

**LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE  
(MINAM)**

**INFORME N° 00104-2022-MINAM/VMGA/DGCA**

**Servicio de Consultoría para la elaboración de los Planes de Rehabilitación de 7  
Sitios Impactados por las actividades de hidrocarburos en la cuenca del Río  
Pastaza**

**Levantamiento de Observaciones Subsistentes Sitio S0103 (Botadero km. 7)**

**PREPARADO PARA**

**FONDO DE PROMOCIÓN DE LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL PERÚ**

**ELABORADO POR**

**CONSORCIO ECODES INGENIERIA – VARICHEM DE COLOMBIA**



**OCTUBRE, 2022**



**LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE  
(MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7),  
CUENCA PASTAZA**

***OCTUBRE, 2022***

**TABLA DE CONTENIDOS**

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES.....	4
2.1. Observación N° 7 .....	4
2.2. Observación N° 8 .....	7



**LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE  
(MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7),  
CUENCA PASTAZA**

**OCTUBRE, 2022**

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. (Tabla 5-59) Parámetros y Frecuencia de Monitoreo en Aguas Superficiales .....	5
Tabla 2. Estaciones de Monitoreo de Agua Superficial .....	6
Tabla 3. Estaciones de Muestreo Monitoreo Post ejecución de obra Agua Superficial .....	7
Tabla 4. Rango Aplicación de Bio-met con base a los BLM Completos .....	10
Tabla 5. Concentración de Metales Totales Disueltos para cuatro muestras realizadas en cuerpos de agua de Ushpayacu por OEFA.....	12
Tabla 6. Concentración de calcio total y calcio disuelto en muestras realizadas en cuerpos de agua de Ushpayacu por OEFA. ....	12
Tabla 7. Concentración de metales totales de Ca, Cu, Ni, Pb y Zn. ....	14
Tabla 8. Concentración de Carbono Orgánico Disuelto y Composición de Ácidos húmicos y fúlvicos en aguas de ríos de la Amazonía de Brasil.....	15

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1-1. Concentración de Ca disuelto en función del Ca total .....	13
--	----

**LISTA DE ANEXOS**

Anexo MINAM Observación N° 7	
------------------------------	--



**LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE  
(MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7),  
CUENCA PASTAZA**

**OCTUBRE, 2022**

**Levantamiento de Observaciones al Expediente “Servicio de Consultoría para la elaboración de los Planes de Rehabilitación de 07 Sitios Impactados por las actividades de hidrocarburos en la cuenca del Río Pastaza”.**

**INFORME N° 00104-2022-MINAM/VMGA/DGCA**

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente informe corresponde al levantamiento de observaciones remitida por el Oficio N° 00327-2022-MINAM/VMGA/DGCA - Informe N° 00104-2022-MINAM/VMGA/DGCA, el cual contiene observaciones relacionadas al Plan de Rehabilitación del Sitio S0103 (Botadero km 7), Sitio Impactado por actividades de hidrocarburos de la cuenca de Río Tigre, dentro de la competencia del Ministerio del Ambiente (MINAM).

## **2. LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES**

### **2.1. Observación N° 7**

El PR no ha considerado, en la caracterización de la calidad del agua, el parámetro SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST), el cual está relacionado con la migración de los contaminantes en este medio. Además, la toxicidad que se presenta en el agua está asociada a los SST. Actualmente, los Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua consideran los SST, como uno de los parámetros para la conservación del ambiente acuático (categoría 4).

*En Trace Elements in Soils and Plants (Third Ed. 2001) se indica que “La mayoría de los elementos traza, especialmente metales pesados, no existen en formas solubles por un largo tiempo en agua. Ellos están presentes comúnmente como coloides suspendidos o ligados a compuestos orgánicos e inorgánicos (...) la alquilación microbiana de los metales (incluido Hg, Se, Te, As y Sn) ocurre mayormente en sedimentos y en sólidos suspendidos en agua, siendo también de gran importancia en su movilidad.”.*

Así mismo, el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales recomienda parámetros mínimos para el monitoreo de la calidad de las aguas y los que corresponden a la “categoría 4: Ríos, Lagunas y lagos”, la cual incluye a los Sólidos Suspendidos Totales–SST (Cuadro N° 02).

#### **Respuesta:**

En la zona del Proyecto, los cuerpos de aguas presentan altas concentraciones de sólidos suspendidos, principalmente asociados a materia orgánica en descomposición (hojas, palos, semillas, etc.), además las precipitaciones que se presentan en la zona propician el arrastre de partículas de suelo hacia los cuerpos de agua; por lo que la propia carga de sólidos suspendidos inherentes a la microcuenca podría generar valores excedentes a los estándares de calidad ambiental, razón por lo cual no se consideró procedente determinar este parámetro para este estudio en particular.

