

PROTOCOLO ESTRATEGIA DE MUESTREO

PROYECTO: Fortalecimiento de capacidades I+P+P para restaurar suelos degradados en la región oeste del Canal de Panamá”.
**Programa de Cooperación Triangular con
América Latina y el Caribe**

**Dr.C. José Luis Peralta Vital
12-16 Enero 2026 (Panamá)**

NECESIDAD

El suelo, no es una masa homogénea y varia debido a los factores de su formación, usos de suelos, etc. Igualmente, la distribución espacial de los Rns ambientales es heterogénea, por lo que es fundamental contar con una estrategia de muestreo de suelo que permita tomar en cuentas estos factores para poder obtener muestras representativas del área en estudio.

OBJETIVO

El protocolo de muestreo tiene el objetivo de asegurar un muestreo con información confiable sobre el suelo. Para evaluar la redistribución del suelo mediante técnicas nucleares, se necesita conocer los inventarios de los radionúclidos de interés (^{137}Cs , ^7Be , ^{210}Pb) asociados a las precipitación radiactivas (FRn) y su distribución presente en el suelo.

OBJETIVO (continuación)

El protocolo aporta las recomendaciones que apoyan a obtener muestras de suelo que sean representativas.

- Se ofrecen recomendaciones para identificar el sitio de referencia y el área de estudio.
- Se describe el plan de muestreo a emplear y se dan guías generales para su utilización.

REFLEXIÓN

- ✓ La toma de muestras de suelos es la principal fuente de variabilidad en los resultados finales, por lo que ante la imposibilidad de muestrear toda el área de estudio, es fundamental lograr un muestreo representativo.

Representatividad:

Es el grado en cual las muestras, de forma “exacta y precisa” representan características de una población, variación de parámetro en un punto de muestreo o una condición ambiental.

ETAPA INICIAL DE RECONOCIMIENTO

Permite recolectar toda la información básica para llevar a cabo las investigaciones.

1. Información socioeconómica y medioambiental para establecer el plan de muestreo.
2. Información sobre las condiciones ambientales y las prácticas culturales que controlan los procesos de erosión/sedimentación en el área.
3. Hacer al menos una visita de campo y un muestreo preliminar.

INFORMACIÓN BÁSICA (IDEAL)

Categoría	Datos necesarios
Climática	Lluvias: media mensual y anual (datos climáticos con periodos de más de 20 años de la estación más cercana). Temperatura: máximas y mínimas mensuales Incidencia de eventos extremos: (inundaciones, sequías, ciclones, etc.).
Geomórficas	Material parental: textura Formas típicas de la región (relieve) Duración del intemperismo Descarga anual y estacional de flujo en los sistemas fluviales
Suelos	Clasificación taxonómica Propiedades del suelo limitantes para la producción
Uso de la tierra	Tipo de uso de la tierra Cambios en el uso de la tierra desde 1950 (^{137}Cs) Duración de las prácticas de uso de suelo que han tenido lugar Frecuencia y tipo de operaciones de cultivo Manejo de los residuos Tasas de pastoreo o intensidad de Tipo de prácticas de conservación de suelo empleadas

VISITA DE CAMPO INICIAL

Evaluar la existencia de posibles sitios de referencias, se realiza un muestreo preliminar para determinar la distribución en profundidad y el área de los FRNs, lo que permitirá conocer los inventarios del posible sitio de referencia, la profundidad hasta donde aparece los radionucleidos.

SITIO DE REFERENCIA

La selección del sitio de referencia es fundamental para el éxito de la aplicación de las técnicas nucleares en los estudios de redistribución de suelos. Este sitio se emplea para la definición del inventario de referencia en el área de estudio contra el cual serán evaluados los cambios en el inventario en sitios degradados o de deposición.

CARACTERÍSTICAS (SITIO DE REFERENCIA)

- ✓ El sitio ideal no debe haber experimentado pérdida ni deposición de sedimentos. Los inventarios presentes solo deben reflejar los ingresos provenientes de las precipitaciones y el decaimiento radiactivo.
- ✓ Áreas protegidas (parques, áreas de ceremonia, cementerios, etc.).
- ✓ Debe estar lo más cercano posible a las áreas de estudio.
- ✓ Estudios a escala regional, seleccionar sitios de referencia múltiples para determinar posible variación en inventarios de ^{137}Cs dentro de la región.
- ✓ Para el caso del ^7Be se debe tener en cuenta que los procesos erosivos estén separados por un período de suficiente longitud (2 vidas medias o 106 días). El suelo debe estar sin cobertura vegetal.
- ✓ Cubierta vegetal constante al menos desde los años 50 (^{137}Cs).

