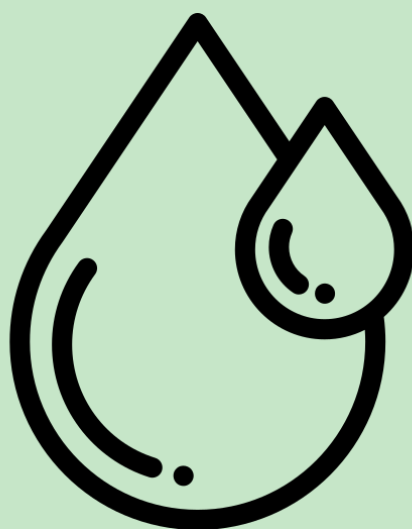


Muestreo pasivo de sustancias perfluoroalquiladas (PFAS) en agua Metodología y procedimiento



Abril 2026

AGRADECIMIENTOS

Este documento ha sido preparado por:

Este Procedimiento Operativo Estándar (SOP) ha sido desarrollado dentro del programa financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) titulado “Programa Global de Monitoreo de Sustancias Químicas para Apoyar la Implementación de los Convenios de Estocolmo y Minamata (GCMP)” (GEF ID 11534), incluyendo sus proyectos globales y regionales. Para apoyar el monitoreo armonizado de contaminantes orgánicos persistentes (COPs) y mercurio bajo el GCMP, se ha desarrollado una serie de SOPs. Estas SOPs cubren las matrices de aire, leche humana y agua para los COPs, y aire para el mercurio.

Procedimiento de despliegue de muestreo desarrollado por la Universidad de Queensland y adaptado por la Unidad de Ciencia y Política Química, Rama de Química y Salud, División de Industria y Economía, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en colaboración con la Universidad de Queensland.

Maquetación y diseño gráfico: Unidad de Ciencia y Política Química.



LISTA DE SIGLAS

FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GCMP	Programa mundial de vigilancia de químicos
GMP	Plan Global de Monitoreo bajo la Convención de Estocolmo sobre COP
ID	Identificación
ISO	Organización Internacional de Normalización
MPT	Tubos de polietileno microporosos
PFAS	Sustancias per-y polifluoroalquilas
COPs	Contaminantes orgánicos persistentes
SOP	Procedimiento operativo estándar
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

ÍNDICE

Agradecimientos	2
Lista de siglas	3
Liste des Figuras	5
Liste des Tablax	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Tubos de polietileno microporoso (MPT) muestreadores pasivos de agua	6
2.1. Ubicación del sitio de muestreo.	7
2. MUESTREO: CONSIDERACIONES SOBRE LA UBICACIÓN Y LOS MATERIALES	7
2.2. Fechas de muestreo y frecuencia	8
2.3. Materiales	8
2.4. Instrucciones de despliegue de los muestreadores pasivos MPT	10
2.5. Instrucciones de recuperación	12
2.6. Identificación de muestreadores	12
3. ALMACENAMIENTO, EMBALAJE Y ENVÍO	13
4. DOCUMENTACIÓN	14
5. REFERENCIAS	15

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquema del muestreador pasivo MPT.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. Cuerda de despliegue y cadena con muestreadores pasivos MPT acoplados</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3. Muestreadores pasivos MPT en malla amarilla de despliegue</i>	<i>11</i>

LISTA DE TABLA

<i>Tabla 1. Calendario de muestreo estacional para dos años de muestreo.</i>	<i>8</i>
---	----------

1. INTRODUCCIÓN

El agua ha sido identificada como una matriz central bajo el Plan Global de Monitoreo (GMP) del Convenio de Estocolmo exclusivamente para contaminantes orgánicos persistentes fluorados (COP-F), es decir, sustancias per-y polifluoroalquiladas (PFAS), basándose en la evidencia de que sirve como medio de transporte principal para estos químicos en el medio ambiental. Esta designación está respaldada por una extensa investigación que demuestra la viabilidad de detectar estas sustancias en el agua y la disponibilidad de métodos estándar para sus análisis.