Los resultados analíticos de metales totales en agua superficial, indican que, en las estaciones de muestreo S0103-As001 y S0103-As003, ubicadas en la quebrada ramada Ushpayacu norte, la cual discurre en la parte baja de la terraza en sentido suroeste – norte, la concentración de Plomo (Pb) total para ambas estacionalidades es superior a 0,0025 mg/L, por lo tanto; para reducir el nivel de riesgo asociado a la presencia de Pb en agua superficial, dentro de las medidas de remediación a implementar, se contempla retirar los sedimentos del lecho de esta quebrada para posteriormente realizar su tratamiento para disposición final.

	<b>LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA</b>
<b>OCTUBRE, 2022</b>	

Considerando que las acciones y operaciones de remoción y extracción de los sedimentos alterarán el equilibrio fisicoquímico existente entre las fases sedimentos-agua, es necesario implementar y desarrollar un plan de monitoreo y post monitoreo para las matrices agua superficial y sedimentos, para asegurar el cumplimiento de la Normatividad vigente.

En el Plan de Rehabilitación en el numeral 5.9.4.3. Muestreo de Agua Superficial durante los Trabajos de Remediación, se definirá que uno de los parámetros a monitorear serán los Sólidos Suspendidos Totales (SST); en este numeral se definirán también los demás parámetros a analizar en la fase de monitoreo.

#### 5.9.4.3. Muestreo de Agua Superficial durante los Trabajos de Remediación

El muestreo de agua superficial en la fase de monitoreo y post monitoreo servirá para verificar que los trabajos de remediación no estén generando impactos sobre las matrices intervenidas, pero también se constituye en un medio de control para que en caso que eventual o sistemáticamente se llegasen a presentar impactos negativos sobre el medio ambiente, se implementen las medidas correctivas a que haya lugar para mitigar los impactos.

##### 5.9.4.3.1. Parámetros y frecuencia de monitoreo

En la siguiente tabla se presentan los parámetros, metodologías y frecuencia de monitoreo para aguas superficiales.

El estándar de Calidad Ambiental de Agua Superficial que se aplicará corresponde a lo reglamentado en el D. S. N° 004-2017-MINAM para Agua Superficial. Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático. E2: Ríos de Selva.

**Tabla 1. (Tabla 5-59) Parámetros y Frecuencia de Monitoreo en Aguas Superficiales**

Parámetros	Unidad de medida	Frecuencia	Categoría 4 E2: Río de la Selva
<b>FÍSICOS – QUÍMICOS</b>			
Conductividad	uS/cm	Mensual	1000
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5 a 9,0
Temperatura	°C		Δ 3
Aceites y Grasas	mg/L		5,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L		≤400
<b>INORGÁNICOS</b>			
Arsénico	mg/L	Mensual	0,15
Bario	mg/L		1
Cobre	mg/L		0,1
Cromo VI	mg/L		0,011
Mercurio	mg/L		0,0001
Cadmio total <sup>1</sup>	mg/L		0,001
Cadmio Disuelto	mg/L		0,00025
Plomo	mg/L		0,0025
Zinc	mg/L		0,12
<b>ORGÁNICOS</b>			

<sup>1</sup> Environmental Quality Standards for Contaminated Sites (2014) Nova Scotia

	<b>LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA</b>
	<b>OCTUBRE, 2022</b>

Parámetros	Unidad de medida	Frecuencia	Categoría 4 E2: Río de la Selva
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	Mensual	0,5

**Fuente:** Estándares de Calidad de Agua Superficial, D.S. N° 004-2017-MINAM, *Environmental Quality Standards for Contaminated Sites (2014) Nova Scotia*.

El envío de las muestras desde Nuevo Andoas a Lima, por las distancias y la complejidad de la logística que se debe desplegar tarda alrededor de tres días; el análisis de las muestras tarda alrededor de cinco días, es decir que los resultados estarán disponibles aproximadamente a los ocho días a diez días, por tal motivo se programa realizar un muestreo mensual.

A continuación, en la **Tabla 2**, se presentan las coordenadas de las estaciones de monitoreo de agua superficial, estas coordenadas están correlacionadas con las coordenadas de los puntos de toma de muestras de sedimentos.

**Tabla 2. Estaciones de Monitoreo de Agua Superficial**

Puntos de Muestreo	Sitio	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S	
		Este	Norte
S0103-AsMont-001	S0103 Botadero Km 7	340902	9691971
S0103-AsMont-002		341079	9691918
S0103-AsMont-003		340932	9691990
S0103-AsMont-004		340981	9691999
S0103-AsMont-005		341015	9692022
S0103-AsMont-006		341049	9692055
S0103-AsMont-007		341085	9692055

**Elaboración:** Consorcio ECODES VARICHEM/PROFONANPE (FONAM)-Fondo de Contingencia, 2022.

Se adjunta en el **Anexo MINAM Observación N° 7**, el mapa de ubicación de las estaciones de muestreo de Agua Superficial durante la fase de remediación.

En el Plan de Rehabilitación en su numeral 5.12. Plan de Monitoreo Post Ejecución de Obra, se incluirá complementariamente la siguiente información.

#### **5.12. PLAN DE MONITOREO POST EJECUCIÓN DE OBRA**

Para verificar que como resultado de las acciones de remediación se ha presentado la reducción de la concentración de los contaminantes, se desarrollará un plan de monitoreo post ejecución de obra, este plan se ejecutará con una frecuencia semestral durante los dos primeros años y anual durante los tres posteriores.