PLAN DE MUESTREO

Abarca la forma en la cuál son seleccionados los puntos a muestrear dentro del área de estudio y el sitio de referencia. En este se establecen los criterios para la toma de muestras de acuerdo al tipo de muestreo, se definen el número de muestras a tomar, su posición, profundidad, etc.

Tipos de muestreo:

- ✓ Muestreo a juicio de experto.
- ✓ Muestreo aleatorio.
- ✓ Muestreo estratificado o zonificado.
- ✓ Muestreo en transeptos.
- ✓ Muestreo sistemático.

TIPOS DE MUESTREO

- ❖ **Muestreo por juicio de expertos.**
- ❖ **Muestreo aleatorio** (simple o sistemático).
- ❖ **Muestreo estratificado o zonificado.**
- ❖ **Muestreo en transectos.**
- ❖ **Muestreo sistemático ó regular.**

Muestreo a juicio de experto

Es la selección de forma subjetiva de muestras en un sitio, basados en la experiencia del investigador y su conocimiento del área para elegir una muestra.

En este caso, las muestras seleccionadas no pueden usarse para obtener estadísticas de inventarios o pruebas de hipótesis, aunque son muy útiles en la fase inicial de reconocimiento y posterior estudio.

Muestreo aleatorio *(simple o sistemático).*

Ambos están basados en la probabilidad.

Muestreo aleatorio simple:

Se usa un procedimiento de selección aleatorio (una tabla de números aleatorios) con el objeto de localizar las muestras.

(ver tabla)

El muestreo simple aleatorio de **n muestras** se define como un grupo de muestras seleccionadas al azar de una población de muestras, de manera que otras **n muestras** de la misma población de muestras tienen la misma oportunidad de ser elegidas

4	69	75	12	90	76	23	41	99	2
60	29	87	48	66	7	92	19	45	57
20	80	10	79	40	88	33	78	21	83
98	28	44	93	16	67	54	51	37	15
9	64	32	47	95	24	58	8	53	71
38	55	56	1	72	43	97	70	91	18
59	14	68	94	22	85	17	42	34	74
30	39	35	49	100	31	73	61	82	3
62	25	63	11	46	84	50	27	96	65
5	52	26	36	89	6	86	77	13	81

Ventajas y desventajas

Ventajas

- Protege contra la selección sesgada de la localización de las muestras, garantizando la representatividad de las mismas, es fácil de implementar.

Desventajas

- Debido a la localización aleatoria de las muestras, éstas por azar se pueden agrupar geográficamente y el aumento del número de muestras disminuye esta posibilidad,
- No se toma en cuenta la información propia del sitio, ni tampoco el conocimiento del profesional.

Muestreo aleatorio sistemático:

