

Muestreo de **Mercurio** en **el Aire** Usando Captadores Pasivos Metodología y Procedimiento



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.

El documento está adaptado del “Procedimiento Operativo Estándar para el MerPAS®”, desarrollado originalmente por Alexandra Steffen en “Environment and Climate Change Canada” (ECCC). La adaptación fue llevada a cabo 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).

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



LISTA DE SIGLAS

ECCC	Environment and Climate Change Canada
GCMP	Programa mundial de vigilancia de químicos
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEM	Mercurio Elemental Gaseoso
GMP	Plan Global de Monitoreo
ID	Identificación
ISO	Organización Internacional de Normalización
PAS	Muestreadores de aire pasivos
COPs	Contaminantes orgánicos persistentes
QC	Contrôle qualité
SOP	Procedimiento operativo estándar
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

ÍNDICE

Agradecimientos	2
Lista de siglas	3
Lista de figuras	5
Lista de tablas	5
1. INTRODUCCIÓN	6
2. MUESTREO PASIVO DE MERCURIO USANDO MERPAS®	7
2.1. Detalles sobre MerPAS®	7
2.2. Frecuencia de muestreo	8
3. SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO Y MUESTREO	9
3.1. Requisitos de los sitios de muestreo	9
3.2. Instalación de los soportes para los MerPAS®	10
3.3. Preparación del MerPAS® blancos y muestras	10
3.4. Procedimiento para el despliegue de muestras	12
3.5. Despliegue de muestreadores MerPAS®	13
3.6. Recogida y sustitución del MerPAS®	14
3.7. Almacenamiento y transporte de las muestras y los blancos de MerPAS® recogidos	15
4. DOCUMENTACIÓN	16
5. REFERENCIAS	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dibujo técnico de un muestreador de aire pasivo MerPAS® para monitorizar el Hg gaseoso.	7
Figura 2. Vista externa del muestreador pasivo de aire MerPAS® utilizado para el monitoreo de mercurio am.	8
Figura 3. Ejemplo de soportes de montaje para instalar muestreadores MerPAS®.	10
Figura 4. Muestreador MerPAS® montado en un poste para despliegue en el campo.	11
Figura 5. Tubo de muestreo (flecha roja): !!! no retirar	11
Figura 6. Tapa de transporte sólida utilizada para almacenamiento antes del despliegue (flecha azul)	11
Figura 7. Configuración de despliegue de Departamento de MerPAS®	11
Figura 8. Ejemplo de etiquetado de unidades de Merpas®	12
Figura 9. Retirada de la cinta y apertura de tapas antes de instalar cribas de muestreo	12
Figura 10. Instalación de tapas de malla en unidades MerPAS®	12
Figura 11. Etiquetado de la muestra MerPAS®	13
Figura 12. Etiquetado del MerPAS® en blanco	13
Figura 13. Instalación de MerPAS®	13
Figura 14. Recogida de los Merpas®	14
Figur 15. Etiquetado final de las muestras y blancos	14
Figura 16. Sustituir la tapa abierta por la tapa sólida	14
Figura 17. Sellar la tapa de la muestra y colocar la unidad MerPAS® en bolsas dobles ziploc durante la recogida.	15
Figura 18. Colocación de las unidades de blanco de campo y muestras en bolsas ziplock	15

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Un calendario propuesto para el despliegue de muestra	8
--	---

1. INTRODUCCIÓN

Este procedimiento operativo estándar (SOP) proporciona apoyo al Programa Global de Monitoreo de Sustancias Químicas (GCMP) y a sus proyectos regionales en diferentes regiones de la ONU. El GCMP incluye un proyecto global y cinco proyectos regionales en 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 (FMAM). Su objetivo es proporcionar evidencia científicamente sólida para evaluar la eficacia del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) y el Convenio de Minamata sobre el Mercurio, facilitando así una comprensión global integral de las concentraciones de COPs y mercurio en los humanos y el medio ambiente.

El objetivo de esta SOP es describir la instalación y gestión paso a paso de los muestreadores pasivos de aire (PAS), concretamente MerPAS®, para la toma de muestras de mercurio en el aire bajo el GCMP.

