

Entregable 3

Documento técnico: definición de sitios y protocolos de muestreo para análisis de mercurio y calidad de agua en la cuenca del río Putumayo-Içá, Perú

Patrick Venail, consultor en Perú

Lima, 3 de noviembre de 2025

(actualizado al 17 de noviembre de 2025 y el 31 de enero de 2026)

Tabla de Contenido

Resumen.....	2
1. Introducción	2
2. Objetivos	3
3. Criterios para la selección de sitios de muestreo	3
4. Identificación de sitios de muestreo	3
4.1. Antecedentes	3
4.2. Taller de Monitoreo de Calidad de Agua y Elementos Contaminantes de Quito	9
4.3. Puntos de muestreo sugeridos	10
5. Protocolos de muestreo	11
5.1. Mercurio en biota	13
5.2. Mercurio en humanos.....	13
5.4. Índices de calidad de agua.....	15
5.5. Índices biológicos de calidad del agua (microorganismos, bentos y macroinvertebrados)	15
5.6. Articulación espacial de los índices de calidad y los sitios de muestreo de mercurio	17
6. Conclusión	18
Actualización sobre visita a campo en enero de 2026	19

Resumen

El presente documento técnico presenta los sitios de muestreo y los protocolos para el análisis de mercurio y parámetros de calidad del agua en el tramo peruano de la cuenca del río Putumayo-Içá, una región donde la expansión reciente de la minería aurífera aluvial y otras actividades antrópicas ha incrementado los riesgos de contaminación ambiental y exposición humana. A partir de antecedentes históricos, registros de monitoreos previos y los lineamientos consensuados en el Taller sobre Monitoreo de Quito (2025), se proponen cuatro puntos estratégicos: Soplín Vargas, San Antonio del Estrecho, Remanso y El Álamo. Estos cuatro puntos permiten capturar los principales gradientes de presión minera, condiciones hidrológicas y disponibilidad logística para la ejecución de campañas de campo. Aunque se ha propuesto incluir al Parque Yaguas como un sitio de control, hay reportes recientes de intensificación de actividades minera en ese sector, generando ciertas dudas sobre esta idea.

El informe adopta protocolos basados en la Guía de Monitoreo del Convenio de Minamata, priorizando la medición de mercurio total en peces y en poblaciones humanas como matrices más representativas y estables que el agua superficial o los sedimentos. También se integran procedimientos para el análisis de otros metales pesados relevantes, como plomo y cadmio, así como los parámetros fisicoquímicos monitoreados por el ALA Iquitos, incluyendo nutrientes, sólidos suspendidos totales, arsénico e hidrocarburos totales de petróleo. De manera complementaria, se incorporan los índices ICA e IRCA, así como bioindicadores bentónicos y microbiológicos, lo que permite construir un diagnóstico ambiental y sanitario más completo.

En conjunto, este documento sienta las bases para un sistema de monitoreo armonizado, técnicamente robusto y comparable entre países, que facilitará la evaluación de tendencias, la identificación de zonas críticas y la toma de decisiones informadas en la gestión del recurso hídrico y la protección de la salud en la cuenca del Putumayo-Içá.

1. Introducción

La cuenca del río Putumayo-Içá constituye una región estratégica para la gestión ambiental y sanitaria en la Amazonía peruana, debido a su alta biodiversidad, su relevancia socioecológica y la creciente presión ejercida por actividades extractivas, en particular la minería aurífera aluvial. En los últimos años se han reportado incrementos significativos en la presencia de infraestructura minera ilegal y en las evidencias de contaminación asociada, incluyendo liberación de mercurio y otros metales pesados. A su vez, instituciones como el ALA Iquitos, el Instituto SINCHI y CINCIA principalmente vienen desarrollando monitoreos parciales que, aunque valiosos, requieren ser armonizados en un marco trinacional común.

El presente documento técnico define los sitios de muestreo priorizados y los protocolos para el análisis de mercurio y parámetros de calidad de agua en el tramo peruano del río Putumayo, con el fin de contribuir a la construcción de una línea base regional coherente con los acuerdos del Taller de Monitoreo de Calidad de Agua y Elementos Contaminantes de Quito (2025) y con la Guía de Monitoreo del Convenio de Minamata. La propuesta integra antecedentes ambientales, criterios de selección espacial, capacidades locales y requerimientos logísticos, así como variables fisicoquímicas, biológicas y sanitarias necesarias para evaluar la salud del ecosistema y los riesgos para la población. Con ello, se busca aportar a un sistema de monitoreo robusto, comparable y operativo que permita orientar acciones de gestión ambiental, vigilancia sanitaria y toma de decisiones en una cuenca transfronteriza altamente dinámica y vulnerable.

2. Objetivos

Objetivo general: Definir los sitios y protocolos de muestreo para el análisis de calidad del agua superficial en la cuenca del río Putumayo-Içá, en Perú.

Objetivos específicos:

1. Identificar sitios a lo largo del tramo peruano del río Putumayo representativos que consideren las principales fuentes y gradientes de contaminación.
2. Estandarizar las técnicas de muestreo, preservación y transporte de muestras de agua para asegurar la calidad de los resultados analíticos.
3. Garantizar la comparabilidad de los datos con estándares nacionales e internacionales.

3. Criterios para la selección de sitios de muestreo

La definición de los sitios se basa en criterios técnicos, ambientales y operativos que aseguren la representatividad de las condiciones del río Putumayo y la viabilidad logística del muestreo. Los principales criterios considerados son los siguientes:

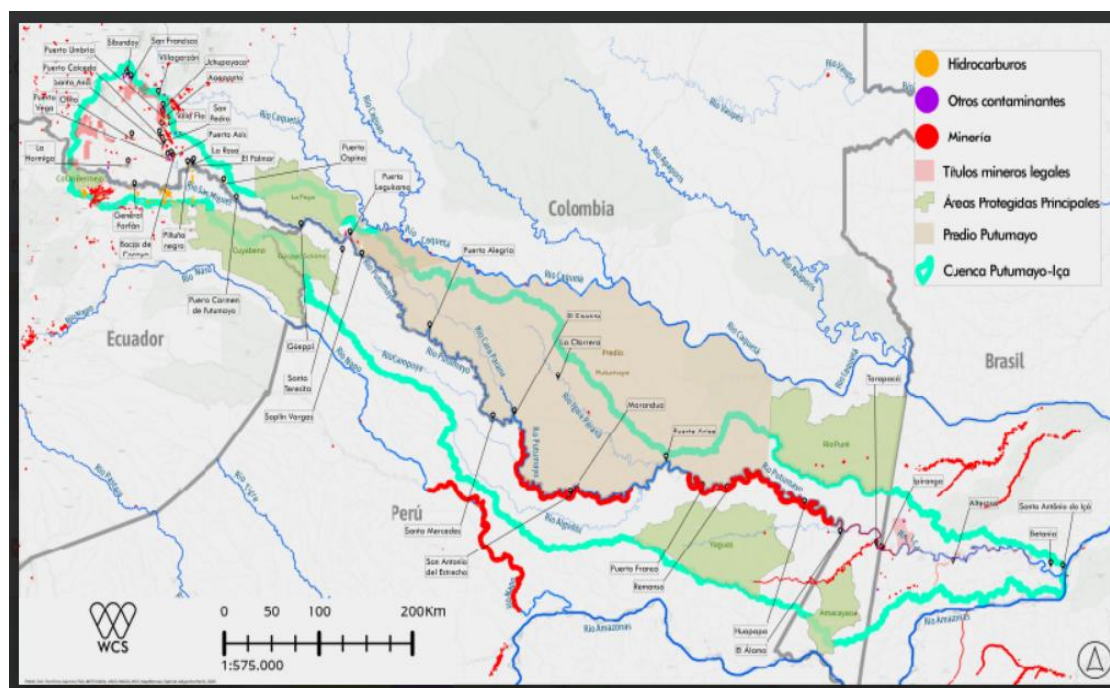
1. Presencia o cercanía de actividades potencialmente contaminantes: por ejemplo zonas reportadas recientemente con minería aurífera aluvial.
2. Representatividad espacial: inclusión de puntos en el cauce principal y en afluentes significativos, abarcando gradientes aguas arriba-aguas abajo.
3. Accesibilidad y seguridad: disponibilidad logística, condiciones de navegación y permanencia segura del equipo técnico.
4. Antecedentes de muestreos previos: priorización de sitios donde existan datos históricos o registros anteriores que faciliten la comparación temporal y la validación de resultados.
5. Capacidad técnica y logística local: selección de sitios donde sea factible ejecutar campañas de muestreo de manera segura y recurrente, considerando la disponibilidad de embarcaciones, equipos, personal capacitado y apoyo institucional o comunitario.