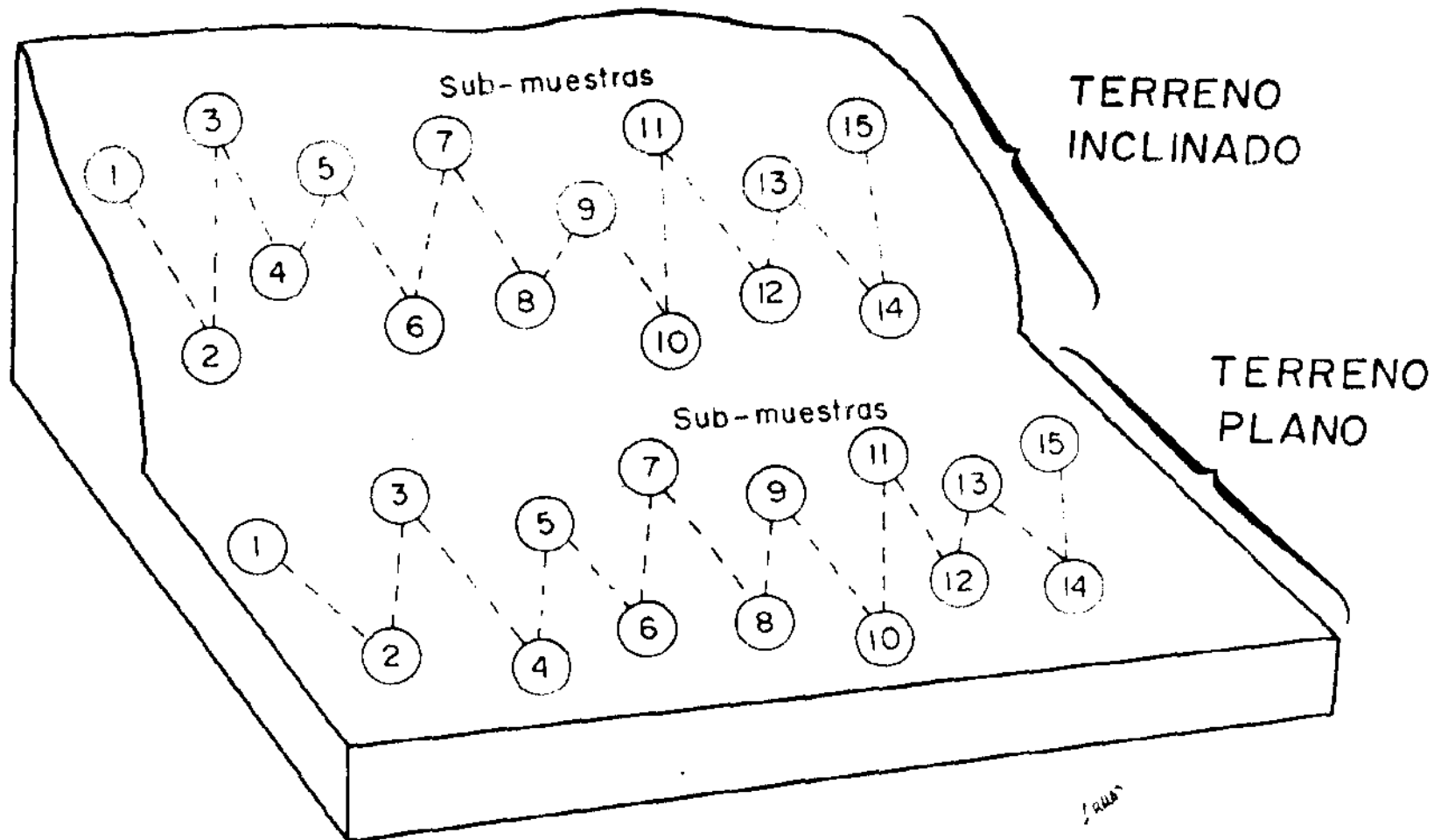
El área de estudio se divide en una red triangular o cuadrada y las muestras son recogidas siguiendo los procedimientos aleatorios. Este muestreo asume que la variable a evaluar tiene poca o ninguna variabilidad espacial. El mismo puede emplearse en pequeñas áreas donde se estime que el parámetro a muestrear se comporta homogéneamente.

Muestreo estratificado o zonificado

Se utiliza la información previa de la población de muestras para determinar grupos (denominados *estratos*) que son muestreados independientemente. Los estratos deben de ser lo más homogéneos posibles y pueden asociarse a la morfología del terreno, relieve, uso de tierra, textura del suelo, etc.

- Lo más común es la determinación de estratos geográficos (ver figura).

Muestreo mediante transectos en zigzag empleado en agronomía



Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Se optimizan los recursos para obtener una mayor precisión, reduciendo el número de muestras, o con las mismas muestras aumentando la precisión.
- Se pueden utilizar diferentes métodos de muestreo (aleatorio, sistemático, etc.) en cada estrato.