La SOP incluye los pasos principales para montar, desmontar y mantener los samplers. El MerPAS® está diseñado para absorber mercurio (principalmente el mercurio elemental gaseoso (GEM)) en una trampa de carbono, permitiendo determinar las concentraciones de mercurio en el aire. Posteriormente, cuantificando el mercurio total absorbido en el MerPAS®, se pueden estimar tendencias y patrones de mercurio en el aire, incluyendo si las concentraciones están aumentando o disminuyendo y cómo varían entre países y regiones.

Esta SOP es aplicable para el despliegue de MerPAS® en todo tipo de sitios de muestreo, incluyendo zonas urbanas, suburbanas, rurales y remotas.

2. MUESTREO PASIVO DE MERCURIO USANDO MERPAS®

2.1. Detalles sobre MerPAS®

El muestreador pasivo de aire MerPAS® utiliza carbón activado impregnado de azufre no reutilizable (HGR-AC) como absorbente para el mercurio. El carbono se almacena en un tubo de malla de acero inoxidable (reutilizable) que a su vez se coloca dentro de una barrera radial difusora (White Radiello®). Esta barrera, a su vez, está fijada al interior de un contenedor compacto azul PET con una tapa de malla orientada hacia abajo que actúa simultáneamente como refugio frente al fuerte viento y la lluvia. El mercurio sufre una captación difusiva y se acumula en el medio absorbente, con una frecuencia de muestreo controlada estrictamente por la barrera difusiva (**Figura 1**). Este dispositivo de muestreo está caracterizado y es producido comercialmente por Tekran Instrument Corporation (Tekran Inc., Toronto, ON, Canadá) y se vende bajo el nombre MerPAS® (Tekran s.f.).

Una vez recogidas, las muestras se envían a un laboratorio para su análisis mediante espectrofotometría de descomposición térmica, amalgama y absorción atómica, o utilizando un analizador automatizado de mercurio total comercialmente disponible (por ejemplo, Milestone DMA-80). La concentración volumétrica de mercurio en el aire, promediada durante el periodo de despliegue, se calcula utilizando la cantidad de mercurio cuantificada en el medio absorbente (el valor medio de las dos muestras recogidas menos el blanco) y una tasa de muestreo previamente calibrada, que puede ajustarse según la temperatura y la velocidad del viento. Se ha demostrado que este método tiene una precisión comparable a las metodologías actualmente aceptables para medir el mercurio en la atmósfera y demuestra una precisión excelente (McLagan et al. 2015).

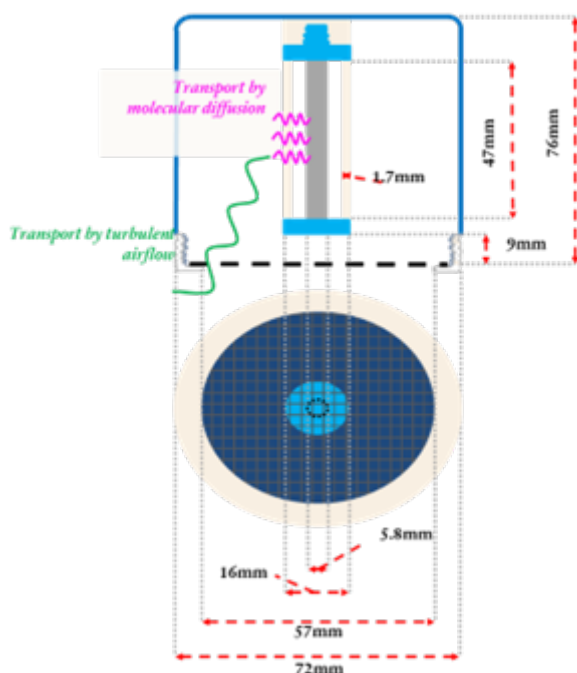
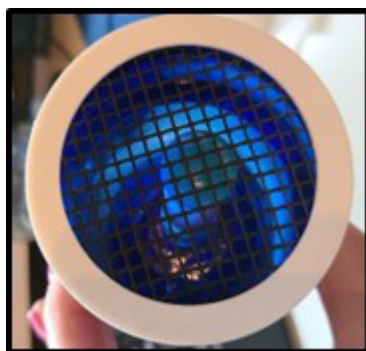


Figura 1. Dibujo técnico de un muestreador pasivo de aire MerPAS® para monitorizar mercurio gaseoso en el aire ambiente.