4. Identificación de sitios de muestreo

4.1. Antecedentes

A continuación, se presentan algunos antecedentes recientes de proyectos relacionados con monitoreo de la calidad del agua en la cuenca del Putumayo y que sirven de apoyo para la decisión sobre la ubicación estratégica de los sitios de muestreo. En el **Mapa 1** se identifican en rojo las zonas con actividades mineras en tres sectores del río Putumayo en el tramo peruano.

Mapa 1: Reporte de actividades mineras por WCS en la cuenca del río Putumayo-Içá.

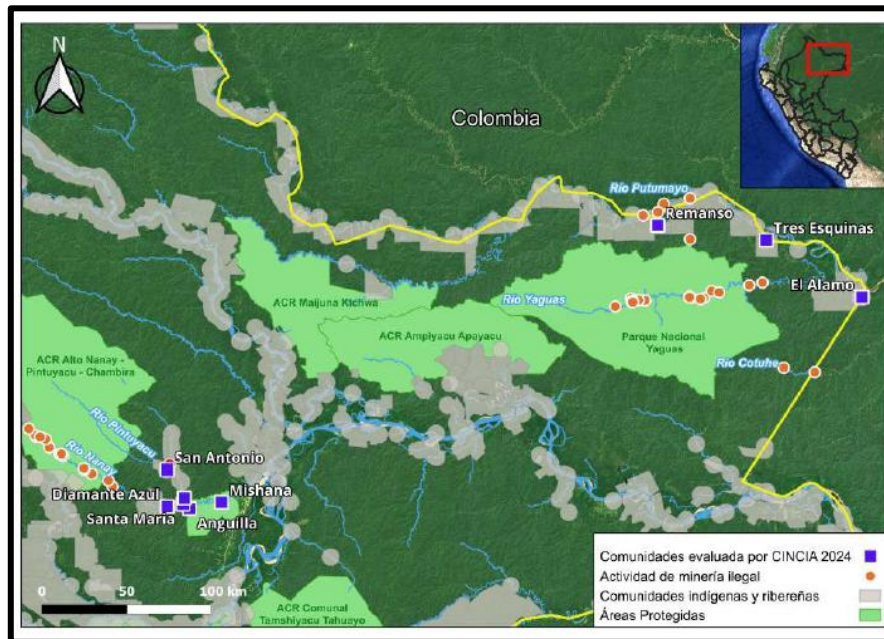


Sobresalen tres sectores:

- 1) Cerca de Puerto Leguizamo (Colombia) y Soplin Vargas (Perú).
- 2) Tramo aguas arriba y aguas abajo de San Antonio del Estrecho, entre Nuevo San Juan y Siete de Agosto.
- 3) Tramo entre Bufe y Primavera, cerca de el Álamo.

También ha habido reportes de actividad minera a lo largo del río Yaguas, el cual desemboca cerca de el Álamo (**Mapa 2**).

Mapa 2: Reporte de actividades mineras entre 2015 y 2024 con las comunidades muestreadas recientemente por CINCIA para mediciones de mercurio en sedimentos, peces y personas.

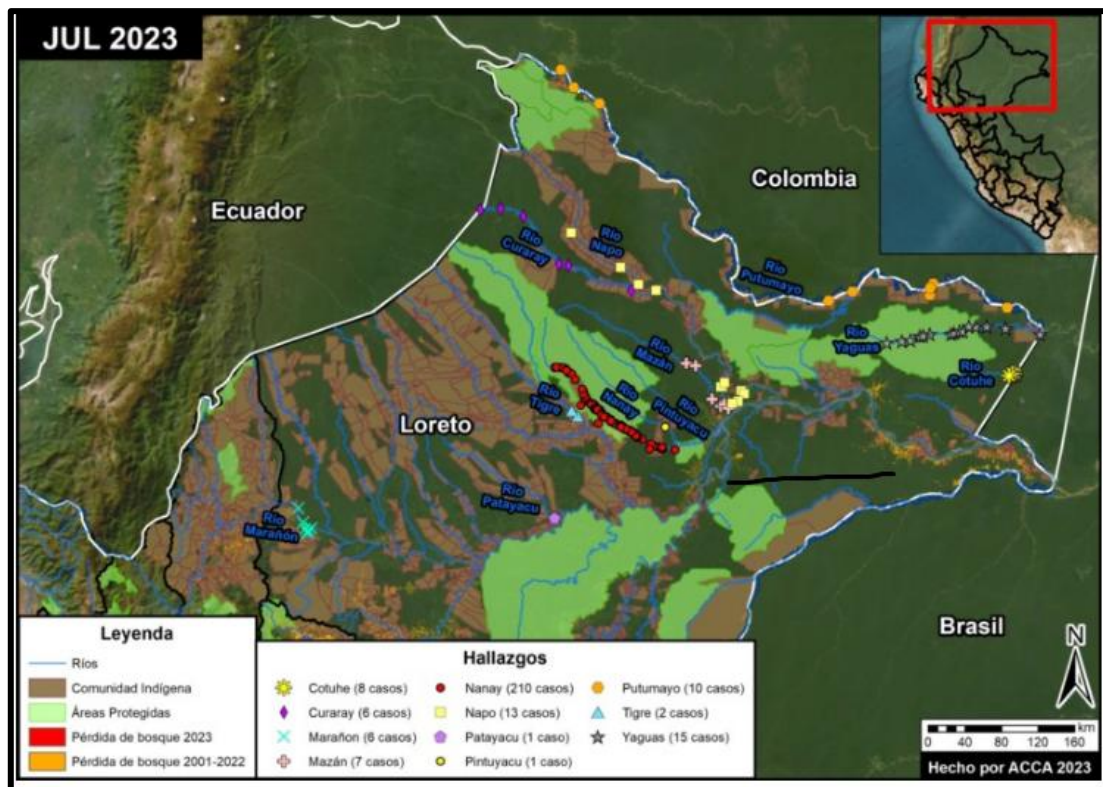


Las zonas con minería destacadas en este mapa son:

- 1) Cinco casos de actividad minera en cercanías de la localidad de Remanso, cuatro de las cuales sobre el cauce del río Putumayo.
- 2) Doce casos en el río Yaguas, afluente del río Putumayo y dentro del Parque Nacional Yaguas.
- 3) Dos casos en el río Cotupe, otro afluente del río Putumayo que se dirige hacia Colombia.

