

Procedimiento de muestreo y preparación de muestras para la determinación de la radiactividad en la capa superficial de los suelos

CSN



Colección
Informes Técnicos 11.2003
Serie
Vigilancia Radiológica
Ambiental
Procedimiento 1.1
(Rev. 1, 2025)

Procedimiento de muestreo y preparación de muestras para la determinación de la radiactividad en la capa superficial de los suelos

Autores: Margarita Herranz (coordinadora)
Pablo Belinchón
David Blázquez
Rafael García-Tenorio
Javier Guillén
María José de Lucas
Cristina Navas
Sara Rozas

Colección
Informes Técnicos 11.2003
Serie Vigilancia Radiológica Ambiental
Procedimiento 1.1 (Revisión 1, 2025)
Anula al procedimiento 1.2 (2005)



Colección Informes Técnicos
Referencia INT-04.07

Agradecemos la colaboración de las instituciones y laboratorios citados en este documento, y de las personas que desarrollan en ellos su labor, gracias a las cuales se dispone de los procedimientos elaborados.

© Copyright 2009, Consejo de Seguridad Nuclear

Edita y distribuye:
Servicio de Publicaciones
Consejo de Seguridad Nuclear
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 Madrid. España
www.csn.es
peticiones@csn.es

Maquetación: Composiciones Rali, S. A.
I.S.B.N.: 84-95341-41-7
Depósito legal: M-23888-2004

Índice

1. Prólogo	5
2. Introducción y justificación	8
3. Sistemática de trabajo	10
4. Objetivos y campo de aplicación	11
5. Definiciones y terminología	13
5.1. Área de estudio	13
5.2. Zona de muestreo	14
5.3. Punto de muestreo	14
5.4. Muestra	14
5.5. Submuestra	14
5.6. Área o punto testigo	14
5.7. Peso de muestra total (P_t)	15
5.8. Peso de muestra de laboratorio (P_l)	15
5.9. Peso de muestra seca (P_s)	15
5.10. Peso de alícuota (P_a)	15
6. Programa de muestreo	16
6.1. Sobre el establecimiento del programa de muestreo	16
6.2. Sobre los puntos de muestreo	16
6.2.1. Número de puntos de muestreo	17
6.2.2. Características y ubicación del punto de muestreo	18
6.3. Sobre las muestras	21
6.3.1. Profundidad	21
6.3.2. Superficie	21
6.3.3. Número de submuestras/superficie a tomar	22
6.4. Sobre los equipos de toma de muestras	24
6.4.1. Descripción de los equipos	24
6.4.2. Elección de los equipos	30
6.5. Sobre la manipulación de la muestra	31
6.6. Frecuencia y secuencia temporal	32
6.7. Personal involucrado, características de formación	32
7. Procedimiento operativo de la toma de muestras	33
7.1. Consideraciones previas / Precauciones	33

7.2. <i>Materiales</i>	33
7.3. <i>Toma de la muestra</i>	34
7.4. <i>Registro de la toma de muestra</i>	37
8. Control de calidad del muestreo	40
9. Procedimiento operativo para la conservación de las muestras	42
9.1. <i>Consideraciones previas/precauciones</i>	42
9.2. <i>Equipamiento y materiales</i>	42
9.3. <i>Procedimiento operativo de conservación de muestra</i>	42
10. Procedimiento operativo para la recepción de las muestras	44
10.1. <i>En la base de datos de muestras recepcionadas</i>	45
10.2. <i>Acompañando a la muestra durante su preparación</i>	45
10.3. <i>Información adicional</i>	46
11. Procedimiento operativo para la preparación de muestras	47
11.1. <i>Consideraciones previas/precauciones</i>	47
11.2. <i>Equipamiento y materiales</i>	47
11.3. <i>Procedimiento operativo de preparación de muestra</i>	48
12. Bibliografía	52
Anexo 1. Ejemplo de etiqueta de muestra	54
Anexo 2. Ejemplo de hoja de recogida de datos	55



1. Prólogo

El proceso de toma de muestras es la pieza angular del programa de muestreo. Este programa de muestreo no solo debe garantizar que el momento y lugar en que una muestra se toma es el adecuado para que los objetivos de dicho programa se cumplan, sino que también debe proporcionar las características que esta muestra debe tener. Sin embargo, los objetivos de este programa no se cumplirían si la muestra no se toma de manera correcta y eficaz, pero también reproducible y sistemática.

Plenamente consciente de ello, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) decidió en su momento la conveniencia de impulsar el desarrollo de procedimientos de muestreo, para después elevarlos a normas UNE y, así, contribuir también a elevar la capacidad de interacción de nuestro país a nivel de la normalización europea e internacional. Esta iniciativa fue el origen de la publicación del CSN, INT-04.07 Vigilancia radiológica ambiental que, en diferentes documentos, desarrollaba los siguientes procedimientos:

- 1.1. Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad en suelos: capa superficial.
- 1.2. Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de suelos para la determinación de la radiactividad ambiental.
- 1.7. Procedimiento de toma de muestras de aerosoles y radioyodos para la determinación de la radiactividad.
- 1.8. Procedimiento para la recepción, conservación y preparación de muestras de aerosoles en filtros y de radioyodos en carbón activo para la determinación de la radiactividad ambiental.
- 1.10. Procedimiento de toma de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental.
- 1.11. Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental.
- 1.12. Procedimiento de toma de muestras de la deposición total para la determinación de la radiactividad.
- 1.14. Procedimiento de toma de muestras de vapor de agua para la determinación de tritio.

1.15. Procedimiento para el muestreo, recepción y conservación de muestras de agua para la determinación de la radiactividad ambiental.

así como de las normas UNE: UNE 73320-3: Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Toma de muestras. Parte 3: Aerosoles y radioyodos. UNE 73311-1: Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad ambiental. Parte 1: Suelos, capa superficial. UNE 73320-2: Procedimiento para la determinación de la radiactividad ambiental. Toma de muestras. Parte 2: Sedimentos. UNE 73311-5: Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de suelo para la determinación de la radiactividad ambiental.

Todos estos documentos fueron publicados entre los años 2002 y 2009 y fueron realizados por un Grupo de Trabajo que coordinó Margarita Herranz, de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), y que estuvo formado en sus diferentes temas por: R. Jiménez (U. Autónoma de Madrid), E. Navarro Anglés, (U. de Valencia), J. P. Bolívar Raya (U. de Huelva), E. Liger Pérez (U. de Málaga), J. Payeras Socías (Cedex) y J. L. Pinilla Matos (ENRESA). Y, por el Grupo de trabajo de Conservación y Preparación de Muestras que coordinó Antonio Baeza, de la Universidad de Extremadura (UEX), y que estuvo formado en sus diferentes temas por: A. Alonso (Geocisa), M. C. Heras y M. Pozuelo (Ciemat) y R. García-Tenorio (U. de Sevilla). El procedimiento 1.15 fue realizado de manera conjunta por ambos grupos.

No se puede considerar que la ciencia/tecnología asociada a estos procedimientos haya cambiado sustancialmente en los años transcurridos desde entonces, pero sí se ha incrementado el interés en estos temas y también el reconocimiento de su capital importancia para el correcto desarrollo de los Planes de Vigilancia Radiológica en sus diferentes contextos, tanto los asociados al entorno de las instalaciones nucleares en fase preoperacional, operacional y en desmantelamiento como los puramente ambientales y, de manera paralela, se ha ido incrementando la experiencia de los organismos que realizan muestreos para la determinación de la radiactividad en nuestro país, en la aplicación de estos procedimientos. Todo ello, unido al hecho de que las normas se revisan de manera rutinaria cada cinco años, ha llevado a que el CSN haya considerado necesario abordar una revisión y actualización de dichos procedimientos de muestreo y preparación de muestras.

Para ello, el CSN ha contado esta vez con un nuevo Grupo de Trabajo que, de nuevo coordinado por Margarita Herranz, de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), para dar continuidad a la filosofía que inspiró los documentos originales, ha estado esta vez formado por María José de Lucas (Medidas Ambientales S.L.), Cristina Navas (DRACE-Geocisa), David Blázquez (ENUSA), Pablo Belinchón (ENRESA), Saroa Rozas (UPV/EHU), Javier Guillén (UEX) y Rafael García-Tenorio (U. de Sevilla), para este procedimiento. Este Grupo se ha considerado que reúne las necesarias características de experiencia profesional, capacidad e independencia para abordar esta tarea.



La revisión de estos procedimientos se ha desarrollado partiendo del texto original y teniendo en cuenta la normativa de rango nacional, europeo e internacional aparecida y/o revisada en los años que median entre los documentos originales y estas revisiones, así como los retornos de los usuarios de estos documentos y la propia experiencia profesional de los miembros del Grupo de Trabajo.

En el caso del presente documento “Procedimiento de muestreo y preparación de muestras para la determinación de la radiactividad en la capa superficial de los suelos” su objetivo básico es especificar el procedimiento de muestreo de la capa superficial de los suelos que permita delimitar y/o caracterizar niveles de fondo, posibles anomalías y realizar un seguimiento y evolución sistemáticos de su contenido, todo ello referido a sus características radiactivas.

Este documento pretende poner a disposición de los interesados una descripción de los objetivos planteados, los criterios aplicados y las bases científicas que los sustentan, junto con la toma de decisiones que ha parecido más correcta y que ha conducido a la definición y elaboración del contenido de este procedimiento para el muestreo y preparación de muestras de la capa superficial de los suelos.

Este procedimiento describe de manera detallada los diferentes pasos que se han de seguir para la obtención de una muestra de la capa superficial de suelos y garantizar, al menos, los siguientes aspectos: la obtención de una muestra que cumpla los objetivos de control y/o representatividad para los que fue recolectada y con las características necesarias para los análisis radiológicos que en ella se van a desarrollar, la conservación de estas propiedades hasta el momento en que la muestra se entregue a un laboratorio de análisis, los pasos que se deben seguir en el laboratorio para obtener alícuotas de estas muestras en las condiciones adecuadas para poder realizar en ellas las determinaciones radiactivas requeridas y, por último, garantizar el suministro de los datos necesarios para la caracterización radiológica de la muestra y la trazabilidad del proceso de muestreo. Además, el presente documento incluye aspectos relativos al aseguramiento de la calidad y el control de la calidad en el muestreo de suelos, ya que no se debe olvidar que los errores provocados por un muestreo no pueden corregirse.

2. Introducción y justificación

Existe una amplia metodología presentada en la literatura y/o normativa internacional referente al muestreo de suelos. En ella se refleja la creciente preocupación de los organismos nacionales e internacionales para asegurar y controlar la calidad del muestreo y la representatividad de la muestra, así como su preparación, del mismo modo que se asegura y controla la calidad de los análisis que sobre las muestras se realizan.

Entre las cuestiones fundamentales a resolver en el muestreo de suelos están las relacionadas con el punto en el cual este se realiza: características del terreno, definición de punto, elección y carácter representativo, muestras simples o compuestas, número de submuestras por muestra, superficie representada, volumen/superficie recogida, profundidad y metodología del muestreo, lo que incluye el equipamiento a utilizar.

Los criterios de elección están directamente relacionados con los objetivos del muestreo, el uso del suelo, sus características, la vegetación, las condiciones ambientales y la orografía de la zona y también cuáles sean los parámetros que se quieren analizar.