El sulfonato de perfluorooctano (PFOS), el ácido perfluorooctanoico (PFOA), el ácido perfluorohexanassulfónico (PFHxS) y los perfluorocarboxilatos de cadena larga (C9-C18 ácidos perfluorocarboxílicos de cadena larga (LC-PFCA)) se caracterizan por su solubilidad relativamente alta en agua, especialmente en comparación con sus análogos neutros. En consecuencia, estas sustancias se recomiendan para su seguimiento en el agua como matriz central bajo la Convención de Estocolmo (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Secretaría de Estocolmo (2025)).

Este procedimiento operativo estándar (SOP) proporciona orientación práctica sobre el monitoreo de PFAS en el agua mediante muestreo pasivo para apoyar el Programa Global de Monitoreo de Sustancias Químicas (GCMP) y sus proyectos regionales. El programa incluye un proyecto global y cinco proyectos regionales que involucran a países participantes de África, Asia e Islas del Pacífico, así como América Latina y el Caribe, con apoyo financiero del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

1.1. Tubos de polietileno microporoso (MPT) muestreadores pasivos de agua

El muestreo pasivo para PFAS aniónicos es factible con muestreadores pasivos de tubos microporosos de polietileno (MPT) calibrados para muestreo de PFAS (Kaserzon et al. 2019; Gardiner et al. 2022). Estos muestreadores han sido analizados para muestrear PFAS en agua bajo condiciones variables, como el tiempo de despliegue, la temperatura del agua y la velocidad del flujo (Dunn et al. 2023).

El muestreo pasivo ofrece la ventaja de integrar las concentración medias en el tiempo durante varias semanas/meses, reduciendo así el impacto de eventos episódicos (por ejemplo, fenómenos meteorológicos extremos, vertidos o liberaciones industriales), además de proporcionar límites relativamente bajos de detección, ser rentable y permitir un despliegue flexible y sencillo (Kaserzon et al. 2019). En comparación con el muestreo de agua activo, este método también reduce los costes de envío y evita restricciones de importación/exportación sobre muestras de agua natural (PNUMA 2021).

2. MUESTREO: CONSIDERACIONES SOBRE LA UBICACIÓN Y LOS MATERIALES

Para el muestreo a nivel nacional, se elaboró un documento de orientación que detallaba los requisitos recomendados para la selección de los lugares de muestreo y el análisis de PFAS en agua (Weiss et al. 2015). El documento de orientación recomienda muestreo activo (es decir, grab) en ubicaciones integrativas definidas, a menudo en las desembocaduras de grandes ríos o estuarios. Sin embargo, para fines de integración temporal, el muestreo pasivo mediante un sistema abierto es una opción más adecuada. Los muestreadores pasivos para PFAS, como los muestreadores pasivos MPT, son una tecnología desarrollada por la Universidad de Queensland, Australia (Kaserzon et al. 2019).

2.1. Ubicación del sitio de muestreo

Los sitios de muestreo de agua deben situarse lo suficientemente lejos de los centros urbanos, puertos, insumos de aguas residuales industriales y otras fuentes directas de COP (particularmente PFAS) para garantizar que las concentraciones medidas representen un área mayor alrededor del sitio (UNEP 2025). El informe de muestreo debe incluir coordenadas geográficas GPS, imágenes de los lugares de muestreo y una imagen satelital (por ejemplo, de Google Maps o de un mapa web equivalente) para documentar el lugar de muestreo seleccionado y su entorno inmediato.

Un estudio previo sobre el monitoreo de PFAS en aguas superficiales, basado en un estudio realizado en 22 países en desarrollo (Baabish et al. 2021), ofrece una guía valiosa y puede utilizarse como referencia. Recomendaciones importantes para la frecuencia de muestreo de PFAS y la selección del periodo de muestreo son:

- a) Muestrear en el sitio seleccionado dos veces al año (usando el mismo sitio y método);
- b) Determinar cuidadosamente las ocasiones de muestreo basándose en condiciones óptimas, preferiblemente consistentes entre años (por ejemplo, durante periodos de agua alta y baja), evitando sequías o condiciones de congelación.