A



B



C

Figura 2. Una demostración del despliegue del muestreador pasivo de aire MerPAS® y sus diversas partes.

(A) Vista externa de los muestreadores pasivos de aire MerPAS® utilizados para el monitoreo de mercurio en el aire ambiente. (B) Lado orientado hacia abajo del sampler. (C) HGR-AC, un tubo de malla de acero inoxidable y una barrera difusora radial.

2.2. Frecuencia de muestreo

Se enviará un cubo blanco que contendrá un conjunto de tres muestreadores pasivos de aire MerPAS® a cada lugar de muestreo. Estas muestras se expondrán de forma estacional, es decir, durante tres meses por periodo de exposición, y se usará un conjunto de tres MerPAS® de forma secuencial. De cada conjunto de tres MerPAS®, dos unidades de PAS se desplegarán como Muestras y una como Blanco de campo (Figura 2). Se instalará un conjunto duplicado de tres muestras de MerPAS® en 20 sitios para el control de calidad (QC) y para ayudar a evaluar las capacidades analíticas y la identificación de laboratorios regionales adecuados. Los soportes de montaje y otros accesorios relevantes están incluidos en el paquete para la configuración inicial.

Para cubrir la estacionalidad, a continuación, se muestra un ejemplo de calendario de despliegue propuesto:

Tabla 1. Un calendario propuesto para el despliegue de muestra

Períodos	Primer año de muestreo 2027	Segundo año de muestreo 2028
1ª periodo	Principios de enero a principios de abril de 2027	Principios de enero a principios de abril de 2028
2º periodo	Principios de abril a principios de julio de 2027	Principios de abril a principios de julio de 2028
3º periodo	Principios de julio a principios de octubre de 2027	Principios de julio a principios de octubre de 2028
4to periodo	Principios de octubre de 2027 a principios de enero de 2028	Principios de octubre de 2027 a principios de enero de 2029

Nota: Cada MerPAS® será desplegado estacionalmente durante cuatro periodos de tres meses cada uno. Las muestras pueden desplegarse durante la primera semana de cada mes programado de despliegue, con un margen de pocos días. El despliegue y retirada de la muestra debe realizarse el mismo día.

3. SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO Y MUESTREO

Esta sección describe los requisitos para la selección del emplazamiento y los procedimientos de muestreo para la instalación y retirada de MerPAS®.



Se recomienda ver tutoriales en vídeo desarrollados por Environment and Climate Change Canada (ECCC) con explicaciones detalladas sobre la selección de los sitios y muestreo de mercurio en el aire ambiente usando MerPAS®. Se pueden consultar en [En el canal de Youtube: Atmospheric Mercury Research Lab Environment Canada.](#)

Los vídeos tutoriales relevantes para la instalación y remplazo de MerPAS® pueden verse utilizando los siguientes enlaces web: (Vídeos en inglés)

- Para la instalación: [Installation of Mercury Passive Sampler](#)
- Para retirar o reemplazar el MerPAS®: [Removing Mercury Passive Sampler](#)

3.1. Requisitos de los sitios de muestreo

Las características del sitio pueden influir en la concentración de mercurio en el aire, así como en su captación por el muestreador desplegado. Por lo tanto, la selección del sitio es fundamental para el diseño de cualquier red de monitoreo y debe basarse en los objetivos del programa de monitoreo. Por ejemplo, para aportar información sobre los cambios en los niveles de mercurio atmosférico, evaluar niveles en ecosistemas sensibles o vulnerables (por ejemplo, el Ártico o zonas cercanas a humedales), examinar contribuciones de fuentes puntuales, evaluar concentraciones de fondo o ayudar en la evaluación de modelos atmosféricos. Se debe considerar una diversidad de sitios dependiendo del uso de los datos.