El tema deviene extraordinariamente amplio y complejo, por lo que, en ocasiones, a pesar de la abundancia de literatura especializada, no resulta sencillo para el personal no estrictamente especializado en la materia, programar y realizar un muestreo con unos objetivos parciales, concretos y bien definidos. Por esto es conveniente el desarrollo de procedimientos específicos con objetivos y campos de aplicación bien definidos para asegurar y controlar la calidad en análisis concretos, que impliquen el muestreo de suelos.

En este contexto se plantea la elaboración de procedimientos de muestreo en el campo de la medida de la radiactividad en suelos, con ello desaparecen algunas variables de las consideradas, pero, aun así, la metodología del muestreo va a depender fuertemente de cuáles sean los objetivos escalonados para los que se realiza o, dicho de otro modo, qué tipo de radionucleidos se quiere determinar, qué datos sobre ellos se requieren y para qué.

En cuanto al tipo de radionucleidos a determinar, se puede señalar como ejemplo que es diferente tratar de determinar radionucleidos pertenecientes a una serie radiactiva natural o bien naturales de vida media larga y contenidos en el suelo, que determinar otros procedentes de depósitos atmosféricos. En el primer caso estarán distribuidos en el suelo en función de su perfil edáfico y para cada horizonte de este puede esperarse que la concentración sea homogénea. En el segundo caso existe una distribución en profundidad que sigue un determinado patrón, marcado por el coeficiente de distribución, la solubilidad y la velocidad de migración, y que dependerá del tiempo transcurrido entre el depósito y la medida, del perfil del suelo, del patrón de lluvias, de la existencia de escorrentías o corrientes subterráneas y del radionucleído que se trate.

Y, en cuanto a qué datos se requieren sobre los radionucleidos, es decir ¿qué se quiere determinar?, también se puede señalar a modo de ejemplo que es posible que se quiera estimar el inventario total de un radionucleido debido a un proceso de depósito que se sabe ha ocurrido; para ello habrá que muestrear en profundidad de forma acumulada, llegando hasta el horizonte en el que el radionucleido ya no sea detectable. Si se pretende calcular su velocidad de migración o su coeficiente de distribución, entonces deberá realizarse un muestreo en profundidad, pero esta vez de carácter seccional. Para calcular la dosis a la población debida a ese depósito, habrá que realizar un muestreo hasta una determinada profundidad, que estará determinada en función del tipo de radionucleido y de su emisión, así como de energía. Si se pretende conocer el contenido de radionucleidos naturales, se tomarán muestras a cualquier profundidad indicando en cualquier caso cuál es esta. Para evaluaciones dosimétricas debido a la exposición directa al inventario radiológico del suelo, se requiere muestreo superficial.

La última consideración es ¿para qué se mide? La respuesta es más breve: para caracterizar radiológicamente un suelo, para analizar su evolución, para disponer de una serie de datos que sirva como nivel de referencia y que permita detectar posibles anomalías o incidentes y, en su caso, evaluarlos y hacer predicciones evolutivas y dosimétricas.

También hay que señalar que, una vez recolectada la muestra, esta debe mantener las condiciones en que se muestreó hasta el momento en que se vaya a preparar para realizar sobre ella las determinaciones radiológicas requeridas, lo que implica el desarrollo de un procedimiento de conservación. Finalmente, la muestra deberá de seguir todo un procedimiento de preparación que incluye, en primer lugar, definir qué parte de todo aquello que realmente se ha recogido se va a considerar como muestra de suelo y, a continuación, cómo preparar la muestra antes de tomar de ella las alícuotas necesarias para los diferentes laboratorios involucrados en las determinaciones a realizar o para las propias determinaciones, es decir, también se debe desarrollar un procedimiento de preparación.

Para cubrir todos estos aspectos se desarrolla este procedimiento. Los autores, en su labor de recopilación de información, no solo se han fijado en la bibliografía adjunta, sino que también han tenido en consideración los procedimientos de muestreo que actualmente se llevan a cabo en nuestro país.

3. Sistemática de trabajo

La sistemática ha sido la habitual en este tipo de trabajos y ha cubierto las siguientes fases:

- Análisis del estado del arte en el momento actual: normativa de rango nacional, europeo e internacional; otros documentos procedentes de organismos de reconocido prestigio en el área.
- Confrontación de los documentos obtenidos con los procedimientos a revisar.
- Obtención de información de retorno de entre los usuarios de los procedimientos a revisar.
- Estudio de conclusiones y adopción de decisiones a la luz de la experiencia profesional del grupo de trabajo que permita tener una versión inicial del procedimiento revisado.
- Remisión a comentarios entre usuarios del procedimiento revisado.
- Redacción del procedimiento final.

Todo el proceso se ha realizado de forma coordinada con la Jefatura del Área de Vigilancia Radiológica Ambiental del CSN.

4. Objetivos y campo de aplicación

El análisis del contenido de radiactividad en los suelos es un área cuyos posibles objetivos se han ido incrementando a lo largo del tiempo trascendiendo el control radiológico de estos. Por ejemplo, los estudios de migración y/o distribución de radionucleidos en suelos sirven para analizar diferentes características de estos, como puede ser, por ejemplo, la erosión, los coeficientes de distribución, la datación de eventos, etc. Ahora bien, cada uno de los posibles objetivos puede requerir unas características específicas para el procedimiento de muestreo, incluyendo también el de la toma de muestras, atendiendo a cuestiones como la ubicación del punto de muestreo, la profundidad requerida, la cantidad de muestra a obtener, pero también, la importancia de preservar la humedad de la muestra, etc. Por lo tanto, para poder desarrollar un procedimiento de muestreo que resulte efectivo es necesario acotar sus objetivos y, por lo tanto, su campo de aplicación.

El objetivo básico que se pretende cubrir con el desarrollo del procedimiento objeto de este documento, es el de especificar la realización del muestreo de la capa superficial de los suelos que permita delimitar y/o caracterizar niveles de fondo, posibles anomalías (entendidas como situaciones anómalas que hayan podido contribuir a una alteración de las condiciones radiológicas del terreno) y realizar un seguimiento sistemático de la evolución de su contenido radiológico. El objetivo específico va a ser la obtención de muestras lo suficientemente representativas que permitan alcanzar el objetivo básico.

En cuanto a la representatividad de las muestras hay que señalar que es muy difícil lograr muestras auténticamente representativas, por las propias características de los suelos y de su muestreo, ya que:

- La toma de muestras no se puede realizar en condiciones completamente controladas por establecerse fuera del laboratorio.
- En los suelos, no existe ni la estabilidad temporal a largo plazo ni tampoco la estabilidad espacial.
- El hecho de tomar una muestra perturba el terreno, por lo tanto, nunca muestras posteriores podrán reproducir exactamente las mismas condiciones de la inicial.

Por lo tanto, lo que se pretende con este documento es, precisamente, minimizar el efecto que estos tres puntos pueden tener en la obtención de una muestra, de manera que esta sea lo más representativa posible y, desde luego, lo suficientemente representativa como para que se cumplan los objetivos para los que fue tomada.

El procedimiento aquí desarrollado se aplica al muestreo de la capa superficial, hasta 5 cm de profundidad, de cualquier tipo de suelo, y describe las actividades a desarrollar,

desde la definición de los objetivos del muestreo hasta que la muestra está ya preparada para abordar sobre ella las determinaciones conducentes a su caracterización radiológica, bien directas (p.ej. espectrometría gamma) o bien a través de separaciones radioquímicas (p.ej. estroncio), incluyendo los diferentes pasos intermedios a realizar.

5. Definiciones y terminología

Utilizar una terminología adecuada y homogénea a la hora de elaborar cualquier procedimiento se revela como condición indispensable para llevar este a buen término, dado el interés en que todo posible usuario de un procedimiento entienda los términos utilizados con la misma intención con la que fueron escritos. En el caso de los suelos, la definición de los términos de aplicación general es comúnmente aceptada, sin embargo, a medida que se reduce el campo de aplicación de la terminología, su definición se vuelve más dificultosa.

Antes de nada, cabe señalar que en este documento se va a seguir la definición de suelo que aparece en el *Soil Survey Staff* del departamento de agricultura de los EE. UU., donde se considera que “suelo es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: 1.- horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia 2.- la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural. El límite superior del suelo es el límite entre el suelo y el aire, aguas poco profundas, plantas vivas o materiales de plantas que no han empezado a descomponerse”.

Esta definición, en lo que respecta al límite superior del suelo, es la que va a permitir definir qué hacer con la capa herbácea, como se verá más adelante.

Definiciones como área de estudio o zona de muestreo no presentan problemas y son equivalentes a la terminología utilizada en otra normativa internacional (por ejemplo, ISO, UNE y ASTM).

Sin embargo, otras definiciones, como punto de muestreo o muestra, a pesar de encontrarse bien definidas tanto en metrología como en diferente normativa, requieren de una discusión para su aplicación práctica en casos concretos, como se verá en apartados posteriores. Por lo tanto, con el objetivo de clarificar los usos que a ciertos términos se le da en el presente documento, se presentan algunas definiciones:

5.1. Área de estudio

Región geográfica que ha sido delimitada o se va a delimitar para establecer en ella un determinado programa de muestreo, al margen de los objetivos concretos que en este se contemplan.

5.2. Zona de muestreo

Parte del área de estudio que presenta un conjunto de factores ambientales, orográficos y de características homogéneas propias relevantes en el programa de muestreo, por ejemplo, de utilización de terreno, y que hacen suponer que, en toda ella, el contenido radiológico será similar. El área de estudio puede estar compuesta por varias zonas de muestreo con características propias definidas.

5.3. Punto de muestreo

Es el lugar elegido en la zona de muestreo para tomar una muestra sobre la cual realizar los análisis radiactivos pertinentes. Debe ser representativo de la zona y, en esta, pueden existir uno o más puntos de muestreo, en función de los objetivos concretos de este y de las características de la zona. Se definirá por sus coordenadas geográficas, de acuerdo con el sistema internacional de coordenadas tal y como contempla la norma UNE-EN ISO 19112, y su altitud.

5.4. Muestra

Porción representativa del medio de interés, o de uno o más componentes de este medio, que poseen las mismas cualidades y características del todo, y que se va a utilizar para determinarlas. En este procedimiento, resultado de la extracción de un número determinado de submuestras que se juntan, mezclan y homogeneizan, preferentemente ya en el laboratorio.

5.5. Submuestra

Cada una de las extracciones unitarias de suelo realizadas en el punto de muestreo, que constituyen la muestra final.

5.6. Área o punto testigo

Cuando el objetivo del programa de muestreo sea la vigilancia en el entorno de una instalación, sería el lugar donde se recolectan idénticos tipos de muestras que las que se van a recoger en el punto de muestreo, pero que no estén afectadas por las emisiones de la instalación objeto de interés.

5.7. Peso de muestra total (P_t)

Peso de la muestra total tomada, antes de tomar alícuotas, muestras de laboratorio, para su remisión a los diferentes laboratorios o si no se desecha parte de la muestra tomada (en su caso).