Idealmente, los muestreadores pasivos (véase Figura 1) deberán instalarse en aguas abiertas de lagos o estuarios, con acceso al lugar de muestreo por barco siempre que sea posible. Si esto no es factible, también es aceptable desplegar en aguas fluviales. Colocar el equipo alejado de la orilla reduce la probabilidad de interferencias del público y ayuda a garantizar que el lugar de muestreo permanezca alejado de las fuentes directas de contaminación.

Si se instalan a lo largo de la costa, se debe utilizar un muelle, un espigón, un embarcadero para garantizar que el muestreador esté lo más adentro posible en el agua. Se debe considerar el riesgo de vandalismo o robo, y se deben tomar las medidas adecuadas para minimizar este riesgo (por

ejemplo, ocultándose, camuflándose, usando zonas seguras o usando cerraduras).

Finalmente, según las recomendaciones establecidas en el Documento de Orientación del Agua (Weiss et al. 2015), el lugar de muestreo debe elegirse teniendo en cuenta las siguientes características clave:

- La ubicación debe estar en aguas abiertas del lago, en la desembocadura de un río o estuario más grande
- Debe ser fácilmente accesible, por ejemplo, desde el borde del cuerpo de agua, en barco o desde un puente

2.2. Fechas de muestreo y frecuencia

El tiempo de exposición (o despliegue) para cada periodo de muestreo será de seis meses. Habrá dos periodos de muestreo al año, con una duración total de muestreo de dos años.

Todos los países participantes deberían, cuando sea posible, desplegar los muestreadores en las mismas fechas, según lo especificado en el formulario de información.

Los periodos de despliegue de seis meses en aguas estancadas o de bajo caudal pueden favorecer el bio-incrustación, lo que puede reducir las tasas de absorción de los muestreadores y potencialmente llevar a una subestimación de la acumulación de PFAS. En estos casos, se recomienda implementar medidas de mitigación de bio-incrustación, como verificar la eficacia de las jaulas protectoras o realizar inspecciones periódicas.

Durante cada periodo de muestreo, se desplegará un conjunto de muestras durante seis meses. Cada conjunto de muestreadores MPT incluye dos muestras y un blanco de campo. Los muestreadores se desplegarán según el calendario propuesto de muestreo:

Tabla 1. *Calendario de muestreo estacional para dos años de muestreo.*

Períodos	Primer año de muestreo 2027	Segundo año de muestreo 2028
1ª Etapa	principios de enero a principios de julio de 2027	principios de enero a principios de julio de 2028
2º periodo	principios de julio 2027 a principios de enero de 2028	principios de julio 2028 a principios de enero de 2029

2.3. Materiales

Lista de partes que componen el muestreador pasivo de agua:

1. Contenedor/bolsa refrigeradora con equipo de despliegue (contenedor de despliegue).
2. Dispositivos muestreadores pasivos de polietileno microporoso (MPT) (al menos 2 réplicas por lugar de despliegue) para su despliegue.
3. Blanco de campo MPT (uno por año de muestreo por sitio).
4. Pesas de cadena o de pescador.

5. Cadenas de acero inoxidable para despliegue o cuerdas sin PFAS (por ejemplo, cuerdas de polipropileno o nylon). Asegurando que la longitud sea suficiente para el escenario de despliegue. Si no se utiliza una cadena, se requerirá un peso (por ejemplo, una plomada de pesca) para mantener el muestreador pasivo MPT sumergido en la columna de agua.
6. Guantes de muestreo adecuados para el muestreo de PFAS (por ejemplo, guantes de nitrilo sin polvo).
7. Abrazaderas de cable.
8. Cuchillo Stanley/trinchetas/cutters, y/o tijeras para cortar bridas.
9. Rotulador permanente/bolígrafo.
10. Un formulario de información (Cadena de Custodia), para anotar todos los detalles sobre el nombre del sitio del despliegue y recuperación, la hora y fechas, y otras observaciones importantes.
11. Bolsa grande de residuos de bioseguridad y bridas para la eliminación de cualquier desperdicio (bridas, guantes usados, piezas de tubos, etc.).
12. Señalización laminada.