Igualmente, hay registros de actividad minera en 2023 a lo largo de otros ríos de la región Loreto (**Mapa 3**).

Mapa 3: mapa de julio del 2023 en el que se muestran las ubicaciones de hallazgos previos de infraestructura para minería ilegal en Loreto, destacando cuatro zonas con actividad minera a lo largo del río Putumayo en su sección peruana.

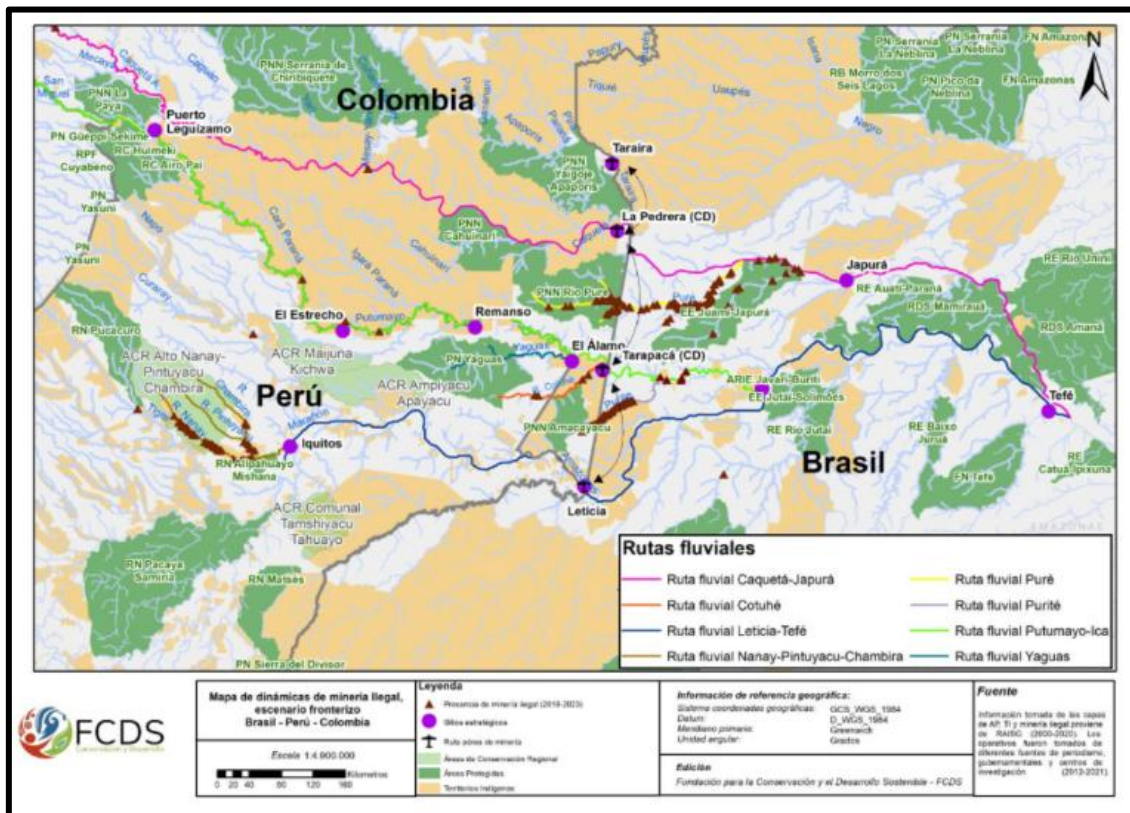


Las zonas destacadas en este mapa son:

- 1) Tres casos en cercanías de Puerto Leguizamo (Colombia), Soplín Vargas (Perú) y Puerto Veliz (Perú). Estas localizaciones se encuentran en el distrito Teniente Manuel Clavero.
- 2) Dos casos cerca de San Antonio del Estrecho, entre Puerto Milagros y Siete de Agosto, en el distrito Putumayo.
- 3) Tres casos en cercanías de Remanso, en el distrito Yaguas.
- 4) Un caso en Tres Esquinas, también en el distrito Yaguas.

También aparecen otros dos ríos con alta actividad minera que hacen parte de la cuenca del río Putumayo y que atraviesan el territorio peruano. Una de ellas es el río Yaguas, cuya desembocadura se encuentra cerca de El Álamo, con 15 casos de minería. La otra es en el río Cotuhe, con 8 casos antes de entrar en territorio colombiano (**Mapa 4**).

Mapa 4: Sitios estratégicos a lo largo de la cuenca del río Putumayo según FCDS.



Este antecedente muestra cuatro puntos de minería a lo largo del cauce principal del río Putumayo. Más específicamente en:

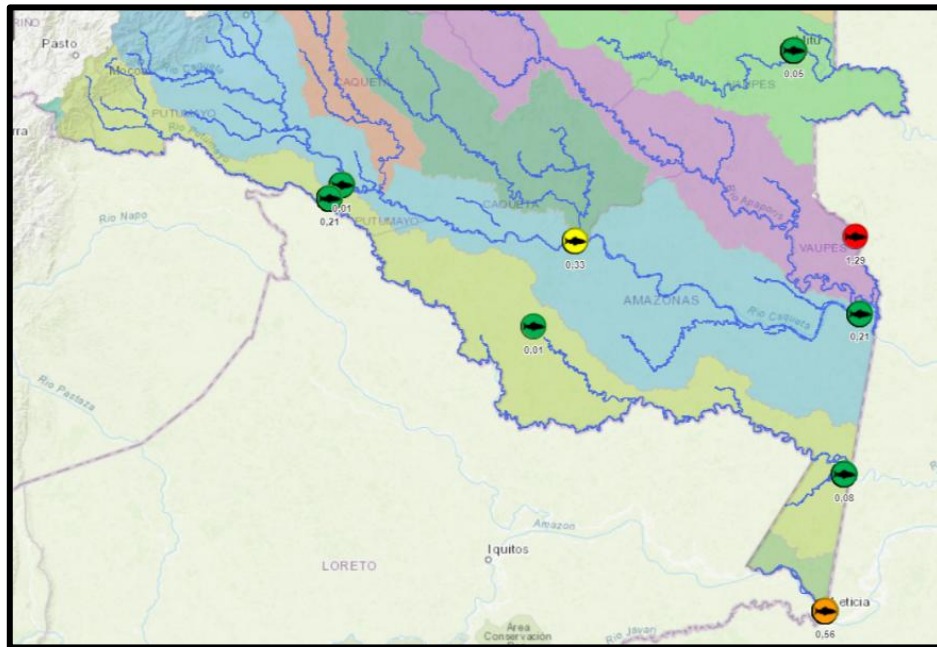
- 1) Puerto Leguizamo (Colombia), cerca de Soplín Vargas (Perú) en el distrito Teniente Manuel Clavero.
- 2) San Antonio del Estrecho en el distrito de Putumayo.
- 3) Remanso, en el distrito Yaguas.
- 4) El Álamo, en el distrito Yaguas

También se ha reportado actividad a lo largo del río Yaguas, afluente del Putumayo.

