

PROYECTO

**PROTOCOLO NACIONAL
PARA EL MONITOREO DE
LA CALIDAD AMBIENTAL
DE SEDIMENTOS**

Índice

I. GENERALIDADES.....	2
I.1. BASE LEGAL.....	3
I.2. ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO	3
I.3. OBJETIVO	3
I.4. FINALIDAD.....	3
I.5. GLOSARIO DE TÉRMINOS	4
I.6. ACRÓNIMOS.....	7
II. PLANIFICACIÓN DEL MONITOREO	8
II.1. OBJETIVOS DEL MONITOREO	8
II.2. RECURSOS HUMANOS Y FINANCIEROS PARA EL MONITOREO.....	9
II.2.1. RECURSOS HUMANOS	10
II.2.2. RECURSOS FINANCIEROS	10
III. GENERALIDADES DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DE SEDIMENTOS.....	10
III.1. FRECUENCIA DE MONITOREO	12
III.2. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO.....	13
III.3. ESTABLECIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO Y CODIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO	15
III.3.1. CRITERIOS PARA ESTABLECER LA RED DE MONITOREO.....	15
III.3.2. FORMATOS PARA LA CODIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO	16
IV. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRA.....	17
IV.1. CONSIDERACIONES PREVIAS AL MUESTREO	17
IV.1.1. REVISIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES ANTES DE LA TOMA DE MUESTRA	18
IV.2. MUESTREO DE SEDIMENTOS MEDIANTE DRAGADO O MUESTREO MANUAL.....	18
IV.2.1. Propósito	18
IV.2.2. General.....	18
IV.2.3. Equipo	19
IV.2.4. Procedimiento	19
IV.3. TOMA DE MUESTRA EN CUERPOS HÍDRICOS LÓTICOS.....	21
IV.3.1. Muestreo Compuesto de Sedimentos en Ríos y Quebradas.....	22
IV.4. TOMA DE MUESTRA EN CUERPOS HÍDRICOS LÉNTICOS.....	26
IV.5. TOMA DE MUESTRA EN CUERPOS MARINO – COSTERO	27
IV.6. NÚMERO DE MUESTRAS	29
IV.7. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS PARA LA SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO DE SEDIMENTOS	29
IV.7.1. Inspección del Sitio	31
IV.7.2. Elección de los Puntos de Muestreo y Número de Muestras	31
IV.7.3. Criterios para la Extracción de Muestras	33

IV.8.	VOLUMEN DE MUESTRA	35
IV.9.	PORCENTAJE DE SÓLIDOS	36
IV.10.	REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA	36
IV.11.	PROFUNDIDAD DE MUESTREO DE SEDIMENTOS	36
IV.12.	FRACCIÓN DE SEDIMENTOS A ANALIZAR	37
IV.13.	TAMIZADO ¹⁸	38
IV.14.	ACEPTABILIDAD DE LA MUESTRA	38
V.	PARÁMETROS, MATERIALES, EQUIPOS DE MUESTREO, MEDIDAS DE SEGURIDAD, LIMPIEZA Y DESCONTAMINACIÓN	39
V.1.	PARÁMETROS PARA CUERPOS DE AGUA LÓTICOS Y LÉNTICOS	40
V.2.	PARÁMETROS PARA ECOSISTEMAS MARINO-COSTERO Y ESTUARIOS	40
V.3.	MATERIALES Y EQUIPOS DE MUESTREO	40
V.4.	MEDIDAS DE SEGURIDAD	47
V.5.	EQUIPO PARA LA TOMA DE MUESTRA DE SEDIMENTOS	48
VI.	PRESERVACIÓN, CADENA DE CUSTODIA, ALMACENAMIENTO, CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE LA MUESTRA	51
VI.1.	PRESERVACIÓN	51
VI.2.	ETIQUETADO Y ROTULADO	51
VI.3.	CADENA DE CUSTODIA	52
VI.4.	ALMACENAMIENTO	52
VI.5.	CONSERVACIÓN	52
VI.6.	TRANSPORTE DE LA MUESTRA	52
VI.7.	FINALIZACIÓN DEL MUESTREO	52
VI.8.	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	52
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
VIII.	ANEXOS	56
	ANEXOS I. MODELO DE CADENA DE CUSTODIA DE LA MUESTRA	57
	ANEXO II. MODELO DE ETIQUETA PARA SEDIMENTOS	58
	ANEXO III. DETALLE DEL LLENADO DE LA PIZARRA O EQUIVALENTE EN EL PUNTO DE MUESTREO	59
	ANEXO IV. FICHA DEL PUNTO DE MONITOREO DE SEDIMENTOS	60
	ANEXO V. REQUISITOS PARA LA TOMA DE MUESTRA DE SEDIMENTOS Y PRESERVANTES DE LAS MUESTRAS POSTMONITOREO	61

Índice de Tablas

Tabla N° 1: Sugerencias para seleccionar un diseño de muestreo apropiado	11
Tabla N° 2: Consideraciones prácticas para la selección de estaciones de muestreo del sitio en el desarrollo de un plan de muestreo	30
Tabla N° 3: Requisitos típicos de volumen de sedimentos para varios análisis por muestra	35
Tabla N° 4: Materiales	41
Tabla N° 5: Equipos de monitoreo	44
Tabla N° 6: Equipos de Protección Personal - EPP	47
Tabla N° 7: Ventajas y Desventajas de equipos para muestreo de sedimentos	50

Índice de Figuras

Figura N ° 1: Marco de Trabajo para el Muestreo de Sedimentos	9
Figura N ° 2: Ejemplo de la distribución de puntos de monitoreo de sedimentos en emisario.	32
Figura N ° 3: Ejemplo de la distribución de puntos de monitoreo de sedimentos de aguas residuales emitidas directamente al mar	32
Figura N ° 4: Ejemplo de un posible recorrido zig zag realizado en un pequeño lago.	34
Figura N ° 5: Ilustraciones de muestras tomadas al azar aceptables e inaceptables.	39

I. GENERALIDADES

Este Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad Ambiental de Sedimentos, incorpora los procedimientos, recursos humanos, materiales, frecuencias y seguridad, que se deben adoptar en el monitoreo de la calidad de sedimentos para las actividades productivas, extractivas y de servicios.

El presente protocolo, contribuirá en la vigilancia de los cuerpos hídricos, con la finalidad de generar línea base del país; asimismo, resulta importante para evaluar, posteriormente, los efectos de las actividades de hidrocarburos, minería y otras actividades, en los ecosistemas acuáticos (continentales y marino costeros).

En ese orden de ideas, el protocolo de monitoreo de calidad de sedimentos, constituye una herramienta técnica que complementa de manera integral los esfuerzos para la evaluación de la calidad ambiental de los cuerpos hídricos.

El presente documento parte del esfuerzo del Ministerio del Ambiente (MINAM), a través de la Dirección General de Calidad Ambiental (DGCA), y toma como punto de partida el Decreto Supremo N° 020-2021-MINAM, de fecha 24 de julio del 2021, el cual aprueba el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el periodo 2021-2023, en el que se incluye la elaboración y aprobación del ECA para sedimentos.

El protocolo recoge también aspectos de la normatividad internacional de sedimentos, como la U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), Agencia Ambiental de la Unión Europea, Agencia Ambiental de Australia, Ministerio de Medio Ambiente de Colombia y del Consejo de Seguridad Nuclear de España, entre otras instituciones gubernamentales.

En ese contexto, el presente protocolo ha sido desarrollado tomando como referencia la normatividad internacional de sedimentos, Alberta Environment. 2006. "Aquatic Ecosystems Field Sampling Protocols", Consejo Nacional de Seguridad, 2007. "Procedimiento de toma de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental". España, Environmental Protection (Water) Policy 2009. "Monitoring and Sampling Manual: Physical and chemical assessment" Australia, European Unión, 2010. "Guidance on chemical monitoring of sediment and Biota under the Water Framework Directive", Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 2018. "Protocolo de Monitoreo de Aguas". Colombia, MINAMBIENTE, 2018. "Protocolo para Toma de Muestras de Sedimentos para Análisis de Mercurio y otros Metales" Cartagena de Indias-Colombia, Norma Mexicana NMX-AA-112-SCFI-2017: "Análisis de Agua y Sedimentos - Evaluación de Toxicidad Aguda con *Vibrio fischeri* - Método de Prueba", U.S. Environmental Protection Agency. 2020. "Sediment Sampling". United State, U.S. Environmental Protection Agency. 1997. "Modelo para Evaluación de Derrames de Hidrocarburos (HSSM). United State y Universidad de Sevilla, 2015. "Estudio de la calidad ambiental de los sedimentos de las bahías de Cádiz y Algeciras mediante un método integrado". Normas que tienen el mismo contexto técnico pero adaptado a la geoquímica del territorio nacional y en concordancia con las tres regiones naturales del país y del mar peruano.

Finalmente, el presente protocolo ha sido elaborado pensando en las necesidades y realidad de nuestro país, de modo tal que pueda convertirse en una herramienta que permita la gestión integral de los cuerpos hídricos.

I.1. BASE LEGAL

- Constitución Política del Perú.
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.
- Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Decreto Supremo N° 023-2021-MINAM, que aprueba la Política Nacional del Ambiente al 2030.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.
- Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM, que aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados.

I.2. ALCANCE Y APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

El presente protocolo es de cumplimiento obligatorio para todas las entidades públicas y/o privadas, especialmente de titulares de actividades extractivas, productivas y de servicios que se desarrollen dentro del territorio nacional, y desarrollen monitoreo de calidad ambiental de sedimentos.

Asimismo, es aplicable para la determinación de la concentración de compuestos químicos contaminantes provenientes de las actividades económicas productivas, extractivas y de servicios; y se aplica en los siguientes escenarios:

- Monitoreo de la calidad ambiental de sedimentos en cuerpos hídricos superficiales continentales (Lénticos y Lóticos) y,
- Monitoreo de calidad ambiental de sedimentos en cuerpos marino costero.

I.3. OBJETIVO

Estandarizar los procedimientos y criterios técnicos, así como los procedimientos operativos que se deben tener en cuenta durante el monitoreo de calidad de sedimentos, para la determinación de los parámetros físicos, químicos, biológicos en los sedimentos presentes en los cuerpos de agua lóticos y lénticos.

I.4. FINALIDAD

La finalidad del protocolo es la correcta utilización de las metodologías de la toma de muestras de sedimentos y que responda al propósito de realizar los análisis de la concentración de contaminantes inorgánicos y orgánicos, a fin de ayudar en la evaluación de los riesgos asociados a los ecosistemas acuáticos y otros ambientes que se desean preservar.

I.5. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- a. **Área de estudio:** El área de estudio se refiere al cuerpo de agua que contiene el sitio o sitios de estudio a ser monitoreados y/o evaluados, así como áreas adyacentes (tierra o agua) que podrían afectar o influir en las condiciones del sitio de estudio. El sitio de estudio se refiere al cuerpo de agua y sedimentos asociados a ser monitoreados y/o evaluados¹.
- b. **Agua intersticial:** Agua contenida en los intersticios, que son los espacios porosos o huecos de los suelos y rocas, es decir, el agua subterránea².
- c. **Bioacumulación:** Proceso por el que un organismo acuático absorbe una sustancia por cualquier vía, incluida la respiración, la ingestión o el contacto directo con el agua o los sedimentos³.
- d. **Cuerpos de agua natural lénticos:** Cuerpos de agua continentales caracterizados por bajas velocidades de corrientes y altas frecuencias de intercambio del volumen almacenado, ejemplo: lagos, lagunas y cochas⁴.
- e. **Cuerpos de agua natural lóticos:** Cuerpos de aguas continentales caracterizados por corrientes unidireccionales continuas, ejemplo: ríos, quebradas, entre otros².
- f. **Cuerpos de agua natural marino-costero:** Cuerpos de agua que se encuentran en mares y océanos².
- g. **Elutriado:** Material preparado a partir del agua de dilución del sedimento y utilizado para análisis químicos y pruebas de toxicidad⁵.
- h. **Emisario submarino:** Punto, lugar o estructura donde el efluente se vierte en una masa de agua marina, como un mar, un océano, etc.⁶
- i. **Ensayos de toxicidad:** Pruebas biológicas (normalmente con un invertebrado, pez o pequeño mamífero) para determinar los efectos adversos de un compuesto o efluente⁷.
- j. **Estación de muestreo:** Un área bien delimitada, donde tienen lugar las operaciones de muestreo⁸.

¹ Methods for collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual, EPA 2001.

² Office of Water/Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, U.S. Environmental Protection Agency (1999). Protocol for Developing Sediment Total Maximum Daily Loads (TMDLs) Glossary.

³ Office of Water/Office of Science and Technology, U.S. Environmental Protection Agency (2012). Contaminated Sediment: Glossary & Acronyms.

⁴ Protocolo Nacional de Monitoreo para la Calidad de Aguas Superficiales – Autoridad Nacional del Agua. Perú, 2016.

⁵ United States Environmental Protection Agency. (1995). QA/QC Guidance for Sampling and Analysis of Sediments. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/qaqc.pdf>.

⁶ European Environment Agency. <http://www.eionet.europa.eu/gemet/concept/7520>.

⁷ Office of the Administrator/Office of External Affairs and Environmental Education, U.S. Environmental Protection Agency (2009). Terms of Environment: Glossary, Abbreviations, and Acronyms.

⁸ International Union of pure and applied chemistry analytical chemistry division. (2005). terminology in soil sampling. https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac200577050827/html?srsId=AfmBOore1caM9I6_d8cXwv3J60q0rLY9L_uhgT5jHKK-fhoY58zFiMKq

- k. **Homogeneización:** Es la mezcla completa del sedimento ya sea a mano o por medios mecánicos, hasta que se logre la homogeneidad física, química y / o biológica de la muestra¹.
- l. **Interferencias:** Características de los sedimentos o sistemas de prueba de sedimentos que potencialmente pueden afectar los resultados analíticos o la respuesta del organismo de prueba además de las respuestas relacionadas con la contaminación de sedimentos¹.
- m. **Monitoreo**⁹: Es la acción de tomar lecturas, medidas y evaluaciones de variables físicas, químicas y/o biológicas, en un periodo determinado de tiempo a fin de conocer tanto los cambios, como el seguimiento del estado del medioambiente.
- n. **Muestra blanco:** Muestra para determinar si hay analitos o interferencias en el entorno del laboratorio, los reactivos o los equipos¹⁰.
- o. **Muestra compuesta:** Es aquella constituida por un conjunto de muestras simples (submuestras), convenientemente mezcladas, y llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis, siendo el resultado un valor analítico medio de la propiedad o compuesto analizado. El número de submuestras dependerá de la variabilidad de la sustancia o propiedad a analizar en el área de estudio y tiene la ventaja de permitir un muestreo mayor sin aumentar el número de muestras a analizar¹¹.
- p. **Muestra de núcleo:** Una muestra de sedimento recolectada para obtener un perfil vertical usando una variedad de instrumentos¹.
- q. **Muestra duplicado:** Muestras recogidas en el mismo momento y lugar en condiciones idénticas, y tratadas de forma idéntica a lo largo de los procedimientos de campo y de laboratorio. Los resultados de los análisis de los duplicados de campo proporcionan una estimación de la precisión asociada a la recogida, conservación y almacenamiento de las muestras, así como a los procedimientos de laboratorio¹².
- r. **Muestreo piloto:** Proceso experimental que puede formar parte de la etapa preliminar en un proceso de recolección de muestras de sedimentos en cuerpos hídricos (lóticos, lénticos o marino costeros). Su propósito es poner a prueba los métodos, técnicas y equipos que se utilizarán en la etapa de muestreo, y también para obtener información sobre las características del lugar que permitan ajustar el diseño de muestreo antes de llevar a cabo el muestreo.
- s. **Muestreo Estratificado:** Método de muestreo en el que una población se divide en subpoblaciones no superpuestas denominadas estratos y los lugares de muestreo se seleccionan independientemente dentro de cada estrato utilizando algún diseño de muestreo. El muestreo estratificado se utiliza para hacer inferencias sobre estratos individuales que son intrínsecamente más homogéneos que toda la población heterogénea¹³.

⁹ <https://economipedia.com/definiciones/monitoreo-ambiental.html>

¹⁰ Environmental Protection Agency. 40 CFR Part 136. <https://www.ecfr.gov/current/title-40/part-136>.

¹¹ Guía para el muestreo de suelos. Ministerio del Ambiente. Perú, 2014.

¹² Environmental Protection Agency. 40 CFR Part 136. <https://www.ecfr.gov/current/title-40/part-136>.

¹³ United States Environmental Protection Agency. (2002). Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection for use in Developing a Quality Assurance Project Plan. <https://www.epa.gov/quality/guidance-choosing-sampling-design-environmental-data-collection-use-developing-quality>

- t. **Muestra representativa:** Es aquella que puede representar cualitativa y cuantitativamente todas las características del sitio de muestreo¹⁴.
- u. **Muestra simple:** Las muestras colectadas en un tiempo y en un lugar particular son llamadas muestras simples. Este tipo de muestras representa las condiciones puntuales de una muestra de la población en el tiempo que fue colectado. Estas muestras siempre se aplicarán para compuestos orgánicos volátiles (COV's), Hidrocarburos y Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos (BTEX)⁵.
- v. **Plan de muestreo:** Documento que contiene el procedimiento predeterminado para la selección, extracción, conservación, transporte y preparación de las porciones que se extraerán de una población como muestra¹⁵.
- w. **Plataforma de muestreo:** Es un espacio de trabajo, como la cubierta de una embarcación, desde el que se realizan todas las actividades de recolección de muestras¹.
- x. **Protocolo:** Son documentos técnicos en los cuales se establecen criterios y se detallan las actividades que se tienen que realizar ante determinada problemática. Aplicable de manera complementaria a la normativa vigente en la materia correspondiente¹⁶.
- y. **Puntos calientes:** Los puntos calientes se consideran volúmenes de suelo con concentraciones relativamente elevadas que podrían estar presentes en un emplazamiento, pero cuya ubicación y dimensiones no pueden preverse antes del muestreo¹⁷.
- z. **Punto de muestreo:** Lugar (punto o área determinada) del suelo y/o sedimento donde se toman las muestras, sean estas superficiales o de profundidad⁵.
- aa. **Representatividad de la muestra:** Una muestra es representativa si los rasgos de los elementos que la integran son similares a los de toda la población que busca representar, es decir, si la muestra es capaz de producir o evidenciar las características principales de la población o universo de donde fue extraída³.
- bb. **Riesgo:** Probabilidad o posibilidad de que un contaminante pueda ocasionar efectos adversos a la salud humana, en los organismos que constituyen los ecosistemas o en la calidad de los sedimentos y del agua, en función de las características y de la cantidad que entra en contacto con los receptores potenciales, incluyendo la consideración de la magnitud o intensidad de los efectos asociados y el número de individuos, ecosistemas o bienes que, como consecuencia de la presencia del contaminante, podrían ser afectados tanto en el presente como en el futuro⁵.