La figura siguiente es un esquema que muestra las diferentes partes del PAS y la forma de montarlas:

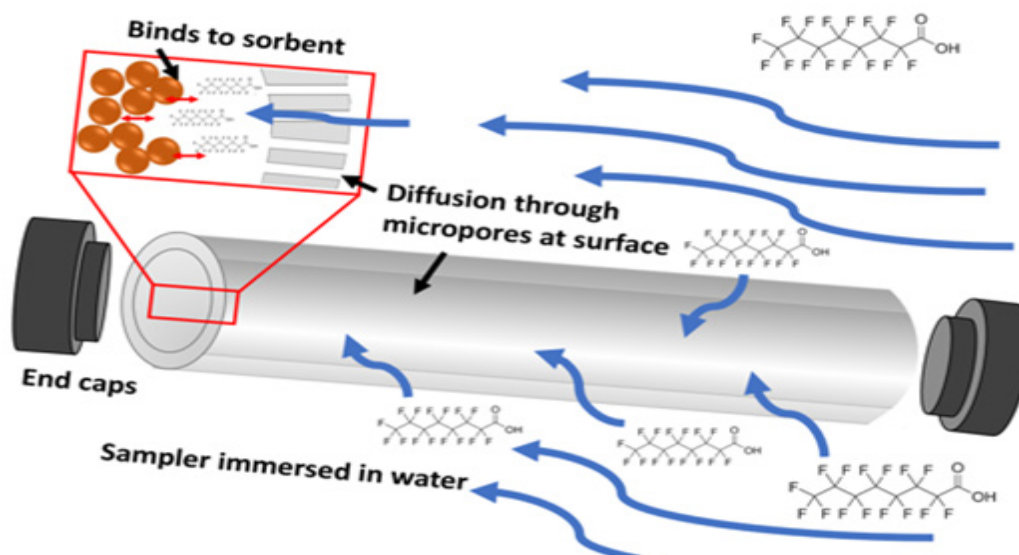


Figura 1. Esquema del muestreador pasivo MPT

2.4. Instrucciones de despliegue de los muestreadores pasivos MPT

1. Llevar guantes sin polvo al manipular los muestreadores. Por favor, NO lleves lociones de manos, perfumes, repelente de insectos ni guantes en polvo. Tu kit de campo debería incluir guantes adecuados.
2. Retirar de la cuerda/cadena de despliegue del contenedor/bolsa refrigeradora. Asegurar la cuerda/cadena de despliegue a la estructura o boya permanente sobre el lugar de muestreo, con el objetivo de situar los muestreadores a una profundidad media en la columna de agua. **Deben permanecer sumergidos en todas las condiciones razonables de flujo, pero no descansar en el fondo.** La [Figura 2](#) muestra técnicas de despliegue sugeridas.
3. Retirar suavemente los muestreadores pasivos de los recipientes de plástico (véase la [Figura 3](#), el muestreador debe incluir 2 piezas MPT) y descarta el agua purificada del interior del soporte. Coloca el soporte de plástico en el recipiente/bolsa de despliegue correspondiente para el lugar correspondiente para cuando se recuperen los muestreadores.
4. Fijar los muestreadores pasivos MPT en la ubicación deseada de la cuerda de despliegue usando bridas de cable firmemente aseguradas (tras comprobar la longitud y posición de despliegue de la cuerda). Comprobar que todas las bridas estén firmemente sujetas a la cuerda/cadena de despliegue. Si no se utiliza una cadena, se requerirá un peso (por ejemplo, plomada para pescar) para mantener los muestreadores pasivos MPT sumergidos en la columna de agua.
5. Descender el conjunto completo de muestras al agua.
6. Guardar los recipientes de muestreo pasivo e control en blanco dentro de la bolsa de despliegue. No se debe realizar ninguna manipulación en los controles en blanco, ya que su finalidad es evaluar únicamente la posible contaminación derivada de los procedimientos de muestreo.
7. Registra **el nombre del sitio de despliegue y recuperación, la hora y las fechas, así como otras observaciones importantes**, en el formulario de información de muestreo (Cadena de Custodia).
8. Recoger todo el equipo de muestreo y coloca cualquier residuo (por ejemplo, bridas, cuerdas, cadenas, guantes usados, etc.) en una 'bolsa de residuos biológicos' dentro de tu mochila de muestreo y devuélvelo todos los residuos contigo para su eliminación segura.
9. Si está disponible, marca el lugar de muestreo con una boya.
10. Si se utiliza un dispositivo de flotación/boya, fije señalización laminada con información sobre la muestra y datos de contacto al punto de anclaje de la boya o cuerda de muestreo con una brida de cable.
11. Tomar fotos durante la muestra y la instalación del MPT, incluyendo el lugar de muestreo.