En la **Tabla 3**, se relacionan las coordenadas de los puntos de monitoreo post ejecución de obra de agua superficial, la frecuencia y los parámetros a muestrear.

	<b>LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA</b>
	<b>OCTUBRE, 2022</b>

**Tabla 3. Estaciones de Muestreo Monitoreo Post ejecución de obra Agua Superficial**

Puntos de Muestreo	Coordenadas UTM WGS84 Zona 18S		Frecuencia	Parámetros de Monitoreo para Aguas Superficiales Categoría 4. E2: Río de la Selva
	Este	Norte		
S0103-AsPMont-001	340902	9691971	Semestral durante los dos primeros años y anual durante los tres posteriores	1. Conductividad (1000 Us/cm). 2. Oxígeno Disuelto ( $\geq 5$ mg/L). 3. Potencial de Hidrógeno (pH) (6,5 a 9,0). 4. Temperatura ( $\Delta 3$ ) 5. Sólidos Suspendidos Totales $\leq 400$ . 6. Aceites y grasas (5,0 mg/L) 7. Hidrocarburos Totales de Petróleo (0,5 mg/L). 8. Arsénico Total (0,15 mg/L). 9. Cadmio Total (0,0001 mg/L) <sup>2</sup> . 10. Cadmio disuelto (0,00025 mg/L). 11. Bario Total (1,0 mg/L) 12. Mercurio Total (0,0001 mg/L). 13. Plomo Total (0,025 mg/L) 14. Cromo VI (0,011 mg/L)
S0103-AsPMont-002	341079	9691918		
S0103-AsPMont-003	341017	9691990		
S0103-AsPMont-004	340981	9691999		
S0103-AsPMont-005	341015	9692022		
S0103-AsPMont-006	341049	9692055		
S0103-AsPMont-007	341085	9692055		

**Elaboración:** Consorcio ECODES VARICHEM/PROFONANPE (FONAM)-Fondo de Contingencia, 2022.

**Fuente:** Estándares de Calidad de Agua Superficial, D.S. N° 004-2017-MINAM, *Environmental Quality Standards for Contaminated Sites (2014) Nova Scotia*.

## 2.2. Observación N° 8

La consultora encargada de la elaboración del PR del Sitio S0103 debe agotar la revisión de normas, estudios u otros sobre el tema, a efectos de estar debidamente informada sobre la contaminación de las especies hidrobiológicas, ya que estas especies son parte de la dieta de los pobladores.

Al respecto, la US EPA tiene publicaciones sobre el “Modelo de Ligando Biótico” para plomo, cobre, níquel y otros metales que contaminan a las especies hidrobiológicas que facilitan la interpretación del grado de toxicidad en las mismas.

Además, el Parlamento Europeo y en cumplimiento de la Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC) está usando como alternativa el Modelo de Ligando Biótico. *The essence of BLMs is that chemical speciation is incorporated in the assessment of ecotoxicological risks for aquatic species. For WFD purposes, BLMs are recognized as useful concepts to determine site-specific risks, and are allowed as second-tier assessment method as exemplification of monitoring results. (Biotic Ligand Models: availability, performance and applicability for water quality assessment).*

En conclusión, existen metodologías que abordan el tema de la toxicidad de metales en las aguas, sedimentos y especies hidrobiológicas que la consultora de los PR debería considerar.

<sup>2</sup> *Environmental Quality Standards for Contaminated Sites (2014) Nova Scotia*



**Respuesta:**

Dando respuesta al *INFORME N° 00327-20221-MINAM/VMGA/DGCA* del 18 de agosto de 2022, se modifica ampliando el concepto del Modelo Ligando Biótico y otras metodologías existentes para determinar la biodisponibilidad de los metales en diferentes matrices.

Para estudiar y predecir la biodisponibilidad y bioacumulación de un determinado metal, es necesario conocer la especiación en los medios ambientales y la toxicocinética relacionada para un organismo en particular (Zhang y Davison 2015); desarrollar estos modelos es complejo y existen pocos modelos aceptados o sancionados por autoridades como EPA, CCME, Europa (Cousins et al 2009, Smith et al. 2015).

No obstante, lo anterior, se ha desarrollado una variedad de métodos para evaluar la biodisponibilidad de metales.

El biomonitoreo es el enfoque más directo empleado para mostrar el efecto acumulativo de factores combinados en un entorno, pero puede ser costoso y presentar limitaciones (Zhou et al. 2008; Cai y Wang 2019; Xu et al. 2019a; Zhao y Wang 2019).

El modelado geoquímico es un enfoque alternativo; puede excluir influencias de complicados factores bióticos mediante el uso de parámetros de complejación de metales para predecir la especiación de metales y la unión a membranas bióticas (Di Toro et al. 2001; Bourgeault et al. 2013; Philipps et al. 2018a). La complejación toma en consideración factores de termodinámica química y cinética y permite predecir modelos de equilibrio y trayectorias de las reacciones químicas. (Helgeson, H.C., 1968). Sin embargo, la precisión de las predicciones puede ser baja debido a la falta de incorporación de aportes biológicos y ecológicos en modelos.