El **Mapa 5** muestra un antecedente de un punto de muestreo en estudios efectuados a lo largo de la frontera Colombia-Perú en Puerto Leguizamo (Colombia), cerca de Soplín Vargas (Perú).

<https://sinchi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e81f7df67fec43119dc2fbeb80a9d3e0>

Mapa 5: Visor sobre contaminación de mercurio total para peces de Sinchi.



El **Mapa 6** incluye los puntos de monitoreo que la Autoridad Local del Agua (ALA) de Iquitos ha incluido para medición de variables tales como nutrientes (fósforo y nitrógeno total), sólidos suspendidos totales, arsénico, cadmio, plomo, hidrocarburos totales de petróleo.

Mapa 6: Puntos de monitoreo de calidad del agua en la cuenca del Putumayo en Perú por la Autoridad Nacional del Agua (Fuente: ANA).



Por lo tanto, basados en esta información con antecedentes de actividades contaminantes (principalmente registros de minería aluvial) y de monitoreos anteriores, se plantean los siguientes sitios de muestreo a lo largo del río Putumayo en el sector peruano con un ponderador de criterios mencionados en la sección 3 de este documento y para cada criterio se menciona si su relevancia es alta, media o baja.

Población cercana o punto de referencia	Cercanía de registros recientes de minería	Accesibilidad	Antecedentes (muestreos previos)	Capacidad técnica de aliados
1. Soplín Vargas	Alta	Alta	Alta	Alta (Sinchi) y ALA Iquitos
2. San Antonio del Estrecho	Alta	Media	Baja	Alta (Sinchi) y ALA Iquitos
3. Remanso	Alta	Baja	Media	Alta (Cincia) y ALA Iquitos
4. El Álamo	Alta	Baja	Media	Alta (Cincia) y ALA Iquitos

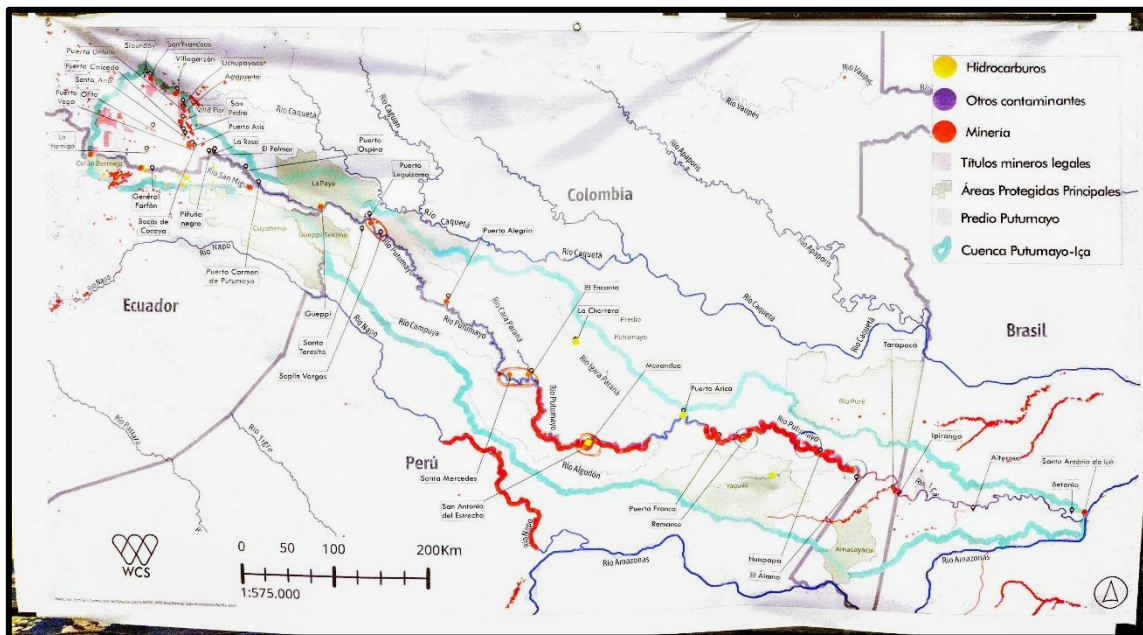
4.2. Taller de Monitoreo de Calidad de Agua y Elementos Contaminantes de Quito

En este taller, realizado entre el 26 y 28 de agosto de 2025 en Quito (Ecuador), equipos técnicos de Perú, Colombia, Ecuador y Brasil consensuaron objetivos, criterios y variables mínimas para el monitoreo en la cuenca del Putumayo–Içá. En ese espacio se ratificó que el monitoreo debe abordar simultáneamente la evaluación de la salud del ecosistema, la generación de alertas tempranas, la toma de decisiones sobre manejo territorial y la participación de las comunidades locales, en coherencia con los objetivos establecidos en este informe.

Los puntos propuestos por Perú (Soplín Vargas, San Antonio del Estrecho, Remanso, El Álamo y Tres Esquinas) fueron reconocidos como estratégicos dentro de los 21 sitios trinacionales considerados durante el taller (**Mapa 7**), en virtud de su representatividad ecológica, antecedentes disponibles y pertinencia para el análisis de mercurio y otros metales pesados. Asimismo, se acordó un conjunto común de variables fisicoquímicas, metales prioritarios (Hg, Pb, Cd, As) y bioindicadores (peces, macroinvertebrados, fitoplancton y zooplancton), lo cual respalda la inclusión del ICA, IRCA y los índices biológicos en este informe.

Finalmente, el taller destacó la importancia de implementar protocolos armonizados entre países, integrar monitoreo comunitario y garantizar la factibilidad logística y de seguridad en zonas con actividad minera. También se acordó reformular los indicadores de reducción de mercurio hacia medidas más realistas y operativas centradas en la mitigación de riesgos y el monitoreo progresivo. Estos lineamientos trinacionales refuerzan la validez técnica de las decisiones adoptadas en este informe y aseguran su alineación con los compromisos regionales y el Convenio de Minamata.

Mapa 7: Ubicación de los puntos propuestos para el monitoreo de la calidad del agua a lo largo del río Putumayo durante el taller en Quito.



En Perú se propusieron siete puntos estratégicos para efectuar el muestreo: 1) la zona de triple frontera (cerca de Gueppi), 2) Soplin Vargas, 3) Santa Mercedes, 4) San Antonio del Estrecho, 5) Remanso, 6) El Álamo y 7) Tres Esquinas. Se mencionó al Parque Nacional Yaguas como posible punto de referencia sin contaminación. Sin embargo, este último punto es debatible ya que hay reportes de fuerte actividad minera dentro de esa zona protegida.

4.3. Puntos de muestreo sugeridos

Con los antecedentes previamente descritos e integrando las discusiones durante el taller en Quito, se proponen cuatro puntos de muestreo con los que se lograría abarcar puntos estratégicos de la cuenca del río Putumayo en el sector peruano (**Mapa 8**).

Punto 1) Entre Puerto Leguizamo (Colombia) y Soplin Vargas (Perú). Estas son dos poblaciones ubicadas en la parte baja de la zona conocida como Alto Putumayo-Içá. Es un punto conocido por sufrir una alta prevalencia de actividades mineras y además sirve como punto de monitoreo de los impactos de las actividades que ocurren algunos cientos de kilómetros aguas arriba en territorios colombiano y ecuatoriano. Existen también antecedentes de monitoreos previos de más de una década de los niveles de mercurio en peces. La trayectoria y presencia del instituto Sinchi (Colombia) garantiza la aplicabilidad de protocolos de muestreo estandarizados y la obtención de resultados robustos y fiables.