¹⁴ Manual de métodos de muestreo y preservación de muestras de las sustancias prioritarias para las matrices prioritarias del PRONAME del Instituto nacional de ecología y cambio climático (INECC-CCA) de México. 2010.

¹⁵ International Union of pure and applied chemistry analytical chemistry division. (2005). Terminology in soil sampling.
https://www.degruyter.com/document/doi/10.1351/pac200577050827/html?srsltid=AfmBOore1caM9I6_d8cXwv3J60q0rLY9L_uhgT5jHKKH-fhoY58zFiMKq

¹⁶ Directiva N° 004-2021-MINAM/DM. "Procedimiento para la elaboración, aprobación y archivo de dispositivos normativos y actos resolutivos en el Ministerio del Ambiente. Perú, 2021.

¹⁷ Interstate Technology and Regulatory Council. Sediment Cap Chemical Isolation Guidance.
<https://sd1.itrcweb.org/appendix-e-glossary/>

- cc. Sedimento:** Material de depósito o acumulado por arrastre mecánico de las aguas superficiales o el viento depositado en los fondos marinos, fluviales, lacustres y depresiones continentales³.
- dd. Sedimentos Compactados:** Sedimentos que han experimentado una reducción en su volumen debido a la presión ejercida por capas de sedimentos superiores o por la acción de factores externos, como el movimiento del agua o la actividad humana. Esta compactación disminuye la porosidad del sedimento y aumenta su densidad, lo que puede influir en la forma en que los contaminantes se retienen o liberan en los sedimentos.
- ee. Sedimentos de Control:** Es un sedimento que está esencialmente libre de contaminantes y se usa de forma habitual para evaluar la aceptabilidad de una prueba. Cualquier contaminante en el sedimento de control puede originarse a partir de la propagación global de contaminantes y no refleja ningún aporte sustancial de fuentes locales o no puntuales. La comparación de los sedimentos de prueba con los sedimentos de control es una medida de la toxicidad de un sedimento de prueba más allá de la inevitable contaminación de fondo¹⁸.
- ff. Sedimento formulado:** Mezclas de materiales utilizados para imitar un sedimento natural¹.
- gg. Sedimento contaminado:** Sedimentos que contienen sustancias químicas en concentraciones que representan una amenaza conocida o sospechada para la salud ambiental o humana¹.
- hh. Sedimento entero:** Sedimento y agua intersticial asociada y que han tenido una manipulación mínima. También se conoce como sedimento a granel¹.
- ii. Sitio:** Un área de estudio que puede estar compuesta de múltiples estaciones de muestreo¹.
- jj. Sistema de Coordenadas Cartográficas UTM:** Sistema de Coordenadas Transversal Universal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM), identifica un punto de la superficie “terrestre”, y tiene como unidad de medida el metro. Es un sistema cilíndrico transverso conforme, secante al globo terráqueo el cual se encuentra relacionado con el elipsoide del Sistema de Referencia Geodésico 1980 - Geodetic Reference System 1980 (GRS80), siendo de utilización más idónea, del cual deriva el WorldGeodeticSystems – WGS84. (Resolución Jefatural N° 112-2006-IGN/OAJ/DGC/J).

I.6. ACRÓNIMOS

a.	MINAM	:	Ministerio del Ambiente
b.	BTEX	:	Benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos
c.	COV	:	Compuesto Orgánico Volátil
d.	CORE	:	Núcleo
e.	DGCA	:	Dirección General de Calidad Ambiental
f.	DOS	:	Demanda de oxígeno en sedimentos

¹⁸ EPA-823-B-01-002 (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual, de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. 2001.

g.	ECA	:	Estándar de Calidad Ambiental
h.	INACAL	:	Instituto Nacional de Calidad
i.	LMP	:	Límite Máximo Permisible.
j.	MI	:	Muestreo de identificación
k.	MD	:	Muestreo de detalle
l.	PAH	:	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
m.	PCB	:	Bifenilos Policlorados
n.	US-EPA	:	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

II. PLANIFICACIÓN DEL MONITOREO

El monitoreo de sedimentos se realizará en cuerpos hídricos lóticos (ríos), lénticos (lagos y lagunas) y marino costero, que pueden resultar afectados por la presencia de actividades extractivas, productivas y de servicios.

El monitoreo de sedimentos en cuerpos hídricos, demanda aspectos técnicos a tener en cuenta al momento de realizar la toma de muestra; la elección del punto de muestreo es uno de los aspectos técnicos a resolver, es lógico que se ubique un punto que reúna condiciones de representatividad; sin embargo, dado el carácter inestable y estacional del depósito sedimentario, sobre todo en el caso de sedimentos de orilla, esta elección no siempre es sencilla y en ocasiones, un punto considerado representativo durante un determinado periodo de tiempo, puede dejar de serlo.

Otro factor a tener en cuenta en el momento de realizar el monitoreo es la temporalidad relacionada con las estaciones del año, puesto que un mismo punto puede presentar diferentes características sedimentarias, en diferentes temporadas del año. También se deberá tener en cuenta las consideraciones respecto al volumen o masa de muestra requerida, profundidad y la metodología del muestreo, lo que incluye los materiales a utilizar.

Asimismo, con la finalidad de contribuir al criterio técnico para la determinación de puntos de monitoreo con un menor margen de error o incertidumbre, se sugiere el uso de estudios previos que permitan conocer el comportamiento y destino final de las sustancias químicas, tales como el estudio de transporte de solutos, estudios de fugacidad, entre otros.

En el capítulo III sobre generalidades del muestreo de sedimentos del presente protocolo, se incluyen los criterios técnicos a considerar en la etapa de la determinación de la red de monitoreo y la toma de muestras respectivamente.

Finalmente, de ser necesario, y de acuerdo con el alcance y objetivo del proyecto de monitoreo, se puede incorporar un plan de seguimiento, u otras acciones post monitoreo.

II.1. OBJETIVOS DEL MONITOREO

El objetivo del monitoreo es medir la existencia y concentración de contaminantes en el ambiente, para consolidar información a través de una base de datos y su respectiva tendencia, en concordancia con el cumplimiento de las normas en materia ambiental. Asimismo, permite obtener información acerca de eventos especiales o posibles fuentes de contaminación por actividades productivas, extractivas o de servicios. Por ello, definir

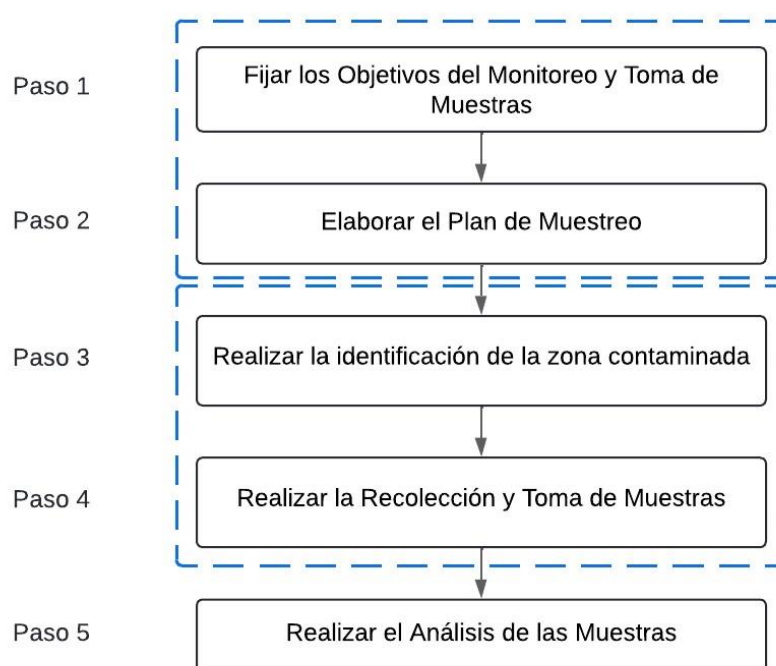
el objetivo del monitoreo es el primer paso para la planificación, posteriormente identificar los parámetros, el tipo de monitoreo a realizar (por ejemplo, utilizando draga, barreno o manual), consideraciones para la preservación de la muestra y su análisis.

En línea con lo expresado en el párrafo anterior, es importante considerar tres propósitos claves para medir la calidad ambiental de los sedimentos de un cuerpo de agua:

- a) Conocer el transporte de sedimentos de una corriente de un cuerpo de agua, en atención a su importancia en la calidad y en los procesos de aprovechamiento del agua y de los cauces para distintos fines.
- b) Soportar programas de protección de fuentes hídricas frente a amenazas de origen antrópico.
- c) Permitir generar indicadores que den cuenta del estado de los recursos hídricos estudiados, en la medida que ellos tienen inmerso transporte y depósitos de sedimentos, el cual se basa en el rendimiento de sedimentos¹⁹.

Asimismo, para el cumplimiento de los objetivos, es importante tener en cuenta el marco de trabajo a considerar en las actividades de muestreo de sedimentos, el mismo que contiene los siguientes pasos:

Figura N ° 1: Marco de Trabajo para el Muestreo de Sedimentos



Fuente: Notas de Clases del Curso “Caracterización de sedimentos contaminados en la evaluación de riesgos” - Paul Sibley – University of Guelph – P.Sibley 2015 – Toronto –Canadá.

II.2. RECURSOS HUMANOS Y FINANCIEROS PARA EL MONITOREO

El monitoreo de calidad ambiental de sedimentos, debe ser realizado por un equipo de profesionales y/o técnicos con conocimientos sólidos sobre técnicas de monitoreo, toma de muestras, preservación, transporte y seguridad. Asimismo, el proceso deberá contar

¹⁹ (Montoya & Contreras, 2015).

con los recursos financieros necesarios, a fin de alcanzar los objetivos del monitoreo ambiental.

II.2.1. RECURSOS HUMANOS

Para el monitoreo de calidad de sedimentos, se requiere profesionales y/o técnicos con una sólida visión integral, de pensamiento crítico, propositivo, proactivo y ético. Con capacidad de análisis y decisión, habilidades y capacidades en la recolección y tabulación de datos, manejo instrumental y equipos, y de aparatos propios del trabajo de campo.

Por otro lado, todo el personal de campo debe estar familiarizado con otros procedimientos estándar descritos para la recolección y el procesamiento de sedimentos²⁰.

Por ello, se recomienda que el equipo de trabajo este compuesto, como mínimo por el siguiente personal, no obstante, este número puede verse afectado por condiciones logísticas, financiera, u otras, sin perjuicio de ello, no debe de afectar el propósito u objetivo del monitoreo.

- Un coordinador o líder de grupo con sólidos conocimientos en monitoreo ambiental.
- Uno o dos especialistas ambientales con capacitación en toma de muestras ambientales.
- Una o dos personas de apoyo a los profesionales (puede ser un guía, personal de la zona).

II.2.2. RECURSOS FINANCIEROS

Los recursos financieros para realizar el monitoreo de calidad ambiental de sedimentos, son necesarios para asegurar el cumplimiento de los objetivos propuestos, en ese contexto es necesario que se tenga asegurado lo siguiente:

- a. Materiales y equipo de monitoreo (propios o alquilados).
- b. Vehículos y combustible para el traslado de los equipos y personal responsable.
- c. Viáticos y otras asignaciones para el personal responsable del monitoreo.
- d. Recursos para la preservación, conservación y envío de muestras (vía aérea, terrestre o fluvial).
- e. Análisis de las muestras por cada parámetro evaluado.
- f. Materiales de escritorio, entre otros.

Es importante indicar que la asignación de los recursos financieros determinará la ejecución o no del monitoreo.

III. GENERALIDADES DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DE SEDIMENTOS

El monitoreo ambiental es la acción de tomar lecturas, medidas y evaluaciones de variables físicas, químicas y/o biológicas, en un periodo determinado de tiempo a fin de conocer tanto los cambios, como el seguimiento del estado del ambiente. El monitoreo

²⁰ Personal Qualifications/Responsibilities (Standard Operating Procedure – EAP 039- version 1.3. – March 2019.

ambiental puede ser útil para muchos propósitos. Sin embargo, su objetivo central es medir la existencia y concentración de contaminantes en el ambiente.

Asimismo, una estrategia de manejo en el muestreo de sedimentos implica una planificación cuidadosa, la selección de métodos apropiados, el control de calidad de datos y la comunicación efectiva de resultados para apoyar la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos hídricos y la protección ambiental.

Por ejemplo, en los casos de sedimentos contaminados, su estrategia de manejo contiene generalmente los siguientes objetivos:

- Evitar una mayor contaminación de los sedimentos que pueden causar riesgos inaceptables para la salud humana o ecológica.
- Limpiar la contaminación de sedimentos que afecta negativamente a los cuerpos de agua o sus usos, o que causa otros efectos significativos en la salud humana o el ambiente.
- Desarrollar y aplicar metodologías consistentemente para analizar sedimentos contaminados.
- Asegurar que el retiro o dragado de sedimentos sean manejados de una manera ambientalmente racional.

Otro aspecto a tener en cuenta es la red de monitoreo o los puntos de toma de muestra, el cual es un aspecto clave en el proceso de toma de muestras. Esto implica definir el ámbito de monitoreo y la caracterización del área objeto de evaluación.

La toma de muestras debe realizarse de manera progresiva, desde el sitio menos contaminado hasta el sitio más contaminado en último lugar. El grado de contaminación se puede estimar a partir de datos históricos, condiciones del sitio, uso de la tierra, criterios del profesional responsable, etc.

Asimismo, se debe tener en cuenta que, los procedimientos de muestreo dependen de las condiciones del sitio, tales como profundidad, velocidad, caudal, ancho del cauce entre otros.

Finalmente, es pertinente la caracterización del área, lo cual implica conocer la existencia de afluentes, usos del recurso hídrico, posibles fuentes de contaminación por hidrocarburos y/o de otras sustancias químicas, características geoquímicas de la cuenca, subcuenca o microcuenca donde se ubique el área de evaluación, otros que resulten apropiados.

A continuación, se presentan sugerencias para seleccionar un diseño de muestreo apropiado.

Tabla N° 1: Sugerencias para seleccionar un diseño de muestreo apropiado

Si estás...	Y tienes...	Considere usar...	con el fin de...
Realizar una fase de selección de una investigación y comprender un	un presupuesto limitado y/o un horario limitado	muestreo selectivo o crítico	evaluar si se justifica una investigación adicional que debería incluir un diseño de

Si estás...	Y tienes...	Considere usar...	con el fin de...
problema de escala relativamente pequeña.			muestreo estadístico probabilístico.
Desarrollar una comprensión de cuándo hay contaminación presente.	Presupuesto adecuado para el número de muestras necesarias.	muestreo sistemático	tener cobertura de los periodos de tiempo de interés.
Desarrollar una comprensión de dónde está presente la contaminación.	Presupuesto adecuado para el número de muestras necesarias.	muestreo de cuadrícula	tener cobertura del área de preocupación y tener un nivel determinado de confianza de que habría detectado un punto caliente de un tamaño determinado.
estimar una media poblacional	Presupuesto adecuado Restricciones presupuestarias y costos analíticos altos en comparación con los costos de muestreo. Restricciones presupuestarias y conocimiento profesional o mediciones de detección económicas que puedan evaluar las cantidades relativas del contaminante en ubicaciones específicas de muestreo de campo.	muestreo sistemático o en cuadrícula componiendo muestreo de conjuntos clasificados	También producen información sobre patrones espaciales o temporales. Producir una estimación igualmente precisa o más precisa de la media con menos análisis y menor costo. Reducir el número de análisis necesarios para un nivel de precisión determinado.
estimar una media o proporción poblacional	información espacial o temporal sobre patrones de contaminantes	muestreo estratificado	aumentar la precisión de la estimación con el mismo número de muestras, o lograr la misma precisión con menos muestras y menor costo.
Delinear los límites de un área de contaminación.	un método de detección de campo	muestreo estratificado	utiliza simultáneamente todas las observaciones para estimar la media
estimar la prevalencia de un rasgo raro.	Costos analíticos que son altos en comparación con los costos de muestreo.	muestreo aleatorio y compuesto	producir una estimación igualmente precisa o más precisa de la prevalencia con menos análisis y menor costo.
Evaluar si una población contiene un rasgo raro.	la capacidad de mezclar físicamente alícuotas de las muestras y luego volver a analizar alícuotas adicionales	muestreo compuesto y reanálisis	Clasifique todas las muestras a un costo reducido al no analizar todas las muestras.

Fuente: United States Environmental Protection Agency. (2002). Guidance For Choosing A Sampling Design For Environmental Data Collection.

III.1. FRECUENCIA DE MONITOREO

El monitoreo de la calidad ambiental de sedimentos, tiene que realizarse periódicamente, y la frecuencia dependerá de los objetivos del monitoreo, así como de las características de la zona a monitorear.

Cuando el objetivo del monitoreo de calidad de sedimentos es sistémico o de vigilancia de la calidad ambiental, es recomendable que el muestreo tenga una frecuencia anual, teniendo en consideración que es el plazo temporal medio necesario para que se alcance una nueva capa de sedimentos que se pueda muestrear.