En la última década también se han realizado estudios sobre la aplicabilidad del muestreo pasivo como una forma para solucionar las desventajas del modelado geoquímico; una de las técnicas empleadas se conoce como Gradientes Difusivos en Películas Delgadas (DGT por sus siglas en inglés), es una herramienta que potencialmente imita la biodisponibilidad del metal en la fase disuelta cuando la escala de tiempo del despliegue coincide con la absorción por la biota (Zhang y Davison 2015), Durante el despliegue un gradiente de concentración se genera entre la solución de muestreo y los geles de DGT, lo que permite que los metales lábiles se difundan y se unan a los geles, es decir que el enlace formado entre el metal y los ligandos se rompe fácilmente (Davison y Zhang 1994; Zhang 2003), lo que permite predecir la biodisponibilidad del metal y determinar la especiación química. El DGT se considera como una herramienta robusta de monitoreo de componentes lábiles en solución, pero para el caso de aguas naturales donde se encuentran sistemas con ligandos heterogéneos complejos es un desafío.

De acuerdo al EPA, el Modelo de Ligando Biótico (BLM por sus siglas en inglés) es una herramienta para evaluar cuantitativamente la manera en que la química del agua afecta la especiación y biodisponibilidad de los metales pesados en los ecosistemas acuáticos. (Di Toro et al. 2000, Santore et al. 2001).

El concepto BLM, se desarrolla a partir de la base que los metales en sus formas iónicas libres (cationes divalentes) compiten con otros cationes presentes (y preferidos, aun necesarios para vida) en el agua (calcio, magnesio, sodio, potasio) por unirse al ligando biótico (en peces, las branquias). También, se puede presentar la complejación de los metales por ligandos abióticos (materia orgánica disuelta, carbonatos, cloruros, sulfatos y sulfuros) evitando su disponibilidad a unirse al ligando en las branquias. Consecuentemente, la entrada al pez de los iones de ciertos metales y la toxicidad resultando, puede ser reducida en la presencia de los cationes y ligandos abióticos mencionados o al contrario aumentado en su ausencia.

El modelo BLM exige desarrollar sistemáticamente un proceso de muestreo con el objetivo de levantar y consolidar información sobre el contaminante de interés y el cuerpo hídrico. Se deben determinar



**LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE  
(MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7),  
CUENCA PASTAZA**

**OCTUBRE, 2022**

parámetros como pH; carbono orgánico disuelto (DOC); metales disueltos y totales; cationes principales (Ca, Mg, Na y K); aniones principales como (cloruros y sulfatos); metales Fe y Al; alcalinidad; dureza (por Ca y Mg); ensayos de toxicidad en las especies a evaluar, empleando agua de los ambientes a estudiar. Cabe señalar que la variación de los parámetros fisicoquímicos de un cuerpo de agua, modifican el grado de especiación de las formas iónicas, la biodisponibilidad, toxicidad y la cantidad de iones que pueden asociarse a los sitios del ligando biótico, por lo tanto, es de gran importancia poder contrastar las predicciones de los resultados de laboratorio con las características de las aguas naturales.

Este modelo ha sido desarrollado y verificado para un limitado número de elementos como son cobre, plata, cadmio, zinc, níquel y plomo, y para un reducido número de especies de peces bajo un rango limitado de condiciones físico-químico. Sin embargo, en base de la información vigente USEPA y la Unión Europea independientemente han desarrollado su propio método para estimar la toxicidad del metal a especies acuáticas dado las condiciones fisicoquímicas del cuerpo de agua bajo estudio.

Para determinar la biodisponibilidad y evaluar el nivel de riesgo en agua superficial que pueden estar ocasionando ciertos metales, se empleará la herramienta Bio-met v5.1, el cual es una herramienta basada en el Modelo Ligando Biótico (BLM) y está calibrado para cuatro metales que son Cu, Ni, Pb y Zn. La herramienta Bio-met se emplea dentro del marco regulatorio de la Unión Europea y fue desarrollada bajo el liderazgo del Instituto Europeo del Cobre, Asociación Internacional del Zinc y otros organismos.

El programa Bio-met calcula el factor de biodisponibilidad y los valores locales de HC5 (concentración peligrosa al 5% de las especies asumiendo una Distribución de Sensibilidad de Especies Lognormal), para los metales señalados anteriormente en función de tres parámetros de entrada de calidad del agua (pH, concentración de carbono orgánico disuelto (DOC) y concentración de calcio). Los programas para calcular el Modelo Ligando Biótico requieren de más de diez datos de entrada de parámetros fisicoquímicos de agua dulce, para ejecutar el modelo (pH, DOC, Ca, dureza, alcalinidad, Na, Mg, Fe, sulfatos [SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>], cloruros [Cl<sup>-1</sup>]); la herramienta de Bio-met simplifica el número de datos de entrada de la química del agua a pH, concentración de DOC y concentración de Ca, si bien es cierto los resultados obtenidos tienen menor precisión, estos se encuentran dentro del rango de lo aceptable.