5.8. Peso de muestra de laboratorio (P_l)

Peso de la muestra que se recepciona en el laboratorio, se corresponderá con el peso de la muestra total si no hay toma de alícuotas para su reparto entre diferentes laboratorios o si no se desecha parte de la muestra total. Se debe determinar en las mismas condiciones que el peso de la muestra total (P_t), de modo que ambos tengan las mismas unidades (kg fresco o kg seco).

5.9. Peso de muestra seca (P_s)

Peso de la muestra de laboratorio después de seguir el proceso de preparación descrito en el apartado 11.3 de este procedimiento.

5.10. Peso de alícuota (P_a)

Peso de la alícuota tomada de la muestra seca para realizar sobre ella una determinación específica.

6. Programa de muestreo

6.1. *Sobre el establecimiento del programa de muestreo*

Antes de proceder a la realización del muestreo, es necesario tener establecido un programa de muestreo no solo como guía para la realización de este, sino también como marco necesario donde se plasmen las decisiones que es necesario adoptar para alcanzar los objetivos con los cuales el muestreo se desarrolla.

Aunque no es objeto de este procedimiento indicar cómo debe desarrollarse un programa de muestreo de suelos, sí es necesario señalar que se deberá partir, al menos, de los siguientes conocimientos y estudios previos:

1. Objetivos del muestreo, análisis radiactivos que se quieren realizar, precisión requerida y límites de detección a alcanzar.
2. Investigación inicial del área de estudio. Para poder definir el contenido de un programa de muestreo es necesario llevar a cabo una investigación inicial del área de estudio que permita conocer características como tipos y usos de suelo, orografía del terreno, condiciones climatológicas, actividades humanas y otras perturbaciones, posibles focos emisores de radionucleidos existentes en el área, radionucleidos esperados en ella, etc., que nos permitan definir claramente las zonas de muestreo.

Todo ello con objeto de que el programa de muestreo pueda contener al menos la siguiente información: definición de las áreas, zonas y puntos de muestreo, las características específicas de las muestras a tomar (p.ej. la masa requerida, la necesidad o no de recolectar la vegetación asociada, etc.), el equipamiento a usar y el procedimiento específico de toma de muestras, siguiendo las directrices y recomendaciones de este documento, así como los requisitos de seguridad y de personal. También deberá contener la planificación temporal de dicha toma de muestras, la cual se respetará siempre que las condiciones meteorológicas no sean adversas (por altas temperaturas, lluvias torrenciales, etc.) y se garantice la seguridad del personal que realice la toma de muestras.

6.2. *Sobre los puntos de muestreo*

Una vez definida y caracterizada el área objeto de estudio, se procederá, en caso de estimarse conveniente a la definición en ella de zonas de muestreo, atendiendo a la existencia de posibles fuentes de contaminación radiactiva (industrias, poblaciones), características geoquímicas y radiológicas de los terrenos, etc. Después de la división del área en zonas de muestreo, es necesario determinar no solo en cuántos puntos de cada zona se va a realizar el proceso de toma de muestras, sino también qué características deben tener estos puntos de

muestreo. Ambas cuestiones dependerán de los objetivos del programa y de las características del terreno.

Obviamente, se puede muestrear en cualquier punto en el que se precise o se desee conocer su contenido radiológico. Pero es importante seleccionar estos de forma que posean las características adecuadas para que se puedan cumplir los objetivos para los cuales la toma de muestras ha sido prevista y con las mismas características de la zona de muestreo que representen; por lo tanto, estas deberán ser definidas para cada programa de muestreo concreto.

6.2.1. Número de puntos de muestreo

Después de la división del área en zonas de muestreo, es necesario determinar en cuántos puntos de ella se va a realizar el proceso de extracción de muestra. Esta cuestión dependerá fuertemente del objetivo y está tratada con gran profundidad en diferentes textos y normas (p. ej. UNE-EN ISO 18589-3). Para los tres objetivos que se pretenden cumplir con el procedimiento elaborado, se considera apropiado lo siguiente:

- a. Si se trata de **realizar un seguimiento sistemático**, una vez definida la zona habrá que analizar cuáles son sus características edáficas, ya que esto permitirá estudiar si es razonable pensar que puedan existir importantes variaciones del contenido de radionucleidos de un lugar a otro o bien si es posible que tengan lugar migraciones importantes entre lugares adyacentes.

Para hacer un análisis de las características de los suelos de la zona se considera adecuado utilizar la tabla de colores Munsell; comparando los colores que aparecen en ella con los colores de los suelos en distintos puntos, de esta manera se puede estimar si la composición del suelo es o no muy variable en cuanto a su distribución horizontal, que es en última instancia lo que interesa. Para los que no estén familiarizados con el manejo de estas tablas, cabe decir que el grado de humedad de un suelo solo afecta a la tonalidad del color de este, pero no al color en sí.

Si las características edáficas de una zona se pueden considerar homogéneas o casi homogéneas, o si las diferencias entre puntos son tales que no sea razonable sospechar altas variaciones del contenido de radionucleidos ni altas tasas de migración, se considera ajustado muestrear en un único punto representativo de toda la zona.

Lógicamente, y dado que no se pueden realizar muestreos sucesivos exactamente en el mismo punto, tal y como se ha comentado en un párrafo anterior, habrá que controlar que las características del suelo se mantienen, esto es: que el color de este es el mismo o presenta pequeñas variaciones.

- b. Si se trata de establecer niveles de fondo, lo habitual, como se puede ver en la normativa nacional e internacional, es establecer una malla regular y rectangular que permita definir un determinado número de puntos de muestreo en función de las características de la zona, para cada una de las zonas definidas en el área de estudio y tomar una muestra en un punto de cada celda de la malla. En función de lo ambicioso de los objetivos del proyecto, del conjunto de factores ambientales, orográficos y de utilización de terreno y también de sus características edáficas, más o menos homogéneos, el tamaño de la celda deberá ser mayor o menor y por lo tanto la distancia entre puntos también. La norma ISO-18589-3 presenta un amplio análisis de esta cuestión. En este caso tampoco sería necesariamente de aplicación la característica a) del punto de muestreo (véase apartado 6.2.1. de este documento).
- c. Por último, si se trata de detectar una posible anomalía, se considera que no se pueden dar indicaciones concretas. Habrá que definir un programa de muestreo concreto en función de la anomalía de que se trate, que deberá tomar en consideración el tipo de la misma y los caminos del depósito o el impacto sobre el suelo, entre otros. La densidad de puntos de muestreo en este caso no deberá ser constante, sino que tendrá que ser más elevada en aquellos terrenos en los cuales se espere una mayor presencia o influencia de la anomalía o en aquellos que se encuentren más cercanos a la posible fuente de esta. En este caso tampoco sería necesariamente de aplicación la característica a) del punto de muestreo (véase apartado 6.2.1. de este documento).

6.2.2. Características y ubicación del punto de muestreo

Una vez decidido el número de puntos en cada zona, es importante seleccionar estos de forma que posean las características adecuadas para que se puedan cumplir los objetivos para los cuales la toma de muestras ha sido prevista; por lo tanto, estas deberán ser definidas para cada programa de muestreo concreto.

Hay consenso en considerar que la característica fundamental del punto de muestreo deberá ser su carácter representativo, por lo que lógicamente en la zona pueden existir uno o más de ellos en función de los objetivos concretos del muestreo y de las características de la zona.

Es necesario puntualizar que, para caracterizar un punto de muestreo, se tendrá que indicar sus coordenadas y su altitud. La necesidad del segundo de estos requerimientos no aparece tan clara como la del primero, sin embargo, variaciones en depósitos puntuales según la altitud del punto, diferencias en drenajes, etc. aconsejaron su introducción. Otros sistemas de localización del punto, de tipo visual como pueden ser las referencias tomadas con árboles, casas, son desechadas por la posible variación de estos a lo largo del tiempo, lo que las inhabilita como referencias para muestreos dilatados temporalmente.

En principio, parece evidente que se puede muestrear en cualquier punto en el que se precise o se desee conocer su contenido radiológico. Sin embargo, si un punto va a representar a toda una zona, si se desea realizar un muestreo sistemático a lo largo del tiempo o si se desea establecer comparaciones entre distintas zonas geográficas, es preciso que los puntos cumplan unos requisitos mínimos comunes a todos ellos y que además dichos requisitos contribuyan a minimizar la variabilidad espacial y temporal de su contenido radiactivo.

Según los objetivos del muestreo las características van a ser ligeramente variables, pero entre todos los objetivos que se proponen en el procedimiento, aquel que impone las condiciones más restrictivas sobre las características del punto se considera que es realizar un seguimiento temporal sistemático del contenido radiactivo en un determinado punto perteneciente a una zona. Dichas características deben ser como mínimo:

- a. Que el punto, por su situación, no pueda resultar apantallado en caso de ocurrir un depósito inesperado; para ello deberá encontrarse en un terreno despejado, alejado de árboles y edificaciones y, a ser posible, libre de arbustos que puedan perturbar el discurrir de un depósito.
- b. Que el punto de muestreo seleccionado debe estar lo menos inclinado posible y suficientemente drenado. En función de las zonas geográficas, sobre todo si presentan una pluviometría elevada, un punto situado en un terreno excesivamente inclinado es un punto sometido a aluviones y escorrentías, esto es, se trata de un lugar inestable y fuertemente lavado, con la pérdida de radionucleidos presentes en el suelo que esto conlleva. Por otra parte, si se trata de un terreno más plano y mal drenado con encharcamientos prolongados se produce, además de un incremento en las dificultades técnicas del muestreo (por ejemplo, en la determinación de la profundidad de este), un tránsito de los radionucleidos al agua, principalmente por efecto de la disolución, de difícil cuantificación.
- c. Que en el punto no se hayan producido alteraciones ni humanas ni animales. Esta cuestión está directamente relacionada con las posibles actividades que pueden tener un origen humano como es la labranza, la edificación, anteriores muestreos... o bien animal como es la alta actividad de animales subterráneos (topos, lombrices...). Realmente el problema de estas operaciones es que conllevan la remoción del terreno con la consiguiente alteración y mezcla del contenido radiactivo en la capa superficial que impediría cualquier análisis de evolución temporal o cualquier estimación de un depósito accidental. Por lo tanto, habrá que tener en consideración, cuando se realicen muestreos sistemáticos en una determinada zona, que el punto de muestreo no debe superponerse exactamente a los anteriores, sino que se tendrá que desplazar una distancia tal que se pueda asegurar que el terreno sobre el que se sitúa no ha sufrido alteraciones.

En este punto se considera lógico barajar una condición que en ocasiones aparece en la literatura especializada como en el HASL de 1997 y es el intentar definir una distancia mínima de seguridad a determinadas actividades humanas, susceptibles de alterar de forma puntual o continuada el estado radiológico de un punto, perdiendo este por lo tanto su carácter de representativo. Esta es la situación que se plantea por ejemplo en la cercanía de carreteras con alta densidad de tráfico, determinados tipos de instalaciones industriales, etc. Sin embargo, no se ha encontrado un criterio suficientemente general que permita definir como recomendada una única distancia, por entender que esta será función de cuestiones como las citadas (densidad de tráfico y tipo de instalación, entre otras). Por lo tanto, no se recomienda ninguna distancia, limitándose el procedimiento a la recomendación de punto no perturbado por actividades humanas.