Desventajas

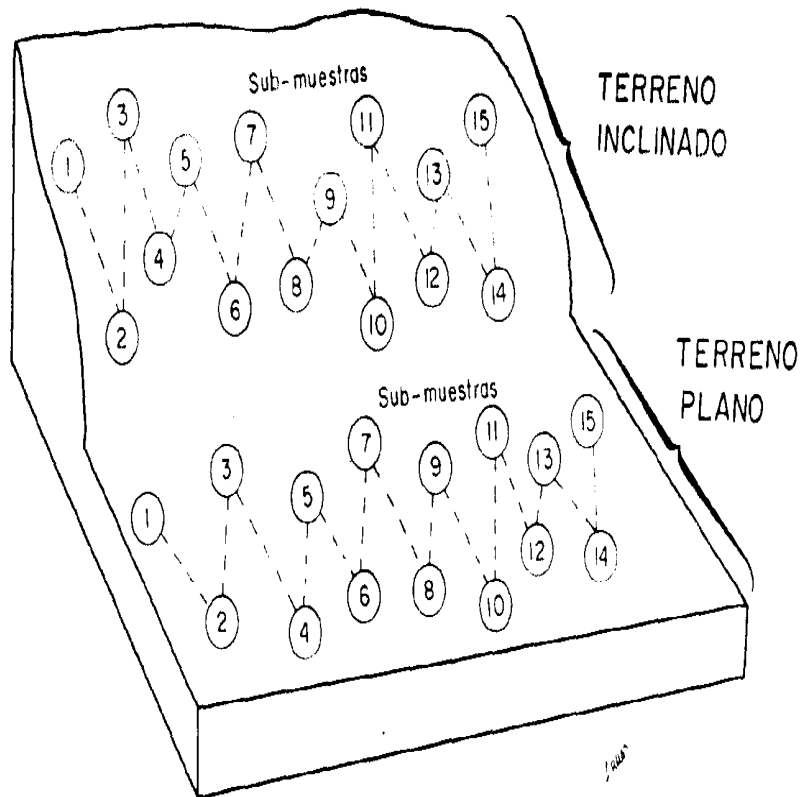
- Se requiere conocimiento previo de la población de muestras para definir en forma apropiada y efectiva a los estratos y la localización de las muestras.
- Se requiere de una variable auxiliar altamente correlacionable con la de interés y necesita que los estratos tengan similitud física para la facilidad del muestreo.

Muestreo en transeptos

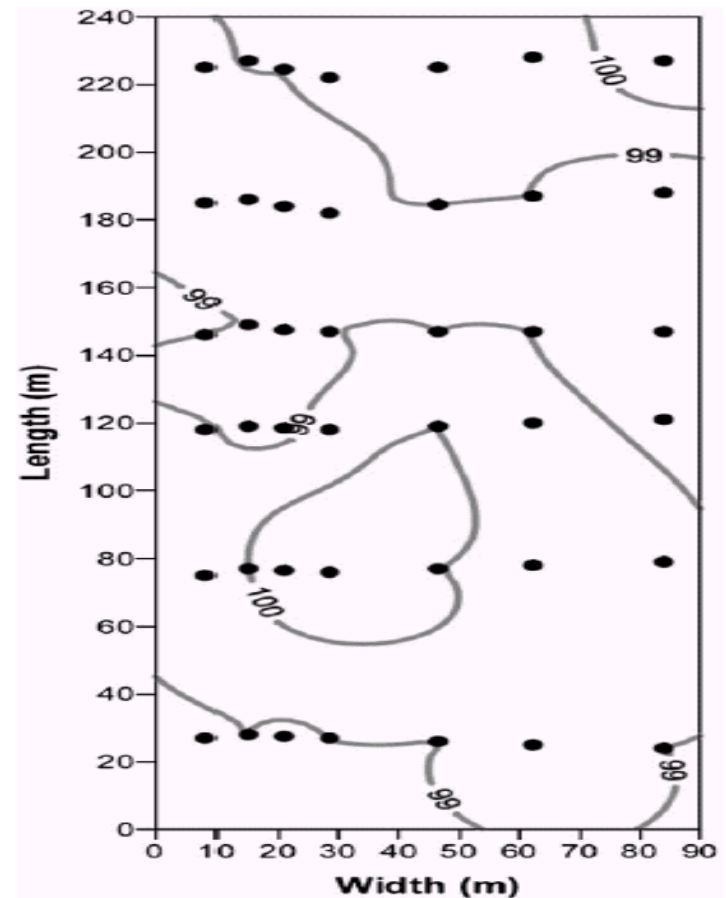
Abarca el establecimiento de uno o más transeptos a través de la superficie del área de estudio. Las muestras son tomadas a intervalos regulares o según las unidades topográficas a lo largo de los transeptos. La longitud del transepto y el número de muestras a tomar determinan el espaciamiento entre los puntos de muestreo a lo largo del mismo. En estudios realizados, el espaciamiento de los transeptos varía de 5 a 20 m, mientras que en otros las dimensiones han estado acorde a las características topográficas del área de estudio.