Si el muestreo se realiza en cuerpos de agua lóticos (ríos), el momento del muestreo no deberá coincidir con ciclos extremos naturales (avenidas, lluvias torrenciales, heladas, etc.), ya que durante estos ciclos se pueden perturbar las características del sedimento, por lo que la muestra obtenida dejaría de ser representativa.

En línea con el párrafo anterior, las muestras de sedimentos deben recolectarse con una frecuencia adecuada que coincida con los cambios esperados en el sedimento, teniendo en cuenta el régimen hidrológico y la velocidad de sedimentación del cuerpo de agua estudiado. Los estuarios, ríos y embalses, y en ocasiones lagos, pueden mostrar grandes diferencias en las características hidrodinámicas durante el año. Cuanto mayor sean los cambios esperados/observados, mayor será la frecuencia.

La frecuencia de toma de muestras de sedimentos debe estar definida por la variabilidad del régimen hídrico, esto es, conocer la carga sólida en un punto determinado para diferentes estados (mínimo, medio y máximo) de caudal líquido; esto permite establecer las relaciones que existen entre el caudal líquido y el caudal sólido y la concentración media y la concentración superficial, a partir de las cuales, es calculado el transporte del sedimento.

Es recomendable que el muestreo se realice durante un período con bajas velocidades de corriente, y el período debe corresponder al momento de menor tasa de descarga de agua (flujo). Además, la bioturbación es menor en época de estiaje. Se recomienda planificar las campañas de muestreo en la misma ventana temporal cada año, preferiblemente en condiciones de flujo similares.

Sin perjuicio de lo anterior, es importante indicar que, los muestreos de sedimentos pueden realizarse en diferentes épocas del año dependiendo de los objetivos del estudio y las condiciones ambientales locales, considerando factores como los eventos de lluvia, las actividades humanas y las estaciones del año al planificar los muestreos de sedimentos.

Por otro lado, la frecuencia podría reducirse cuando se demuestre, mediante los datos de seguimiento y el análisis de las presiones, que los parámetros están significativamente por debajo de los objetivos de calidad o cuando no pueda observarse o esperarse una tendencia significativa. No obstante, la reducción de la frecuencia no corresponde en tanto las concentraciones se encuentren muy cerca al objetivo de calidad. Asimismo, el muestreo de sólidos en suspensión para el análisis de tendencias debería realizarse al menos cuatro (4) veces al año; y en sitios contaminados y en proceso de rehabilitación o remediación, la frecuencia deberá ser mensual hasta comprobar que se ha eliminado los contaminantes.

III.2. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO

Generalmente, el tamaño de la partícula y contenido orgánico en los sedimentos están directamente relacionados con la velocidad del agua y características de flujo de un cuerpo de agua. Los contaminantes son más propensos a concentrarse en los sedimentos

de partícula fina y con alto contenido orgánico. Este tipo de sedimentos es más probable que se encuentre en las zonas de deposición. Por el contrario, los sedimentos gruesos con bajo contenido orgánico no suelen concentrar contaminantes y se encuentran en zonas de erosión. El diseño de una red de monitoreo y la ubicación de las estaciones de muestreo influyen en gran medida en los resultados analíticos de las muestras.

Los sedimentos se clasifican según su tamaño, en gruesos (gravas y arenas) y finos (arenas finas, limos y arcillas) y ello tiene implicaciones dinámicas relacionadas con la forma como estos materiales son transportados y depositados por el flujo.

Debe prestarse especial atención a los lugares afectados significativamente por los cambios en la aportación de sedimentos, en los que el flujo de agua y, por tanto, las tasas de acumulación pueden cambiar estacionalmente.

Podría ser útil, distinguir entre las variaciones en la física (por ejemplo, periodos de alta y baja escorrentía) que conducen a cambios en la composición del sedimento a granel (% de arena, % de lodo, etc). Por lo tanto, conducen a cambios en las concentraciones de contaminantes cuando se observa el sedimento completo y procesos como la estacionalidad, que conducen a cambios en la carga de contaminantes en el sedimento. Los primeros deberían abordarse mediante métodos de normalización, mientras que los segundos deberían abordarse aumentando la frecuencia de muestreo.

El tamaño del área de estudio influirá en gran medida en el tipo de diseño de muestreo y los métodos de posicionamiento del sitio que sean apropiados. Los límites del área de estudio deben definirse claramente desde el principio y deben delinearse en una carta hidrográfica o un mapa topográfico.

Para que la información generada de los sitios, sus puntos de muestreo, etc, puedan reutilizarse en estudios posteriores, es importante registrar:

- Posición de cada sitio de muestreo.
- Descripciones cuidadosas y completas de cada sitio y sus medios de acceso.
- Puntos exactos de los que se tomaron las muestras.

Es importante tener en cuenta que la identificación de sedimentos contaminados se logra mediante la comparación de la química obtenida con los estándares de calidad de sedimentos nacionales y/o internacionales según corresponda. El análisis de los resultados de laboratorio de sedimentos puede determinar si las concentraciones de contaminantes específicos sobrepasan los estándares de calidad o si pueden constituir un riesgo para la salud pública, el bienestar o el ambiente. Por ello es importante un adecuado diseño de las redes de monitoreo y la aplicación correcta de los procedimientos de la toma de muestras requeridos.

El diseño de programas o planes de muestreo de calidad de sedimentos debe incluir criterios técnicos que garanticen el logro de metas y objetivos, se considera, entre otros:

- Información de antecedentes del área de estudio.
- Objetivos específicos de la investigación de sedimentos.
- Determinar la red de monitoreo.
- Selección de estaciones de muestreo.
- Tamaño de muestra, número y replicado.
- Control y referencia de sedimentos.

- Evaluación de la calidad de la data obtenida.
- Metodologías del muestreo de sedimentos.

Es importante tener en consideración cuestiones iniciales antes de preparar una red de monitoreo de calidad de sedimentos:

- Definir el problema potencial u objetivo general del proyecto.
- Determinar qué recursos (por ejemplo, tiempo, dinero, personal) están disponibles para el proyecto.
- Revisar la información existente e identificar objetivos específicos del estudio.
- Determinar qué datos probablemente se necesitarán para responder a los objetivos del proyecto, incluido el papel de las condiciones y/o cuestiones específicas del sitio que podrían influir en el proceso de recopilación y análisis de datos.

Un factor clave en el diseño eficaz de un estudio de calidad de sedimentos es controlar aquellas fuentes de variabilidad en las que no se está interesado. Hay dos fuentes principales de variabilidad que, con una planificación adecuada, pueden minimizarse, o al menos tenerse en cuenta, en el proceso de diseño, asegurando así un estudio exitoso. En términos estadísticos, las dos fuentes de variabilidad son el error de muestreo y el error de medición^{21, 22}.

- A. El error de muestreo es el error atribuible a la selección de una determinada estación de muestreo que podría no ser representativa del sitio o la población de unidades de muestra. El error de muestreo se controla mediante: (1) el uso de métodos imparciales para seleccionar estaciones si se realiza un monitoreo general de un sitio determinado; o (2) varias estaciones a lo largo de un gradiente espacial si el objetivo es una ubicación específica.
- B. El error de medición es el grado en que el investigador caracteriza con precisión la unidad o estación de muestreo. Por lo tanto, el error de medición incluye componentes de variabilidad espacial y temporal natural dentro de la unidad de muestra, así como errores reales de omisión o comisión por parte del investigador. El error de medición se controla mediante el uso de métodos estandarizados y comparables: los métodos estandarizados incluyen la capacitación adecuada del personal y procedimientos de garantía de calidad. Para ayudar a minimizar el error de medición, se debe muestrear cada estación de la misma manera, dentro de un sitio o estudio, utilizando un conjunto estandarizado de procedimientos y en el mismo período de tiempo para minimizar las fuentes de confusión y variabilidad.

III.3. ESTABLECIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO Y CODIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

III.3.1. CRITERIOS PARA ESTABLECER LA RED DE MONITOREO

²¹ U.S. Environmental Protection Agency. 2000a. Guidance for the Data Quality Objectives Process. EPA QA/G-4. EPA/600/R-96/055. Office of Environmental Information, Washington, D.C.

²² U.S. Environmental Protection Agency. 2000b. Guidance for Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection.

El establecimiento de la red de monitoreo debe considerar por lo menos los siguientes criterios:

- Delimitar el área de monitoreo.
- Especificar el tipo de muestra, los parámetros de campo y los parámetros para el análisis en laboratorio.
- Analizar los peligros ambientales para el recurso natural que se desea monitorear.
- Analizar la relevancia de los datos obtenidos desde una perspectiva de riesgo ambiental y social, así como determinar la factibilidad de obtener datos confiables a lo largo del tiempo.
- Establecer un indicador de monitoreo, interpretarlo y ponerlo a prueba.

III.3.2. FORMATOS PARA LA CODIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

La codificación de los puntos de monitoreo es esencial para su identificación del punto de monitoreo, que es utilizado para los reportes ambientales, llenado de las cadenas de custodia, etiquetados, asimismo, le da nombre propio a la muestra. La codificación se realizará de acuerdo con el tipo de recurso hídrico, nombre del recurso hídrico, número de muestras y nivel de profundidad de la toma de muestras. La codificación se realizará de la siguiente manera:

a) Tipo de Muestra: Sedimentos	= Sd
b) Tipo de Recurso Hídrico	
• Río	= Ri
• Quebrada	= Qd
• Lago	= Lg
• Laguna	= Ln
• Cocha	= Co
• Manantial	= Man
• Mar	= Mar
• Bahía	= Bah
• Estuario, Manglar o Marisma	= Est
• Humedal o Bofedal	= Hu
• Embalse o Represa	= Em
c) Número del Punto de Monitoreo	= N°
d) Superficie	= S
e) Fondo	= F

Punto de Monitoreo = (Tipo de Muestra, Tipo de Recurso Hídrico, Nombre del Recurso Hídrico, Número del Punto de Monitoreo, profundidad de la muestra)

Nota: Para el Nombre del cuerpo hídrico = Primera letra del nombre en mayúsculas y la segunda letra en minúscula.

- Ejemplo 1: Monitoreo de sedimentos en el Río Amazonas:

SdRiAm-01-F

- Ejemplo 2-1: Monitoreo de sedimentos en la quebrada Horizonte:

SdQdHo-03-S

- Ejemplo 2-2: Monitoreo de muestra de sedimentos del Lago Junín:

Muestra de fondo:

SdLgJu-01-F

Muestra superficial:

SdLgJu-01-S

- Ejemplo 3: Monitoreo de muestra de sedimento en la Laguna Caballococha:

Muestra de fondo:

SdLnCa-01-F

Muestra superficial:

SdLnCa-01-S

Asimismo, se registrará la coordenada UTM WGS 84 contando con un GPS Calibrado y certificado por el INACAL.

IV. PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE MUESTRAS

El procedimiento de toma muestras permite ajustar a un patrón o tipo común los criterios para la toma de muestras de sedimentos en los recursos hídricos del país, ubicados en las tres regiones naturales y los cuerpos marino - costeros, donde se requiere realizar la evaluación de la calidad de sedimentos.

Este procedimiento alcanza la toma de muestras simples o compuestas de sedimentos en cuerpos hídricos lóticos (ríos, quebradas), lénticos (Lagos y Lagunas) y zonas marino-costeras.

IV.1. CONSIDERACIONES PREVIAS AL MUESTREO

Luego de identificado el punto de muestreo, se debe de georreferenciar el punto utilizando el GPS, para ello, se debe haber calibrado y registrado en sistema UTM WGS 84, indicando la Zona, altura y precisión. Debe tomarse en cuenta y registrarse los puntos de referencia más resaltantes, tales como recodos de ríos, peñascos, puentes, quebradas, parajes, caseríos cercanos, y otras referencias que faciliten su ubicación posterior. Esta información deberá consignarse en la libreta de campo y también en la ficha del punto de muestreo.

Se deberá realizar como mínimo tres fotografías del acto de muestreo: Una fotografía panorámica de la zona de muestreo con la pizarra donde se pueda apreciar las

características de la zona o alrededores, segunda fotografía durante el muestreo y la tercera donde aparezca la muestra con la pizarra que contiene los datos de campo (ubicación de las coordenadas UTM, registro de la fecha y hora).

El detalle del llenado de la pizarra acrílica o su equivalente en cada punto de muestreo se visualiza en el Anexo III.

Seguidamente antes de la toma de muestras se debe rotular y etiquetar los envases con la información contenida en la etiqueta según se detalla en el Anexo II (Etiquetas de Muestreo).

IV.1.1. REVISIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES ANTES DE LA TOMA DE MUESTRA

Antes de realizar la toma de muestras de sedimentos, deberá revisarse que los equipos y materiales se encuentren operativos y en buen estado, para ello se deberá limpiar y secar todas las herramientas que tendrán contacto directo con el sedimento (palas, barrenos, tubos muestreadores, espátulas, otros). Ver acápite **V.3** para mayores detalles de los equipos y materiales.

La revisión de los equipos y materiales también se debe de realizar por el personal de almacén antes de su salida a campo, y también por el profesional que lo recibe y encargado del muestreo.

IV.2. MUESTREO DE SEDIMENTOS MEDIANTE DRAGADO O MUESTREO MANUAL

IV.2.1. Propósito

Para el muestreo de sedimentos se utilizan técnicas de dragado o muestreo manual para recolectar muestras de sedimentos superficiales. Este tipo de muestreo se lleva a cabo cuando la calidad de los sedimentos recientemente depositados es de interés y se requieren volúmenes relativamente grandes de sedimentos. Las muestras al azar se pueden tomar fácilmente en sedimentos someros de depósito o en sedimentos relativamente gruesos, donde no se pueden obtener muestras de núcleo²³.

IV.2.2. General

- Este procedimiento se usa si no hay suficiente sedimento para usar un muestreador de sedimentos de núcleo y por una variedad de otras razones (p. ej., la necesidad de definir la calidad del sedimento en relación con los invertebrados bénticos).
- Las muestras deben tomarse de los sitios, progresando en orden, desde el sitio menos contaminado primero hasta el sitio más contaminado al final. El grado de contaminación se puede estimar a partir de datos históricos, condiciones del sitio, uso de la tierra, conocimiento profesional, etc.
- En cualquier sitio en particular, el muestreo de agua debe realizarse antes del muestreo de sedimentos para evitar la perturbación de las aguas suprayacentes por la técnica de muestreo de sedimentos.

²³ Sediment Grab Sampling – Aquatic Ecosystems Field Sampling Protocols - Alberta Environment. (Ítem 2.12).

- Si las mordazas no están cerradas correctamente cuando se recupera la draga, deseche la muestra y vuelva a muestrear.
- Consulte la Sección V.3 para conocer los procedimientos de limpieza y descontaminación del equipo de muestreo.
- Consulte la Sección V.4 para obtener una descripción general de las consideraciones/requisitos de seguridad.

IV.2.3. Equipo

- Muestreador de dragado - Muestreador de cuchara Ponar o Ekman.
- Cuerda (nylon no retorcido).
- Recipiente de acero inoxidable o vidrio.
- Cucharas y rebanadoras de acero inoxidable o Teflón®/plástico.
- Cinta de rotular, bolígrafo resistente al agua y bloc de notas.
- Mapa hidrográfico que muestra los sitios de muestreo.
- Contenedores de muestras de sedimentos a prueba de fugas (p. ej., frascos de vidrio de boca ancha, tapas revestidas de Teflón®; el material de los contenedores dependerá del análisis).
- Hieleras con bolsas de hielo o botellas de agua caliente, según la temporada.
- Bolsas Ziploc®, un paquete de jeringas desechables o cuentagotas.
- Hojas de solicitud de análisis de laboratorio y formularios de cadena de custodia.
- Unidad GPS, sonda, cinta métrica, cámara.
- Guantes desechables de látex o polietileno sin empolver, guantes largos de goma.
- Equipos para procedimientos de limpieza/descontaminación de campo (ver Sección V.3).
- Equipo de seguridad (ver Sección V.4).
- Contenedores de residuos para productos químicos usados.

IV.2.4. Procedimiento

1. La toma de muestras debe ser realizada por personal técnico especializado.
2. Las muestras deberán ser analizadas en laboratorios acreditados ante el INACAL o por alguna entidad miembro de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios – ILAC o el Acuerdo de Reconocimiento Multilateral de la Cooperación Interamericana en Acreditación – IAAC.
3. La muestra será tomada directamente de la matriz e inmediatamente preservada teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados en normatividad ambiental internacional (referencial).
4. Etiquete los recipientes de muestra con la identificación del sitio, el tipo de muestra, el método de muestreo, la identificación del muestreador y la fecha de recolección.