- d. Que el terreno no sea pedregoso. Si el terreno es excesivamente pedregoso, dado que las piedras por encima de un determinado tamaño no se van a considerar suelo y van a retirarse de él en el tratamiento previo de la muestra para proceder a su análisis radiológico, podría encontrarse por un lado con el hecho de que la cantidad de suelo muestreado es insuficiente y por otro con que no se está recogiendo suelo hasta la profundidad deseada.
- e. Por último, es interesante que en el punto de muestreo no haya vegetación asociada, ya que el camino de un posible depósito debe estar lo más expedito posible, en caso contrario parte de la contaminación se vería detenida por la vegetación en una tasa difícilmente cuantificable y, de cara a un análisis sistemático del contenido radiactivo en un punto, habría que tomar esto en consideración. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la hierba ayuda a la fijación de los supuestos contaminantes al terreno. En todo caso, si existe presencia de vegetación asociada, se elegirá un punto en el que esta sea de tallo corto.

Lógicamente estas condiciones deben considerarse como recomendadas, pero no como imprescindibles ni tampoco suficientes. Los puntos de muestreo deben representar a una zona o a alguna de sus características, por lo tanto, si toda una zona es boscosa, pantanosa, de pasto, pedregosa, etc. no por ello se tendría que dejar de muestrear. El punto de muestreo tendría que representar las características de su zona, pero estas condiciones especiales deberían indicarse como tales en el registro de muestreo correspondiente.

Igualmente, si los objetivos de muestreo son cualesquiera de los otros dos considerados: determinación de fondo y análisis de incidencias, hay que muestrear donde geográficamente corresponda en función del programa previamente desarrollado, por lo tanto, hay condiciones como la primera de las propuestas que carecen de sentido, también en estos casos es importante indicar este extremo en el registro de muestreo correspondiente. No tiene sentido comparar resultados de terrenos urbanos o casi urbanos con terrenos rurales. Por tanto, se deberá consultar la catalogación de suelos en base a su uso.

6.3. Sobre las muestras

Los puntos que requieren una atención especial, cuando se refiere a las muestras, son los referentes a: la profundidad a la que se deben tomar estas muestras, si se debe tomar una muestra simple o “n” submuestras, que a continuación se mezclarán y homogeneizarán, si se debe recomendar una superficie mínima a tomar y lo mismo respecto al peso, para poder asegurar la representatividad de la muestra.

A continuación, se proporcionan indicaciones sobre estos puntos:

6.3.1. Profundidad

Una consideración importante es la referente a cuál debe ser la profundidad de muestreo para ser considerado como superficial. En algunos casos la bibliografía consultada habla de muestras superficiales de 1 cm de profundidad (ASTM C998 – 17); sin embargo, otras muchas consideran la primera profundidad de muestreo, o muestreo de superficie, hasta los primeros 5 cm (IAEA TRS 295), que es la solución que se ha adoptado. El argumento parece claro, cuanto menor sea la profundidad de muestreo, más difícil es definir esta con un error aceptable e incluso en algunos casos la casuística podría resultar en que se está muestreando prácticamente tan solo la capa de hojarasca de los suelos. Por otra parte, a medida que se aumenta la profundidad del muestreo, dado que la tierra recogida se va a mezclar y homogeneizar de cara a las determinaciones radiactivas, los radionucleidos que típicamente se quedan en la capa más superficial (primeros milímetros) como es el caso del Plutonio, van a resultar fuertemente diluidos, dificultando el proceso de su detección.

Hay que señalar que, dependiendo de los objetivos del muestreo, esta profundidad podría ser variable, pero hay un acuerdo más o menos explícito en definir la capa superficial de suelo como aquella comprendida en los cinco primeros centímetros y así se va a considerar en este procedimiento.

6.3.2. Superficie

Este tema es más complejo, en principio la unidad mínima arbitraria para muestrear en suelos, definida por el *Soil Taxonomy del Survey Staff* del Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA) es el pedón, cuya superficie oscila entre 1 y 10 m² según la variabilidad del suelo. Esto conduciría a una superficie mínima muestreable de 1 m², e incluso mayor para suelos de características no homogéneas.

El primer escollo es la dificultad de asumir que en el punto de muestreo la superficie del suelo es suficientemente homogénea como para que el pedón se pueda elegir de 1 m². Este hecho puede determinarse con bastante fiabilidad con el auxilio de utensilios como pueden

ser las tablas de colores Munsell, sin embargo, para realizar muestreos sistemáticos esto conduce a un volumen de trabajo no siempre asumible, por lo que pareció conveniente definir una superficie del punto de muestreo con un valor intermedio entre el mínimo de 1 m² y el máximo de 10 m², escogiendo un cuadrado de 2 m de lado, es decir 4 m². Otra documentación internacional apuesta desde los 2 m² separados entre sí por unos 3 m (ASTM C998 – 17) hasta los “varios m²” que aparecen en UNE-EN ISO 18589-2.

Dada la dificultad práctica de muestrear estas superficies tan amplias y también la gran cantidad de suelo que se obtendría (50 kg en el mejor de los casos), parece conveniente considerar la posibilidad de recoger submuestras de ese pedón que, una vez mezcladas y homogeneizadas, proporcionarán una única muestra representativa de aquél.

En ese caso, será necesario definir un número mínimo de submuestras a recoger teniendo claro que ello conllevará una superficie mínima de muestra tomada en función de las características del equipo de toma de muestras, aspectos ambos claramente relacionados.

6.3.3. Número de submuestras/superficie a tomar

No existe acuerdo en la literatura ni en la normativa internacional sobre este punto, ni en cuanto al número de submuestras, ni en cuanto a la superficie a tomar.

A este respecto la bibliografía consultada ofrece un rango de variación que oscila entre los organismos americanos que requieren 10 submuestras por muestra, como ASTM C998 – 17; y HASL-300, las normas UNE-EN ISO 18589-1 y -2 que no llegan a definir claramente este número, pasando por autores que proponen un número que oscila entre 5 y 25-50, como el trabajo comparativo, CEEM entre métodos europeos, publicado en 2001. A este respecto, se ha optado por solicitar cinco submuestras para componer una muestra, siguiendo la filosofía propuesta por ASTM y que ya es la práctica habitual en nuestro país.

Las cinco submuestras se recolectan por lo tanto en los vértices y en el centro de un cuadrado de 2 m de lado. Si este último extremo entrañara dificultades debido a la orografía del terreno, se elegiría una línea recta y, a lo largo de ella y espaciadas 50 cm, se recolectarían las cinco submuestras. Figura 1.



Figura 1 Estructura de submuestras en línea

En cuanto a la superficie de muestra tomada, relacionada con los equipos de toma de muestra, tampoco hay acuerdo normativo al respecto. Por ejemplo, ASTM C998-17 propugna superficies superiores a los 500 cm^2 y la norma UNE-EN ISO 18589-2, aunque no lo define explícitamente, por los instrumentos que selecciona, 380 cm^2 . Estas recomendaciones son difusas, puesto que tienen un doble objetivo: por una parte, incrementar la representatividad de la muestra, pero en suelos homogéneos no parece claro cómo definir este valor y en suelos no muy homogéneos, parece que habría que irse al pedón ($10\,000 \text{ cm}^2$) por la propia definición de este. El siguiente objetivo estaría relacionado con la cantidad de masa necesaria para realizar los análisis, requisito que a su vez dependerá no solo de cuáles sean estos sino también de las características del terreno, por ejemplo, de la cantidad de piedras y otros objetos que haya en él.

Respecto a la superficie de muestra tomada, se decide que como mínimo sea de 393 cm^2 , al establecer el tamaño mínimo de los equipos de muestreo en 10 cm de diámetro (caso del sacabocados, el anillo y la plantilla) y 10 cm de lado (caso de la plantilla y la caja Kubiena). Equipos que se describirán más adelante en este documento.

Con estas condiciones, la masa total mínima a tomar de suelo será de, aproximadamente, 2,5 kg.

Estos valores resultan coherentes con los que aparecen en la normativa consultada, según UNE-3 se debe recoger al menos 1 kg de muestra, para ASTM C998-17, entre 4 y 5 kg y MARSSIM, mucho menos explícito, requiere al menos 100 g. Hay que tener en cuenta que, a la hora de decidir la cantidad de muestra necesaria, se mueve entre el interés en no mani-

pular grandes cantidades de muestra y el interés en que la muestra sea lo más representativa posible. En todo caso hay que señalar que para la gran mayoría de los casos y los programas de medidas que se realizan en nuestro país, 500 g de muestra ya preparada será suficiente, incluyendo la necesidad de preservar algo de muestra como archivo, por lo que se considera que los 2,5 kg de muestra bruta que aproximadamente se tomaran con el procedimiento aquí descrito, son ampliamente suficientes.

6.4. Sobre los equipos de toma de muestras

El equipo de toma de muestras responderá al especificado en este apartado y se indicarán las mejoras que se vayan a incluir, según necesidades justificadas.

El equipo de toma de muestras o instrumento utilizado para recoger una muestra es fundamental a la hora de definir la matriz objeto del procedimiento. Deben estar adaptados a las necesidades y objetivos especificados en el programa de muestreo y a las condiciones en que se pueden desarrollar.

6.4.1. Descripción de los equipos

Existe una amplia variedad de instrumentos, tanto comerciales como de elaboración propia, destinados a la toma de muestras de suelos. Parte de ellos son de utilización manual y otros no, determinándose el uso de unos u otros en función de la profundidad de la muestra y de la superficie de esta. Evidentemente, dado que se está considerando un muestreo de la primera capa, a tan solo 5 cm, realizado sobre superficies pequeñas, los instrumentos necesarios para realizar el muestreo se encuentran entre los más sencillos del mercado: los manuales que aparecen descritos, por ejemplo, en la norma UNE-EN ISO 18589-1.

Dado que con estas características se puede encontrar una gran variedad de instrumentos comerciales, tan solo se refieren aquí aquellos más habituales como son el sacabocados (cilindro), la plantilla, el anillo y la caja Kubiena. Se presentan sus características más someras, aunque cada uno de ellos a la hora de diseñarlo o comprarlo se puede obtener con una serie de complementos o modificaciones adecuados a las necesidades de cada muestreo.

6.4.1.1. Sacabocados o cilindro

El sacabocados (figuras 2 y 3) no es más que un cilindro metálico de un diámetro adecuado (entre 5 y 10 cm) provisto de un borde afilado en su parte inferior que se hincan en el punto señalado del terreno hasta la profundidad deseada, los sistemas de control de profundidad no son más que una escala adecuada en el exterior del cilindro, aunque es recomendable muestrear a una profundidad ligeramente mayor que la deseada y controlar esta en el mo-

mento de extracción de la muestra. La magnitud de la posible compactación de la muestra se puede obtener por diferencia entre profundidad medida y el espesor de esta.