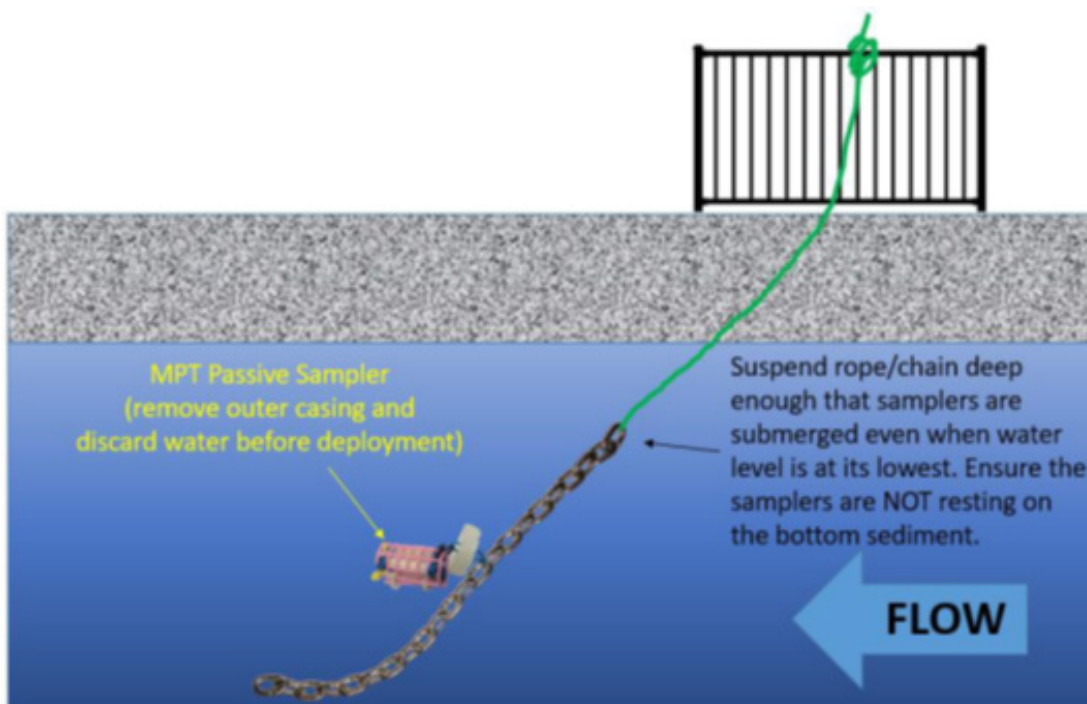
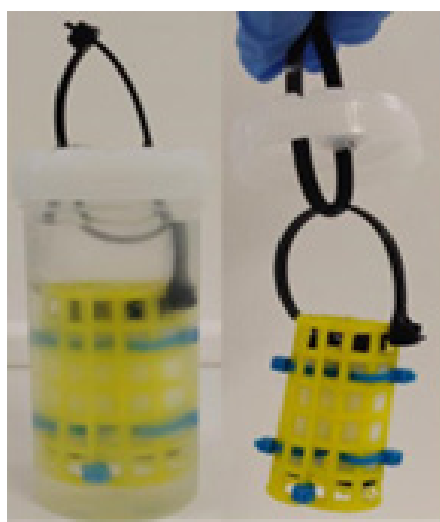