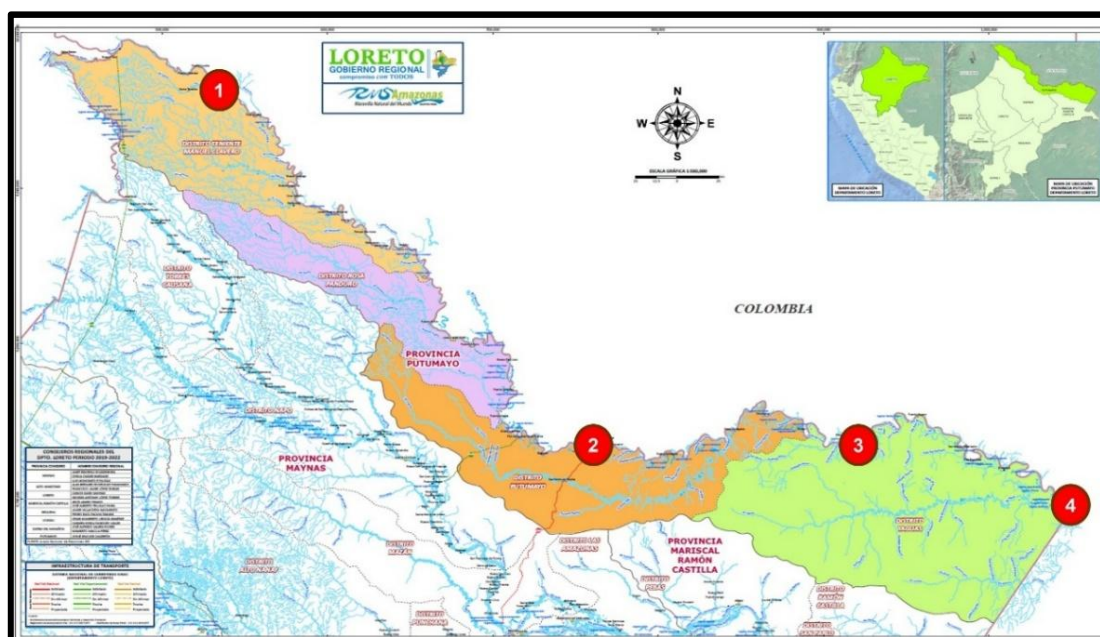
Punto 2) En San Antonio del Estrecho. Ubicada en medio de la zona conocida como la parte baja de la zona conocida como Medio Putumayo-Içá. También es un punto con numerosas actividades mineras recientes. No existen datos de monitoreos previos de mercurio. Igualmente, la accesibilidad a esta zona es reducida.

Punto 3) En la comunidad de El Remanso. También ubicada en la zona conocida como Medio Putumayo-Içá. Igualmente es un punto con numerosas actividades mineras recientes. Existen ya

algunos datos de monitoreos muy recientes de mercurio. Sin embargo, la accesibilidad a esta zona es muy reducida. La experiencia del Centro de Investigación CINCIA (Perú) garantiza la aplicabilidad de protocolos de muestreo estandarizados y la obtención de resultados robustos y fiables.

Punto 4) En El Álamo. Es la última localidad en territorio peruano antes de que el río ingrese al trapezio amazónico colombiano. Es un punto estratégico pues allí desemboca el río Yaguas, el cual presenta gran actividad minera reciente. Existen algunos datos de monitoreos muy recientes de mercurio. La accesibilidad a esta zona es muy reducida. La experiencia del Centro de Investigación CINCIA (Perú) garantiza la aplicabilidad de protocolos de muestreo estandarizados y la obtención de resultados robustos y fiables.

Mapa 8: Ubicación de los cuatro puntos propuestos para el monitoreo de la calidad del agua a lo largo del río Putumayo en el tramo peruano. 1) Soplín Vargas, 2) San Antonio del Estrecho, 3) Comunidad el Remanso, 4) El Álamo.



5. Protocolos de muestreo

Basado en la literatura e información reciente disponible, se recomienda seguir los protocolos y metodologías ya usadas por los aliados Sinchi (Colombia) y Cincia (Perú) para muestras de tejidos de biota (peces) y en humanos, ambos basados en las guías de monitoreo del convenio de Minamata de 2021. El taller de Quito también dejó algunas enseñanzas a tener en cuenta a la hora de monitorear los diferentes parámetros de la calidad del agua.

https://minamataconvention.org/sites/default/files/documents/information_document/4_INF12_MonitoringGuidance.English.pdf

Cabe mencionar que la detección de mercurio en agua superficial y en sedimentos presenta importantes limitaciones técnicas y analíticas, ya que las concentraciones suelen encontrarse en niveles extremadamente bajos y son altamente variables en el tiempo y el espacio. Además, el

mercurio disuelto puede adsorberse rápidamente a partículas finas o materia orgánica, lo que dificulta su cuantificación representativa en el agua. Por estas razones, y considerando las condiciones logísticas y de infraestructura disponibles, no se recomienda realizar mediciones directas de mercurio en agua en esta fase del estudio, priorizándose en su lugar el análisis de biota y humanos, que ofrecen indicadores más estables y confiables de la presencia y acumulación de este contaminante.

El Convenio de Minamata sobre el Mercurio (ONU, 2013) es el tratado internacional que busca proteger la salud humana y el ambiente frente a las emisiones y liberaciones de mercurio y sus compuestos. Su Guía de Monitoreo (Minamata Convention, 2021) establece un marco metodológico para la recolección, análisis e interpretación de datos ambientales y biológicos, garantizando la comparabilidad entre países y la generación de líneas base globales.

El objetivo del protocolo es evaluar la efectividad del Convenio mediante un sistema armonizado de monitoreo de mercurio total (THg) y metilmercurio (MeHg) en diferentes matrices ambientales (aire, agua, suelo, biota y humanos), considerando la variabilidad geográfica y las capacidades técnicas nacionales.

El protocolo se organiza por niveles o “tiers” (Tier 1 a Tier 3) que indican el grado de complejidad y exactitud de los programas de monitoreo. El **Tier 1** es un monitoreo básico con métodos estandarizados con enfoque en mercurio total (THg). Permite establecer líneas base y evaluar exposición humana mediante cabello, sangre o peces. Se aplica en países o regiones en fases iniciales de monitoreo. El **Tier 2** es un monitoreo intermedio. Incluye análisis de MeHg, caracterización ambiental más detallada y control de calidad entre laboratorios. Se recomienda aplicarlo en programas nacionales o regionales consolidados. El **Tier 3** es para un monitoreo avanzado. Para evaluación de rutas de exposición, modelamiento de transporte atmosférico y ciclo biogeoquímico del Hg. Se utiliza en redes internacionales de referencia.