5. Anotar la siguiente información del sitio/muestreo en la hoja/libro de campo durante el proceso de muestreo: ubicación objetiva y real del muestreo (GPS); fecha y hora de la toma de muestras; profundidad del agua suprayacente (m); las condiciones climáticas; personal de muestreo; cualquier desviación del procedimiento de muestreo de campo, crecimiento de macrófitos.
6. Asegúrese de que las mandíbulas de la draga se abran y cierren correctamente.
7. Bloquee las mordazas de la draga en la posición abierta y bájelas de manera controlada hasta el fondo del lago. No permita que el muestreador “caiga libremente”. El muestreador debe estar en contacto con el sustrato o colocado justo encima de él.
8. Deje caer el mensajero (en caso corresponda) y levante lentamente el muestreador del fondo para evitar la pérdida de sedimentos finos y luego levante la draga hasta la superficie del agua.
9. La muestra se considera aceptable si se ha logrado la profundidad de penetración deseada; y el muestreador se cerró por completo y no se insertó en ángulo ni se inclinó al recuperarlo. Si la muestra no cumple con estos criterios, la muestra debe tomarse nuevamente cerca del lugar de muestreo original. La muestra rechazada debe descartarse de tal manera que no afecte los esfuerzos de muestreo posteriores.
10. La profundidad de penetración real alcanzable depende de la naturaleza del sedimento y del dispositivo de muestreo utilizado. Se recomienda una profundidad de penetración mínima de 6 a 8 cm para muestras de sedimentos superficiales, pero la profundidad preferida es de 10 a 15 cm. Estas profundidades garantizan una alteración mínima de los 2 a 5 cm superiores de sedimento que se extraerán de la muestra manual y se enviarán para análisis fisicoquímicos.
11. Tome nota de las siguientes mediciones/observaciones de sedimentos (cuando corresponda): profundidad de penetración del agarre; profundidad submuestreada; tipo de material (tipo de sedimento, color, condición de humedad, densidad y tamaño de grano), estructura biológica (p. ej., moluscos bivalvos, grandes tubos, Biota, macrófitos); desechos (p. ej., astillas de madera, plantas u otras fibras; signos evidentes de anoxia (p. ej., capas negras); grado de perturbación de la muestra; olor evidente o brillo aceitoso; otras propiedades inusuales.
12. Saque el agua de la superficie de la muestra al azar con una jeringa, pero si el agua está turbia, deje que se asiente primero (utilice una jeringa nueva para cada sitio). Retire los 2-5 cm superiores de sedimento con un instrumento de acero inoxidable o Teflón® y transfíralo a una bandeja/tazón de acero inoxidable/plástico. Evite los sedimentos en los bordes de la muestra manual (tocando la muestra manual).
13. Si se requiere más sedimento para obtener el volumen requerido para el análisis, se deben recolectar más muestras al azar del mismo sitio en sedimento no perturbado, es decir que no haya sido alterado física y/o químicamente. El volumen de sedimento a enviar al laboratorio analítico depende de los objetivos del estudio, los parámetros a analizar y el laboratorio analítico. La bandeja/recipientes de muestra compuesto debe estar cubierto mientras se recolectan las muestras al azar. Debe anotarse el número de muestras tomadas al azar.

14. Lave la draga en el lago. Enjuague el balde y los cucharones antes y después de cada sitio con agua del lago. Si toma muestras de compuestos orgánicos, realice un enjuague con hexano/acetona y recolecte los desechos en un frasco para transportarlos de regreso al laboratorio. El papel de aluminio utilizado para cubrir la cubeta también debe enjuagarse con hexano/acetona (consulte el ítem V.3 para conocer los procedimientos de descontaminación detallados).
15. Una vez que se haya recolectado suficiente sedimento, revuelva (homogeneicé) la muestra compuesta durante 30 segundos, luego transfírala a los recipientes pre etiquetados apropiados con un instrumento de acero inoxidable o Teflón®.
16. Almacene y transporte las muestras en un refrigerador cerrado a 4 °C y no permita que se congelen a menos que estén destinadas a ser almacenadas congeladas. Coloque cada recipiente de muestra en dos bolsas de plástico Ziploc® (doble bolsa) en caso de fuga.
17. Si las muestras no van a congelarse y almacenarse a 4 °C hasta el análisis posterior, los recipientes de muestras deben llenarse hasta el borde sin espacio libre para reducir la exposición al oxígeno. Esto es particularmente importante si se van a medir parámetros volátiles.
18. Si las muestras se van a congelar, se debe dejar un espacio libre de aproximadamente el 10 % del volumen del frasco en recipientes de vidrio, para acomodar la expansión de la muestra cuando se congela. Verifique con el laboratorio analítico antes del muestreo para confirmar los requisitos de almacenamiento de muestras para los análisis solicitados. Las muestras almacenadas a 4 °C en la oscuridad generalmente solo se pueden almacenar durante días o semanas antes del análisis, excepto para el análisis del tamaño de partículas (tamaño de grano), que se puede almacenar hasta por 6 meses. Las muestras se pueden congelar y archivar durante períodos de tiempo más largos, pero se debe tener en cuenta que las muestras destinadas al análisis del tamaño de partículas no se deben congelar²⁴.

IV.3. TOMA DE MUESTRA EN CUERPOS HÍDRICOS LÓTICOS

La toma de muestras de sedimentos en ríos y quebradas se realizará en lugares accesibles. Se deberá tomar como referencia un punto fijo que perdure en el tiempo (árboles mayores de tres metros, peñascos, otros), en la pizarra colocar el Código del Punto de monitoreo debidamente georreferenciado, fecha de la muestra, hora, coordenadas, altura del punto de monitoreo; el especialista deberá usar guantes de látex y deberá seleccionar el frasco de acuerdo con el parámetro que se desea monitorear. Asimismo, deberá tener a la mano las etiquetas auto adhesivas para facilitar la maniobra, tomar fotografía del acto de muestreo donde aparezca la pizarra con los datos.

Todas las muestras se tomarán siempre con el apoyo de una embarcación, muelle o plataforma, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

Para ello se tendrá en cuenta el siguiente procedimiento:

1. Delimitar el área de muestreo eliminando cualquier material extraño, desecho o escombros, teniendo en consideración de no contaminar la muestra.

²⁴ Environment Canada (2004) y USEPA (2002) almacenamiento y archivo de muestras.

2. Recoger el sedimento en los puntos de monitoreo dentro del área asignada, utilizando una pala de acero inoxidable y aplicar el método del cuarteo de ser necesario, para tomar muestras homogéneas. Luego, llenar los frascos para muestras químicas, geoquímicas, inorgánicas y orgánicas a evaluar.
3. Todas las muestras deben de tener el mismo peso o tamaño, y deben de estar exentas de vegetación y microorganismos.
4. También se puede utilizar el barreno o muestreador de sedimentos manual. Para ello hay que sumergir el barreno en el punto que se desea muestrear, y aplicar el torniquete a fin de obtener la muestra representativa.
5. Al levantar el barreno o la pala, que contiene la muestra se hará lentamente, teniendo cuidado de no desperdiciar la muestra. Si la muestra contiene demasiados elementos rocosos y/o vegetación, deberá pasarse por un cernidor con malla 2 mm, a fin de obtener la granulometría más adecuada. Si contiene agua deberá esperar a que el sedimento se asiente y luego verter el agua excedente.
6. Luego de extraída la muestra se tomará una fotografía donde se incluya la pizarra acrílica con todos los datos del punto de muestreo.

Es pertinente que cuando se realice el muestreo en ríos, quebradas y/o tributarios, se tenga especial precaución con crecidas y los riesgos asociados a descargas, además de la velocidad del cauce. Las muestras deben ser recolectadas, conforme la finalidad del muestreo, esto abarca desde las zonas de mayor y menor profundidad.

IV.3.1. Muestreo Compuesto de Sedimentos en Ríos y Quebradas

IV.3.1.1. Propósito

En general, las muestras compuestas de sedimentos superficiales tomadas para evaluar la calidad reciente de los sedimentos en ríos y quebradas se recolectan de las áreas de depósito mediante cucharas Ponar o Ekman. En los sistemas lóticos, los sedimentos se mezclan y redistribuyen con frecuencia dependiendo de la fuerza del flujo de agua y la frecuencia de los eventos de inundaciones/caudales altos. Por lo tanto, la calidad de los sedimentos solo puede evaluarse en zonas de depósito dentro de los cursos de agua²⁵.

Todas las muestras se tomarán siempre con el apoyo de una embarcación, muelle o plataforma, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

IV.3.1.2. General

- Las muestras deben tomarse de sitios en orden, desde el sitio menos contaminado primero hasta el sitio más contaminado al final (el grado de contaminación se puede estimar a partir de datos históricos, condiciones del sitio, uso de la tierra, conocimiento profesional, etc).
- En cualquier sitio en particular, el muestreo de agua debe realizarse antes del muestreo de sedimentos para evitar la perturbación de las aguas suprayacentes por la técnica de muestreo de sedimentos o debe realizarse directamente aguas arriba del lugar de muestreo de sedimentos.

²⁵ Composite Sediment Grab Sampling – Aquatic Ecosystems Field Sampling Protocols - Alberta Environment

- Si las mordazas no están cerradas correctamente cuando se recupera la draga, deseche la muestra y vuelva a muestrear.
- Consulte la Sección V.3 para conocer los procedimientos de limpieza y descontaminación del equipo de muestreo.
- Consulte la Sección V.4 para obtener una descripción general de las consideraciones/requisitos de seguridad.

IV.3.1.3. Equipo

- Muestreador de fondo: Ponar o Ekman.
- Cuerda (nylon no retorcido).
- Recipiente o balde de acero inoxidable o vidrio.
- Cucharas y rebanadoras de acero inoxidable o Teflón®/plástico.
- Cinta de rotular, bolígrafo resistente al agua, bloc de notas, papel de aluminio.
- Mapa hidrográfico que muestra los sitios de muestreo.
- Contenedores de muestras de sedimentos a prueba de fugas (p. ej., frascos de vidrio de boca ancha, tapas revestidas de Teflón®).
- Hojas de solicitud de análisis de laboratorio y formularios de cadena de custodia.
- Bolsas Ziploc®, para muestras, hieleras y bolsas de hielo o botellas de agua caliente, según la temporada.
- Unidad GPS, sonda, cinta métrica, cámara.
- Pack de jeringas desechables o cuentagotas.
- Guantes desechables de látex o polietileno sin empolverar, guantes largos de goma.
- Equipos para procedimientos de limpieza/descontaminación de campo.
- Equipo de seguridad.
- Contenedores de residuos para productos químicos usados.

IV.3.1.4. Procedimiento

1. Asegúrese de que todo el equipo se limpie para rastrear los estándares orgánicos.
2. Discutir la selección del sitio y los requisitos de sedimentos con el coordinador o líder del grupo.
3. Etiquete los recipientes de muestra con la identificación del sitio, el tipo de muestra, el método de muestreo, la identificación del muestreador y la fecha de recolección. Tome una(s) fotografía(s) del sitio/tramo (aguas arriba y aguas abajo).
4. Anotar la siguiente información del sitio/muestreo en la hoja/libro de campo durante el proceso de muestreo: ubicación objetiva y real del muestreo (GPS); fecha y hora de la toma de muestras; profundidad del agua suprayacente (m); condiciones climáticas ambientales; profundidad de penetración del agarre, profundidad

muestreada, personal de muestreo; cualquier desviación del procedimiento de muestreo de campo

5. Asegúrese de que las mandíbulas de la draga se abran y cierren correctamente.
6. Bloquee las mordazas de la draga en la posición abierta y bájelas de manera controlada hasta el fondo del lago. No permita que el muestreador “caiga libremente”. El muestreador debe estar en contacto con el sustrato o colocado justo encima de él. Despliegue un mensajero en aguas profundas (>2 m) o use un palo adjunto o una mano para disparar el mecanismo de mordaza.
7. Lentamente levante el muestreador del fondo para evitar la pérdida de sedimentos finos y luego levante la draga hasta la superficie del agua.
8. La muestra se considera aceptable si se ha logrado la profundidad de penetración deseada; y el muestreador se cerró por completo y no se insertó en ángulo ni se inclinó al recuperarlo. Si la muestra no cumple con estos criterios, la muestra debe volver a tomarse cerca del lugar de muestreo original. La muestra rechazada debe descartarse de tal manera que no afecte los esfuerzos de muestreo posteriores.
9. La profundidad de penetración real alcanzable depende de la naturaleza del sedimento y del dispositivo de muestreo utilizado. Se recomienda una profundidad de penetración mínima de 6 a 8 cm para muestras de sedimentos superficiales, pero la profundidad preferida es de 10 a 15 cm. Estas profundidades garantizan una alteración mínima de los 2 a 5 cm superiores de sedimento que se extraerán de la muestra manual y se enviarán para análisis fisicoquímicos.
10. Tome nota de las siguientes mediciones/observaciones de sedimentos (cuando corresponda): profundidad de penetración del agarre; profundidad submuestreada; tipo de material (tipo de suelo, color, condición de humedad, densidad y tamaño de grano), estructura biológica (p. ej., conchas, grandes tubos, Biota, macrófitos); escombros (por ejemplo, astillas de madera, plantas u otras fibras); signos evidentes de anoxia (p. ej., capas negras); grado de alteración de la muestra; olor evidente o brillo aceitoso; otras propiedades inusuales.
11. Saque el agua de la superficie de la muestra con una jeringa, pero si el agua está turbia, deje que se asiente primero (utilice una jeringa nueva para cada sitio). Retire los 2-5 cm superiores de sedimento con un instrumento de acero inoxidable o Teflón® y transfíralo a una bandeja/tazón de acero inoxidable. Evite los sedimentos en los bordes de la muestra manual (tocando la muestra manual).
12. Si se requiere más sedimento para obtener el volumen requerido para el análisis, se deben tomar más muestras al azar del mismo sitio en sedimento no perturbado, es decir que no haya sido alterado física y/o químicamente. El volumen de sedimento a enviar al laboratorio analítico depende de los objetivos del estudio, los parámetros a analizar y el laboratorio analítico. La bandeja/recipiente de muestra compuesto debe estar cubierto mientras se recolectan las muestras al azar. Debe anotarse el número de muestras tomadas al azar.
13. Lave la draga en el lago. Enjuague balde y cucharones antes y después de cada sitio con agua de río. Si toma muestras de compuestos orgánicos, haga un enjuague con acetona/hexano y recoja los desechos en un frasco para transportarlos de regreso al

laboratorio. El papel de aluminio utilizado para cubrir la cubeta también debe enjuagar con acetona/texano.

14. Una vez que se haya recolectado suficiente sedimento, revuelva (homogenice) la muestra compuesta durante 30 segundos, luego transferirla a los recipientes pre etiquetados apropiados con un instrumento de acero inoxidable.
15. Almacene y transporte las muestras en un enfriador cerrado de muestras a 4 °C y no permita que se congelen a menos que estén destinadas a ser almacenadas congeladas. Coloque cada recipiente de muestra en dos bolsas de plástico Ziploc® (doble bolsa) en caso de fuga.
16. Si las muestras no van a congelarse y almacenarse a 4 °C hasta el análisis posterior, los recipientes de muestra deben llenarse hasta el borde sin espacio libre para reducir la exposición al oxígeno. Esto es particularmente importante si se van a medir parámetros volátiles.
17. Si las muestras se van a congelar, se debe dejar un espacio libre de aproximadamente el 10 % del volumen del frasco en recipientes de vidrio, para acomodar la expansión de la muestra cuando se congela. Verifique con el laboratorio analítico antes del muestreo para confirmar los requisitos de almacenamiento de muestras para los análisis solicitados. Las muestras almacenadas a 4 °C en la oscuridad generalmente solo se pueden almacenar durante días o semanas antes del análisis, excepto para el análisis del tamaño de partículas (tamaño de grano), que se puede almacenar hasta por 6 meses. Las muestras se pueden congelar y archivar durante períodos de tiempo más largos, pero se debe tener en cuenta que las muestras destinadas al análisis del tamaño de partículas no se deben congelar.

Puede que no sea práctico utilizar un muestreador de cuchara cuando una fina capa de depósito se superpone a sedimentos compactados que son demasiado difíciles de penetrar con una cuchara. En tales áreas, se puede adoptar el siguiente método de “cubo y cuchara”¹⁰.

IV.3.1.5. Equipo para casos de sedimentos compactados

- Balde de acero inoxidable o balde Nalgene®.
- Cucharón de acero inoxidable y cuchara coladora o cuchara recubierta de Teflón®.
- Papel de aluminio.
- Frascos de vidrio de boca ancha, tapas revestidas de Teflón®, limpieza especial para muestras.
- Bolsas Ziploc®, para muestras.
- Hieleras.
- Hielo/Hielo Seco.

IV.3.1.6. Procedimiento para caso de sedimentos compactados

- 1) Asegúrese de que todo el equipo se limpie para rastrear los estándares orgánicos.

- 2) Discutir la selección del sitio y los requisitos de sedimentos con el coordinador o líder del grupo.
- 3) Camine a lo largo de un tramo de 50 a 100 m en el sitio, de río abajo a río arriba.
- 4) Con el cucharón o la cuchara coladora, recoja los 5 cm superiores de sedimento en el agua más profunda posible y transfíralos a la cubeta.
- 5) Una vez que se haya recolectado suficiente sedimento, agite la muestra compuesta durante 30 segundos y luego transfírala a los recipientes pre etiquetados apropiados.
- 6) Mantenga las muestras frescas/congeladas hasta que se almacenen o se envíen para su análisis.
- 7) Registre la descripción del sitio, las muestras recolectadas, las descripciones de los sedimentos, etc.

IV.4. TOMA DE MUESTRA EN CUERPOS HÍDRICOS LÉNTICOS

La toma de muestras de sedimentos en **Lagos y Lagunas** se realizará en lugares accesibles. Se tomará como referencia un punto fijo que perdure en el tiempo (árboles mayores de tres metros, peñascos, otros), en la pizarra colocar el Código del Punto de Monitoreo debidamente georreferenciado, fecha de la muestra, hora, coordenadas, altura del punto de monitoreo; el especialista deberá usar guantes de látex y deberá seleccionar el frasco de acuerdo con el parámetro que se desea monitorear. Asimismo, deberá tener a la mano las etiquetas auto adhesivas para facilitar la maniobra y tomar fotografía del acto de muestreo, donde aparezca la pizarra con los datos.

Todas las muestras se tomarán siempre con el apoyo de una embarcación, muelle o plataforma, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

Para ello se tendrá en cuenta el siguiente procedimiento:

- 1) Delimitar el área de muestreo eliminando cualquier material extraño, desecho o escombros, teniendo en consideración de no contaminar la muestra.
- 2) Recoger el sedimento en los puntos de monitoreo dentro del área asignada, utilizando una pala de acero inoxidable y aplicar el método del cuarteo de ser necesario, para tomar muestras homogéneas. Luego, llenar los frascos para muestras químicas, geoquímicas, inorgánicas y orgánicas a evaluar.
- 3) Todas las muestras deben de tener el mismo peso o tamaño, y deben de estar exentas de vegetación y microorganismos.
- 4) También se puede utilizar el barreno o muestreador de sedimentos manual. Para ello hay que sumergir el barreno en el punto que se desea muestrear, y aplicar el torniquete a fin de obtener la muestra representativa.
- 5) Al levantar el barreno o la pala, que contiene la muestra se hará lentamente, teniendo cuidado de no desperdiciar la muestra. Si la muestra contiene demasiados elementos rocosos y/o vegetación, deberá pasarse por un cernidor²⁶ con malla 2 mm, a fin de obtener la granulometría más adecuada. Si contiene agua se deberá esperar a que el sedimento se asiente y luego verter el agua excedente.
- 6) Luego de extraída la muestra se tomará una fotografía donde se incluya la pizarra acrílica con todos los datos del punto de muestreo.