El sistema para hincar el cilindro en el suelo y después extraerlo puede ser puramente artesanal, como dotar al cilindro de una caperuza metálica sobre la que se golpea con una maza a la hora de hincar el cilindro en el terreno y de una barra metálica que al introducirse entre dos orificios opuestos practicados en el cilindro le confiere al sistema una estructura de T que ayuda a su extracción del suelo. Sin embargo, hay muchos diseños comerciales que van desde la estructura en T hasta aquellos dotados de martillos deslizantes. Estos sistemas comerciales tienen puntas (bordes en la parte inferior del cilindro) removibles de diferentes características según el tipo de terreno a muestrear y se pueden adquirir junto con unos cilindros internos (*liners*), de aluminio, latón, acero inoxidable o plástico, donde se aloja la muestra tomada y que debidamente tapados, permiten conservar esta imperturbada hasta su recepción en el laboratorio.

La característica fundamental de este tipo de muestreadores es que permiten obtener muestras no perturbadas en el sentido de que respetan el perfil que presenta el suelo del cual proceden.

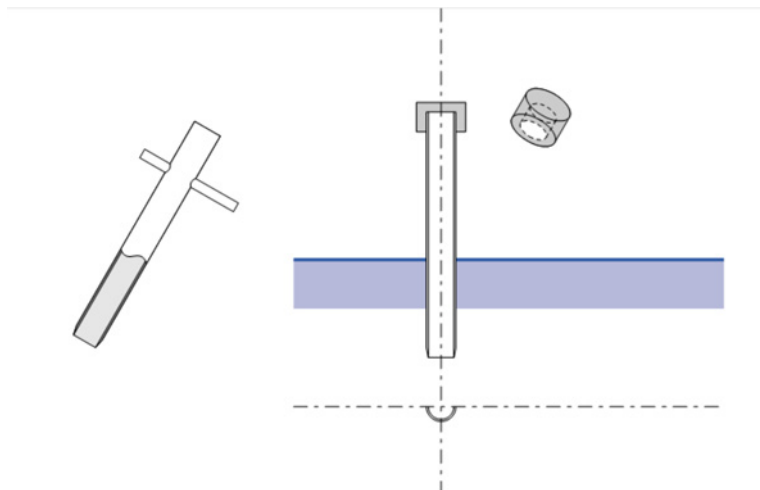


Figura 2. Cilindro de toma de muestras artesanal



Figura 3. Cilindro de toma de muestras con martillo deslizante



Figura 4. Detalle del cabezal del cilindro

6.4.1.2. Plantilla

Con este nombre genérico se describen dos sistemas clásicos (figura 4):

1. Una estructura de acero cuadrada de longitud de lado adecuado, para ASTM C998 – 17 quiere decir 10 cm, mientras que UNE-EN ISO 18589-2 la define con 20 cm de lado. En este documento se considera que cualquier tamaño por encima de 10 cm de lado sería adecuado y el límite inferior vendría determinado por las dificultades inherentes a extraer de la plantilla la muestra de suelo por un lado y por otro, así como garantizar la cantidad de muestra necesaria para todos los análisis a realizar y su representatividad.
2. Una estructura de acero circular de diámetro adecuado para garantizar lo mejor posible la representatividad de la muestra y la obtención de la cantidad de muestra necesaria para la realización de los análisis requeridos. En este caso, tanto para ASTM C998 – 17 como para UNE-EN ISO18589-2, se trata de anillos de 10 cm de diámetro. En este documento, como en el caso de los cuadrados, se considera también que este es un valor mínimo.

Ambas plantillas disponen de bordes afilados en uno de los extremos y altura correspondiente a la profundidad de muestreo requerida, 5 cm, en el procedimiento descrito. La plantilla se hince en la tierra en el punto requerido y a continuación se procede a extraer el suelo de su interior.

Obviamente, la muestra obtenida por este procedimiento constituye una muestra perturbada en el sentido descrito en el apartado anterior.



Figura 5. Plantilla para toma de muestras

6.4.1.3. Anillo

El anillo (figura 5) responde a un esquema semejante al anterior, pero permitiendo cerrar la plantilla por una de sus superficies. Ahora bien, su forma es cilíndrica, de diámetro adecuado a la cantidad de suelo que se desee recoger, con un mínimo de 10 cm, está construido en acero, su altura es equivalente a la profundidad deseada de muestreo, o bien presenta un reborde móvil que permite definir esta en cada caso, presenta una base independiente del cilindro también en acero y su superficie presenta un sistema de cierre que permite desmoldar el suelo muestreado. Su funcionamiento incluye el introducir el cilindro de cierre en el punto seleccionado para el muestreo con la ayuda de un mazo si fuera necesario, retirar toda la tierra en el entorno de él y, a continuación, introducir la base del cilindro. La extracción de la muestra se puede realizar tanto en el lugar de muestreo como en el laboratorio. La muestra obtenida por este procedimiento también reúne la característica de ser no perturbada.

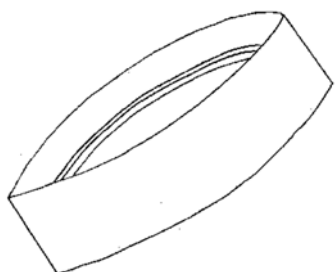


Figura 6: Anillo con reborde interior

6.4.1.4. Caja Kubiena

Por último, la caja Kubiena (figura 6) vuelve a ser una versión de la plantilla, como el anillo, pero ofrece la posibilidad de dejar el suelo muestreado encerrado entre la superficie anterior y la posterior, su forma es paralelepípedica, y las dimensiones requeridas en este procedimiento serán de 10 x 10 x 5 cm; está construido en acero y presenta una base y una tapa independientes del paralelepípedo también en acero, así como un sistema de cierre que permite aislar y después desmoldar el suelo muestreado. El sistema de muestreo es semejante al del anillo, pero el volumen muestreado se puede aislar tanto por su superficie superior como inferior. La extracción de la muestra se puede realizar tanto en el lugar de muestreo como en el laboratorio, caracterizándose por estar no perturbada, también en el sentido descrito anteriormente.

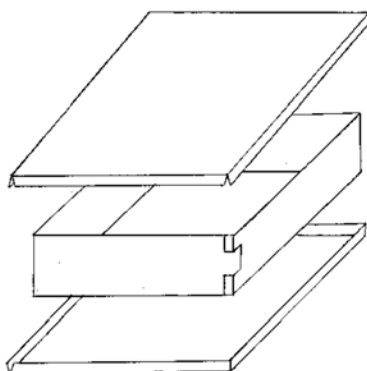


Figura 7: Caja kubiena

Obviamente existen más sistemas de muestreo manual superficial, tanto comerciales como de diseños más o menos particulares, pero todos ellos acaban reduciéndose a uno de estos cuatro modelos fundamentales.

6.4.2. Elección de los equipos

Los instrumentos más comúnmente utilizados son los dos primeros, y después de confrontar los diferentes argumentos en defensa de uno u otro, basados además en las experiencias de utilización, se llegó a la conclusión de que, en el procedimiento descrito, cada uno de ellos es adecuado en función del tipo de suelo que se desee muestrear.

Por ejemplo, en suelos particularmente arenosos o pedregosos, el sacabocados no funciona correctamente, perdiéndose parte del suelo en el propio proceso de extracción, aunque bocas adaptadas permiten minimizar esas pérdidas, o impidiendo las piedras su correcta penetración. Sin embargo, en suelos que no reúnan estas condiciones es mucho más fácil de introducir y de obtener la muestra con el sacabocados que con la plantilla. Por otra parte, a la hora de definir una profundidad de muestreo, el sistema de extracción del sacabocados es mucho más exacto que el de la plantilla. En último lugar, cabe señalar que el primero de ellos permite no solo obtener muestras no perturbadas, sino también que la muestra de suelo llegue al laboratorio sin sufrir alteraciones (p.ej. pérdida de humedad) y el segundo no. En principio, este procedimiento está descrito para mezclar el suelo obtenido después de la extracción, por lo tanto, que el suelo sea no perturbado será irrelevante. No obstante, a la hora de realizar previsiones, esta característica será digna de tomarse en consideración.

El anillo y la caja Kubiena tienen la ventaja de que permiten definir exactamente la profundidad del muestreo, desde el momento mismo en que este se realiza. En el caso del segundo, tiene como ventaja adicional que proporciona un recipiente en el cual la muestra

permanece debidamente aislada hasta su llegada al laboratorio. Sin embargo, el procedimiento operativo es más laborioso.

Por todos estos argumentos se considera que, a la hora de muestrear, cada usuario debe plantearse, en función del tipo de suelos con los que debe trabajar y de cuál es su sistema organizativo de remisión de muestras, qué instrumento es el más adecuado para realizar el muestreo.

Sin embargo, y de manera global, para la mayoría de las tomas de muestras que se realizan en España, se puede recomendar, de entre los diferentes sistemas de toma de muestras previamente detallados, el uso de la plantilla (circular o cuadrada), o del sacabocados con bocas adaptadas al tipo de terreno, con un tamaño mínimo de 10 cm de diámetro o lado.

6.5. Sobre la manipulación de la muestra

El principio general sobre el que hay acuerdo unánime es que cuanto menos se manipulen las muestras en campo, mejor; la idea es que estas se deben enviar al laboratorio lo antes posible, donde se deberán preparar para obtener las alícuotas necesarias, en función de los análisis a realizar, en la forma física que estos requieran. Solo en el laboratorio se podrá realizar esta preparación en las debidas y controladas condiciones que garanticen las mismas propiedades de la muestra en el momento de ser tomada.

Ahora bien, conscientes de que pueden existir situaciones en que es necesario o al menos conveniente realizar una cierta preparación en campo, bien porque la muestra se debe repartir entre varios laboratorios, bien porque solo se desee remitir una parte de ella al laboratorio o bien porque se desee reducir su volumen para facilitar su transporte (retirando piedras y otros objetos, por ejemplo) se opta por dar unas recomendaciones operativas sobre cómo actuar en estos casos en que las muestras se vayan a manipular en campo.

Estas recomendaciones tienen tres ejes fundamentales: la manipulación en campo debe ser la mínima posible; nunca se puede recomendar el tamizado en campo; y si la muestra se va a dividir en alícuotas o si solo una parte de ella se va a remitir al laboratorio, es imprescindible pesar tanto la muestra total como la alícuota que se remite. En su caso, ambas pesadas deben realizarse o bien antes o bien después de retirar las piedras y/u otros objetos de la muestra, pero ambas pesadas en idénticas condiciones.

La superficie del instrumento de toma de muestras y el número de submuestras tomadas, junto con los resultados de estas pesadas (en su caso), son datos que se deberán proporcionar al laboratorio de análisis para posibilitar que este pueda proporcionar los resultados de las determinaciones radiactivas tanto en Bq/kg seco como en Bq/m².

6.6. Frecuencia y secuencia temporal

La frecuencia del muestreo dependerá tanto de los objetivos del programa de muestreo como de las características de la zona a muestrear. Y deberá de ser definida en cada uno de los programas de muestreo específicos que se desarrollen.

6.7. Personal involucrado, características de formación

Se considera que el programa de muestreo debe incluir qué personal (o empresa) va a ser el encargado de la toma de muestras y también qué formación mínima va a tener con sus correspondientes registros. Ello no implica que esta formación deba ser más que el conocimiento del procedimiento, pero ciertamente deberá figurar en algún documento que esto es así.

En el programa de muestreo, y en función de al menos las citadas consideraciones, se deberá referenciar el procedimiento a seguir, así como los correspondientes registros a completar.