El segundo día del taller trinacional en Quito estuvo dedicado a la co-creación de los protocolos de muestreo, profundizando en los criterios técnicos necesarios para un monitoreo armonizado en la cuenca Putumayo–Içá. Las intervenciones de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) de Perú, del Instituto SINCHI (Colombia) y de CINCIA (Perú) permitieron contrastar y complementar metodologías ya implementadas en la región. Se discutieron protocolos oficiales para la recolección de agua, sedimentos, suelos y biota, la importancia del control de calidad, y el uso de equipos especializados como sondas multiparamétricas, correntómetros, DMA-80, ICP-MS y sensores portátiles. También se resaltó la necesidad de estandarizar el manejo de materiales, la calibración instrumental y las condiciones de preservación de muestras para asegurar comparabilidad trinacional.

Durante esta jornada se definieron con mayor precisión los componentes mínimos del monitoreo, incluyendo parámetros fisicoquímicos, metales pesados prioritarios (Hg, Pb, Cd, As), indicadores biológicos (peces, macroinvertebrados, fitoplancton y zooplancton) y variables hidrodinámicas. Se acordó además que el monitoreo debe realizarse en cuatro momentos hidrológicos (creciente, vaciante y transiciones), siguiendo esquemas operativos coordinados entre instituciones y con participación comunitaria. Finalmente, se consolidaron lineamientos sobre logística, seguridad, formación de monitores locales e integración de tecnologías de bajo costo, fortaleciendo un protocolo de muestreo común que orienta directamente las recomendaciones metodológicas de este informe.

5.1. Mercurio en biota

El capítulo 4 de la guía de monitoreo del protocolo de Minamata presenta los detalles de la metodología que debe adoptarse para el monitoreo de mercurio en la biota, específicamente en peces. A continuación, se presenta un resumen de la metodología sugerida.

Para muestras de mercurio en biota en el río Putumayo se sugiere seguir las siguientes pautas del Tier 1:

- **Mediciones:** Se analiza el mercurio total en tejidos de músculo de peces. Se priorizan especies de nivel trófico 3 y 4 con dietas consistentes.
- **Metadatos y mediciones auxiliares:** Incluyen ubicación geográfica, características de las especies (nombre, longitud, peso, edad, sexo, etapa de madurez), tipo de tejido, ecología alimentaria y descripción del hábitat.
- **Ubicación:** Se seleccionan sitios fijos, mezclando áreas de fondo (sin impacto antropogénico) y áreas impactadas localmente. Se recomienda clasificar los sitios según características del ecosistema y fuentes de mercurio.
- **Frecuencia:** Muestreo anual en los mismos sitios y durante la misma temporada.
- **Contribución:** Establecimiento de líneas base, identificación de tendencias temporales y estimación inicial de exposición y efectos adversos.

Este enfoque escalonado permite a los países y organizaciones adaptar sus programas de monitoreo según sus recursos y necesidades, contribuyendo al objetivo de evaluar la efectividad del Convenio de Minamata.

En cuanto a los niveles de referencia de mercurio para peces, se considera que niveles superiores a 0,5 mg/kg en peces destinados al consumo humano representan riesgo para la salud, especialmente para niños y mujeres gestantes. En peces carnívoros, la bioacumulación natural puede superar 1,0 mg/kg, por lo que es fundamental diferenciar especies al momento del monitoreo y evaluación de riesgo.

5.2. Mercurio en humanos

El capítulo 5 del protocolo de Minamata presenta detalles de la metodología que debe adoptarse para el monitoreo de mercurio en humanos. A continuación, se presenta un resumen de la metodología sugerida.

Para muestras de mercurio en humanos en el Putumayo se sugiere seguir las pautas del Tier 1 siguientes:

- **Biomarcadores:** Se mide el mercurio total (THg) en sangre, orina o cabello, dependiendo de la población muestreada. Estos biomarcadores son los más aceptados y utilizados para evaluar la exposición al mercurio.
- **Metadatos y mediciones auxiliares:** Incluyen características de la población (tipo, tamaño, edad, sexo, ubicación, nivel socioeconómico, amalgamas dentales), datos analíticos (precisión, límites de detección, uso de materiales de referencia) y encuestas sobre dieta, ocupación y demografía.

- **Ubicación:** Se priorizan subpoblaciones vulnerables, como mujeres embarazadas, comunidades cercanas a actividades de minería artesanal y de pequeña escala (ASGM), consumidores de pescado y poblaciones expuestas a productos que contienen mercurio.
- **Frecuencia:** Muestreo cada 2-5 años en la misma población, considerando posibles variaciones estacionales en la exposición.
- **Contribución:** Establecimiento de líneas base, identificación de tendencias temporales y patrones espaciales, y estimación inicial de exposición y efectos adversos.

En humanos, el mercurio se evalúa comúnmente en muestras de cabello, porque este tejido acumula el metal de manera estable y refleja la exposición crónica a metilmercurio a través del consumo de pescado contaminado. En cabello humano, los valores entre 1 y 2 mg/kg se consideran dentro del rango normal o de fondo. Valores entre 2 y 5 mg/kg reflejan exposición elevada, aunque sin efectos clínicos inmediatos. Valores mayores a 5 mg/kg indican riesgo para la salud, especialmente para mujeres embarazadas, lactantes y niños, debido al potencial daño neurológico fetal. Niveles superiores a 10 mg/kg son típicos de poblaciones expuestas crónicamente por consumo frecuente de peces carnívoros contaminados.

5.3. Otros metales pesados

Además del mercurio, resulta pertinente incluir en el monitoreo a otros metales pesados de alta relevancia sanitaria y ambiental, particularmente plomo (Pb) y cadmio (Cd), debido a su toxicidad, persistencia y potencial asociación con actividades mineras y procesos erosivos en la cuenca. A diferencia del mercurio, cuyas concentraciones en agua son altamente variables y difíciles de detectar, el Pb y el Cd pueden evaluarse de forma más estable en matrices como sedimentos, agua superficial, peces y muestras humanas, lo que permite caracterizar tanto la presencia ambiental como la exposición de las poblaciones ribereñas.

El muestreo de agua superficial para Pb y Cd puede realizarse en paralelo al monitoreo físicoquímico del ICA, recolectando las muestras en frascos de polietileno previamente acidificados y conservados en frío para su posterior análisis mediante técnicas de alta sensibilidad como ICP-MS o espectrometría de absorción atómica. Para sedimentos, que actúan como depósitos de contaminación histórica y zonas de acumulación de partículas finas, se recomienda colectar la capa superficial con dispositivos no metálicos, preservar el material en contenedores plásticos limpios y procesarlo en laboratorio mediante digestión ácida controlada, con especial atención a la minimización de contaminación cruzada.

El análisis en biota acuática, especialmente en peces ya incluidos en el protocolo de mercurio, ofrece información complementaria sobre bioacumulación. En el caso del cadmio, el hígado y el riñón suelen ser tejidos sensibles, mientras que el plomo puede detectarse tanto en músculo como en estructuras calcificadas. El muestreo en poblaciones humanas también puede integrarse en campañas sanitarias, priorizando la medición de plomo en sangre y cadmio en orina como indicadores de exposición reciente y crónica, respectivamente.

La incorporación de Pb y Cd en el programa de monitoreo permite ampliar la comprensión del panorama de contaminación en la cuenca y alinear el esfuerzo trinacional con las recomendaciones emanadas de experiencias previas en Perú, Colombia y Ecuador. De esta manera, el análisis de estos metales pesados se integra de forma natural a los sitios y protocolos definidos en este informe, fortaleciendo la interpretación ambiental y sanitaria de los resultados en el marco de la gestión integral del recurso hídrico en el Putumayo-Içá.