²⁶ El tamaño del cernidor dependerá del propósito del análisis, las características del sedimento y del objetivo del monitoreo. Por ejemplo, si el objetivo requiere trabajar con partículas finas de arcilla, se puede usar un tamiz con una abertura de 63 µm o incluso más pequeño.

Finalmente, para el caso de sedimentos provenientes de Lagos y Lagunas, se debe tomar en consideración la tasa de sedimentación y su probable lugar de acumulación. Se debe abarcar todos los escenarios posibles, considerando la profundidad de este.

IV.5. TOMA DE MUESTRA EN CUERPOS MARINO – COSTERO

Para la selección y ubicación de puntos de muestreo con la finalidad de determinar la calidad en sedimentos marino-costeros, se debe considerar el objetivo del muestreo, la presencia de ecosistemas estratégicos y los tensores ambientales. Adicionalmente, se considera la profundidad del punto, el tipo de sustrato a muestrear (arenas, lodos, restos biológicos) y la presencia de corrientes, características que pueden ser condicionantes en el muestreo²⁷.

Para determinar la frecuencia y el momento del muestreo es importante tener en cuenta factores como la tasa de sedimentación del área de estudio relacionada con la presencia de descargas de tributarios, el régimen pluviométrico y la presencia de fuentes terrestres de contaminación.

En sedimentos marinos las mediciones se realizan de manera puntual, las muestras pueden tomarse en el sedimento superficial y a varias profundidades que dependerán de los objetivos del plan de muestreo y los criterios descritos en el ítem IV.11.

Existe una gran variedad de instrumentos para el muestreo de sedimentos, tanto comerciales como de elaboración propia. Algunos son de utilización manual y otros están total o parcialmente automatizados. El uso de uno u otro instrumento de muestreo está definido en función de la profundidad del agua donde se realiza el muestreo, espesor de capa de sedimento y la cantidad que se necesite recolectar para realizar las determinaciones.

El uso de equipos para la recolección de sedimentos se basa en el objetivo requerido del estudio, para garantizar la integridad de la muestra o estructura del perfil sedimentario. Dentro de los instrumentos y equipos más comunes se nombran los siguientes:

Todas las muestras se tomarán siempre con el apoyo de una embarcación, muelle o plataforma, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

- **Palas:**

Dependiendo del tipo de muestreo (superficial o profundidad) y parámetros a medir se pueden emplear diferentes tipos de palas. Las palas manuales sirven para la toma de sedimentos superficiales, no presentan un área definida y son de bajo costo. Las palas tipo draga como la Ekman y Van Veen tienen un área de muestreo entre 0,01 m² a 0,2 m² y son utilizadas para sedimentos de profundidad en ambientes costeros.

- **Muestreador de plataforma**

Los muestreadores de plataforma usualmente tienen un área de muestreo entre 0,025 m² a 0,25 m² de la superficie del sedimento. Están contruidos de manera que la superficie del sedimento permanezca intacta durante el muestreo y se puedan tomar submuestras del mismo muestreador de plataforma. Los muestreadores de plataforma trabajan eficientemente siempre y cuando las tapas estén bien cerradas herméticamente para

²⁷ Protocolo de Monitoreo de Agua – Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM – Colombia.

izado, permitiendo el flujo libre durante el descenso para reducir la onda de presión en el frente del muestreador. Dentro de los muestreadores más comunes se encuentran al Box Corer.

- **Muestreadores de gravedad**

Los muestreadores de gravedad son ampliamente usados para estudios ambientales, se encuentran en una gran variedad de modelos, con diversas longitudes y diámetros de tubos y diferentes mecanismos de cierre. La mayoría de los muestreadores de gravedad tienen equipo de seccionamiento que permite que los núcleos sean seccionados en los intervalos de profundidad deseada (entre capas de 1 a 2 cm), inmediatamente después de realizado el muestreo. De esta manera, se puede analizar la distribución vertical de contaminantes u otros compuestos, obteniendo un panorama histórico de la contaminación. Entre los muestreadores de gravedad se han introducido muestreadores múltiples que tiene de 2 a 12 tubos nucleadores, cada tubo de 10 cm de diámetro o más. Esto permite tomar varias muestras paralelas y tener suficiente material.

Para la toma de muestras de sedimentos en zonas marinas o estuarios se tendrá en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La recolección del sedimento se debe de realizar después de la toma de las muestras de agua, para evitar alterar la columna de agua por la re suspensión del sedimento.
- Para la toma de muestra superficial en playas, manglares o de sedimentos marinos con equipo de buceo, se debe asegurar que el área de toma de muestra se encuentre sin material que pueda alterar la misma, como por ejemplo conchas, ramas, residuos plásticos u otros materiales.
- Para la toma de muestras en área superficial, se debe usar una pala pequeña, tomar la cantidad requerida y considerar las siguientes recomendaciones de acuerdo con los análisis solicitados.
- Para análisis de contaminantes orgánicos (hidrocarburos, plaguicidas organoclorados y organofosforados, grasas y aceites, entre otros), se debe recolectar con pala de acero inoxidable aproximadamente 100 g de sedimento de la capa superficial en un recipiente de vidrio o sobre una película de aluminio. En caso de usar botellas de vidrio, llenar máximo hasta 2/3 partes de la capacidad del recipiente, para permitir la expansión sin rotura durante su congelamiento.
- Para granulometría: recolectar aproximadamente 200 g y colocarlos en una bolsa tipo "Ziploc". No congelar la muestra.
- Para análisis de metales: recolectar aproximadamente 100 g de muestra con palas de acero inoxidable y depositar en botellas plásticas de boca ancha o en bolsas plásticas tipo "Ziploc". Todo el material empleado debe ser previamente purgado con HNO_3 .
- Para análisis microbiológico: las muestras se deben recolectar con una pala estéril, y se debe depositar en bolsas resellables o Whirl-pak. Una vez tomada las muestras deben ser analizadas dentro de las dos horas siguientes, en caso de que no se

analicen de inmediato se deben mantener bajo refrigeración (2 a 6 °C) por un tiempo máximo de 24 horas.

- En el caso de sedimentos de profundidad se recomienda que los muestreos se realicen con dragas Ekman o Van Veen, o con muestreadores de plataforma. Dependiendo de los parámetros solicitados y el volumen de la draga, se deben realizar los lances necesarios para cumplir con las cantidades requeridas por el laboratorio, por lo que sugiere homogeneizar las submuestras antes de repartir para los diferentes parámetros.

IV.6. NÚMERO DE MUESTRAS

La cantidad de muestras recolectadas afecta directamente la representatividad e integridad de los datos para abordar los objetivos del proyecto. Como regla general, un mayor número de muestras dará una mejor definición de la extensión del área de contaminación o toxicidad. Muchos programas especifican una cierta cantidad de muestras por ubicación (p. ej., sitio o unidad de dragado).

En consecuencia, los requisitos de muestra deben determinarse caso por caso. El número de muestras a recolectar será en última instancia el resultado de las preguntas formuladas. Por ejemplo, si uno está interesado en caracterizar los efectos de una fuente puntual o un gradiente (p. ej., los efectos de ciertos afluentes o usos de la tierra en un lago o estuario), es posible que sea necesario recolectar y analizar muchas muestras en un área relativamente pequeña. Sin embargo, si uno está interesado en detectar "puntos calientes" o ubicaciones de alta contaminación dentro de una cuenca o cuerpo de agua, podrían ser apropiadas relativamente pocas muestras en ubicaciones espaciadas regularmente. En la mayoría de los estudios de seguimiento y evaluación, el número de muestras a recolectar generalmente resulta de un compromiso entre lo ideal y lo práctico. Las principales limitaciones prácticas son los costos de los análisis y la logística de la recolección de muestras.

Por otro lado, la US EPA señala que los principales costos asociados con la recolección de muestras de sedimentos son los del viaje al sitio y el análisis de las muestras. Los costos del muestreo real en el sitio son mínimos en comparación. En consecuencia, es una buena práctica recolectar un número excesivo de muestras, y se selecciona un subconjunto igual al número mínimo requerido para el análisis. Las muestras replicadas archivadas se pueden utilizar para reemplazar muestras perdidas, para la verificación de datos, para volver a ejecutar análisis que arrojan resultados cuestionables o para la prueba independiente de hipótesis a posteriori que puedan surgir de la selección de los datos iniciales. Sin embargo, el almacenamiento de sedimentos podría provocar cambios en la biodisponibilidad de los contaminantes químicos²⁸.

IV.7. CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS PARA LA SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO DE SEDIMENTOS

Varios factores específicos del sitio podrían influir en última instancia en la ubicación adecuada de las estaciones de muestreo, tanto para estudios de seguimiento a gran escala, en los que se desea el estado general de la calidad de los sedimentos, como para

²⁸ EPA-823-B-01-002 (2001) Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses – US EPA 2001.

estudios de menor escala y específicos para determinar la necesidad de remediación de sedimentos. Si se elige un diseño de muestreo aleatorio dirigido o estratificado, es importante ubicar las áreas de sedimentación y erosión para identificar adecuadamente los regímenes de contaminantes. La **Tabla N° 2** presenta un resumen de los factores específicos del sitio que se deben considerar al desarrollar un plan de muestreo.

Tabla N° 2: Consideraciones prácticas para la selección de estaciones de muestreo del sitio en el desarrollo de un plan de muestreo.

Actividad	Consideración
Determinación de áreas donde podría ocurrir contaminación por sedimentos	• Información hidrológica • Calidad y cantidad de la escorrentía • Entradas potenciales de depósito de sólidos suspendidos totales • Patrones de filtración de afloramientos
Determinación de áreas de depósito y erosión	Mapas batimétricos y cartas hidrográficas • Profundidad del agua • Zonas de erosión • Transporte y deposición • Batimetría • Distribución • Espesor y tipo de sedimento • Velocidad y dirección de las corrientes • Tasas de sedimentación Condiciones Climáticas • Vientos dominantes • Cambios estacionales de temperatura, precipitación y radiación solar • Mareas • Cambios estacionales en cargas antropogénicas y naturales
Determinación de fuentes potenciales de contaminación	Consideraciones antropogénicas • Ubicación de los centros urbanos • Cambios históricos en el uso del suelo • Tipos, densidades y tamaño de las industrias • Ubicación de los sitios de eliminación de desechos • Ubicación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales • Ubicación de los desagües de aguas pluviales y desbordamientos de alcantarillado combinado • Ubicación, cantidad y calidad de efluentes • Monitoreo y evaluaciones previas o estudios geoquímicos

Actividad	Consideración
	● Ubicación del dragado y eliminación del material dragado en aguas abiertas
Factores que afectan la biodisponibilidad de los contaminantes	● Consideraciones geoquímicas ● Tipo de roca madre y química del suelo/sedimento ● Propiedades físicas y químicas del agua suprayacente.
Determinación de la representatividad de las muestras	● Área a caracterizar ● Volumen a caracterizar ● Profundidad a caracterizar ● Posible estratificación del depósito a caracterizar

Fuente: Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses – US EPA 2001

IV.7.1. Inspección del Sitio

Se recomienda realizar una inspección física del sitio, la misma que es componente de la etapa de identificación de la zona contaminada, al desarrollar un plan de muestreo, para evaluar la integridad y validez de los datos históricos recopilados, e identificar cualquier cambio significativo que pueda haber ocurrido en el sitio o área de estudio. Una inspección del sitio del área de drenaje inmediata y la cuenca aguas arriba también podría identificar posibles factores estresantes (como la erosión) y coadyuvar a determinar el equipo de muestreo apropiado²⁹.

Asimismo, se aconseja que, si los recursos financieros lo permiten, es útil realizar algún muestreo piloto en esta etapa para afinar aún más el diseño de muestreo real necesario. El muestreo piloto es particularmente útil para definir las ubicaciones de las estaciones adecuadas para el muestreo dirigido o para identificar los estratos apropiados en el muestreo estratificado o multietapa, respectivamente.

Por otro lado, para el muestreo de sedimentos marinos comprendidos en la plataforma continental del mar peruano, la toma de muestras de sedimentos se debe de efectuar a lo largo de transectos o perfiles de navegación propuestos por los responsables de los proyectos, los mismos que deben ser establecidos tomando en consideración aspectos como batimetría, profundidad, corrientes marinas, viento, oleaje, ubicación de la plataformas marinas, ubicación y longitud de los emisarios submarinos, ubicación de los puertos y bahías de alta transitividad, considerando la mayor cobertura y representatividad muestral, de acuerdo con la ubicación del proyecto o área de estudio.

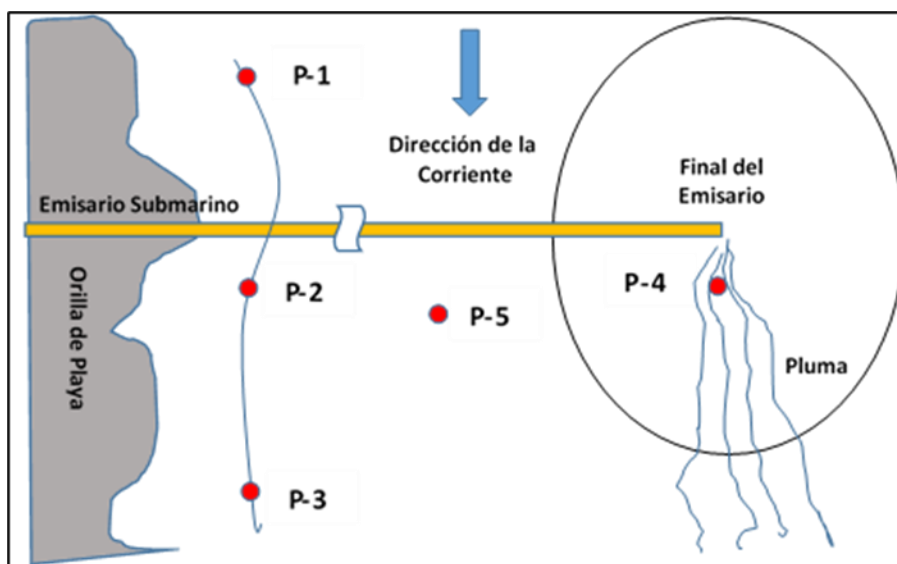
IV.7.2. Elección de los Puntos de Muestreo y Número de Muestras

En caso el sitio de estudio cuente con un instrumento específico, se debe de tener en cuenta que los puntos de muestreo y número de muestras se encuentran determinados en sus respectivos instrumentos aprobados u otros, según sea el proyecto o problema ambiental que se desea identificar.

²⁹ Inspección del sitio - Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses – US EPA 2001

Cuando se trate de estudios de sedimentos por vertidos a través de emisario submarino, se deberán de seleccionar al menos cinco puntos de acuerdo al detalle de la Figura 2: tres situados sobre la línea de costa (dos a ambos lados del punto final del emisario y uno en el arranque de este) y dos entre la salida del efluente y la costa. Además, por norma general, se seleccionará un punto en una zona de no afectación del vertido³⁰

Figura N° 2: Ejemplo de la distribución de puntos de monitoreo de sedimentos en emisario.

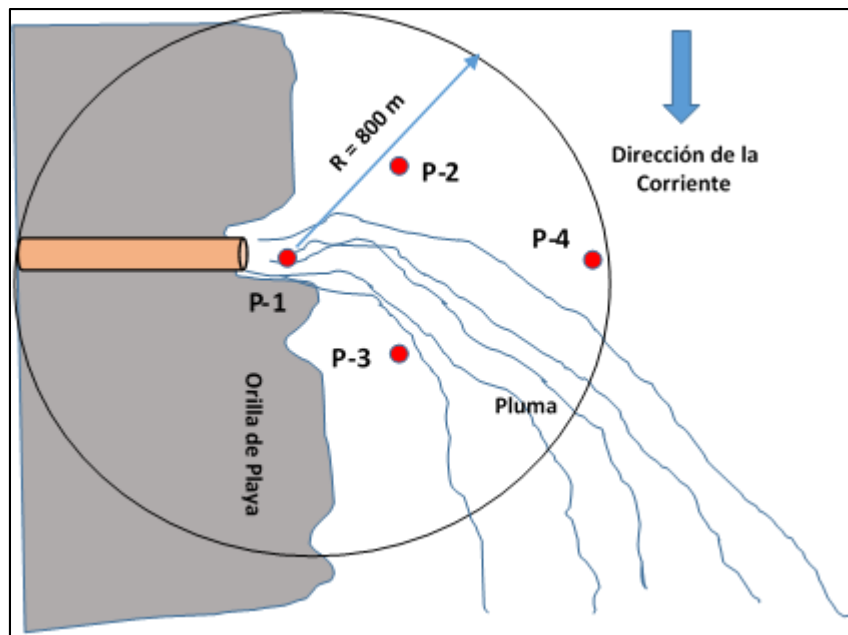


Fuente: Elaboración propia

Cuando los vertimientos son realizados directamente al mar, se seleccionarán al menos cuatro puntos de muestreo situados en la circunferencia de radio 800 m y centro el punto de descarga del vertido. Estarán repartidos de manera homogénea en la circunferencia con uno de ellos orientado según la pluma del vertido o la línea de costa si la pluma no fuera fácilmente identificable, de acuerdo al detalle establecido en la Figura 3: un punto en la incorporación del vertido al medio, dos equidistantes a partir de este punto (uno a cada lado de la pluma de vertido o de la línea de costa si esta no fuera fácilmente identificable) y uno en zona de no afectación dentro de un radio de 800 metros.

