntos de muestreo.

Es difícil el muestreo adicional del sitio para identificar áreas locales de contaminación basado en las localizaciones de muestreo originales.

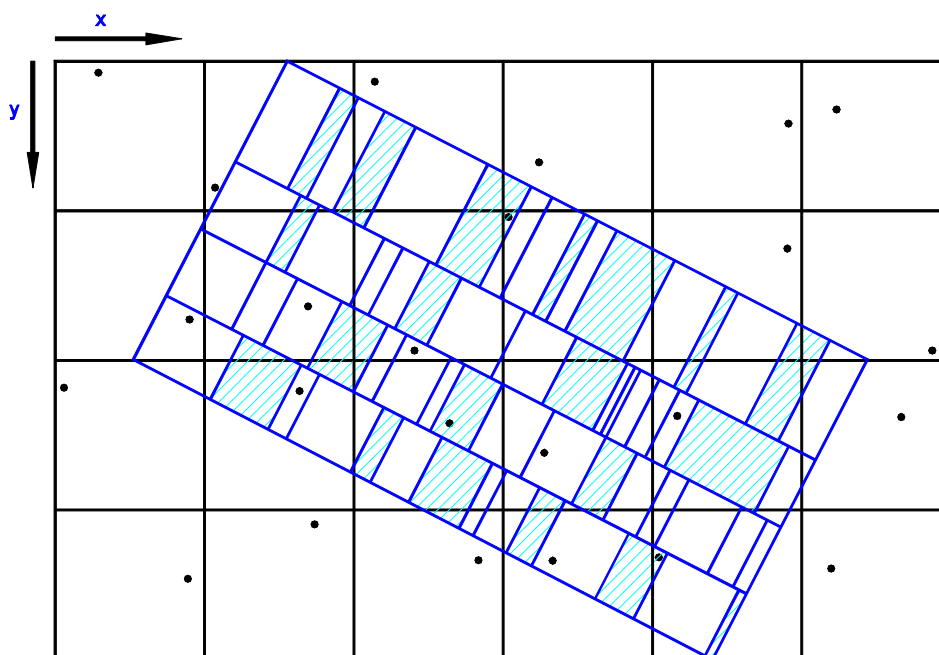


Figura C.5. Muestreo aleatorio estratificado

C.6 MUESTREO ALEATORIO DESALINEADO

El término "desalineado" significa "irregular" en el sentido de "no en una línea".

El método es similar al muestreo aleatorio estratificado, pero en este caso sólo se elige al azar una de las dos coordenadas.

El procedimiento es como sigue:

EJEMPLO.

Dada una rejilla con 24 celdas (cuadradas), situadas en 4 hileras y 6 columnas (véase la Figura C.6).

- 1) Para la primera celda (línea 1, columna 1) se eligen al azar las coordenadas x y y .
- 2) Para las celdas 2, 3, 4, 5 y 6 sólo se eligen al azar las coordenadas y
- 3) Para las celdas 7, 13 y 19 sólo se eligen al azar las coordenadas x
- 4) Ahora están localizados en la rejilla todos los puntos de muestreo:

Para todos los puntos de muestreo en las columnas son válidas las coordenadas y de las celdas 2, 3, 4, 5 y 6; y para todos los puntos de muestreo en las hileras son válidas las coordenadas x de las celdas 7, 13 y 19.

El método tiene desventajas en términos de interpolación entre los puntos de muestreo. El muestreo adicional del sitio para identificar áreas locales de contaminación es difícil si se basa en las localizaciones originales del muestreo.