La utilidad de los ensayos depende de la representatividad de la especie de ensayo en relación con el sitio evaluado. Los ensayos de toxicidad presentan un resultado agregado para todos los factores estresantes, y es complicado desagregar la fuente de estrés cuando hay exposición a contaminantes múltiples.

Para ampliar su rango de aplicación es necesario que se realicen más ensayos con diferentes tipos de calidad de agua, en diversas especies para poder realizar una extrapolación a nivel de poblaciones y comunidades.

Si se tiene información sobre la concentración de metales disueltos, el programa calculará el valor de la concentración del metal biodisponible y un índice de caracterización del riesgo a partir de la concentración del metal biodisponible y del estándar de calidad que puede ser ajustado por el usuario.

Bio-met, realiza en una amplia base de datos la combinación de los parámetros de entrada (pH, DOC, Ca) y HC5 (para los metales Co, Cu, Ni, Pb y Zn usando sus respectivos BLM. La base de datos sirve como una tabla de búsqueda, a través de la cual las características fisicoquímicas de un sitio de interés se comparan con las características fisicoquímicas de las simulaciones existentes en la base de datos.

	<b>LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA</b>  <b>OCTUBRE, 2022</b>
---	--

### PARÁMETROS DE ENTRADA DEL PROGRAMA BIO-MET<sup>3</sup>

Los parámetros determinantes empleados para calcular el HC5, se definieron a partir del análisis de sensibilidad y juicio de expertos, determinando que:

- El pH, DOC y Ca (o dureza) tienen un impacto de moderado a importante en la estimación del HC5.  
El programa está calibrado para cada metal en base a los rangos de aplicación de los BLM completos de la siguiente manera.

**Tabla 4. Rango Aplicación de Bio-met con base a los BLM Completos**

Metal	pH	Ca [mg/L]
Cu	6,0 – 8,5	3,1 -129,0
Ni	6,5 – 8,2	2,0 – 88,0
Pb	6,3 – 8,4	3,6 -204,0
Zn	5,5 – 8,5	5,0 – 160,0

**Fuente:** User Guide Bio-met (version 5.0)

Los límites superior e inferior se establecen tanto para el pH como para el Ca porque afectan la absorción y la unión en el ligando biótico, y son fisiológicamente importantes para los organismos acuáticos.

Los factores que comúnmente causan que las aguas superficiales estén fuera del rango de aplicabilidad de los BLM son las aguas duras (altas concentraciones de Ca), donde la concentración de Ca puede exceder el rango de aplicación del BLM y aguas blandas donde la concentración de Ca está por debajo del rango de aplicabilidad.

Un pH bajo también puede causar que las aguas estén fuera del rango validado para los BLM.

La concentración del Carbono Orgánico Disuelto (DOC), está calibrada en un rango comprendido entre 0,63 mg/L y 29,4 mg/L. Este es un factor importante para determinar la biodisponibilidad de los metales en aguas dulces.

La Guía de Bio-met señala que cuando no se tienen información sobre DOC de un sitio específico, se puede tomar en consideración información sobre DOC para otros lugares de muestreo dentro del mismo cuerpo de agua o alrededores.

Cuando uno de los parámetros fisicoquímicos de entrada está fuera del rango de calibración, el modelo emite una advertencia y realiza un mejor ajuste dentro de los rangos validados, cuando esto ocurre los datos obtenidos deben analizarse con cautela.

- Magnesio [Mg], sodio [Na], alcalinidad, carbono inorgánico disuelto [DIC], hierro [Fe] y el aluminio [Al] tienen un impacto de bajo a moderado en la estimación de HC5 (dependiendo del metal en cuestión), pero puede calcularse con razonable precisión a partir de Ca o pH.

La relación de estos parámetros el software las calcula mediante el uso de fórmulas especiales.

- La temperatura, el potasio [K], el sulfato [SO<sub>4</sub>] y el cloruro [Cl] tienen valores de impacto insignificantes a bajo en la estimación de HC5.

### **PARÁMETROS DE SALIDA DEL PROGRAMA BIO-MET<sup>4</sup>**

El programa arroja los siguientes parámetros de salida:

<sup>3</sup> Fuente: Guía sobre el uso de la herramienta Bio-met

<sup>4</sup> Fuente: Guía sobre el uso de la herramienta Bio-met



**LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE  
(MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7),  
CUENCA PASTAZA**

**OCTUBRE, 2022**

- Local HC5 (disuelto) [ $\mu\text{g/L}$ ]: El HC5 es un valor derivado de datos ecotoxicológicos (de una distribución de sensibilidad de especies) que tiene como objetivo proteger al menos el 95% de las especies. El valor arrojado por Bio-met, refleja las condiciones de biodisponibilidad en un determinado sitio y se calcula en función de las condiciones locales del agua en el sitio utilizando una biodisponibilidad modelo.
- BioF – Factor de biodisponibilidad: Es la biodisponibilidad del metal en un sitio específico, en relación con la biodisponibilidad bajo condiciones de alta biodisponibilidad. Es igual a la relación de la Referencia HC5 dividido por el HC5 Local. Este valor es siempre 1 o menos. Cuando el valor es 1 el metal, bajo las condiciones de agua específicas provistas, es 100% biodisponible y el sitio se describe como con “condiciones sensibles”.