Figura N° 3: Ejemplo de la distribución de puntos de monitoreo de sedimentos de aguas residuales emitidas directamente al mar.

³⁰ TECNOAMBIENTE – UNIDAD TECNICA a Coruña y Andalucía: PETM15 TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS DE MAR.



Fuente: Elaboración propia

En las aguas de baño o playas de uso recreacional, se tomarán muestras superficiales en los puntos en los que se prevea mayor presencia de bañistas, de acuerdo con la siguiente consideración:

- En las playas, en la zona donde la profundidad del agua llegue a 1 m (aproximadamente la cintura del técnico), la muestra debe tomarse en contracorriente del flujo entrante y a 1 a 10 cm de la superficie del lecho marino.
- En los casos en los que no se disponga de Autorización Administrativa por la autoridad competente, y a petición del administrado se podrá enviar la propuesta de los puntos de muestreo a la Autoridad Nacional del Agua - ANA para su aprobación.

Es importante indicar que se está estableciendo un número mínimo de muestras por punto de monitoreo las cuales se deben ajustar a la malla o red de muestreo.

De manera adicional se deberá tomar muestras en blanco, a fin de asegurar que las muestras de sedimentos no han sido contaminadas en el proceso de muestreo en campo.

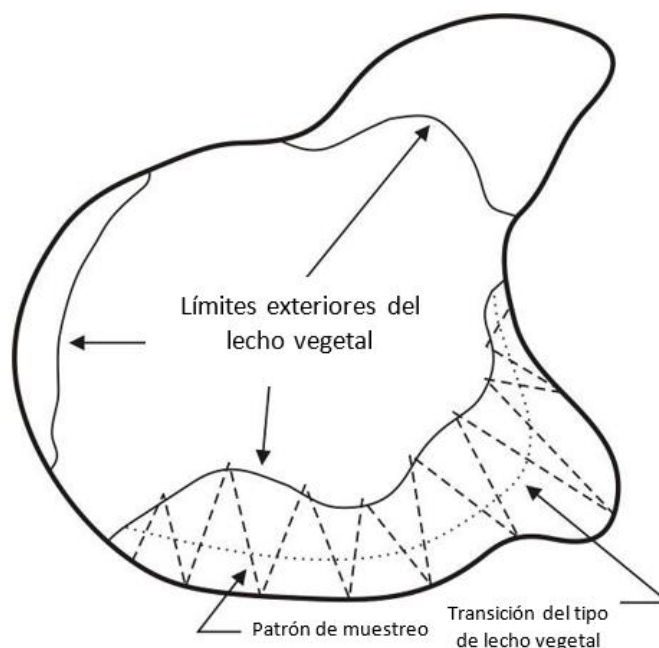
IV.7.3. Criterios para la Extracción de Muestras

La extracción del número de muestras de sedimentos, según Alberta Environment está en función de los siguientes criterios:

- Las muestras deben tomarse de los sitios, progresando en orden, desde el sitio menos contaminado primero hasta el sitio más contaminado al final. El grado de contaminación se puede estimar a partir de datos históricos, condiciones del sitio, uso de la tierra, conocimiento profesional, entre otros.
- Mapas del área de estudio (mapas batimétricos si están disponibles).

- Línea de transecto (malla) marcada a intervalos de 1 m con cinta de señalización fluorescente. La línea del transecto debe tener una longitud determinada (p. ejm., 100 m), apropiada para el tamaño de la masa de agua o lechos de plantas que probablemente se encontrarán. Alternativamente, la longitud de la línea puede ser igual a la distancia entre los puntos finales en estudios con transectos permanentes.
- Realizar una determinación preliminar de la zona litoral (las regiones poco profundas, generalmente cercanas a la costa, de un cuerpo de agua, donde la luz penetra hasta el fondo y permite la colonización por macrófitos acuáticos enraizados y algas bentónicas). Los cuerpos de agua pequeños o poco profundos pueden ser litorales en toda su extensión, mientras que los cuerpos de agua grandes o más profundos pueden ser litoral solo alrededor de los márgenes o en áreas de bajío. La profundidad máxima de crecimiento de macrófitos acuáticos suele ser limitado por la penetración de la luz (es decir, la zona eufótica), pero también puede estar limitado por otros factores como la pendiente y el tipo de sustrato. En los ríos, el crecimiento de macrófitos acuáticos a menudo está limitado por el tipo de sustrato y la velocidad del flujo, y los lechos de plantas suelen estar restringidos a los márgenes de los ríos.
- Las regiones litorales alrededor de las orillas de los lagos o a lo largo de las orillas de los ríos se miden navegando el bote en un patrón de zig-zag; desde aguas poco profundas cercanas a la costa hasta la extensión de los lechos de colonización por macrófitos acuáticos (Figura 4). La densidad del patrón (es decir, la distancia entre pasadas) depende de la visibilidad, pero debe permitir una cobertura completa para la evaluación visual. Las áreas de arrecifes con crecimiento de macrófitos acuáticos deben inspeccionarse por separado. No es necesario inspeccionar las costas sin crecimiento vegetal, salvo excepciones por derrame de sustancias tóxicas.
- Los cuerpos de agua poco profundos con crecimiento de plantas en el litoral se pueden estudiar en un patrón de cuadrícula, con una densidad de cuadrícula que depende del diseño del estudio, el área que se estudiará o las limitaciones de tiempo.
- Debe emplearse la función de rastreo por GPS para proporcionar un registro preciso del patrón de levantamiento y el área atravesada. Todas las características claves, como los límites de los lechos de colonización por macrófitos acuáticos o las transiciones de un tipo de comunidad de plantas a otro, deben registrarse como puntos de ruta UTM GPS y describirse en un cuaderno o en hojas de campo.
- La profundidad del agua, la turbidez y el nivel de luz del fondo (si hay equipo disponible) deben registrarse en todos los puntos de ruta de características clave. Estos parámetros, junto con las coordenadas de GPS, también deben registrarse periódicamente en sitios representativos dentro de los lechos de macrófitos. La temperatura del agua o los perfiles de temperatura deben registrarse en varios sitios poco profundos y profundos.

Figura N° 4: Ejemplo de un posible recorrido zig zag realizado en un pequeño lago.



Fuente: Alberta Environment- Aquatic Esistems Samplig Protocols

IV.8. VOLUMEN DE MUESTRA³¹

Antes de comenzar el muestreo, se debe determinar el tipo y número de análisis y pruebas, y calcular el volumen requerido de sedimento por muestra. Cada prueba fisicoquímica y biológica requiere una cantidad específica de sedimento que, para los análisis químicos, depende de los límites de detección alcanzables y la eficiencia de extracción del procedimiento y, para las pruebas biológicas, depende de los organismos de prueba y el método de prueba. Los requisitos típicos de volumen de sedimentos para cada uso final se resumen en la Tabla 3.

Al determinar los volúmenes de muestra necesarios, se debe saber lo que se requiere para todos los análisis de muestra (considerando una replicación adecuada) y también es útil conocer las características generales de los sedimentos que se están muestreando. Por ejemplo, si se van a realizar análisis de agua intersticial o pruebas de elutriado, el porcentaje de agua (o porcentaje de peso seco) del sedimento afectará en gran medida la cantidad de agua extraída. Muchos sedimentos depositacionales no compactados tienen contenidos de agua intersticial que oscilan entre el 30 y el 70 %. Sin embargo, las aguas intersticiales son muy difíciles de eliminar de los sedimentos arenosos o ricos en grava.

Tabla N° 3:Requisitos típicos de volumen de sedimentos para varios análisis por muestra

Análisis de Sedimentos	Volumen Mínimo de Muestra
Productos químicos inorgánicos	90 ml
Productos químicos orgánicos no derivados del petróleo	230 ml
Otros parámetros químicos (p. ej., carbono orgánico total, contenido de humedad)	300 ml
Tamaño de partícula	230 ml

³¹ EPA de EE.UU. 2001. Métodos de Recolección, Almacenamiento y Manipulación de Sedimentos para Análisis Químicos y Toxicológicos: Manual Técnico. EPA 823-B-01-002. Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., Oficina del Agua, Washington, DC.

Análisis de Sedimentos	Volumen Mínimo de Muestra
Hidrocarburos de petróleo ¹	250-1000 ml
Ensayos de toxicidad aguda y crónica en sedimentos enteros ²	1-2 litros
Pruebas de bioacumulación ³	15 L
Evaluaciones de macroinvertebrados bentónicos	8-16 litros
Extracción de agua de poro	2 L
Preparación de elutriado	1 L

Nota:

- (¹) El volumen máximo (1000 ml) se requiere solo para análisis de aceite y grasa; de lo contrario, 250 ml es suficiente.
- (²) Cantidad necesaria por prueba de sedimento completo (es decir, una especie) suponiendo 8 réplicas por muestra y volúmenes de prueba especificados en USEPA, 2000d.
- (³) Basado en una media de 3 L de sedimento por cámara de ensayo y 5 réplicas.

IV.9. PORCENTAJE DE SÓLIDOS

Los muestreadores deben asegurarse de que el peso y/o volumen recogido, sea lo suficiente para que el laboratorio pueda realizar sus ensayos. Las muestras deben contener los sedimentos que introducirán en una bolsa Ziploc, botando el agua excedente o un frasco de vidrio de boca ancha. La muestra deberá tener un peso aproximado o mayor de 300 gr, y debe de ocupar la bolsa o recipiente hasta un máximo del 90 %, a fin de dejar espacio para la expansión de la muestra (10 %) por el congelamiento del agua debido a la humedad de la muestra.

IV.10. REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA

El muestreo estratificado aleatorio³² es la mejor recomendación. En cualquier caso, las consideraciones estadísticas deben constituir la base de las decisiones relativas al número de muestras que deben tomarse.

- a. **La matriz de muestreo³³:** Un primer aspecto importante es la representatividad de la matriz de muestreo en relación con la carga de contaminantes y la exposición en el sitio de monitoreo estudiado. Por lo tanto, es esencial describir muy claramente lo que representan las matrices de muestreo sugeridas en términos de carga o exposición de contaminantes. Además de factores como la disponibilidad, los costos de muestreo, etc., sería útil proporcionar información adicional sobre, por ejemplo, factores de concentración, tasas de bioacumulación, capacidad metabólica y, para la Biota, tasas de excreción. Las concentraciones son mucho más altas en el sedimento de grano fino que en la arena o en fracciones más gruesas.
- b. **Representatividad espacial¹⁷:** Cualquier consejo firme desde un punto de vista estadístico, necesita estimaciones sobre la heterogeneidad espacial. En el caso de los estudios espaciales, los objetivos deben especificarse claramente (por ejemplo, tendencias espaciales, diferencias entre regiones, diferencias entre cuencas, etc.) y ser cuantitativos.

IV.11. PROFUNDIDAD DE MUESTREO DE SEDIMENTOS³⁴

³² EPA. (2002). Guidance for Data Quality Assessment: Practical Methods for Data Analysis.

³³ European Union, 2010. "Guidance on chemical monitoring of sediment and biota under the Water Framework Directive

³⁴ Documento de orientación N° 25- Sobre Monitoreo Químico de Sedimentos y Biota Bajo la Directiva Marco del Agua. (2000/60/CE) – EUROPEAN COMMISSION (Pág. 24).

El muestreo de sedimentos generalmente se dirige a la capa superior del sedimento porque esta capa indica el material recientemente depositado y el estado de la contaminación actual. Además, las capas superiores del sedimento forman el hábitat de los organismos bentónicos y la protección de los ecosistemas es el objetivo principal de todo muestreo. Estas capas superiores son el resultado neto de la deposición de material particulado de la columna de agua (sedimentación) y la mezcla física (por ejemplo, por corrientes, olas) y biológica (bioturbación), que está restringida en la mayoría de las áreas a los 5-10 cm superiores. Los sedimentos son fuentes de alimento y están sujetos a interacciones dinámicas con la columna de agua debido a la re suspensión.

El criterio principal para elegir la profundidad correcta de muestreo de sedimentos (el espesor de la capa de sedimentos muestreada) en un cuerpo de agua es el conocimiento de la tasa de deposición del sitio de muestreo. En teoría, cuanto menor es la tasa de deposición, más delgada es la capa que se puede querer muestrear. En situaciones con sedimentación constante y sedimentos no perturbados, como algunos lagos oligotróficos, la capa superior del sedimento contendrá la información más reciente y se pueden muestrear capas superiores más delgadas (de 0,5 a 1 cm de profundidad).

Por otro lado, para la toma de muestra de sedimentos en zócalo continental, es necesario conocer las condiciones físicas y químicas de los sedimentos en forma previa a las actividades de cada proyecto con ello se establecerá la línea base.

IV.12. FRACCIÓN DE SEDIMENTOS A ANALIZAR³⁵

- Los sedimentos consisten en una amplia gama de partículas, que van desde las arcillas muy finas (< 2 mm) hasta las piedras de varios mm de tamaño. Su superficie a menudo está cubierta por materia orgánica, que actúa como un sitio de unión para muchos contaminantes y otros compuestos. Cuanto más pequeña es la partícula, mayor es el área de superficie relativa, lo que significa que la mayor parte de muchas sustancias peligrosas está contenida en las fracciones de sedimento más finas, que también son la principal fuente de alimento para la Biota.
- El material fino (inorgánico y orgánico) y los contaminantes asociados se depositan especialmente en áreas de baja energía hidrodinámica, mientras que, en áreas de mayor energía, el material particulado fino se mezcla con partículas de sedimento más gruesas, que generalmente tienen una capacidad mucho menor para unir contaminantes. Este efecto de dilución que surge de la presencia de material más grueso causará concentraciones de contaminantes más bajas y variables en el sedimento total resultante.
- Cuando se analiza el sedimento completo (es decir, una fracción de <2 mm) para estudios de distribución espacial, los mapas resultantes pueden dar un reflejo directo de la distribución de contaminantes solo si los sedimentos tienen una composición a granel homogénea (por ejemplo, son todo lodo o arena) en todo el estudio. Sin embargo, en áreas con distribuciones de tamaño de grano variable, un mapa de concentraciones de contaminantes, estará estrechamente relacionado con la distribución de sedimentos de grano fino, y cualquier efecto de otras fuentes de

³⁵ Documento de orientación N° 25- Sobre Monitoreo Químico de Sedimentos y Biota Bajo la Directiva Marco del Agua. (2000/60/CE) – EUROPEAN COMMISSION (Pág. 25)

contaminantes, por ejemplo, fuentes antropogénicas, estará al menos parcialmente oscurecido por el tamaño de grano. Si las muestras utilizadas para un estudio espacial consisten predominantemente en material fino (>80 % de finos), la influencia de la distribución del tamaño de grano es de menor importancia y puede ignorarse evitando la necesidad de procedimientos de tamizado.

IV.13. TAMIZADO¹⁸

- Los sedimentos están formados por una amplia gama de partículas, que van desde arcillas muy finas (<2 m) hasta guijarros y piedras gruesos de varios mm de tamaño. Su superficie suele estar recubierta de materia orgánica, que actúa como lugar de unión de muchos contaminantes y otros compuestos.
- El tamaño del grano es uno de los factores más importantes que controlan la distribución de los componentes naturales y antropogénicos en los sedimentos, junto con el contenido de materia orgánica y otros.
- En ese sentido, es esencial normalizar los efectos del tamaño de grano para proporcionar una base para comparaciones significativas de la presencia de sustancias en sedimentos con distribución y textura de tamaño de grano variable dentro de áreas individuales, entre áreas o a lo largo del tiempo.
- La selección de la fracción granulométrica considerada como "fracción fina" utilizada para el análisis depende del objetivo general del análisis de sedimentos; debe reflejar la distribución del analito particular en función del tamaño de las partículas del sedimento.
- En conclusión, no es recomendable tamizar la muestra de sedimentos. El procedimiento recomendado para la corrección de los efectos del tamaño de grano en los sedimentos es la recolección de la fracción de sedimento <63 µm.

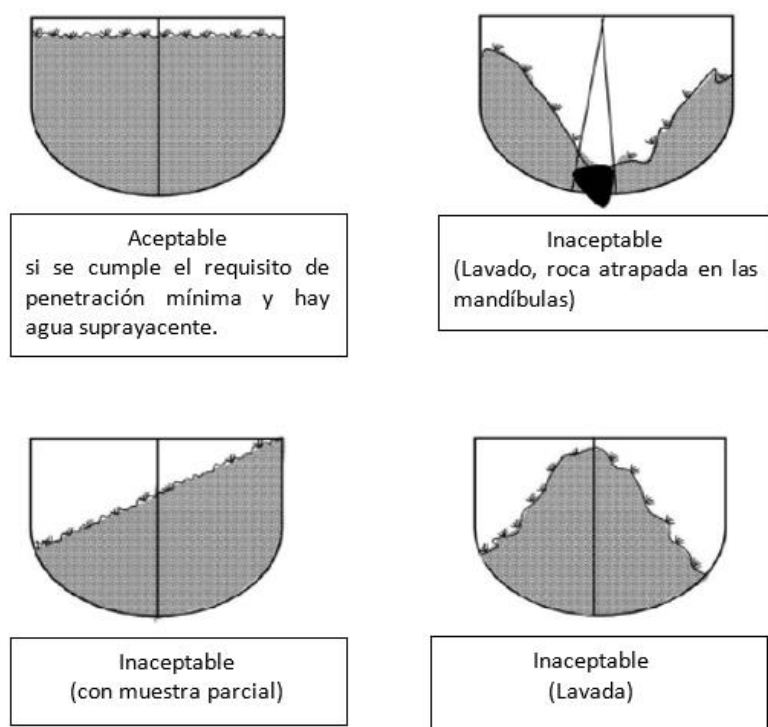
IV.14. ACEPTABILIDAD DE LA MUESTRA

Solo los sedimentos que se recogen correctamente con dispositivos de toma de muestras o de núcleo deben utilizarse para las pruebas fisicoquímicas, biológicas o de toxicidad posteriores. La aceptabilidad de las cucharas se puede determinar observando que los muestreadores estaban cerrados cuando se recuperaron, están relativamente llenos de sedimentos (pero no sobrellenados) y no parecen haber perdido finos superficiales. Las muestras de núcleo son aceptables si el núcleo se insertó verticalmente en el sedimento y se tomaron muestras a una profundidad adecuada.