Los sitios pueden agruparse como (a) sitios de fondo o remotos, (b) rurales, (c) urbanos y (d) sitios contaminados o industriales. Es importante que las estaciones de monitoreo del mercurio en el aire den prioridad a la ubicación conjunta con otras actividades de monitoreo ya existentes, incluidos los sitios de calidad del aire donde se controlan regularmente contaminantes atmosféricos relevantes, como ozono, dióxido de azufre, monóxido de carbono, partículas finas (PM2.5) y halógenos. Esto permitirá el uso de la infraestructura disponible y las mediciones conjuntas. Si no hay infraestructura o medición disponible, compruebe si existe alguna instalación cercana que registre la temperatura ambiente y la velocidad del viento, ya que estos son factores críticos para calcular posteriormente el mercurio en el aire ambiente basándose en muestreo pasivo de aire.

Para cumplir los objetivos de la GCMP de proporcionar datos a la Convención de Minamata sobre Mercurio y crear sinergias con las actividades de monitoreo bajo la Convención de Estocolmo, los sitios de muestreo para monitorear el mercurio en el aire deberían ser, preferiblemente, sitios de fondo y, cuando sea posible, coincidir con aquellos utilizados para muestreo pasivo de aire de los COPs.

Una vez identificada un sitio adecuado, el siguiente paso es colocar un poste, valla o barandilla sobre la que montar los soportes de muestra. Es importante elegir un lugar de montaje que esté bien por encima del suelo y alejado de ventanas, puertas y ventilaciones del edificio, para evitar cualquier punto de contaminación y alteraciones en la circulación natural del aire. Lo ideal sería que la ubicación estuviera en un área segura con flujo de aire sin obstrucciones. Se necesitarán herramientas para montar los soportes, incluyendo destornillador, unas tijeras o un cúter.

3.2. Instalación de los soportes para los MerPAS®

El kit inicial de muestreo se proporcionará con soportes de montaje, abrazaderas para mangueras y varias bridas, así como el kit de muestreo descrito en la [sección 3.3](#).



Figura 3. Visualización de soportes de montaje para instalar muestreadores MerPAS®

1. Busca un poste adecuado para montar los soportes proporcionados. Busca un lugar alejado de edificios, tráfico, personas, puertas y ventanas.
2. Intenta montar los muestreadores a la misma altura, es decir, al menos a 2,0 m sobre el suelo.
3. Si se va a montar los soportes a la misma altura, usa dos abrazaderas para asegurar los soportes en su sitio.
4. Los soportes deberán permanecer en su lugar al menos dos años, por lo que deben estar bien sujetos para resistir vientos fuertes y condiciones meteorológicas.

3.3. Preparación del MerPAS® blancos y muestras

El kit de muestreo contiene los siguientes elementos:

Este kit contiene suministros para un juego de MerPAS® durante periodos de muestreo de 3 meses ([Figura 4](#)).

- Un set de tres muestreadores azules de MerPAS® en bolsas dobles Ziploc (dos muestras y un blanco de campo)
- Seis tapas abiertas y seis cribas (nota que solo se usan dos para las muestras, y un juego es de repuesto)
- Un rollo de cinta de vinilo
- Cuatro pares de guantes de nitrilo
- Un marcador permanente
- Manual de instrucciones
- Dos tuercas de tapa de repuesto

El recipiente azul de muestra MerPAS® actúa tanto como recipiente de viaje como protección para el muestreador. Dentro del recipiente azul hay un tubo blanco que contiene carbono (**Figura 5**); no retire este tubo del interior del recipiente azul, sino simplemente sustituir la tapa sólida (**Figura 6**) por la tapa de malla (**Figura 7**) e instalarla con la tapa baja para comenzar a muestrear (**Figura 4**).