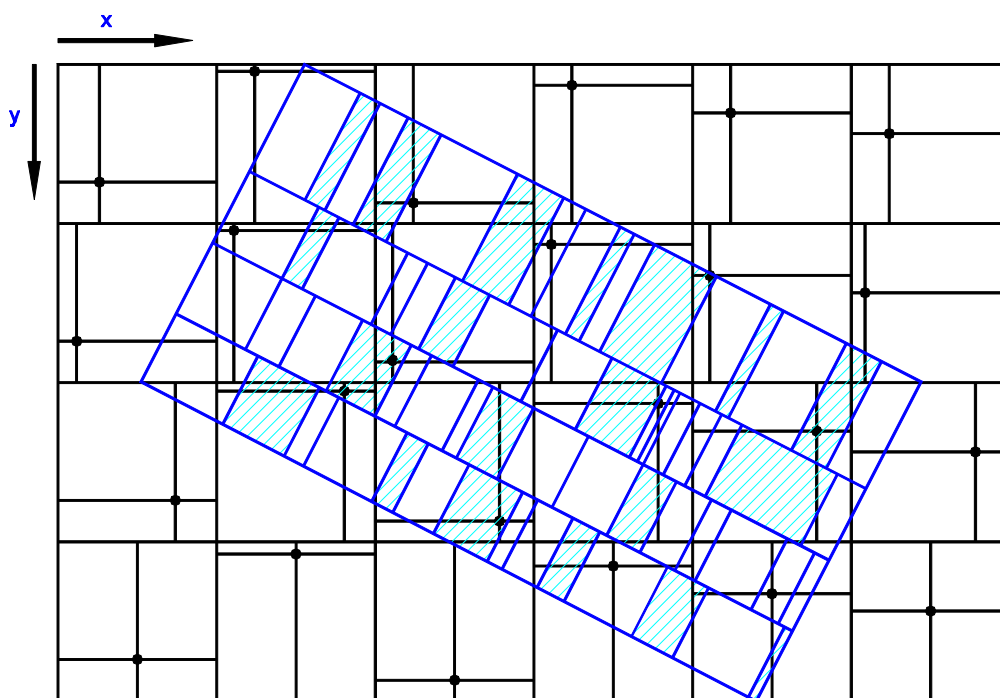


Figura C.6. Muestreo aleatorio desalineado en una rejilla regular

C.7 MUESTREO SISTEMÁTICO EN UNA REJILLA NO RECTANGULAR

En el caso de una rejilla triangular equilátera, cerca de cada punto de la rejilla se encuentran tres puntos de la rejilla a una distancia única d_x . No existen otros puntos adyacentes. La distancia libre, no muestreada entre los puntos adyacentes relacionados tiene un radio de:

$$r = \frac{d_x}{3} \cdot \sqrt{3}$$

El área circular (A) de la cual no se toman muestras es entonces

$$A = p \cdot r^2 = p \cdot \frac{d_x^2}{3}$$

EJEMPLO.

Tomando un área de 10 m x 10 m y usando 99 puntos de muestreo dispuestos en 11 hileras cada una con 9 puntos de muestreo (distancia entre hileras = 1,11 m), el área de la cual no se toman muestras es 1,29 m². Esta área no muestreada es más pequeña que, por ejemplo, una rejilla rectangular del mismo tamaño y usando 100 puntos de muestreo dispuestos con una distancia de separación entre ellos de 1 m, en donde el área no muestreada es 1,57 m².

Cualquier contaminación circular con $r > 0,64$ se debe detectar con certeza. Así pues, simplemente cambiando el patrón (y con 1 muestra menos) el tamaño del área circular no muestreada disminuye hasta aproximadamente el 18 %.

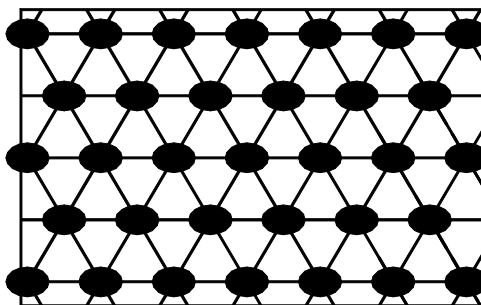


Figura C.7. Rejilla triangular

Aplicación en el sitio: los puntos de muestreo se fijan a una distancia de d_x en hileras paralelas espaciadas a una distancia:

$$d_y = \frac{d_x}{2} \cdot \sqrt{3}$$

es decir, aproximadamente 0,87 d_x . Los puntos de muestreo en las hileras paralelas se escalonan mediante:

$$\frac{d_x}{2}$$

C.8 MUESTREO A LO LARGO DE UNA FUENTE LINEAL

En caso de contaminación siguiendo una línea, por ejemplo, causada por escapes en conductos, los puntos de muestreo se pueden disponer en el suelo que cubre el conducto directamente sobre éste o, si esto no es posible por ciertas razones, próximos al conducto. Si también interesa la distribución de los contaminantes ocasionada por una estructura con forma lineal, se recomienda tomar muestras a una distancia x , una con respecto a la otra sobre la línea y muestras adicionales a distancias crecientes (por ejemplo $2x$) paralelas a la línea (véase la Figura C.8).