Una muestra de sedimento debe inspeccionarse tan pronto como esté asegurada. Si una muestra recolectada no cumple con alguna de las condiciones de aceptabilidad enumeradas a continuación para el dispositivo de muestreo respectivo, es posible que sea necesario rechazar la muestra y recolectar otra muestra en el sitio. La ubicación de los intentos consecutivos debe estar lo más cerca posible del intento original y ubicada en la dirección "aguas arriba" de cualquier corriente existente. Las muestras de sedimentos rechazadas deben desecharse de manera que no afecten las muestras posteriores en esa

estación u otras posibles estaciones de muestreo. En la Figura 5, se proporcionan ilustraciones de muestras tomadas al azar aceptables e inaceptables.

Figura N° 5: Ilustraciones de muestras tomadas al azar aceptables e inaceptables.



Condición aceptable: ocurre cuando la toma de muestra se ha dado sin incertidumbres, interferencias ni errores en la recogida del sedimento con el instrumento elegido y se ha obtenido la cantidad y/o volumen programado.

Condición inaceptable: ocurre cuando se han dado interferencias en la recogida del sedimento por ejemplo presencia de algún cuerpo extraño que no permite el cierre de las mandíbulas de la cuchara o cuando la recogida del sedimento es incompleta en cantidad y /o volumen o cuando ha sido lavada la muestra reduciendo la cantidad de la misma.

V. PARÁMETROS, MATERIALES, EQUIPOS DE MUESTREO, MEDIDAS DE SEGURIDAD, LIMPIEZA Y DESCONTAMINACIÓN

Los parámetros³⁶ considerados en el muestreo de sedimentos contaminados o potencialmente contaminados, están en función de los objetivos del muestreo, calidad de los datos y de los requisitos del nivel de detección.

El número de parámetros puede variar dependiendo del tipo de actividad económica desarrollada o en desarrollo, ya sea extractiva, de producción o de servicios. A continuación, se sugieren los parámetros para dos casos:

³⁶ OHIO-Environmental Protection Agency (OHIO-EPA), Lazarus Government Center. 2001. Sediment sampling guide and methodologies. 2 nd Edition.

V.1. PARÁMETROS PARA CUERPOS DE AGUA LÓTICOS Y LÉNTICOS

Los parámetros considerados en un monitoreo de calidad de sedimentos están directamente vinculados al objetivo y propósito del plan de muestreo, no obstante, es importante considerar los siguientes parámetros para esta matriz:

- Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos).
- Hidrocarburos Fracción Ligera, Hidrocarburos Fracción Media, Hidrocarburos Fracción Pesada.
- Compuestos Orgánicos Semivolátiles COSV's.
- Metales Pesados y Metaloides.
- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, por sus siglas en inglés PAH.
- Bifenilos Policlorados, por sus siglas en inglés PCB (PolyChlorinated Biphenyls).
- Otros según la actividad que se desarrolla en el ámbito de estudio.

V.2. PARÁMETROS PARA ECOSISTEMAS MARINO-COSTERO Y ESTUARIOS

Para ecosistemas marino-costero y estuarios, los parámetros recomendados son:

- Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos).
- Hidrocarburos Fracción Ligera, Hidrocarburos Fracción Media, Hidrocarburos Fracción Pesada.
- Compuestos Orgánicos Semivolátiles COSV's y Plaguicidas.
- Demanda de Oxígeno en Sedimentos (DOS) o (SOD por sus siglas en inglés).
- Metales Pesados y Metaloides.
- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, por sus siglas en inglés PAH.
- Bifenilos Policlorados, por sus siglas en inglés PCB (PolyChlorinated Biphenyls).
- Invertebrados Bentónicos.
- Muestreo Bacteriológico (Coliformes totales, Coliformes Termotolerantes, Escherichia coli).
- Muestreo de Protozoos (Protozoos patógenos, Cryptosporidium y Giardia o Cryptosporidium quistes).
- Muestreo de macrófitos.
- Otros según la actividad que se desarrolla en el ámbito de estudio.

V.3. MATERIALES Y EQUIPOS DE MUESTREO

Para el desarrollo del monitoreo de calidad de sedimentos, es necesario que se cuente con los materiales y equipo, los cuales deben de ser preparados con anticipación, soluciones preservantes, etiquetas para identificar las muestras, cadena de custodia, equipos calibrados, y protección personal, que se indican a continuación:

- Muestreador de dragado - Muestreador de agarre Polar o Ekman.
- Muestreador de tubos o descorazonador Beeker.
- Cuerda (nylon que no se retuerza).
- Recipiente de acero inoxidable o vidrio.
- Cucharas y cortadoras de acero inoxidable.
- Cinta rotuladora.
- Bolígrafo impermeable.
- Bloc de notas.
- Etiquetas para muestras.
- Mapa hidrográfico que muestra los sitios de muestreo.
- Recipientes de muestras de sedimentos a prueba de fugas (por ejemplo, frascos de vidrio de boca ancha, tapas revestidas de Teflón; el material de los recipientes dependerá del análisis).
- Neveras con bolsas de hielo o bolsas de agua caliente, según la temporada.
- Bolsas Ziploc.
- Un paquete de jeringas desechables.
- Unidad GPS.
- Sonda de profundidad.
- Cinta métrica.
- Cámara fotográfica.
- Guantes desechables de látex o polietileno sin polvo, guantes largos de goma.
- Equipo para procedimientos de limpieza / descontaminación de campo (ver Sección V.3).
- Equipo de seguridad (ver Sección V.4).
- Contenedores de residuos para productos químicos usados.
- Pizarra acrílica de (30 X20 cm).
- Hojas de solicitud de análisis de laboratorio y formularios de cadena de custodia.

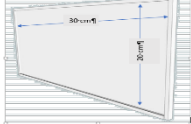
a. Materiales:

Para el desarrollo del monitoreo de calidad de sedimentos, es necesario que se cuente con los materiales siguientes:

Tabla N° 4: Materiales

Mapa de ubicación del área de estudio	
Cámara fotográfica (buena resolución)	

GPS (Calibrado y certificado)	
Balde de plástico.	
Espátula de acero inoxidable	
Cernidor plástico	
Guantes de nitrilo	
Pala Manual: De acero inoxidable	
Frascos de vidrio	
Nevera	
Piseta con agua destilada	

Bolsa plástica, ziploc	
Rotulador	
Ice Pack	
Preservantes químicos o Viales	
Pizarra acrílica	
Cinta adhesiva	
Cinta métrica o regla graduada	
Etiquetas autoadhesivas	
Libreta de campo	

Fuente: Elaboración propia.

b. Equipos:

En el desarrollo del monitoreo de sedimentos, existen otros factores determinantes en la selección de los equipos apropiados, como son:

- Naturaleza del sedimento a coleccionar (granulación: arcilla / limo / arena).
- Profundidad de la columna de agua por encima del sedimento.
- Cantidad de sedimento requerido para complementar la totalidad de los análisis a efectuar.

- La magnitud del área del lecho que se desea caracterizar.
- Condiciones hidrológicas reinantes en la zona de muestreo (ejemplo: zona de altas corrientes en ríos, o zonas calmadas como en lagunas).
- Posibilidades de operar desde botes, puentes o por vadeo.
- Disponibilidad de equipos auxiliares para operar los equipos muestreadores de tamaño y peso significativo (aparejos, winches, manuales o con motor).

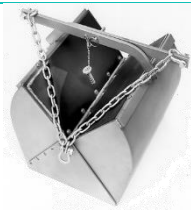
Otros criterios a considerar están referidos a los objetivos cualitativos / cuantitativos del estudio a efectuar en los sedimentos que se extraen:

- Es importante que el equipo a utilizar no genere perturbaciones en el lecho durante su descenso para la toma de la muestra.
- Es relevante la pérdida de los finos de la muestra de sedimentos extraída que suele acontecer cuando el equipo es llevado nuevamente a la superficie, atravesando la columna de agua (lavado del material originalmente colectado)
- Es pertinente la eficiencia de los muestreadores cuando se pretende coleccionar sedimentos representativos de diferente textura (ejemplo: tamaño de partículas, grado de compactación, áreas con raíces / pedregoso).
- Es relevante el aporte contaminante que el equipo muestreador empleado pueda generar a la muestra de sedimento colectada, cuando desean analizar compuestos específicos (ejemplo: metales, compuestos orgánicos y organismos bentónicos).

Entre los principales equipos y dragas que se deben tomar en cuenta son:

Tabla N° 5: Equipos de monitoreo

Multiparámetro Equipo que permite la medición de diferentes parámetros pH, C.E, entre otros.	
Draga Eckman o Pala tipo draga Ekman Para muestreo de comunidades bénticas que habitan en ambientes acuáticos.	
Draga pesada de 6" x 6" para profundidades. Para muestreo de fondo con dimensiones de 6" x 6", área efectiva de muestreo de 36 pulgadas cuadradas. Especiales para aplicaciones de muestreo en aguas profundas.	

Draga pesada de 6" x 6" para superficies. Para muestreo de fondo con dimensiones de 6" x 6", área efectiva de muestreo de 36 pulgadas cuadradas. Especial para muestreo en aguas poco profundas.	
Draga tijera para fondos blandos. Draga muestreadora de sedimentos tipo tijera, especial para el uso en fondos blandos de arena o limo, área de muestreo de 67"	
Draga Van Veen 24 Litros Esta cuchara toma muestras grandes en fondos blandos. Sus largos brazos de palanca y sus filos de corte afilados en la parte inferior de las palas le permiten cortar profundamente en fondos más suaves.	
Muestreador Tipo Box Corer Se usan para muestreo geológico marino y sedimentos blandos en lagos u océanos.	
Muestreador de sedimentos de núcleo manual Wildco® Para obtener muestras de testigos de sedimentos del fondo de arroyos, ríos y lagos. El muestreador incluye una boquilla Lexan™ atornillable, un colector de núcleos de plástico tipo cáscara de huevo para mantener la muestra intacta durante la extracción y un tubo de revestimiento de plástico que recibe la muestra y se retira fácilmente del tubo central que sirve como contenedor de almacenamiento de muestras	

Muestreador de sedimentos Beeker - equipo básico y Muestreador de sedimentos Beeker - equipo completo

Este muestreador de sedimentos, también conocido como muestreador Beeker, es ideal para obtener muestras intactas de fondos subacuáticos.

Las muestras se toman en un tubo transparente, con lo cual se mantiene la estratificación del material, cosa que permite efectuar una descripción de perfil clara.

El conjunto estándar es adecuado para el uso en aguas de hasta 5 m de profundidad. Sin embargo, en algunos casos es posible tomar muestras a más profundidad utilizando los alargos adicionales.



Fuente: Elaboración propia en base a Weather controls SAS.

c. Limpieza y descontaminación

Después de la descontaminación, el equipo debe ser manipulado únicamente por personal que use guantes limpios para evitar la recontaminación. Además, el equipo debe alejarse (preferiblemente contra el viento) del área de descontaminación para evitar la recontaminación. Si el equipo no se va a reutilizar inmediatamente, debe cubrirse con una lámina de plástico o envolverse en papel de aluminio para evitar la recontaminación. El área donde se guarda el equipo antes de su reutilización debe estar libre de contaminantes.

El equipo utilizado para la recolección de muestras debe limpiarse in situ antes de su retorno. Dependiendo del estado del equipo de muestreo, se pueden emplear una o varias de las siguientes opciones para la limpieza in situ:

- Limpieza básica del equipo.
- Enjuague del equipo con agua desionizada.
- Lavado del equipo con detergente y agua, seguido de un enjuague con agua desionizada.
- En el caso de equipos muy contaminados, se deben seguir estos procedimientos:
 - Como mínimo, un lavado con detergente y un enjuague con agua desionizada.
 - Si el procedimiento anterior no puede llevarse a cabo, se pueden considerar las siguientes alternativas:
 - Dejar el equipo en las instalaciones para su correcta eliminación.
 - Contener, sellar y asegurar el equipo in situ para su posterior eliminación.
 - Contener, embalar o sellar el equipo de manera que no se detecten olores y devolverlo al equipo de campo.

Es responsabilidad del líder del monitoreo evaluar la naturaleza del material muestreado y determinar los procedimientos de limpieza más adecuados para el equipo utilizado en el muestreo.

Los procedimientos descritos líneas arriba no deben utilizarse para la limpieza del equipo de campo que se utilizará para la recogida de muestras destinadas al análisis de constituyentes orgánicos o inorgánicos traza.

Para las muestras que serán sometidas a análisis de constituyentes orgánicos o inorgánicos en trazas, se deben seguir los siguientes procedimientos de limpieza para todos los equipos de muestreo o componentes que entren en contacto con la muestra:

- Lavar con agua del grifo y detergente Liquinox, utilizando un cepillo si es necesario para eliminar las partículas y películas superficiales.
- Alternativamente, limpiar con vapor (usando detergente Liquinox y agua caliente a alta presión), colocando el equipo en bastidores o caballetes a una altura mínima de 60 cm del suelo. No se debe usar vapor para limpiar artículos de PVC o plástico.
- Enjuagar abundantemente con agua del grifo.
- Enjuagar abundantemente con agua desionizada.
- Enjuagar con un disolvente adecuado (generalmente isopropanol).
- Enjuagar con agua no orgánica y colocar sobre una superficie limpia envuelta en papel de aluminio para que se sequen al aire.
- Envolver el equipo seco con papel de aluminio o plástico. Si el equipo va a almacenarse durante la noche, cubrirlo y asegurar con láminas de plástico limpias y sin usar.

V.4. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Es de vital importancia que el personal profesional y/o técnico responsable del monitoreo, cuente con las medidas de seguridad correspondientes, entre las cuales destacan:

Tabla N° 6: Equipos de Protección Personal - EPP

Seguros de riesgos laborales	
Respirador contra gases	
Chalecos salvavidas	

Ropa de protección	
Botas de protección	
Gafas de protección	
Guantes de látex	
Casco de seguridad	
Línea de vida (arnés de seguridad)	
Bloqueadores solar y repelente para mosquitos	

Fuente: Elaboración propia.

V.5. EQUIPO PARA LA TOMA DE MUESTRA DE SEDIMENTOS

Para el monitoreo de sedimentos, los equipos y materiales a utilizar, dependerá del objetivo de la evaluación y las características del sedimento. En este apartado, encontrará las características de los distintos muestreadores que se pueden utilizar para el monitoreo de calidad de sedimentos.

- a. **El Muestreador de sedimentos Beeker:** Es un equipo utilizado para muestrear sedimentos, también conocido como muestreador Beeker, es ideal para obtener muestras intactas de fondos subacuáticos. Las muestras se toman en un tubo transparente, con lo cual se mantiene la estratificación del material, de manera que permite efectuar una descripción clara del perfil. El conjunto estándar es adecuado para el uso en aguas de hasta 5 m de profundidad. Sin embargo, en algunos casos es posible tomar muestras a más profundidad utilizando los alargamientos adicionales. Una de las ventajas de este muestreador es la toma de muestras de fondos subacuáticos, asimismo, se puede describir claramente el perfil del fondo.

Las ventajas del muestreador de sedimentos Beeker, son las siguientes:

- No puede perderse la muestra en ningún caso.
- El cabezal de corte se puede cerrar con aire a presión.
- El pistón asegura una longitud perfecta de la muestra de perforación.
- Se puede golpear para muestrear todo tipo de sedimentos.
- Para longitudes de muestreo de hasta 150 cm.
- Transparente: La descripción de perfiles más sencilla.
- Estructura de acero inoxidable libre de contaminantes.
- El juego B permite 10 cm de transferencia de submuestra.

b. Muestreador de Sedimentos Draga Ekman

Es un muestreador de acero inoxidable está diseñado para ser usado en sedimento blando libre de residuos o vegetación. Las muestras se pueden tomar de las capas superficiales y las mandíbulas de carga, mediante un dispositivo de muelles, evitan la pérdida de material siempre que no haya pequeñas piedras o tallos que impidan el cierre.

Gracias a una apertura en la parte superior se puede observar la muestra antes de que esta sea recuperada. Este muestreador de 3.5 litros se completa con una cuerda sintética para alcanzar profundidades de hasta 30 metros.

Las características son:

- Uso en sedimentos blandos.
- Dos delgadas mandíbulas (con bisagras) están abiertas mientras sumergimos la draga para dejar pasar el agua.
- Las mandíbulas se cierran mediante mensajero.
- Disposición de mandíbulas solapadas para evitar la pérdida de muestra.
- Fabricada en acero inoxidable.
- Equipada con sistema de mensajero, para poder trabajar a cualquier profundidad.

Los equipos de muestreo deben estar diseñados de tal manera que no provoquen en lo posible, alteraciones en las capas superiores del sedimento y minimicen la pérdida del material de poca densidad allí existente, dado que durante el proceso de extracción de la muestra este suele escurrirse del equipo colector, alterando la representatividad de la muestra.