Figura 4. Muestreador MerPAS® montado en un poste para despliegue en el campo



Figura 5. Tubo de muestreo (flecha roja): **!!! no retirar**

Figura 6. Tapa de transporte sólida utilizada para almacenamiento antes del despliegue (flecha azul)

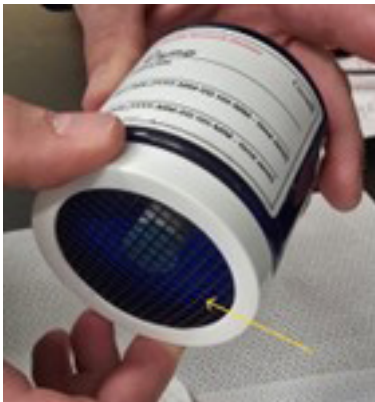
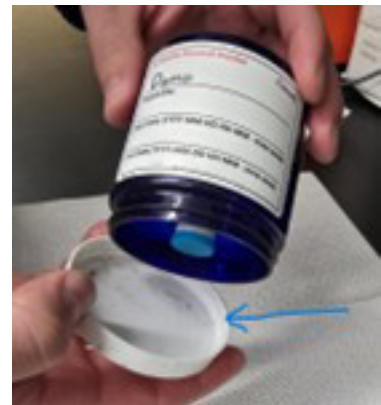


Figura 7. Configuración de despliegue de MerPAS® con tapa de malla (flecha amarilla)

3.4. Procedimiento para el despliegue de muestras

- Ponerse los guantes de nitrilo.
- Sacar las tres MerPAS® de las bolsas Ziploc (guardar las bolsas Ziploc en el cubo; no tirarlas, se volverán a usar).
- Etiquetar, el sitio del proyecto con la ubicación y el país, con el marcador permanente.
- Usando un marcador permanente, etiqueta las dos unidades MerPAS® que se usarán como muestras con la palabra "MUESTRA" (**SAMPLE**). Mientras que etiqueta la unidad MerPAS® restante con la palabra "BLANCO" (**BLANK**).

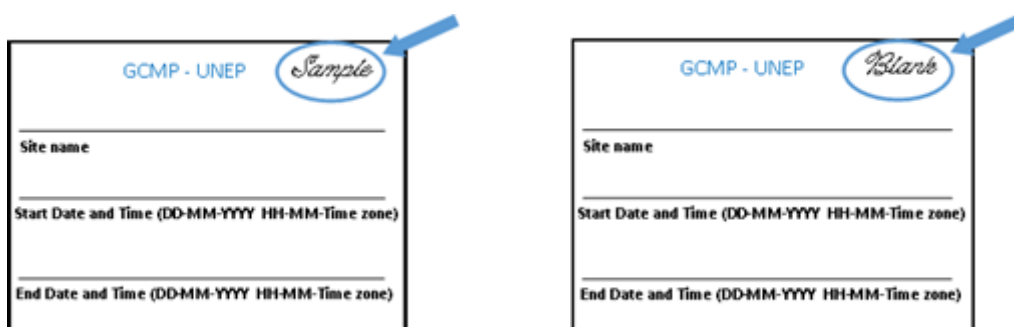


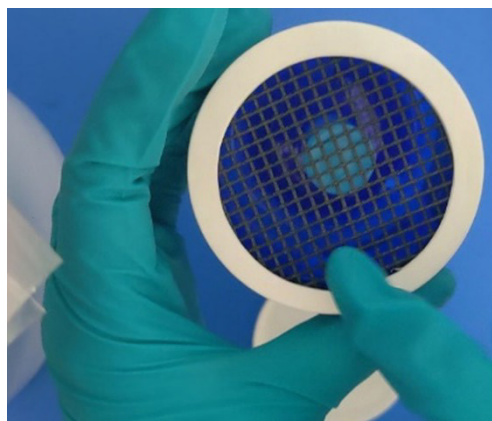
Figura 8. Ejemplo de etiquetado de unidades de muestra y en blanco de Merpas® antes del despliegue

- Quitar la cinta de alrededor de las tapas de dos recipientes de muestras. (**No retire la cinta de alrededor de la tapa de la unidad de muestra en blanco**).

Figura 9. Retirada de la cinta y apertura de tapas antes de instalar cribas de muestreo.

- Quita las tapas de las dos muestras de MerPAS®.
- Sustituye las tapas de ambas unidades de muestra PAS por la tapa abierta equipada con malla negra (el lado curvo de la malla debe mirar hacia el recipiente de muestra).

Figura 10. Instalación de tapas de malla en unidades MerPAS® para el inicio del periodo de muestreo..



- Etiqueta las muestras con la **fecha y hora de inicio** en la pegatina en el exterior de la carcasa usando un marcador permanente. Además, apunta esta información en un libro de registro archivado (ya que la información puede desvanecerse bajo condiciones meteorológicas adversas).