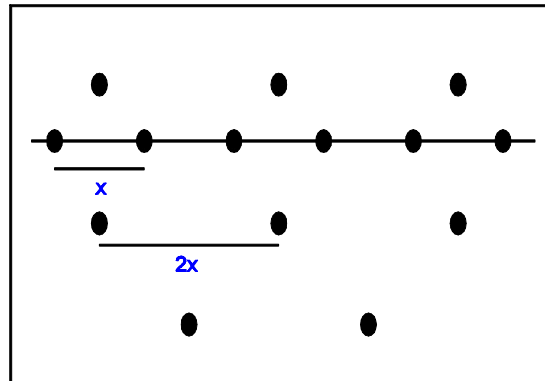
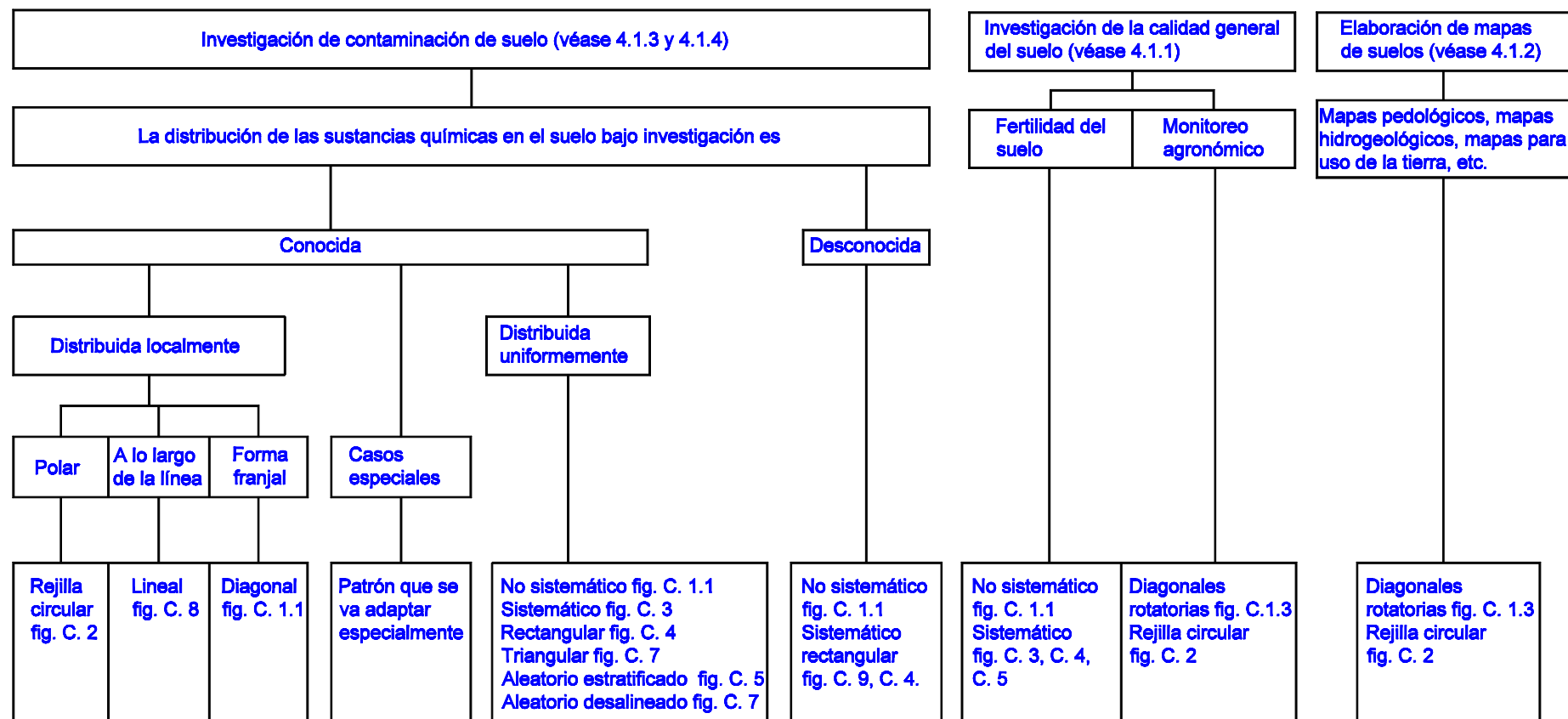