$$BioF = \frac{Referencia\ HC5}{HC5\ Local}$$

- Concentración del metal biodisponible [ $\mu\text{g/L}$ ]: Es la concentración del metal que está biodisponible en el sitio o en el cuerpo de agua. Este valor se calcula multiplicando la concentración del metal disuelto en el agua del sitio por el factor de biodisponibilidad.

$$Concentración\ del\ metal\ biodisponible = Concentración\ del\ metal\ disuelto \times BioF$$

- RCR – Relación de caracterización del Riesgo o Cociente del Riesgo: Es el índice de caracterización del riesgo para el sitio o cuerpo de agua bajo consideración. Un valor de 1 o más significa que existe un riesgo potencial.

$$RCR = \frac{Concentración\ del\ metal\ biodisponible}{Estándar\ de\ Calidad\ Ambiental\ biodisponible\ (EQS\ Biodisponible)}$$

El EQS Biodisponible se deriva de la mediana de HC5, normalizado a condiciones de alta biodisponibilidad y se expresa como una concentración media anual o también se puede expresar como un factor de biodisponibilidad promedio. EQS es comparable a ECA.

Varios países han adoptado el uso de las predicciones del modelo BLM con fines normativos dado que la toxicidad predicha por BLM y la toxicidad observada en laboratorio ha sido aceptable, igualmente las predicciones realizadas por el método Bio-met respecto a las predicciones realizadas por el método BLM completo son aceptables. El rendimiento de las herramientas fáciles de usar como Bio-met, deben basarse en la exactitud y precisión de las predicciones en relación con las predicciones del BLM completo.

Es muy importante señalar que la base de datos de Bio-met representa un conjunto de condiciones químicas de las aguas de referencia de Europa, por lo tanto, al realizar el cálculo para condiciones propias de la Amazonía del Perú se pueden presentar incertidumbres en las predicciones que arroje el modelo. También, la base de datos se emplea para estimar HC5 (resultados de ensayos ecotoxicológicos para especies para desarrollar DSS) prácticamente no incluye especies amazónicas sino especies de países templados o especies que sean modelos biológicos. El modelo DSS, Distribución de la Sensibilidad de las Especies, usa la información ecotoxicológica para varias especies ajustada a una distribución del tipo lognormal o log-logística (Newman et al., 2000). La información sobre dosis-respuesta empleada para calcular el riesgo ecológico, generalmente es extraída de ensayos de toxicidad sobre una única especie en los que se mide los efectos sobre los individuos. Para realizar extrapolación de los efectos de los tóxicos sobre entidades más complejas como las poblaciones, comunidades y ecosistemas, se ha propuesto usar el DSS (Modelo de Distribución de la Sensibilidad de las Especies).

	<b>LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA</b>  <b>OCTUBRE, 2022</b>
---	--

Las principales ventajas del programa Bio-met, en comparación con otras herramientas de BLM, son las siguientes:

- El programa Bio-met está basado en el Método Ligando Biótico desarrollado originalmente y no está fundamentado en información bibliográfica secundaria.
- Bio-met se basa en datos de ecotoxicidad de última generación.
- Bio-met se basa en un algoritmo que selecciona el BLM completo que mejor se adapte a la predicción.
- Bio-met integra la información de varios estados miembros de la Unión Europea.

### **PARÁMETROS EMPLEADOS PARA REALIZAR EL CÁLCULO DE BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS E ÍNDICE DE RIESGO EN AGUA SUPERFICIAL**

#### **METALES TOTALES Ca, Cu, Ni, Pb y Zn**

En la **Tabla 5**, se presentan los resultados analíticos de las dos estacionalidades de pH y metales de Ca, Cu, Ni, Pb y Zn de las muestras de agua superficial tomadas en el Sitio S0103 (Botadero km 7).

Es importante señalar que el programa Bio-met calcula el factor de biodisponibilidad (BioF), HC5 Local, la caracterización del riesgo (RCR) tomando como datos de entrada la concentración de metales disueltos en agua. Para realizar el cálculo de la caracterización del riesgo en aguas superficiales del Cu, Ni, Pb y Zn, se empleará la concentración de metales totales dado que no se tienen resultados analíticos de metales disueltos, cabe señalar que se justifica emplear datos de metales totales porque según un estudio realizado por OEFA en cuerpos de agua de Ushpayacu, la concentración de metales disueltos es aproximadamente igual a la concentración de metales totales. Ver **Tabla 5**. Como se puede apreciar la concentración de Cu, Ni, y Zn, son muy parecidas entre metales disueltos y totales; para el caso del Pb., la concentración del Pb disuelto es inferior al límite de detección, al no tener datos de plomo disuelto, se tomó la decisión de emplear la concentración de plomo total, como caso extremo.