Muestreo en transeptos

Muestreo aleatorio



Muestreo transectos en zigzag



Muestreo sistemático o regular

Se basa en el seguimiento de un patrón geométrico específico donde las muestras son tomadas a intervalos regulares a lo largo de ese patrón. La red puede tener diferentes formas geométricas, cuadrada, rectangular, etc. La primera muestra se escoge aleatoriamente, y el resto de acuerdo al patrón asignado.

El muestreo sistemático no estratificado es el más utilizado en estudios de radionúclidos empleando tanto transeptos como redes. El muestreo en redes es el más apropiado para la creación de superficies o mapas en el muestreo para desarrollo de patrones. Se han empleado en estudios las redes con espaciamiento de 10x10 m, 15x20 m, 20x25 m, 50x50 m, 100x100 m y 140x140 m.

Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Asegura que la población de muestras está representada en forma total y uniforme, no requiere de conocimiento previo del sitio o población de muestras.
- Es fácil de interpolar y configurar entre muestras.

Desventajas:

- Asume que hay correlación entre las muestras cercanas y hay que asegurar que el patrón de la red no coincida con el del fenómeno estudiado.

Resumen

“Tipos de plan del muestreo”

Método	Condiciones para uso apropiado	Ventajas	Desventajas
Muestreo simple aleatorio	<ul style="list-style-type: none">• Para poblaciones relativamente pequeñas y homogéneas.• El análisis estadístico de los datos es sencillo debido a la característica de aleatoriedad en la localización de las muestras.	<ul style="list-style-type: none">• Protege contra la selección sesgada de la localización de las muestras, garantizando su representatividad.• Fácil de implementar.	<ul style="list-style-type: none">• Localización aleatoria de las muestras y el aumento del número de muestras disminuye la posibilidad.• No toma en cuenta la información propia del sitio, ni el conocimiento del especialista.• Se asume distribución homogénea del parámetro.
Muestreo a juicio de experto	<ul style="list-style-type: none">• Selección subjetiva apoyada en la información histórica, visual, experiencia del investigador.	<ul style="list-style-type: none">• Reduce el número de muestras a seleccionar.• Solo útil para la fase de reconocimiento del proyecto.	<ul style="list-style-type: none">• No puede usarse para obtener estadísticas de inventarios o pruebas de hipótesis.• Es fundamental tener un profundo conocimiento de la región de estudio.

Resumen

“Tipos de plan del muestreo” (cont.)

Muestreo estratificado o zonificado	<ul style="list-style-type: none">• Los estratos se deben definir con la ayuda de los datos confiables de otra variable que sea correlacionable con la variable principal.• Los resultados tendrán mayor precisión que si no se usan estratos.• Los estratos deben de ser lo más homogéneos posibles.	<ul style="list-style-type: none">• Se optimizan los recursos para obtener una mayor precisión, reduciendo el número de muestras, o con las mismas muestras aumentando la precisión.• Se pueden utilizar diferentes métodos de muestreo en cada estrato (aleatorio, sistemático).	<ul style="list-style-type: none">• Requiere conocimiento previo de la población de muestras para definir en forma apropiada y efectiva los estratos y la localización de las muestras• Requiere de una variable auxiliar altamente correlacionable con la de interés• Requiere de estratos que tengan similitud física para la facilidad del muestreo
Muestreo sistemático	<ul style="list-style-type: none">• Se usa para estimar con precisión zonas críticas, características estadísticas del sitio, patrones espaciales en dos o tres dimensiones y tendencias.• Se adapta fácilmente a estudios estadísticos.• La primera muestra se escoge aleatoriamente, y el resto de acuerdo al patrón asignado.• La retícula puede tener diferentes formas geométricas.• Recomendado para el sitio de referencia	<ul style="list-style-type: none">• Asegura que la población de muestras está representada en forma total y uniforme.• No requiere de Conocimiento previo del sitio o población de muestras.• Fácil de interpolar y configurar entre muestras.	<ul style="list-style-type: none">• Asume que hay correlación entre las muestras cercanas.• Hay que asegurar que el patrón de retícula no coincida con el del parámetro a medir.