7. Procedimiento operativo de la toma de muestras

7.1. Consideraciones previas / Precauciones

- Todo el equipo de toma de muestras tiene que estar escrupulosamente limpio y repetirse la limpieza, de manera más somera, tras cada extracción individual, con el objeto de evitar contaminaciones cruzadas.
- Antes de realizar la toma de muestras, el personal encargado debe asegurarse de que el punto de muestreo estará accesible y que las condiciones climatológicas vayan a permitir esta.
- Antes de realizar la toma de muestras, el personal encargado debe asegurarse de que todo el instrumental se encuentra en perfectas condiciones y que responde al especificado en el programa de muestreo.
- El personal a cargo de la realización de la toma de muestras tiene que estar suficientemente formado y entrenado en las técnicas específicas a utilizar, que deben incluir aquellas destinadas a garantizar su seguridad física personal.

7.2. Materiales

Para la toma de muestras de suelos se recomienda disponer de los siguientes utensilios:

- Instrumento para la extracción de muestras.
- Mazo, en su caso.
- Cepillo y podadora.
- En caso de utilizar plantilla: azada pequeña o cualquier sistema para retirar el suelo del interior de esta.
- En su caso, balanza.
- Bolsas de plástico resistente o botellas con posibilidad de cerrarse herméticamente.
- Etiquetas adhesivas y ficha de muestreo.

- Rotulador indeleble.
- Guantes.
- Tabla de colores Munsell.
- Utensilios de limpieza, en su caso, si se va a realizar más de una toma.
- Sistema de localización geográfica.

7.3. Toma de la muestra

A continuación, se extraerán las submuestras requeridas sirviéndose para ello del instrumento más apropiado. El procedimiento operativo será el siguiente:

- Marcar sobre el terreno los puntos donde se van a realizar las extracciones individuales.
- Si hay capa herbácea en el punto de muestreo, se procederá a cortar a ras de superficie la hierba existente. Si así figura en el programa de muestreo, esta se reservará en un recipiente hermético por si fuera necesario su posterior análisis individual. El recipiente se marcará con una etiqueta que contenga al menos la información que aparece en el anexo 1. Así mismo, se retirarán manualmente las hojas, ramas, etc. sueltas que puedan tapizar la superficie.
- Verificar que los instrumentos de recogida, tanto utensilios como recipientes, estén convenientemente limpios para evitar la transferencia de radiactividad entre unas muestras y otras.
- Hincar el instrumento de extracción en el terreno de manera que se esté seguro de recoger la profundidad de muestra requerida, 5 cm para el caso del muestreo superficial. Figura 8.



Figura 8: Sistema sencillo de determinación de profundidad

Si se emplea una plantilla, se hince en la tierra en el punto requerido, se alinean correctamente los bordes con la superficie del terreno, haciendo uso de un mazo en caso de ser necesario.

Si se emplea un sacabocados, es conveniente recoger las muestras en cilindros mejor que directamente en el cuerpo del equipo. Si el equipo dispone de un mango en T, girar en sentido de las agujas del reloj mientras se presiona hacia abajo. Si el equipo dispone de un martillo deslizante, levantar el martillo y permitir que caiga para facilitar que se hince el sacabocados. Retirar la muestra tirando hacia arriba del mango o martillando hacia atrás.

- Recoger la tierra del interior del instrumento de muestreo. Esto se puede realizar bien *in situ* o bien en el laboratorio, con las precauciones adecuadas.
- En el caso de usar plantilla, retirar el suelo contenido en su interior con ayuda de una pequeña pala o similar. Figura 9.



Figura 9: Extracción de suelo de la plantilla

- En el caso de usar sacabocados con cilindro (*liner*), retirar y presionar sus tapas de plástico en cada extremo del mismo. Figura 10.



Figura 10: Suelo encapsulado en el *liner*

- Remitir las muestras al laboratorio de análisis.

La totalidad de las cinco submuestras obtenidas pueden o bien ser remitidas directamente al laboratorio, o almacén intermedio, sin ningún tratamiento previo, o bien se puede realizar un tratamiento *in situ*, si se desea reducir el tamaño de la muestra, retirando de ellas las piedras (mayores de 2 cm, aproximadamente) raíces y otros objetos, pero no se debe tamizar. A continuación, la muestra resultante de mezclar las cinco submuestras se introduce bien en una bolsa de plástico resistente o bien en un recipiente de boca ancha, con objeto de ser remitido al laboratorio. Este recipiente debe quedar bien cerrado y precintado, evitando manipulaciones durante el transporte al laboratorio de análisis, donde se realizará su pesada y la preparación de la muestra. El resultado de esta pesada será el peso de referencia que se utilice para proporcionar la actividad en Bq/m² a partir de la determinada en Bq/kg seco.

Si la muestra tomada va a ser distribuida desde el punto de muestreo entre dos o más laboratorios o si solo se desea remitir parte de la muestra al laboratorio de análisis o almacén intermedio, es imprescindible la mezcla y homogeneización previa de las cinco submuestras. Para ello se retirarán las piedras (mayores de 2 cm, aproximadamente), raíces y otros objetos. No se tamizará. A continuación, se mezclarán y homogeneizarán las cinco submuestras con una técnica de cuarteo o similar, como se describe en la norma UNE 103100, y se pesará el producto final. Después se tomarán las alícuotas deseadas, se pesarán e introducirán en los correspondientes recipientes ya descritos, con objeto de ser remitidos al laboratorio de análisis. El resultado de ambas pesadas: peso total muestreado y peso remitido al laboratorio (o porcentaje remitido del peso total muestreado) serán necesarios para que dicho laboratorio proporcione la actividad en Bq/m² a partir de la determinada en Bq/kg seco. También en estos casos los recipientes deben quedar bien cerrados y precintados, evitando manipulaciones durante el transporte al laboratorio de análisis, donde se realizará la preparación de la muestra.

El transporte se realizará en el menor plazo de tiempo posible.

- Identificar el recipiente con una etiqueta adhesiva que contenga al menos la información que aparece en el anexo 1.

7.4. Registro de la toma de muestra

Se llevará registro de las actuaciones, dejando constancia de la visita al punto de muestreo, mediante formularios de la toma de muestras y de las etiquetas adhesivas para los contenedores. Se adjuntan dos registros, a modo de ejemplo, en los anexos 1 y 2 de este procedimiento.

Pegar una etiqueta adhesiva en el/los contenedor/es de transporte de la muestra que, al menos, contendrá la siguiente información.

- Referencia de la muestra y del punto de muestreo.
- Tipo de muestra.
- Fecha de recogida de la muestra.
- Datos del destinatario, laboratorio al cual se debe remitir la muestra.
- Identificación de la persona y/o entidad responsable de la toma de muestras.

NOTA: Cuando el destinatario coincida con la entidad que toma la muestra, se hará constar en el programa de muestreo y no será necesario rellenar ambos.

Por otra parte, se deberá registrar, como mínimo, la siguiente información en una ficha de toma de muestra, información que, total o parcialmente, deberá acompañar a la muestra en su envío al laboratorio de análisis.

- Referencia de la muestra y del punto de muestreo.
- Tipo de muestra.
- Procedimiento de muestreo.
- Superficie del instrumento de toma de muestras.
- Número de submuestras tomadas.
- Fecha de recogida de la muestra.
- Datos del destinatario, laboratorio al cual se debe remitir la muestra.
- Masa total recolectada.
- En su caso, masa remitida al laboratorio.

- Observaciones.
- Firma de la persona que ha tomado la muestra, reflejando su nombre y apellidos o sus iniciales identificativas.
- Identificación de la persona y/o entidad responsable de la toma de muestras.

NOTA: Cuando el destinatario coincida con la entidad que toma la muestra, se hará constar en el programa de muestreo y no será necesario rellenar ambos.

De esta ficha debe conservar copia la persona o entidad responsable de la toma de muestras.

Hay que entender que estos son contenidos que se han considerado como mínimos. Cada entidad realizadora de la toma de muestras deberá adecuar los registros a sus necesidades. Por ejemplo, no se ha considerado, en este registro de mínimos, que se deba incluir el tipo de equipo de toma de muestras, ya que deben figurar detallados en el procedimiento correspondiente.

8. Control de calidad del muestreo

Un programa de calidad de muestreo deberá comprender todas las etapas necesarias para garantizar la obtención de resultados válidos (personal competente, métodos de recogida y manipulación de muestras apropiados, registros completos y seguros, etc.).

La competencia del personal se debe garantizar a través de las correspondientes actividades de formación y entrenamiento que se consideran fuera del alcance de este procedimiento. Los otros dos aspectos se consideran cubiertos si el proceso de muestreo se realiza siguiendo este documento.

Ahora bien, dentro de este programa deben plantearse medidas de control de calidad para la identificación y posibilidad de cuantificación de errores asociados al muestreo. Dicho control de calidad en el muestreo tiene tres objetivos principales:

1. Proporcionar un modo de monitorizar y detectar el error de muestreo, así como los medios para el rechazo de datos no válidos.
2. Actuar como demostración de que los errores de muestreo han sido controlados adecuadamente.
3. Indicar la variabilidad del muestreo, importante desde el punto de vista de la incertidumbre.

Estos principios fundamentales del control de calidad en el muestreo, que alcanzan el acuerdo unánime por parte de todos los miembros del grupo, no siempre tienen una aplicación práctica sencilla que se traduzca en actividades a realizar para las distintas matrices a muestrear. No obstante, se considera que, para cualquier procedimiento de toma de muestras, entre estas actividades se debe incluir, al menos:

- El intercambio de información entre el cliente, el personal de muestreo y el personal de laboratorio como pieza clave para mejorar la calidad del muestreo y del análisis.
- La supervisión y auditoría independientes del proceso de toma de muestras.

Además, en el caso particular de la toma de muestras de la capa superficial de suelos, las medidas específicas de control de calidad pueden incluir, entre otras actividades:

- Garantizar la profundidad de 5 cm en la toma de muestras, en toda la superficie tomada. Para ello existen distintos mecanismos, por ejemplo, una hélice que gire dentro de la plantilla o una estructura cuya altura esté graduada y al menos sea de 5 cm.
- Comprobar que en toda la superficie de muestreo y entre las diferentes submuestras, el suelo es suficientemente homogéneo, para ello se recomienda emplear utensilios como las tablas de colores Munsell (Munsell, 2000).

9. Procedimiento operativo para la conservación de las muestras

9.1. Consideraciones previas/precauciones

La regla de oro a seguir en cuanto se recoge una muestra, es que ésta se prepare para su análisis en el menor tiempo posible. En cualquier caso, durante ese lapsus temporal debe garantizarse que las condiciones para su conservación sean tales que permitan mantener inalteradas sus principales propiedades físico-químicas, con especial hincapié en conservar su porcentaje de humedad relativa y su contenido en materia orgánica, en caso de que se deban determinar experimentalmente.

9.2. Equipamiento y materiales

Debe señalarse que esta lista no constituye una relación pormenorizada y excluyente de dichos equipos y materiales. En algunos casos se identifica una característica mínima, como es la capacidad y sensibilidad que se recomienda posean las balanzas a utilizar, o la temperatura mínima que deben alcanzar la estufa o el horno con el que trabajar, cuando de hecho dichos requisitos mínimos son ampliamente satisfechos por la práctica totalidad de marcas dedicadas a la fabricación de esos equipos de laboratorio.