5.4. Índices de calidad de agua

La evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Putumayo puede complementarse mediante índices integradores que permiten comparar y comunicar de manera estandarizada el estado ambiental del recurso. Entre los más utilizados se encuentran el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), ambos aplicables al contexto amazónico y a la vigilancia sanitaria del recurso hídrico.

Índice de Calidad del Agua (ICA)

El ICA resume en un solo valor numérico la información proveniente de parámetros fisicoquímicos, biológicos y, en algunos casos, tóxicos, con el fin de determinar si un cuerpo de agua superficial mantiene condiciones adecuadas para diferentes usos (consumo, recreación, preservación de vida acuática, entre otros). En Perú, este índice se apoya en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Agua) definidos en el D.S. N.º 004-2017-MINAM, que establecen límites máximos permisibles para sustancias como el mercurio (0.002 mg/L para categoría 1: aguas de consumo humano). Cuando las concentraciones de mercurio superan este valor, el subíndice de toxicidad reduce significativamente el ICA, clasificando el agua como de “mala calidad” (< 50 puntos), lo que refleja una pérdida de aptitud ambiental y ecológica.

Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA)

El IRCA, desarrollado por el Instituto Nacional de Salud (INS) de Colombia y adoptado como referencia por varios países de la región, cuantifica el riesgo sanitario asociado al consumo de agua. Integra parámetros microbiológicos (coliformes, *E. coli*), fisicoquímicos y tóxicos (metales pesados como mercurio, plomo, arsénico y cadmio). Su cálculo considera la frecuencia y magnitud de los incumplimientos frente a los límites permisibles establecidos por la OMS y por la Norma Peruana de Calidad de Agua Potable (D.S. N.º 031-2010-SA). Cuando el valor de Hg total excede 0.001 mg/L, el IRCA clasifica el agua como “no apta” o “inviabile sanitariamente”, con un nivel de riesgo alto (> 80 %).

Implicancias para el monitoreo del Putumayo

Si bien en esta fase del estudio no se recomienda medir directamente mercurio en agua por sus bajas concentraciones y alta variabilidad, los resultados que se obtengan en biota y humanos podrán, en etapas posteriores, vincularse a estos índices. De esta forma, se podrá interpretar de manera integrada el riesgo ecológico (ICA) y el riesgo sanitario (IRCA), fortaleciendo el marco de gestión ambiental y de salud pública en la cuenca.

5.5. Índices biológicos de calidad del agua (microorganismos, bentos y macroinvertebrados)

Además de los índices fisicoquímicos y sanitarios, la evaluación integral de la calidad del agua en ecosistemas amazónicos debe incorporar bioindicadores, ya que reflejan la respuesta ecológica de los organismos a la contaminación, incluyendo la exposición crónica al mercurio y otros metales pesados. Los índices biológicos complementan el diagnóstico químico, aportando una visión más completa del estado de los cuerpos de agua.

Índices microbiológicos

Los análisis microbiológicos miden la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal o patógena. Los más usados son los Coliformes totales y fecales / *E. coli*: indicadores clásicos de contaminación de origen antrópico. Valores de referencia según el ECA-

Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM): ausencia de *E. coli* en 100 mL para aguas de categoría 1 (consumo humano). Aunque no detectan directamente la contaminación por metales, los patrones de presencia de bacterias heterótrofas y reductoras de sulfato son útiles para identificar condiciones de anaerobiosis favorables a la metilación del mercurio, proceso que aumenta su toxicidad y biodisponibilidad. El seguimiento microbiológico, por tanto, ayuda a contextualizar el riesgo de transformación biogeoquímica del mercurio en tramos con alta carga orgánica o eutrofización.

Índices de macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos son organismos acuáticos (larvas de insectos, moluscos, crustáceos, anélidos) que habitan en el fondo de los ríos y responden de manera sensible a cambios en la calidad del agua. Los índices más utilizados en Perú y la región amazónica son:

BMWP (Biological Monitoring Working Party) y su adaptación tropical BMWP/Col o BMWP/PER: asignan puntajes de sensibilidad a familias de macroinvertebrados; valores altos indican aguas limpias y bajos valores señalan contaminación orgánica o tóxica. La escala de interpretación para (BMWP/PER) es: 120: agua muy limpia; 81–120: buena; 41–80: regular; 16–40: mala; <15: muy mala.

IBMWP o ASPT (Average Score Per Taxon): media de los puntajes de sensibilidad, permite comparar entre sitios con diferente riqueza. Una exposición prolongada a metales pesados, incluido el Hg, provoca disminución de la riqueza de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) y proliferación de táxones tolerantes como Chironomidae, Oligochaeta o Nematoda. Estos patrones pueden emplearse como evidencia indirecta de contaminación por mercurio, especialmente en zonas donde no se mida Hg disuelto.

Índices de comunidades bentónicas (biofilm, perifiton, fitobentos)

En tramos amazónicos de baja corriente, los bentos microbianos y algales también son buenos indicadores de calidad del agua. Se pueden analizar variables como biomasa de clorofila-a, riqueza de diatomeas, densidad de cianobacterias y presencia de especies indicadoras. Los índices más usados son el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) y el Índice de Diatomeas Andino-Amazónico (IDA), que evalúan la composición de diatomeas sensibles a contaminación orgánica y metálica. En sistemas amazónicos, ciertas especies del género *Achnanthes*, *Navicula* y *Gomphonema* se asocian con aguas enriquecidas en metales, incluyendo mercurio. El monitoreo del biofilm y fitobentos complementa el análisis trófico y permite detectar efectos tempranos de contaminación que aún no se manifiestan en niveles tróficos superiores.

Integración con los demás índices

La integración de indicadores fisicoquímicos (ICA), sanitarios (IRCA) y biológicos proporciona un diagnóstico más robusto del estado ecológico de la cuenca. En futuras fases del monitoreo del río Putumayo, la aplicación de estos índices biológicos permitirá detectar gradientes espaciales de contaminación; evaluar la recuperación ecológica en sitios con reducción de actividades mineras; correlacionar la estructura de comunidades acuáticas con niveles de Hg en biota, fortaleciendo la interpretación ambiental de los resultados.

Integración del monitoreo realizado por el ALA Iquitos

El diseño del presente programa de monitoreo puede fortalecerse incorporando la experiencia y capacidades existentes en el Área de Administración Local del Agua (ALA) Iquitos, que cuenta

con una red activa de vigilancia de la calidad del agua en ríos amazónicos. El ALA aplica protocolos oficiales del MINAM y la ANA, e incluye un conjunto de variables que complementan de manera directa las mediciones propuestas en este informe. Entre ellas destacan los nutrientes (fósforo total y nitrógeno total), los sólidos suspendidos totales, y un paquete de metales pesados que comprende arsénico, cadmio y plomo. Asimismo, el ALA monitorea hidrocarburos totales de petróleo (TPH), un contaminante de interés creciente en zonas cercanas a trazas de actividad extractiva o transporte fluvial. La inclusión de estas variables permite ampliar la caracterización fisicoquímica de los cuerpos de agua del Putumayo, ya que los nutrientes son indicadores clave de procesos de eutrofización y productividad, mientras que los sólidos suspendidos reflejan la dinámica sedimentaria, erosión y posibles aportes provenientes de actividades antrópicas. La medición de As, Cd y Pb se alinea directamente con la ampliación del monitoreo de metales recomendada por los talleres trinacionales y por las instituciones científicas de la región, permitiendo evaluar tanto la contaminación puntual asociada a minería como los aportes difusos en tramos fluviales de alta variabilidad. Por su parte, los hidrocarburos totales de petróleo constituyen un parámetro crítico para las zonas de transporte y tránsito de embarcaciones, y su incorporación favorece una evaluación más integral del riesgo ambiental.