Figura 11. Etiquetado de la muestra MerPAS®

GCMP - UNEP	Sample
Geneva, Switzerland	
Site	01-06-2026 13:00
Start Date and Time (DD-MM-YYYY HH-MM-Time zone)	
End Date and Time (DD-MM-YYYY HH-MM-Time zone)	

- De igual forma, etiqueta el MerPAS® blanco y rellena la **fecha y hora de inicio** en la pegatina exterior de la carcasa de la muestra con el rotulador permanente. Asegúrate de que el BLANCO esté claramente marcado (es importante tener en cuenta que el blanco debe conservar la cinta y la tapa blanca durante el periodo de muestreo).

Figura 12. Etiquetado del blanco de campo MerPAS®.

GCMP - UNEP	Blank
Geneva, Switzerland	
Site name	01-06-2026 13:00
Start Date and Time (DD-MM-YYYY HH-MM-Time zone)	
End Date and Time (DD-MM-YYYY HH-MM-Time zone)	

3.5. Despliegue de muestreadores MerPAS®

Una vez que las unidades MerPAS® estén preparadas, están listas para su instalación. Por favor, sigue los pasos que se describen a continuación para instalar los muestreadores MerPAS®.

- Lleva los muestreadores MerPAS® preparados al lugar de muestreo.
- Instala las unidades MUESTRA y BLANCO MerPAS® preparadas y etiquetadas en los soportes de montaje insertando el extremo macho del conector desde la carcasa de la muestra a través del orificio del soporte de montaje.
- Atornilla la tapa al conector macho y aprieta bien (se puede encontrar una tuerca extra en el cubo en caso de que se caigan y no se encuentran).
- Las muestras y el blanco se dejan en su lugar tras la instalación durante un periodo de tres meses, tras lo cual se sustituyen por un nuevo juego de muestras y blanco.

Habrán un total de ocho periodos de 3 meses durante los dos años de muestreo del GCMP.

Figura 13. Instalación de MerPAS®.



3.6. Recogida y sustitución del MerPAS®

A continuación, se ofrece una guía paso a paso para recoger y reemplazar las unidades de muestra y en blanco de MerPAS® tras el periodo de despliegue:

- Ir al sitio de muestreo con el cubo del kit de muestreo.
- Ponerse los guantes de nitrilo proporcionados.
- Retirar un muestreador MerPAS® a la vez. Empieza quitando la tuerca del tapón y luego desconecta el muestreador del soporte.

Figura 14. Recogida de los Merpas®.



- Anota la fecha y hora de FIN en las Muestras y en Blanco con el marcador, como se muestra en la **Figura 15**.

GCMP - UNEP	Sample
Geneva, Switzerland	
Site	01-06-2026 13:00
Start Date and Time (DD-MM-YYYY HH-MM-Time zone)	
	01-09-2026 13:00
End Date and Time (DD-MM-YYYY HH-MM-Time zone)	

GCMP - UNEP	Blank
Geneva, Switzerland	
Site name	01-06-2026 13:00
Start Date and Time (DD-MM-YYYY HH-MM-Time zone)	
	01-09-2026 13:00
End Date and Time (DD-MM-YYYY HH-MM-Time zone)	

Figura 15. Etiquetado final de las muestras y blancos con fecha y hora de inicio y fin.

- Retirar la tapa abierta y la malla de las muestras y sustituir el extremo de la tapa por la tapa sólida (**Figura 16**). **Por favor, asegúrese de que la tapa esté bien ajustada, ya que los tapones sueltos pueden causar contaminación.**

Figura 16. Sustituir la tapa abierta por la tapa sólida.



- Guardar las tapas y mosquiteras abiertas que quedan en el cubo y devuélvalos con las muestras.
- Repetir este proceso con ambas unidades de muestreo.
- Retirar la muestra en blanco del soporte de montaje, apuntar la fecha y hora de finalización, y colocarlas en bolsas ziplock de doble capa como se muestra en las **Figuras 17 y 18**.

Figura 17. Sellar la tapa de la muestra y colocar la unidad MerPAS® en bolsas dobles ziploc durante la recogida.