- Balanza con rango entre el gramo y varios kilos.
- Envases con geometrías adecuadas para la preservación de las muestras: recipientes de polietileno de diferente volumen con cierre son los más recomendados.
- Frigorífico, si procede para la conservación de las muestras hasta el inicio de su preparación.
- Congelador, si procede para la conservación de las muestras hasta el inicio de su preparación.
- Material de uso común, si se debe de realizar la separación en alícuotas antes de la entrega de la muestra al laboratorio de análisis: bandejas metálicas, espátulas, productos de limpieza, etiquetas autoadhesivas, guantes, rotuladores indelebles, etc.

9.3. Procedimiento operativo de conservación de muestra

Los condicionamientos para la conservación de la muestra, en particular las condiciones ambientales con especial atención a la temperatura ambiente, son progresivamente más exi-

gentes, cuanto mayor fuese el intervalo de tiempo previsible hasta su preparación. En especial si se requiere la determinación de parámetros físico-químicos del suelo.

Es muy importante insistir en la idea de que estos plazos aplican desde el momento de su toma hasta el momento de su preparación en el laboratorio, independientemente de que exista o no un almacenamiento intermedio, con lo que es imprescindible la correcta comunicación entre el laboratorio de análisis y los responsables del muestreo para asegurarse de que los plazos se cumplen. También cabe señalar la importancia de que no se rompa la cadena de conservación, si una muestra se refrigera o congela en el almacén intermedio, así deberá de transportarse y el laboratorio, tras su recepción, deberá de mantenerla en las mismas condiciones hasta su tratamiento.

Δt recolección-preparación (h)	Condiciones ambientales
24 (mismo día)	Almacenar la muestra en lugar fresco ($T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y fuera de la incidencia directa de la luz solar.
48	Refrigerada ($T \sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$) si se deben determinar parámetros físico-químicos del suelo (pH, materia orgánica, humedad relativa). Almacenar la muestra en lugar fresco ($T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y fuera de la incidencia directa de la luz solar, si no se deben determinar parámetros físico-químicos del suelo.
> 48	Congelada ($T \sim -18\text{ }^{\circ}\text{C}$) si se deben determinar parámetros físico-químicos del suelo (pH, materia orgánica, humedad relativa). Almacenar la muestra en lugar fresco ($T < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y fuera de la incidencia directa de la luz solar, si no se deben determinar parámetros físico-químicos del suelo.

10. Procedimiento operativo para la recepción de las muestras

Tres son los aspectos que deben destacarse sobre la recepción en el laboratorio de las muestras de suelos para la posterior medida de su contenido radiactivo.

En primer lugar, la importancia que tiene el registro, la aceptación o rechazo o la realización de las observaciones que deban efectuarse sobre las muestras recibidas y sobre la documentación que las acompaña a su llegada al laboratorio.

Este aspecto es clave para asegurar tanto la correcta identificación de la muestra, como para poder garantizar que esta no ha sufrido alteraciones significativas desde su toma, o que, en cualquier caso, se han documentado convenientemente las deficiencias o anomalías existentes en la misma, de forma que se puedan tener presentes a la hora de valorar los resultados que se obtengan.

En este sentido, es importante la existencia de unos criterios claramente establecidos en cada laboratorio, para aceptar o rechazar una muestra en el mismo, lo cual, en el caso de las muestras a las que este procedimiento se refiere, puede ser especialmente sencillo, como es el rechazo que debe producirse cuando la muestra recibida carezca de una correcta identificación. En cualquier caso, dichos criterios no deben dejarse al libre albedrío de la persona concreta que en cada momento efectúa la recepción de la muestra.

La correcta identificación de la muestra en el laboratorio se garantiza registrando en su base de datos toda aquella información relativa a la toma de muestras, la cual debe venir consignada en la correspondiente ficha (véase anexo 2), que debe acompañar a cada muestra a su llegada al laboratorio. Por ello, para su correcto ingreso en el laboratorio, solo se precisa completar dichos datos con la fecha de recepción en el mismo, la clave identificativa de la muestra en el laboratorio, que puede coincidir o no con la referencia dada a la muestra durante su toma, y con las observaciones efectuadas durante el muestreo, que deben figurar en la ficha que acompaña a la muestra. Así mismo, deben reflejarse los comentarios que haya sido necesario realizar en el acto de su recepción en el laboratorio.

En segundo lugar, ha de destacarse la necesidad de poseer un sistema eficiente de registro y de documentación de las muestras recepcionadas, que abarque desde que se tome la muestra, pasando por su ingreso en el laboratorio, hasta que se efectúa la emisión del correspondiente informe de su contenido radiactivo y el posterior archivo definitivo de los datos correspondientes a la determinación realizada.

En tercer lugar, debe garantizarse la integridad y la confidencialidad de los datos en los diferentes procesos realizados en el laboratorio. Sería suficiente con que los trabajadores del laboratorio firmen un documento de confidencialidad; una alternativa a la firma de ese documento podría ser la encriptación de la referencia de la muestra, de forma que los opera-

dores y analistas que trabajan con ella ignoren tanto el origen de la muestra, como el destinatario final de los datos obtenidos. Se debe prestar especial atención a la transmisión de la información necesaria para la correcta determinación de los análisis, como, por ejemplo, la superficie muestreada, las masas de la muestra fresca muestreada, la de la muestra que receptiona el laboratorio, la desecada y la de la alícuota, o la fecha de envasado.

Por lo tanto, al recepcionar en el laboratorio una muestra, y como paso previo a su aceptación y registro, debe verificarse su correcta identificación. Es decir, deben ser coincidentes los datos que figuran en la etiqueta autoadhesiva existente en el recipiente que contiene la muestra, con los de la ficha de toma de muestra que la acompaña.

Seguidamente se procede al registro de la muestra en el sistema previsto al efecto en cada laboratorio, en el que al menos deben figurar los datos que a continuación se relacionan.

10.1. En la base de datos de muestras recepcionadas

- Datos que figuran en la hoja de toma de muestra (anexo 2), salvo los referentes a la persona/entidad responsable de la toma de muestra, además de:
 - Observaciones sobre el estado en que se recibe la muestra.
 - Observaciones relevantes que figuran en la ficha de muestreo.
 - Observaciones relevantes a tener presentes para su preparación.

10.2. Acompañando a la muestra durante su preparación

- Clave identificativa de la muestra.
- Fecha y hora de la toma de muestra.
- Masa de muestra.
- Observaciones relevantes a tener presentes para su preparación.
- Relación de las anomalías habidas durante la preparación.
- Registro de otros datos relevantes obtenidos durante la preparación.

10.3. Información adicional

Hay que considerar que el laboratorio solo se puede responsabilizar de la muestra que recepciona a la hora de proporcionar sus resultados en cuanto a su contenido de radiactividad, por lo tanto, si la entidad que realiza la toma de muestras no es el mismo laboratorio, a este se le debe de proporcionar información adicional respecto al procedimiento de toma de muestras, por ejemplo, la superficie muestreada.

11. Procedimiento operativo para la preparación de muestras

11.1. Consideraciones previas/precauciones

La preparación a la que hay que someter a las muestras de suelos, no presenta una casuística muy elevada, ya que básicamente la obtención de una muestra sobre la que realizar los análisis correspondientes, pasa por dos etapas: la eliminación de aquellos componentes de la muestra tomada que no se consideran componentes del suelo y su desecación.

El método a emplear para desecar la muestra de suelo y la temperatura a la que dicha desecación debe realizarse depende de que se desee cuantificar o no la presencia de radionucleidos volátiles. En cualquier caso, debe verificarse la constancia en el peso final de la muestra de suelo al aumentar el tiempo de desecación, lo cual indicaría que ya se ha producido la pérdida de toda el agua que contenía. A la masa de la muestra así obtenida se le identifica como “peso seco” (P_s), y, habitualmente, las unidades en que se proporciona la concentración de actividad en suelos son Bq/kg seco.

También hay que señalar que, si se deben tomar alícuotas de la muestra para su remisión a diferentes laboratorios, tanto si este paso se realiza *in situ* en el mismo punto de muestreo como si se realiza en el almacén intermedio o ya directamente en uno de los laboratorios de análisis, lo fundamental es homogeneizar previamente la muestra y, a ser posible, realizar esta separación después de haber retirado aquellos componentes que no forman parte del suelo: piedras de gran tamaño (mayores de 2 cm, aproximadamente), raíces, palos, insectos, papeles y residuos en general. Si el resultado se debe proporcionar en Bq/m², es imprescindible pesar la muestra total antes de la separación en alícuotas y también pesar las alícuotas que se van a remitir.

11.2. Equipamiento y materiales

Debe señalarse que esta lista no constituye una relación pormenorizada y excluyente de dichos equipos y materiales. En algunos casos se identifica una característica mínima, como es la capacidad y sensibilidad que se recomienda posean las balanzas a utilizar, o la temperatura mínima que deben alcanzar la estufa o el horno con el que trabajar, cuando de hecho dichos requisitos mínimos son ampliamente satisfechos por la práctica totalidad de marcas dedicadas a la fabricación de esos equipos de laboratorio.

Se debe señalar que el principal cuidado que debe tenerse con el empleo de estos equipos y materiales es el de extremar su limpieza, a fin de garantizar la no transferencia de contaminación entre las diferentes muestras que se preparen en el laboratorio.

Equipamiento

- Estufa de secado, rango (40 – 110 °C).
- Frigorífico, si procede, para la conservación de las muestras hasta el inicio de su preparación.
- Congelador, si procede, para la conservación de las muestras hasta el inicio de su preparación.
- Molino de bolas.
- Balanza granataria.
- Tamiz de 2 mm de luz de malla.

Materiales

- Envases con geometrías adecuadas para la preservación y/o medida de las muestras: recipientes de polietileno de diferentes volúmenes, cápsulas plásticas tipo Petri, contenedores Marinelli, etc.
- Material de uso normal: bandejas metálicas, tijeras y/o sistema de guillotina de sobremesa, cuchillos, espátulas, productos de limpieza, tabla de cocina, etiquetas autoadhesivas, guantes, rotuladores indelebles, bolsas de plástico, film transparente, etc.

11.3. Procedimiento operativo de preparación de muestra

Tras la recepción de la muestra de suelo en el laboratorio, ésta se prepara para su medida de acuerdo con el siguiente procedimiento operativo, que se muestra esquemáticamente en la figura 11:

- En primer lugar, se debe retirar todo lo que pueda genéricamente identificarse como objetos extraños a la misma, tales como: raíces, hojas, insectos, papeles, etc., con un tamaño superior a 2 cm, si no se hubiese hecho previamente *in situ* durante la toma de muestras o en un almacén intermedio.