La siguiente tabla, muestra las ventajas y desventajas del equipamiento estándar actualmente en uso en el mundo:

Tabla N° 7: Ventajas y Desventajas de equipos para muestreo de sedimentos³⁷

Equipo de Muestreo	Uso Recomendado	Ventajas	Desventajas
Tubos de teflón o de vidrio.	Extracción de sedimentos en cursos hídricos de baja profundidad en los que sea factible el vadeo o en aguas más profundas si se dispone de equipos aptos (tipo SCUBA) que los contengan. Opera en depósitos tipo suelo y semi consolidados.	Preservan los estratos y permiten el estudio de la contaminación histórica acontecida en la estación. El muestreo es eficiente y rápido, quedando el material colectado listo para su envío al Laboratorio. El riesgo de contaminación es mínimo y el costo reducido.	El tamaño de las muestras colectadas es pequeño, requiriendo en ocasiones muestreos repetitivos cuando se necesita un volumen grande de muestra para los análisis en Laboratorio.
Sistemas de cierre manual, con cubierta de materiales de vidrio o teflón intercambiables.	Similares aptitudes y uso al enunciado en el caso anterior, excepto que opera mejor en sedimentos bien consolidados. Puede además ser utilizado hasta profundidades mayores (1 a 2 m) mediante soportes y varillas acoplables que aumentan su longitud.	Posee manijas especiales que facilitan la penetración en los sustratos ya enunciados en los que opera el equipo precedente.	Requiere el reemplazo de las carcasas o cubiertas cuando se desea volver a repetir el muestreo. Existe un pequeño riesgo de contaminación metálica asociada al estado de mantenimiento de los bordes o cuchillas del cilindro o cubeta que se introduce en el lecho.
Equipos tipo Ekman o draga tipo caja, (variante normal y de tamaño grande). Son regularmente operadas mediante sistema de poleas o con barras metálicas.	Aptos para extraer sedimentos blandos / semiblandos. Pueden ser operadas desde botes, puentes y muelles. La de mayor tamaño si opera con barras minimiza la onda o Shock de cierre que perturba el lecho.	Se obtiene mayor cantidad de muestra que cuando se trabaja con los tubos tipo CORE. El material puede ser subdividido luego y trasvasado a otros envases aptos removiendo la tapa. Las pérdidas de material se minimizan con el equipo grande.	No opera con eficiencia en aguas agitadas o donde exista mucha corriente o vegetación arraigada en el lecho. En ocasiones el cierre del sistema es imperfecto ocasionando pérdidas de la muestra. Su material de construcción puede introducir contaminación metálica. Su uso genera disturbios en la distribución del material fino del sedimento en el lecho.
Muestreadores tipo CORE de carcasa exterior metálica que contienen en su interior cilíndrico de acrílico o plástico inerte, existen dos tipos:	Se usa en lagos y ríos profundos y en sedimentos semi consolidados. Se usa hasta profundidades de 1 a 2 m, si cuenta con barras extensoras, apto para sedimentos blandos y semi consolidados.	Existe poco riesgo de contaminación de las muestras. El de tipo pistón provea además mejor retención de la muestra colectada. Ambos mantienen la integridad de la muestra	Extrae poca cantidad de muestra y las operaciones deben repetirse si se necesita un volumen significativo, el cambio de los tubos interiores y apresto del equipo consume tiempo.

³⁷ Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental "Metodologías Monitoreo de agua y sedimentos en cursos superficiales y de suelos afectados por contaminantes de origen industrial". Argentina.

Equipo de Muestreo	Uso Recomendado	Ventajas	Desventajas
que actúan por efecto gravitatorio (Ejemplo: Phleger). 2- de tipo pistón (Ejemplo: el BMH53).		y permiten caracterizar el contenido de la capa superficial y los estratos profundos.	Existe riesgo de contaminación debido a la barra metálica del pistón, el material colectado se debe trasvasar de inmediato.
Dragas tipo Petersen.	Puede operar en lagos profundos, ríos de caudales altos y/o corrientosos y estuarios. Apto para todo tipo de sustratos, en especial para extraer limos o sedimentos finos. Posee una estructura simple, fuerte y resistente para su utilización.	Penetra fácilmente en todo tipo de lechos, obteniendo una discreta cantidad de muestra. Debe evitarse el cierre prematuro del equipo y operarse adecuadamente a ese fin.	Su elevado peso dificulta su maniobrabilidad, pueden requerirse equipos auxiliares (guinches) No permiten la subdivisión al no tener una tapa adecuada a ese fin y posee las desventajas ya enunciadas para las Eckman y Ponar.
Dragas tipo Orange Peel / Smith Mc. Intyre.	Puede operar en lagos profundos (1500 m), ríos y estuarios. Apto para todo tipo de sustratos. Aunque pierde algo de los finos durante el muestreo.	Puede operarse aún en malas condiciones atmosféricas, genera cierta onda de choque al cerrarse; que minimiza una pantalla protectora que posee.	Su tamaño, peso y preparación dificultan su maniobrabilidad. No es recomendable para sedimentos de espesor inferior a 7 cm.
Dragas tipo Elgmork's.	Puede trabajar en cuerpos de agua de todo tipo, pero no es apta para extraer sedimentos duros.	Su estructura permite una eficiente y rápida colecta de sedimentos blandos en especial, la muestra es fácilmente removida del equipo.	No puede operar en sedimentos muy consolidados.

VI. PRESERVACIÓN, CADENA DE CUSTODIA, ALMACENAMIENTO, CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE LA MUESTRA

VI.1. PRESERVACIÓN

Luego de tomada la muestra, se debe agregar el preservante en caso de que el parámetro lo requiera, este preservante consiste en un reactivo que se agrega inmediatamente después de tomada la muestra. Según se detalla en el Anexo V.

VI.2. ETIQUETADO Y ROTULADO

Los frascos que contienen la muestra recién tomada deben ser etiquetados y rotulados, con letra de imprenta y legible, usando marcador de tinta indeleble, luego cubrir la etiqueta con cinta adhesiva transparente. La etiqueta (ver Anexo II) siempre deberá tener la siguiente información:

- Lugar del punto de monitoreo (localidad/distrito/provincia/departamento).
- Código de la Muestra.
- Fecha y Hora de la Muestra.
- Tipo de preservante.

- Nombre del Especialista.

VI.3. CADENA DE CUSTODIA

La cadena de custodia es el documento que permite garantizar las condiciones de identidad de la muestra tomada desde su origen hasta el ingreso al laboratorio; con ella se realiza el registro, transporte, seguimiento y control de los resultados del análisis de laboratorio.

El llenado de la cadena de custodia se realiza de manera ordenada empezando con el Código de la Muestra, tipo de muestra (sedimentos), profundidad, parámetros a evaluar, tipo de frascos, preservante, condiciones de conservación, nombre del especialista del muestreo y otros datos suplementarios importantes (Ver Anexo I).

VI.4. ALMACENAMIENTO

Las muestras tomadas deberán ser almacenadas en cajas térmicas acondicionadas para tal fin, la capacidad está determinada por el número de muestras que se tomarán y teniendo en cuenta el peso para el transporte en zonas agrestes.

VI.5. CONSERVACIÓN

La conservación de las muestras en campo se realiza dentro de las cajas térmicas donde se encuentran los Ice Pack a baja temperatura (de 0 a 4°C), lo cual garantiza que las muestras no se deterioren hasta llegar al laboratorio.

VI.6. TRANSPORTE DE LA MUESTRA

Las muestras tomadas luego de ser debidamente conservadas deberán ser acondicionadas para el transporte a largas distancias, donde estarán sometidas a toda clase de eventos, para ello es necesario asegurar que no se rompan los frascos de vidrio, o se aflojen las tapas, lo cual contaminaría la muestra y el recipiente de transporte.

Por ello antes del sellado de la caja térmica, es necesario cubrir los frascos con bolsas de poli burbujas de embalaje u otro material de amortiguamiento. Asimismo, las cajas térmicas deberán mantener su temperatura a menos de 4°C. Hasta la llegada al laboratorio.

VI.7. FINALIZACIÓN DEL MUESTREO

Al finalizar las actividades de muestreo, debe hacerse un inventario de todos los equipos y materiales usados en el monitoreo, procediendo a realizar su limpieza y apagado de equipos y dejarlo en buenas condiciones de funcionamiento, tener cuidado en el guardado de electrodos, y limpieza de carcasas.

VI.8. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Para garantizar la idoneidad del protocolo de recolección de muestras e integridad de los datos obtenidos, es esencial implementar un programa de control de calidad de campo

que incluya muestras programadas. Entre estas se encuentran: réplicas de campo (duplicados, divisiones, picos de campo), blancos de campo (equipo de enjuague), blancos de botella, blancos viajeros, y las muestras de fondo son fundamentales. Todas las muestras de control de calidad de campo deben manipularse de manera idéntica a las muestras de sedimento y tratarse como muestras ciegas para minimizar el sesgo en el análisis. Además, un tercero debe analizar una porción aleatoria de las muestras para evaluar el desempeño del laboratorio primario.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alberta Environment. (2006). Aquatic Ecosystems Field Sampling Protocols. Gobierno de Alberta
2. Autoridad Nacional del Agua, (2016). Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Ministerio de Agricultura, Perú.
3. Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). Norma Técnica Mexicana - NMX-AA-112-SCFI-2017: Análisis de Agua y Sedimentos - Evaluación de Toxicidad Aguda con *Vibrio fischeri* - Método de Prueba. Secretaria de Economía. Gobierno de México
4. Consejo Nacional de Seguridad, (2007). Procedimiento de toma de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental. España
5. Environmental Protection (Water) Policy (2009). Monitoring and Sampling Manual: Physical and chemical assessment. Australia. Recuperado de: [sl-2009-0178 \(legislation.qld.gov.au\)](http://legislation.qld.gov.au)
6. European Union. (2010). Guidance on chemical monitoring of sediment and Biota under the Water Framework Directive. (2010). European Communities.
7. EPA-823-B-01-002 (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Manual Técnico de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
8. IDEAM. (2014). Estudio Nacional del Agua. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Gobierno de Colombia.
9. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). Protocolo de Monitoreo de Aguas. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Gobierno de Colombia.
10. Johnson, B., Olivero, J., Guette, J., Baldiris, R., Obyrne, I., et al. (2008). Polycyclic aromatic hydrocarbons and their hydroxylated metabolites in fish bile and sediments from coastal waters of Colombia.
11. MINAMBIENTE. (2018). Protocolo para Toma de Muestras de Sedimentos para Análisis de Mercurio y otros Metales. Gobierno de Colombia.
12. Montoya, J. J., & Contreras, C. (2015). Sedimentos. Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia
13. Environmental Protection Agency División of Surface Water. (2001). Sediment Sampling Guide and Methodologies State of Ohio.
14. U.S. Environmental Protection Agency. (2020). Sediment Sampling. United State.
15. U.S. Environmental Protection Agency. (1997). Modelo para Evaluación de Derrames de Hidrocarburos (HSSM). United State.

16. Universidad de Sevilla. (2015). Estudio de la calidad ambiental de los sedimentos de las bahías de Cádiz y Algeciras mediante un método integrado. España
17. UNESCO-WHO-UNEP. (1992). Water Quality Assesment: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. London England.
18. Unidad Técnica A Coruña y Andalucía. (2020). PETM15 TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS DE MAR. TECNOAMBIENTE. España.

VIII. ANEXOS

- I. Modelo de Cadena de Custodia de la Muestra
- II. Modelo de Etiqueta para Sedimentos
- III. Detalle del Llenado de la Pizarra en el Punto de Muestreo
- IV. Ficha del Punto de Monitoreo de Sedimentos
- V. Requisitos para la Toma de Muestra de Sedimentos y Preservación de las Muestras Post Monitoreo

ANEXOS I. MODELO DE CADENA DE CUSTODIA DE LA MUESTRA

CADENA DE CUSTODIA DE CALIDAD DE SEDIMENTOS																	
DATOS DEL MUESTREO						DATOS DEL CLIENTE						DATOS DE ENVÍO					
Ubicación						Nombre o razón social						Enviado por:					
Localidad						Dirección											
Distrito						Persona de Contacto						Fecha:		Hora:			
Departamento						Teléfono						Medio de Envío					
Tipo de Muestra						Correo electrónico											
Sedimento ☐		Lodo ☐		Suelo ☐		Referencia						Terrestre: ☐ Otro: ☐					
Tipo de Recurso Hídrico						Otro dato de relevancia:											
Río ☐		Laguna ☐		Lago ☐		Mar ☐		Estuario ☐						Aéreo ☐			
N° Muestra	Cod. del Punto de Monitoreo	Fecha	Hora	Preserv. ante	Envase		Parámetro Físico Químicos y/o Biológicos										Observaciones
					P	V											

OBSERVACIONES GENERALES							
Coordinador de Brigada	Firma	Operador del Muestreo	Firma	Custodio de la muestra	Firma	Recepción de Muestra en Laboratorio	Firma

P = Plástico

V = Vidrio

Nota: formato es referencial y contiene la información mínima de una cadena de custodia.

ANEXO II. MODELO DE ETIQUETA PARA SEDIMENTOS

Las etiquetas se utilizan para identificar la muestra y debe contener los siguientes datos.

ETIQUETA DE MUESTREO DE SEDIMENTOS			
Código Muestra			
Paraje/localidad/distrito			
Recurso Hídrico			
Fecha y Hora			
Ensayo Físico –Químico Biológico			
Preservantes			
Tipo de muestra	Sedimento ☐	Lodo ☐	Suelo ☐
Profundidad			Peso/volumen:
Tipo de Muestreo	Puntual: ☐	Compuesto: ☐	

ANEXO III. DETALLE DEL LLENADO DE LA PIZARRA O EQUIVALENTE EN EL PUNTO DE MUESTREO

Los datos contenidos en la pizarra serán tomados *in situ*, indicando los siguientes datos según se detalla:

<u>CÓDIGO DEL PUNTO DE MUESTREO</u>		
Fecha: Hora: Matriz: Parámetro: ... Preservante:...	Zona UTM – WGS84 Este:..... Norte: Altitud: Precisión: $\pm$ x m	Código de Muestra
Muestreado por: (Iniciales).....		

ANEXO IV. FICHA DEL PUNTO DE MONITOREO DE SEDIMENTOS

FICHA DE UBICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO DE SEDIMENTOS				
DATOS GENERALES DEL SITIO DE ESTUDIO				
Nombre del Sitio de Estudio		Dirección del Sitio de Estudio		
Titular del sitio de estudio		Distrito		
Uso del recurso hídrico		Provincia		
		Departamento		
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO				
Nombre del Punto de muestreo		Profundidad de la muestra		
Coordenadas UTM (WGS84)				
Este:	Norte:	Zona UTM:	Altitud:	
Datos del GPS	Marca:	Modelo:	Precisión:	
Equipo Usado en la muestra		Tipo de muestra		
Descripción:		Sedimento	Lodo	Suelo
Descripción de la Superficie Muestreada		Descripción del Recurso Hídrico		
		Lótico:		
		Lentico:		
		Marino:		
DATOS DE LA MUESTRA DE SEDIMENTO				
Código de Muestra				
Fecha del Muestreo				
Hora				
Profundidad (desde la superficie del Agua)				
Profundidad (desde la superficie del Suelo)				
Características organolépticas	Color:	Olor:	Textura:	
Compactación/consistencia				
% de Humedad				
Estimación de la fracción >2 mm (malla 200)				
Cantidad de la muestra	Volumen:	Peso:		
Medios de Conservación	Congelador:	Caja térmica (Cooler)	Tecnopor	
Tipo de Muestra	Simple:	Compuesta	Área de Muestreo:	
Componentes Antropogénicos:	Descripción:			
EVIDENCIAS DE LA TOMA DE LA MUESTRA				
Fotografía de la toma de muestra:		Croquis de la toma de muestra:		
Datos del coordinador del Grupo de Muestreo:		Datos del operador del muestreo:		
Nombre: Especialidad: DNI:		Nombre: Especialidad: DNI:		
Firma:		Firma:		

ANEXO V. REQUISITOS PARA LA TOMA DE MUESTRA DE SEDIMENTOS Y PRESERVANTES DE LAS MUESTRAS POSTMONITOREO

REQUISITOS PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS				
Determinación del Parámetro	Recipiente	Volumen Mínimo de Muestra	Preservante y concentración	Tiempo máximo para análisis
Físicoquímicos				
Temperatura	P, V,	1000 ml	No es posible	15 min
pH		50 ml	No es posible	15 min
DBO5	P, V,	1000 ml	Refrigerar a 4°C	48 horas
DQO	P, V	100 ml	Agregar H2SO4 hasta pH <2; refrigerar a 4°C	28 días
Aceites y Grasas	V, ámbar boca ancha calibrado	1000 ml	Agregar HCl hasta pH<2, refrigerar a 4°C.	28 días
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	P, V	100 ml	Refrigerar a 4°C	7 días
Demanda de Oxígeno en Sedimentos (DOS)	Botellas de vidrio Winkler (usar botellas oscuras)	300 ml	Refrigerar a 4°C	4 días
Orgánicos				
Benceno (mg/kg MS)	Vidrio Ámbar con tapa septa de PTFE	250 ml	Refrigerar de 0 °C a 6°C, Acidificar a pH 1-2 con HNO3 o H2SO4	07 sin preservante 14 días Con preservante
Tolueno (mg/kg MS)	Vidrio Ámbar con tapa septa de PTFE	250 ml	Refrigerar de 0 °C a 6°C, Acidificar a pH 1-2 con HNO3 o H2SO4	07 sin preservante 14 días Con preservante
Etilbenceno (mg/kg MS)	Vidrio Ámbar con tapa septa de PTFE	250 ml	Refrigerar de 0 °C a 6°C, Acidificar a pH 1-2 con HNO3 o H2SO4	07 sin preservante 14 días Con preservante
Xileno (mg/kg MS)	Vidrio Ámbar con tapa septa de PTFE	250 ml	Refrigerar de 0 °C a 6°C, Acidificar a pH 1-2 con HNO3 o H2SO4	07 sin preservante 14 días Con preservante
Naftaleno (mg/kg MS)	Vidrio Ámbar con tapa septa de PTFE	250 ml	Refrigerar de 0 °C a 6°C	07 sin preservante 14 días Con preservante
INORGANICOS				
Metales pesados y Metaloides	V o P	1000 ml	Agregar HNO3 hasta pH <2	2 meses
Metaloides	V o P	500 ml	Agregar HNO3 hasta pH <2	2 meses

MS: Materia Seca a 105°C: excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe exceder 40°C