Figura C.8. Muestreo a lo largo de una fuente lineal



La modificación de los patrones depende de:

- Situación especial en el sitio, por ejemplo una topografía rápidamente cambiante
- Objetivo/hipótesis
- Aplicabilidad y validez de la información preliminar

Figura C.9. Selección de patrones de muestreo

Anexo D (Informativo)

Profundidades sugeridas de interés en relación con el uso de la tierra y los trayectos de exposición

Utilización		Usuarios expuestos	Trayectos de exposición	Profundidad de interés
Áreas agrícolas, forraje, nutrientes para consumo humano		Población rural, consumidores, también ganado	Consumidores: por vía de alimentos y dependiendo de la relación de transferencia del suelo a la planta, pero generalmente presente. Población rural: directamente: ingestión, inhalación, absorción por la piel, también por vía de los alimentos	Zona de la raíz si hay absorción por vía de la raíz; en otros casos, suelo superior (0 a 0,3 m)
Áreas de protección de agua subterránea		Público total	Dependiendo de las condiciones locales del uso de la tierra, el suelo, etc.	Tabla de agua subterránea
Presencia permanente de personas	Jardines domésticos, porciones dedicadas a jardines	Todos los residentes	Consumo de alimento cultivado en jardines; ingestión e inhalación, contacto dérmico	0 a 0,60 m ¹⁾
Presencia periódica de personas	Terrenos de juego	Niños; intensivo	Generalmente presentes; ingestión del suelo, inhalación	0 a 0,35 m
	Parques, zonas verdes, ambiente residencial	Sin usuarios en particular, uso esporádico	Con base en el período promedio de uso, no ocurre ingestión significativa de contaminantes	0 a 0,15 m ²⁾
	Terrenos deportivos, áreas recreacionales	Adultos y niños, uso esporádico	Ingestión incrementada de partículas del suelo en caso de terrenos no cubiertos con césped	0 a 0,15 m ³⁾
¹⁾ Recomendación: 0,75 mm ²⁾ Recomendación: 0,30 mm ³⁾ Recomendación: 0,15 mm				

Anexo E (Informativo)

Bibliografía

Burghardt W. et al.: Recommendations of the Working Group "Urban Soils" of the German Soil Science Society for the Soilsurvey of Urban, Commercial and Industrial Influenced Sites (Urban Soils), (in German), UBA-Texte 18/89 (Report N° UBA-FB 89-056), Umweltbundesamt, Berlin, 162 p.

Gaile G.L. & Willmott C.J. (eds) : Spatial Statistics and Models; D. Reidel Publishing Company, Dordrecht Boston Lancaster, 482 p., 1984.

Nothbaum N. & Scholz R.W.: Probenplanung und Datenanalyse Bei kontaminierten Böden - Projektbericht. - Erstellt im Auftrag des IWS-TU-Berlin (Unterauftrag im F + E Vorhaben "Entwicklung Eines Konzeptes Zur Ableitung Von Sanierungswerten für kontaminierte Böden", TUZ 107 03 007/06), 126 p., 1992.

Webster R. & Oliver, M.A.: Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey; Oxford University Press, New York, 316 p., 1990.

Woede G.: Geometrische Bohrlochraster Und Ihre Verdichtung. - Altlasten-Spektrum, 1, 46-52, 1994.

DOCUMENTO DE REFERENCIA

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Soil Quality - Sampling. Part 1: Guidance on the Design of Sampling Programmes. Ginebra, Suiza: ISO, 1995, 44 p. (ISO/DIS 10381-1, 1995).