Figura 2. Esquema de despliegue que muestra la cuerda y la cadena con muestreadores pasivos MPT acoplados. Asegúrate de que los muestreadores estén desplegados en una posición donde puedan estar continuamente sumergidos



OPEN THE CASING TO DEPLOY.
STORE CASINGS IN ZIPBAG FOR LATER.

Figura 3. Muestreadores pasivos MPT en malla amarilla de despliegue dentro del recipiente de despliegue de plástico (izquierda) y retirados del recipiente de plástico (derecha) para su despliegue.

2.5. Instrucciones de recuperación

1. Llevar guantes sin polvo al manipular muestradores. Por favor, NO lleves lociones de manos, perfumes, repelentes de insectos ni guantes en polvo. El kit de campo incluye guantes adecuados.
2. Asegúrese de llevar el contenedor o la bolsa refrigeradora adecuada al recoger los muestradores.
3. Retirar la cuerda/cadena que contiene los muestradores del agua, agita para eliminar el exceso de agua y se adhiere a los sólidos en suspensión.
4. Cortar o quitar los muestradores pasivos de la cuerda/cadena.
5. Colocar el dispositivo muestrador pasivo de nuevo en el recipiente de muestreo pasivo ETIQUETADO ([Figura 2](#)), con bloques de hielo y/o guárdalos en una cámara fría o congelador hasta su traslado al laboratorio para su extracción y análisis.
6. Los blancos de campo MPT deben enviarse al laboratorio para su análisis junto con los muestradores utilizados.
7. Registrar la hora y la fecha de la recuperación en el formulario de información de muestreo.
8. Tomar otra foto de las muestras después del despliegue.
9. Colocar las cuerdas/cadenas en bolsas y etiquetadas en una bolsa para desecharlas o reutilizarlas.
10. Recoger todo el equipo de muestreo y coloca cualquier residuo de muestreo (tubos sueltos, bridas, cuerdas/cadenas, guantes usados, etc.) en la 'bolsa de residuos biológicos/residuos' de tu mochila de muestreo y devuélvelo todos los residuos contigo para su eliminación segura.
11. Asegúrese de que el lugar quede limpio y sin residuos que queden atrás.

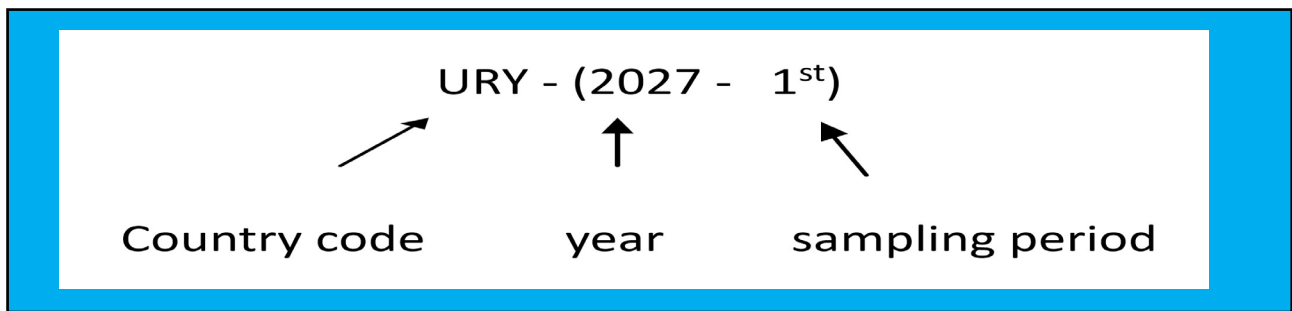
2.6. Identificación de muestradores

A todos los muestradores pasivos MPT de muestreo se les asignará un identificador único. El sistema de letras y numeración del MPT se basa en el etiquetado de los muestradores de aire.