Recomendaciones generales “Plan de muestreo”

- Los sitios de referencia se deben muestrear usando una red sistemática.
- Pendientes simples sin curvaturas significativas pueden ser muestreadas empleando un simple transepto (extenderse desde la cumbre de la pendiente hasta la base de la misma).
- Para pendientes con curvatura significativa, una red sistemática no estratificada debe ser empleada para muestreo descriptivo o de patrones (extender la red desde el tope a la base de la pendiente a lo largo del eje de la pendiente y a través de al menos una secuencia de convexidad/concavidad en la pendiente).

Recomendaciones generales “Plan de muestreo” (cont.)

- Para pendientes complejas con múltiples y pequeñas cuencas o áreas de captación, se debe emplear una red sistemática. La distancia entre puntos debe ser de 10 a 25 m.
- Para análisis geo-estadísticos se requieren el empleo de redes con 2 o más escalas en un diseño anidado para una evaluación adecuada del variograma.
- Para muestreo analítico (pruebas de diferencias entre grupos) deberá emplearse una red de muestreo estratificado. El sitio deberá ser estratificado antes del muestreo y al menos 10 muestras de cada grupo se seleccionaran aleatoriamente.

MUESTREO DE SUELOS

- ✓ ***Muestras compuestas.***
- ✓ ***Recomendaciones generales
(número de muestras a tomar).***
- ✓ ***Registro de la información del área
de estudio y de la muestra.***
- ✓ ***Recomendaciones sobre el muestreo.***
- ✓ ***Equipamiento de muestreo de suelo.***

Muestras compuestas

Para obtener una muestra compuesta 2 o más muestras individuales son mezcladas con 2 diferentes objetivos (combinar sub-muestras de un punto simple o para unir muestras espacialmente independientes (replicadas) de diferentes puntos). Todas las muestras incluidas en la muestra compuesta serán de igual tamaño y los métodos de división (cuarteo) serán adecuados.

Las muestras compuestas pueden ser empleadas en estudios donde se necesiten estadísticas generales de un sitio, en vez de evaluar la variabilidad presente de los FRn en el área.

Recomendaciones generales (número de muestras a tomar)

Se asume para estas recomendaciones el uso de muestras recogidas de forma independiente empleando un plan de muestreo probabilístico (aleatorio, sistemático, no estratificado).

- El muestreo descriptivo para determinar el inventario en los sitios de referencia requiere un mínimo de 11 muestras.
- El muestreo para diseños analíticos (para comparar 2 o más grupos) necesita un mínimo de 10 muestras en cada grupo para detectar diferencias en los inventarios de FRN de relevancia para planificar la conservación.

Número de muestras a tomar (cont.)

- El número de muestras requeridas para detectar diferencias de menos de 10% entre las medias de los inventarios es muy alto para lograr niveles de potencia de la prueba razonables.
- El muestreo para la creación de superficies adecuadas (mapas) normalmente necesita tamaños de muestras de 20 a 30 para superficies simples, de 30 a 50 para superficies más complejas y de 100 a 150 para evaluación geo-estadística.

Registro de la información del área de estudio y de la muestra

Preparar la etiqueta de cada muestra:

- *Nombre del sitio.*
- *Código de la muestra.*
- *Fecha del muestreo.*
- *Método de muestreo.*
- *Área superficial.*
- *profundidad de la muestra.*
- *Cualquier otra información que se considere relevante para el estudio.*

Información sobre el sitio de estudio

- *Nombre del sitio y número*
- *Número de muestras tomadas y Fecha del muestreo*
- *Muestreado por*
- *Nombre de la propiedad y del Dueño (finca, campo)*
- *Mapa hoja, Escala del mapa*
- *Sistema de referencia de coordenadas, Ubicación de los puntos*
- *Geología/litología*
- *Precipitación media anual*
- *Pendiente media, Longitud de la pendiente*
- *Vegetación y uso de la tierra, Historia del uso de la tierra*
- *Profundidad máxima de cultivo*
- *Para estudios de ^{137}Cs : Principales eventos de erosión desde el 1954 (Agua, Viento)*