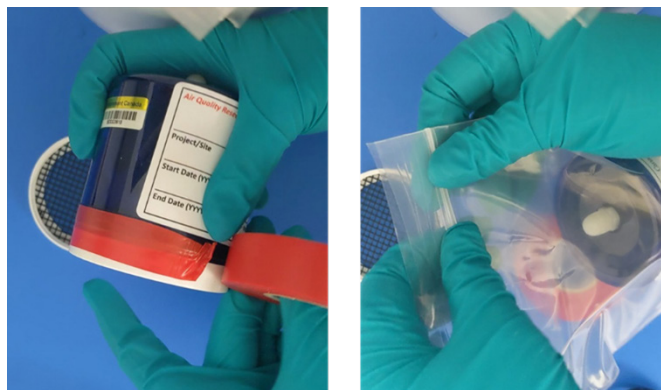


Figura 18. Colocación de las unidades de blanco de campo y muestras en bolsas ziplock (doble bolsa).



- Instalar las dos nuevas muestras y un nuevo blanco siguiendo las instrucciones descritas en las **secciones 3.3 y 3.4** para el despliegue de tres meses.

3.7. Almacenamiento y transporte de las muestras y los blancos de MerPAS® recogidos

Las dos muestras y el blanco se almacenan y transportan en bolsas dobles Ziplock y se guardan en el cubo blanco para evitar la contaminación. Los muestreadores pueden almacenarse en un lugar seco y fresco dentro del cubo sellado durante varios meses. No coloques el cubo en un frigorífico o congelador y mantenlo alejado de zonas contaminadas durante el almacenamiento.

Por favor, asegúrese de que todas las tapas estén bien cerradas, ya que las tapas sueltas pueden causar contaminación. Aplicar cinta para sellar las dos tapas de las muestras y colócalas en bolsas Ziploc (en doble bolsa de la misma manera que recibieron).

Por favor, tomad fotografías durante cada evento de muestreo, incluyendo el primer despliegue, los cambios de muestra y los lugares de muestreo.

El cubo que contiene un juego de muestras MerPAS® debe colocarse en la caja original u otra caja de cartón adecuada. Las muestras deben enviarse entonces al laboratorio regional o experto asignado para su análisis. Esto se realizará cada seis meses, cubriendo dos periodos de muestreo. Las modalidades de envío se acordarán en estrecha cooperación entre el país que realiza la muestra y el laboratorio experto internacional/regional.

4. DOCUMENTACIÓN

Por favor, proporciona 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
Nombre del operador:	Nombre completo de todos los operadores que realizan el muestreo.
Emplazamiento/Ubicación:	Nombre corto asignado
Estaciones meteorológicas:	Por favor, indique si hay una estación meteorológica cerca del lugar y, si es así, por favor facilite detalles de dicha estación.
Dirección:	Dirección física
Tipo de sitio:	Remota, urbana, rural, agrícola
Coordenadas GPS:	Grados (latitud y longitud) y valores decimales (latitud y longitud)
Narrativa:	Breve descripción narrativa del lugar y sus alrededores, y cualquier otra observación importante sobre el sitio o los dispositivos de muestreo.
Institución responsable:	Proporcione el nombre de la institución que realiza la muestra.
Foto:	Por favor, inserte una foto del lugar de muestreo.

5. REFERENCIAS

Naccarato, A., Tassone, A., Martino, M., Moretti, S., Macagnano, A., Zampetti, E. *et al.* (2021). A field intercomparison of three passive air samplers for gaseous mercury in ambient air. *Atmospheric Measurement Techniques* 14, 3657–3672. <https://doi.org/10.5194/amt-14-3657-2021>.

A High-Precision Passive Air Sampler for Gaseous Mercury. *Environmental Science & Technology Letters* 3, 24–29. DOI: [10.1021/acs.estlett.5b00319](https://doi.org/10.1021/acs.estlett.5b00319).

Tekran Instrument Corporation, Inc. (n.d.). MerPAS® Passive Air Sampler. <https://www.tekran.com/products/merpas/overview/> Accessed 25 July 2025.

**Programa
mundial de
vigilancia
de químicos**