Integrar estas variables dentro del programa del Putumayo no solo armoniza el sistema peruano con los lineamientos nacionales, sino que también facilita la comparabilidad con los monitoreos históricos del ALA Iquitos. Además, fortalece la construcción de una línea base robusta y coherente con la realidad amazónica, incorporando parámetros que permiten interpretar mejor los procesos físico-químicos y las posibles fuentes de contaminación que interactúan con la presencia de mercurio y otros metales pesados. En conjunto, este acercamiento promueve una articulación institucional efectiva y contribuye a un monitoreo más completo, compatible con las exigencias del Convenio de Minamata, la Red de Calidad de Agua Amazónica y los acuerdos trinacionales alcanzados para la cuenca Putumayo-Içá.

5.6. Articulación espacial de los índices de calidad y los sitios de muestreo de mercurio

No todos los índices de calidad del agua deben monitorearse necesariamente en los mismos puntos donde se realizan las mediciones de mercurio, aunque existe una complementariedad estratégica entre ambos tipos de monitoreo. El diseño óptimo de la red de observación debe balancear la representatividad ambiental, la factibilidad logística y los objetivos específicos de cada indicador.

Coincidencia recomendada entre sitios de mercurio y calidad del agua

Los sitios seleccionados para muestreo de mercurio en biota y humanos (Soplín Vargas, San Antonio del Estrecho, Remanso y El Álamo) constituyen puntos estratégicos para establecer líneas base de contaminación por metales. En dichos sitios, sí se recomienda integrar los siguientes componentes:

- ICA (Índice de Calidad del Agua): permite caracterizar la calidad general del cuerpo de agua y registrar variaciones físico-químicas que influyen en la movilidad del Hg.
- IRCA (Índice de Riesgo Sanitario): relevante cuando las fuentes de abastecimiento local provienen directamente del río o afluentes cercanos, permitiendo estimar el riesgo de exposición humana.
- Bioindicadores (macroinvertebrados, bentos y microorganismos): su inclusión en al menos dos de los cuatro sitios (uno aguas arriba y otro aguas abajo de las zonas con minería aurífera) proporciona evidencia ecológica del impacto del Hg y de otros contaminantes asociados.

De esta manera, los sitios de Soplín Vargas y El Álamo son particularmente adecuados para implementar el conjunto completo de indicadores, por su representatividad de condiciones contrastantes (aguas menos impactadas versus zonas receptoras de aportes mineros).

Sitios complementarios para índices biológicos

Los índices de macroinvertebrados bentónicos y de diatomeas requieren características de hábitat específicas (fondos duros, zonas con corriente estable y poca profundidad). Por ello, se recomienda establecer micro-sitios biológicos cercanos (a menos de 1 km) a los puntos de muestreo de mercurio, seleccionados según accesibilidad y condiciones hidráulicas adecuadas. Estos sitios biológicos servirán como estaciones de referencia ecológica, vinculadas pero no necesariamente coincidentes con las estaciones químicas o de biota humana.

Frecuencia y compatibilidad temporal

Aunque los parámetros de mercurio en biota y humanos suelen monitorearse con baja frecuencia (anual o bianual), los índices ICA, IRCA y biológicos pueden medirse con mayor periodicidad (trimestral o semestral). Se recomienda sincronizar al menos una campaña integral anual en la que se realicen todas las mediciones simultáneamente para garantizar la comparabilidad entre matrices y fortalecer el análisis multivariado posterior.

Enfoque integrado de gestión

La integración espacial y temporal de estos índices permitirá construir un sistema de información ambiental y sanitaria unificado para la cuenca del Putumayo-Içá, donde los resultados de mercurio se interpreten en relación con: las condiciones fisicoquímicas (ICA), el riesgo sanitario para las comunidades ribereñas (IRCA), y la respuesta ecológica de los ecosistemas acuáticos (índices biológicos).

En conjunto, este enfoque contribuirá a un monitoreo más costo-efectivo, coherente y compatible con los lineamientos del Convenio de Minamata y las políticas nacionales de gestión integrada del recurso hídrico.

6. Conclusión

El presente informe establece un marco técnico sólido para el monitoreo integrado de mercurio y calidad de agua en el tramo peruano del río Putumayo-Içá, articulando información ambiental reciente, criterios de selección espacial y protocolos basados en estándares internacionales. La identificación de cuatro sitios estratégicos: Soplín Vargas, San Antonio del Estrecho, Remanso y El Álamo, permite capturar los principales gradientes de presión minera y las condiciones hidrológicas relevantes, garantizando al mismo tiempo la viabilidad logística y la posibilidad de comparar los resultados con monitoreos previos y esfuerzos trinacionales.

La adopción de metodologías alineadas con el Convenio de Minamata, los aportes del Taller de Quito y la experiencia acumulada por el SINCHI, CINCIA, ANA y el ALA Iquitos fortalece la consistencia técnica del programa de muestreo. La integración de análisis en biota, humanos, sedimentos y agua, junto con los índices ICA, IRCA y bioindicadores bentónicos y microbianos, permite abordar de manera amplia la caracterización del riesgo ambiental y sanitario. Este enfoque integral reconoce las limitaciones analíticas del mercurio en agua, priorizando matrices más robustas y complementándolas con parámetros fisicoquímicos y biológicos relevantes.

En conjunto, el informe proporciona los elementos esenciales para avanzar hacia un monitoreo sistemático, coordinado y comparable en toda la cuenca Putumayo-Içá. Su implementación contribuirá a mejorar la comprensión de los impactos de la actividad minera, fortalecer la respuesta institucional y comunitaria, y cumplir con los compromisos asumidos por el Perú en el marco del Convenio de Minamata, promoviendo la protección de los ecosistemas amazónicos y la salud de las poblaciones ribereñas.

Actualización sobre visita a campo en enero de 2026

La visita a campo realizada en Iquitos y San Antonio del Estrecho entre el 18 y 25 de enero de 2026 permitió contrastar los supuestos logísticos e institucionales del diseño de muestreo con las condiciones reales de implementación en territorio. En Iquitos se sostuvo coordinación con la Autoridad Nacional del Agua, confirmándose la ejecución de un monitoreo reciente del río Putumayo en diciembre de 2025, actualmente en proceso de consolidación y publicación, lo que refuerza la necesidad de programar campañas complementarias sin duplicar esfuerzos y con coordinación interinstitucional. Asimismo, se identificaron restricciones operativas que afectan continuidad y comparabilidad del monitoreo (disponibilidad y costos de embarcación en Putumayo, limitaciones de equipamiento, tiempos de transporte de muestras y cobertura simultánea de múltiples unidades hidrográficas), elementos que deben considerarse explícitamente en la selección final de micro-sitios y en la planificación de campañas. En San Antonio del Estrecho, la articulación con actores locales evidenció la disponibilidad de infraestructura territorial para apoyo logístico, socialización, convocatoria y coordinación local, potencialmente útil para el despliegue de actividades y la comunicación de resultados.