Accesorios (trabajos de campo)

- *Guantes*
- *Bolsas plásticas*
- *Etiquetas*
- *Marcadores y/o plumas*
- *Cinta métrica*
- *Mapas*
- *GPS*
- *Brújula*
- *Libreta de campo*
- *Muestreadores de suelo*
- *Otros*

Equipamiento de muestreo de suelo

El equipamiento a emplear para obtener las muestras de suelo depende del objetivo del muestreo, las características del suelo, la capacidad analítica existente, el número total de muestras a ser evaluadas y la masa requerida de la muestra.

El equipamiento puede dividirse en 2 tipos:

- Usados para evaluar la distribución de los FRN *en profundidad* (perfil).
- Usados para el *muestreo total* (completo) del suelo.

Muestreo en profundidad (perfil)

Para conocer la distribución en profundidad de los FRN (sitios de referencia, áreas de interés, etc.), para apoyar la aplicación y/o calibración de los modelos de conversión a emplear. Se emplean los tipos de muestreadores que permitan obtener muestras de suelos a diferentes profundidades.

- Scraper plate
- Cilindros seccionados
- Barreno holandés

Muestreo total o completo

Cuando se conoce la distribución en profundidad del FRn, el muestreo se dirige a obtener información del inventario total en cada punto, para ello es suficiente obtener una muestra completa de suelo que incorpore el inventario completo del FRN en el suelo.

- Barreno cilíndrico (tubular)
- Extractor de núcleos (testigos)

Recomendaciones sobre el muestreo

- *Ubicar el muestreador en posición perpendicular al suelo.*
- *Evitar que el equipo de muestreo provoque contaminación entre las diferentes muestras, (limpiar con una brocha o cepillo, esto puede ser de mayor relevancia para el ^7Be debido a su escasa profundidad de penetración).*
- *En caso de que la limpieza no sea suficiente, lavar con agua, entre muestra y muestra el equipo y los instrumentos de muestreo.*
- *Garantizar que la muestra obtenida sea de un tamaño tal que una vez tamizada (menor de 2 mm) contenga suficiente suelo para su posterior análisis y que permita, la preparación de muestras compuestas.*
- *En caso de presencia de rocas o restos de plantas, se deben retirar antes del muestreo, salvo que se consideren importantes para el estudio.*

Tipo de equipo	Tipo de suelo	Tipo de muestreo		Ventajas	Desventajas	Observaciones
		Perfil	Total			
Scraper plate (plato raspador)	Poco pedregoso	x		<ul style="list-style-type: none"> - Robusto de construcción simple - Volúmenes grandes de suelo para 1 cm de profundidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Consume tiempo - No es útil para suelos pedregosos - No permite intervalos de muestreo menores de 1 cm 	Para usar con ^{137}Cs
Cilindros seccionados	Poco pedregoso	x		<ul style="list-style-type: none"> - Permite el muestreo a incrementos pequeños (1-2 mm) - Obtiene muestras no disturbadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Difícil empleo en suelos pedregosos 	Para ^7Be o ^{210}Pb Debe emplearse de conjunto con los cilindros un dispositivo que los secciona
Barreno holandés	Diferentes tipos	x	x	<ul style="list-style-type: none"> - Rapidez en el muestreo 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede destruir el suelo (muestras disturbadas) y provocar contaminación entre estratos de suelos - Poco control de la profundidad de muestreo - Difícil para descontaminar 	Existen diseños de barrenos (tipo cuchara) para suelos de tipo sueltos y granulares.
Barreno tubular	Cohesivos blandos	x	x	<ul style="list-style-type: none"> - Obtiene muestras no disturbadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco control de la profundidad - Difícil para descontaminar - Puede ser difíciles de enterrar y desenterrar 	
Extractor de núcleos	Cohesivos		x	<ul style="list-style-type: none"> - Obtiene muestras no disturbadas 	<ul style="list-style-type: none"> - No son adecuados para suelos rocosos, sueltos o granulares - Puede ser difíciles de enterrar y 	