Para identificar correctamente a los muestradores, se ha definido un código del PNUMA que consiste en un conjunto de letras y números que identificarán inequívocamente: el país donde se instalan los muestradores, el año de muestreo, así como el número del periodo dentro de ese año.

En este sentido, un código del PNUMA siempre se compone de: un primer conjunto de tres letras que hacen referencia al país, seguido, entre paréntesis del año, junto con el número de campaña en números romanos.

Un ejemplo de código de identificación sería:



El primer conjunto de tres letras corresponde a la abreviatura del país según el código ISO utilizado por la ONU (véase <http://unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49alpha.htm>).

El número posterior al guion corresponde al año y periodo de muestreo, el muestreo se recordará en el lugar de muestreo durante un periodo de 6 meses.

3. ALMACENAMIENTO, EMBALAJE Y ENVÍO

Las bolsas Ziploc que contienen el muestreador de PFAS se almacenan en el congelador de los laboratorios nacionales hasta su análisis o su envío al laboratorio correspondiente para su análisis.

Las modalidades de envío se acordarán en estrecha coordinación entre el país y el laboratorio regional/internacional que realizará el análisis.

4. DOCUMENTACIÓN

Se proporciona un archivo MsExcel para documentar cada muestreo. El archivo MsExcel – llamado “GCMP” – contiene las siguientes hojas de cálculo e información:
Hoja de trabajo “Georreferencias”

Esta hoja de trabajo ofrece un resumen de toda la información relacionada con la ubicación y las condiciones donde se realiza la muestra:

Nombre del país:	Nombre completo y código ISO_3
Emplazamiento/Ubicación:	Nombre corto asignado
Tipo de agua:	Agua de mar superficial - océano, agua superficial – lago, agua superficial – río
Coordenadas GPS:	Grados (latitud y longitud) y valores decimales (latitud y longitud)
Narrativa:	Breve descripción narrativa de la ubicación y características del cuerpo de agua, incluyendo la profundidad y caudal del agua, etc., y su entorno
Institución responsable:	Nombre de la institución que realiza la muestra.
Foto:	Por favor, inserte una foto del lugar de muestreo.

5. REFERENCIAS

Baabish, A., Sobhanei, S., Fiedler, H. (2021). Priority perfluoroalkyl substances in surface waters - A snapshot survey from 22 developing countries. *Chemosphere* 273. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129612>.

Dunn, M., Becanova, J., Snook, J., Ruyle, B., Lohmann, R. (2023). Calibration of Perfluorinated Alkyl Acid Uptake Rates by a Tube Passive Sampler in Water. *ACS ES&T Water*. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.2c00384?ref=PDF>.

Gardiner, C., Robuck, A., Becanova, J., Cantwell, M., Kaserzon, S., Katz, D. et al. (2022). Field Validation of a Novel Passive Sampler for Dissolved PFAS in Surface Waters. *Environmental Toxicology and Chemistry* 41(10), 2375–2385. <https://doi.org/10.1002/etc.543>.

Kaserzon, S., Vijayasathy, S., Bräuning, J., Mueller, L., Hawker, D., Thomas, K. et al. (2019). Calibration and validation of a novel passive sampling device for the time integrative monitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) and precursors in contaminated groundwater. *Journal of Hazardous Materials* 366, 423-431. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.010>.

United National Environment Programme [UNEP] and Secretariat of the Stockholm Convention (2025). *Guidance on the Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants*. <https://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-Guidance-GMP-POPs-Jan2025.En.docx>.

Weiss, J., de Boer, J., Berger, U., Muir, D., Ruan, T., Torre, A., et al. (2015). *PFAS analysis in water for the Global Monitoring Plan of the Stockholm Convention Set-up and guidelines for monitoring*. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/29682>.

**Programa
mundial de
vigilancia
de químicos**