**Tabla 5. Concentración de Metales Totales Disueltos para cuatro muestras realizadas en cuerpos de agua de Ushpayacu por OEFA.**

Níquel Disuelto [mg/L]	Níquel Total [mg/L]	Cobre Disuelto [mg/L]	Cobre Total [mg/L]	Zinc Disuelto [mg/L]	Zinc Total [mg/L]	Plomo Disuelto [mg/L]	Plomo Total [mg/L]
0,0012	0,0012	0,0028	0,0083	0,0222	0,0222	0,0002	0,0084
0,0007	0,0007	0,0037	0,0037	0,0189	0,0189	0,0002	0,0061
0,0007	0,0007	0,0038	0,0038	0,0186	0,0186	0,0002	0,0077
0,0005	0,0005	0,0021	0,0027	0,0105	0,0127	0,0002	0,0048

**Elaboración:** Consorcio ECODES VARICHEM/PROFONANPE (FONAM)-Fondo de Contingencia, 2022.

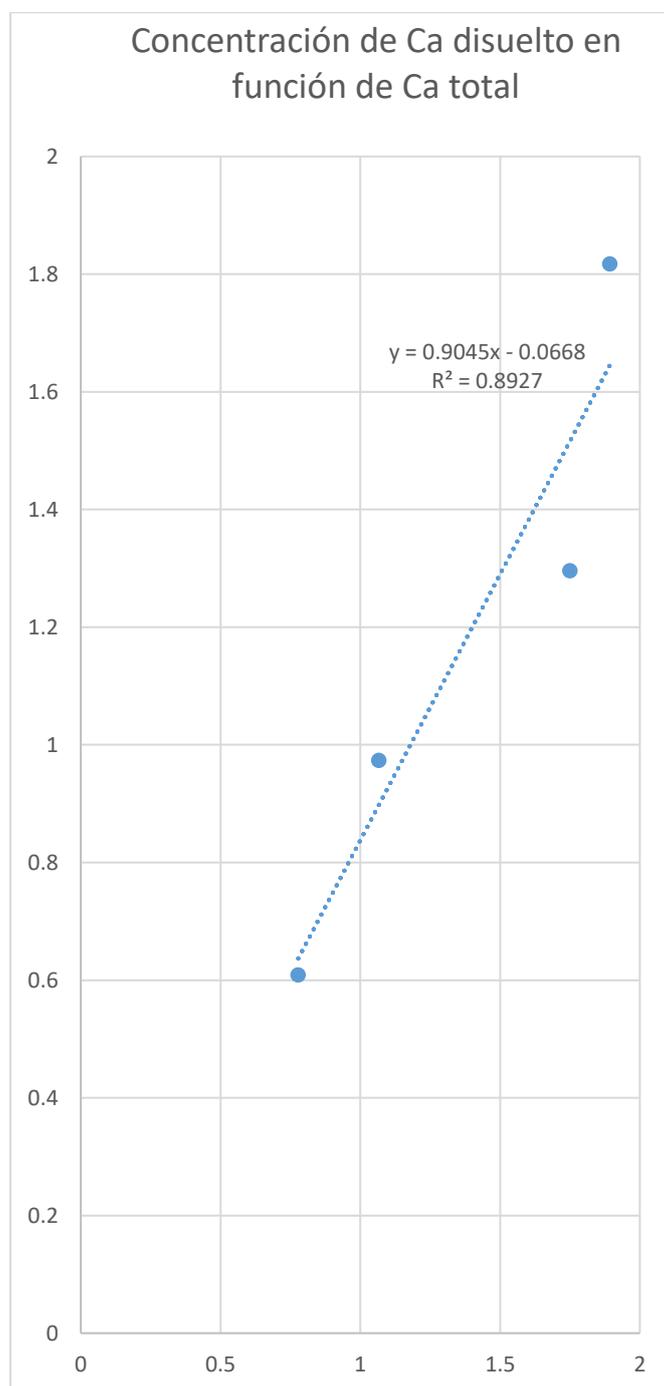
Para calcio total, se tienen los siguientes datos OEFA sobre la concentración de calcio disuelto y calcio total en la quebrada Ushpayacu.

**Tabla 6. Concentración de calcio total y calcio disuelto en muestras realizadas en cuerpos de agua de Ushpayacu por OEFA.**

Concentración de calcio total [mg/L]	Concentración de calcio disuelto [mg/L]
1,75	1,2961
0,7778	0,609
1,8924	1,8172
1,0667	0,9734

**Elaboración:** Consorcio ECODES VARICHEM/PROFONANPE (FONAM)-Fondo de Contingencia, 2022.

A continuación, se grafican los datos de concentración de Ca disuelto en función del Ca total.



**Figura 1-1. Concentración de Ca disuelto en función del Ca total**

El gráfico indica que la dispersión es lineal y la ecuación de la tendencia es  $Y = 0,9045X - 0,0668$ .

A partir de esta ecuación se realizarán los cálculos de Ca disuelto para ingresar en la herramienta Bio-met (**Tabla 7**).