- Si se tuviese que realizar una medida rápida con urgencia, p. ej. por la sospecha de radionucleidos emisores γ de vida corta, se envasaría la muestra inmediatamente tras su recepción en un recipiente para el cual el laboratorio disponga de los correspondientes calibrados y se realizaría una medida espectrométrica γ , teniendo en cuenta el valor de masa fresca analizada y su equivalencia a la superficie muestreada. Tras la realización de la misma, se continuaría con la preparación de la misma, concretamente su desecación.
- Se seca la muestra a temperatura relativamente baja ($\sim 40^{\circ}\text{C}$), durante 24 o 48 horas, dependiendo de la cantidad de humedad que contenga la muestra.
- A continuación, se desmenuzará los aglomerados de suelo (p. ej. con una maza o similar). Tras este proceso, la muestra se cribará por un tamiz de 2 mm y estará lista para el proceso de secado.
- Si en el plan de muestro se contempla la medida de radionucleidos emisores γ volátiles, la desecación de la totalidad de la muestra de suelo recibida debe efectuarse de forma natural a la temperatura ambiente del laboratorio o en estufas de desecación a temperaturas relativamente bajas ($\sim 40^{\circ}\text{C}$), para poder garantizar que no se produce la pérdida por evaporación de los radionucleidos que se desean detectar. En caso contrario, dicha temperatura puede elevarse hasta los ($\sim 105^{\circ}\text{C}$), acortándose el tiempo preciso para provocar la pérdida total de la humedad existente en la muestra. El tiempo necesario para el secado de la muestra, depende principalmente de sus características, de su humedad relativa y de la temperatura de secado. Con la experiencia adquirida, cada laboratorio debe conocer la duración estándar de este proceso, en cualquier caso y hasta estimar un tiempo mínimo que garantice dicho secado, debe verificarse la constancia en el peso final de la muestra de suelos, lo cual indicaría que ya se ha producido la pérdida de humedad.
- A continuación, se procederá a la homogeneización de la muestra mediante un proceso de triturado en el que se puede utilizar, a modo de ejemplo, un molino de bolas. Se recomienda obtener un polvo final que pase por un tamiz de 200 μm o 250 μm . Esta es la muestra sobre la que se deberán realizar los análisis.
- Finalmente, se pesará la muestra así obtenida, y esto es lo que se conoce con el nombre de “peso seco” de la muestra. En ocasiones, los resultados de las medidas se reportan en Bq/kg (seco).
- A continuación, de ser necesario, se procederá, por pesada, a la obtención de las alícuotas de la muestra de suelo preparada a las que aplicarán los tratamientos correspondientes a los análisis a realizar de acuerdo con los procedimientos de cada laboratorio de análisis.

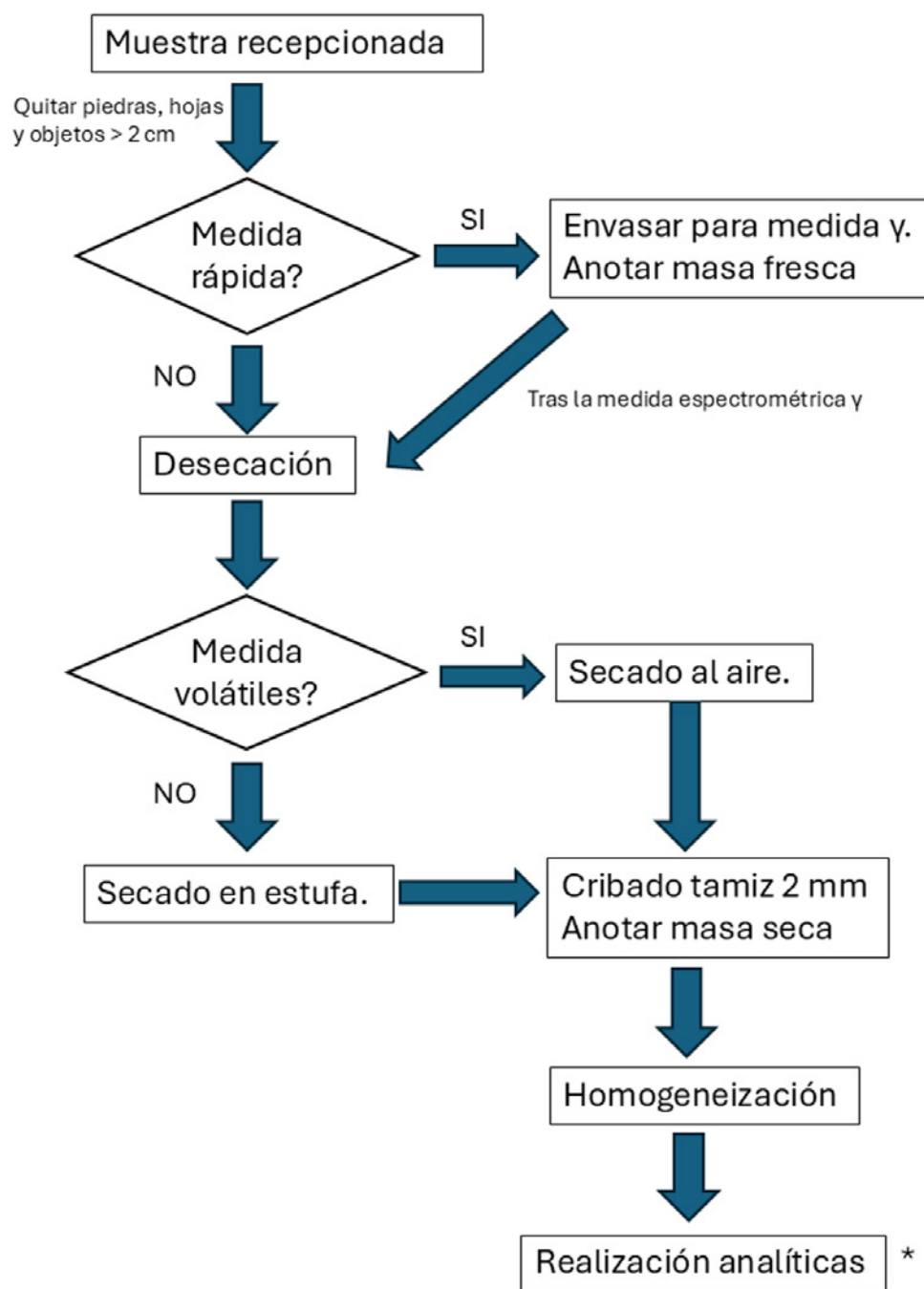
- Si se desea reportar resultados en Bq/m² hay que considerar que la muestra total desecada y tamizada corresponde a la superficie muestreada (S_m), por lo tanto, habrá que pesarla (P_s) antes de la toma de alicuotas. El cambio de unidades se realizará con la siguiente expresión:

$$A \frac{Bq}{kg(seco)} \frac{P_s(kg)}{S_m(m^2)} = A' \frac{Bq}{m^2}$$

- Si lo que se recibió en el laboratorio ya era una alícuota de la muestra total tomada, habrá que considerar para el paso de Bq/kg seco a Bq/m² el porcentaje de masa que se remitió al laboratorio, es decir la masa que se remitió al laboratorio (P_L) frente a la masa total muestreada (P_T). El cambio de unidades se realizará con la siguiente expresión.

$$A \frac{Bq}{kg(seco)} \frac{P_s(kg)}{S_m(m^2)} \frac{P_L(kg)}{P_T(kg)} = A' \frac{Bq}{m^2}$$

* Nota: P_L y P_T deben estar en las mismas unidades (kg fresco o kg seco)



* Anotar la superficie muestreada, la masa fresca total, la masa seca total y aplicar los correspondientes factores de corrección para la realización de cada una de las analíticas planificadas

Figura 11. Esquema del procedimiento operativo de preparación de muestras de suelo

12. Bibliografía

- ASTM (American Society for Testing and Materials): Standard Practice for Sampling Surface Soil for Radionuclides. ASTM C998 – 17, 2017.
- CEEM. (Comparative Evaluation of European Methods for Sampling and Sample Preparation of Soils). The Science of the Total Environment, Vol. 264, Nos. 1-2, 2001.
- HASL – 300. The Procedures Manual of the Environmental Measurements Laboratory. U.S. Department of Energy. 28th Edition, 1997.
- Herranz, M.; Jiménez, R.; Navarro, E.; Payeras, J.; Pinilla, J.L.: Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad en suelos: capa superficial. Colección Informes Técnicos 11.2003, procedimiento 1.1, Consejo de Seguridad Nuclear, 2003.
- IAEA. (International Atomic Energy Agency). Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. Technical Report Series N°. 295. Viena, 1989.
- ISO 18400-101: 2022: Soil Quality – Sampling – Part 101: Framework for the preparation and application of a sampling plan.
- ISO 18400-102:2022: Soil Quality – Sampling – Part 102: Selection and application of sampling techniques.
- MARLAP (Multi-Agency Radiation Laboratory Analytical Protocols). 2004. Manual, volume II, chapter 10: field and sampling issues that affect laboratory measurements.
- MARSSIM. 2000. Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, Revision 1. NUREG-1575 Rev 1, EPA 402-R-97-016 Rev1, DOE/EH-0624 Rev1. August. Available from <https://www.epa.gov/radiation/multi-agency-radiation-survey-and-site-investigation-manual-marssim>
- Munsell. Soil Color Charts. GretagMacbeth, New York, 2000.
- Porta, J. y otros. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 2003.
- S.S.S. (Soil Survey Staff): Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA. Handbook No 436, 1999.

- UNE 73311-1, 2002: Procedimiento de toma de muestras para la determinación de la radiactividad ambiental. Parte 1: suelos, capa superficial.
- UNE 73311-5, 2002: Procedimiento para la conservación y preparación de muestras de suelo para la determinación de la radiactividad ambiental.
- UNE-EN ISO 19112:2019. Información geográfica. Sistemas de referencia espaciales por identificadores geográficos. (ISO 19112:2019)
- UNE-EN ISO 18589-1, 2021: Medición de la radiactividad en el medio ambiente. Suelo. Parte 1: Directrices generales y definiciones.
- UNE-EN ISO 18589-2, 2018: Medición de la radiactividad en el medio ambiente. Suelo. Parte 2: Recomendaciones para la selección de la estrategia de muestreo, muestreo y pretratamiento de muestras.
- UNE 103100:1995: Preparación de muestras para ensayos de suelos.

Anexo 1. Ejemplo de etiqueta de muestra

Tipo de muestra:
Referencia de la muestra:
Punto de muestreo:
Destinatario:
Dirección postal:
Entidad que toma la muestra:
Fecha y hora:

NOTA: Cuando el destinatario coincide con la entidad que toma la muestra, se hará constar en el programa de muestreo y no será necesario rellenar ambos.



Anexo 2. Ejemplo de hoja de recogida de datos

Tipo de muestra:	
Punto de muestreo:	
Laboratorio destinatario (si procede):	
Dirección Postal (si procede):	
Referencia muestra:	Fecha de recogida:
Procedimiento de toma de muestras:	
Superficie instrumento:	Nº de submuestras:
Peso total tomado:	
Peso de muestra remitido (si procede):	
Color de la muestra:	
Toma de vegetación asociada:	
Observaciones:	
Entidad responsable toma de muestras:	Firma y fecha:

Procedimiento de muestreo y preparación de muestras para la determinación de la radiactividad en la capa superficial de los suelos

Colección Informes Técnicos 11.2003
Serie Vigilancia Radiológica Ambiental
Procedimiento 1.1 (Rev.1, 2025)