	<b>INFORME COMPLEMENTARIO DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES SUBSISTENTES DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA</b>  <b>OCTUBRE, 2022</b>
---	---

**Tabla 7. Concentración de metales totales de Ca, Cu, Ni, Pb y Zn.**

ECAS – Agua Superficial, categoría 4 (ríos de selva) [µg/L]				6,5 a 9,0	100	52	2,5	120		
Environmental Quality Standards for Contaminated Sites (2014) Nova Scotia				N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		
Punto de Muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS84 ZONA 18 S		Época de Muestreo	pH					
		Este	Norte		Unidades pH	Calcio (Ca) [mg/L]	Cobre (Cu) [µg/L]	Níquel (Ni) [µg/L]	Plomo (Pb) [µg/L]	Zinc (Zn) [µg/L]
S0103-As001	22/04/2018	340902	9691971	Húmeda	5,49	1,0	6,5	1,7	20,5	94,2
S0103-As001	02/09/2018	340902	9691971	Seca	5,78	0,59	3,1	1,4	5,0	43,6
S0103-As002	22/04/2018	341080	9691918	Húmeda	5,13	0,46	0,57	1,0	0,5	0,5
S0103-As002	02/09/2018	341079	9691918	Seca	5,4	0,36	0,8	0,1	0,1	17,2
S0103-As003	22/04/2018	341017	9692021	Húmeda	6,14	1,67	3,01	1,1	5,8	38
S0103-As003	02/09/2018	341017	9692021	Seca	6,36	1,25	2,17	1,0	2,7	58

**Fuente:** Informe de ensayo 21348, 49442 de Laboratorio ALS, 2018.

### **Carbono Orgánico Disuelto**

No se dispone de información analítica primaria sobre la concentración de Carbono Orgánico Disuelto (DOC) de los cuerpos de agua de la cuenca del río Pastaza ni de los cuerpos de agua tributarios, por esta razón se empleará un estudio sobre las características hidroquímicas de aguas blancas, claras y negras de ríos de la cuenca de la Amazonía de Brasil. En este estudio se clasifica el agua del río Salimoes, como agua blanca; el agua del río Tapajós, como agua clara; y el agua del río Negro, como aguas negras (François-Étienne Sylvain, Sidki Bouslama, Aleicia Holland, Nicolas Leroux, Pierre-Luc Mercier, Adalberto Luis Val, Nicolas Derome) (<https://doi.org/10.1101/2021.07.21.453257>).

Los valores de Carbono Orgánico Disuelto, extraídos para aguas claras y aguas negras serán conjugados con cada una de las concentraciones de Cu, Ni, Pb y Zn para cubrir el rango de posibilidades y determinar el Factor de Biodisponibilidad (BioF), HC5 Local y RCR para el Sitio S0103 (Botadero km 7)

**Tabla 8. Concentración de Carbono Orgánico Disuelto y Composición de Ácidos húmicos y fúlvicos en aguas de ríos de la Amazonía de Brasil.**

Ítem	Tipo de agua	Concentración de DOC [mg/L]	% humic DOC	% fulvic DOC	% de proteínas en DOC
1	Negra	10,9	56,7	29,5	13,8
2	Negra	11,7	60,3	32,6	7,1
3	Negra	11,4	47,2	30,3	22,5
4	Negra	9,8	52,3	41,0	6,7
5	Negra	7,1	54,2	37,3	8,5
6	Blanca	6,0	50,8	39,7	9,5
7	Blanca	7,1	34,7	36,2	29,1
8	Blanca	9,1	37,5	45,6	16,8
9	Blanca	5,7	50,6	40,4	9,0
10	Blanca	8,0	46,2	41,8	12,0
11	Blanca	5,7	49,0	39,3	11,7
12	Blanca	6,5	43,9	45,3	10,8
13	Clara	4,9	30,6	42,3	27,1
14	Clara	2,7	44,8	38,3	16,9
15	Clara	4,6	35,1	45,0	20,0

Fuente: (<https://doi.org/10.1101/2021.07.21.453257>)

### **INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

**Biodisponibilidad y RCR para el Cu:** La Relación de caracterización del Riesgo o Cociente del Riesgo (RCR) para el Cu., para el escenario de DOC en aguas claras es superior a 1. Es decir que potencialmente existe riesgo de bioacumulación del Cu.



**INFORME COMPLEMENTARIO DE LEVANTAMIENTO DE  
OBSERVACIONES SUBSISTENTES DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE  
(MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA**

**OCTUBRE, 2022**

El programa indica que el valor del pH y la concentración de Ca están por debajo del rango al que fue calibrado el modelo, automáticamente el programa calcula el HC5 Local, empleando los valores apropiados.

**Biodisponibilidad y RCR para el Ni:** La Relación de caracterización del Riesgo o Cociente del Riesgo (RCR) para el Ni., para todos los escenarios de DOC en aguas claras, aguas blancas, y aguas negras es inferior a 1.

El pH de las aguas superficiales es inferior al pH de 6,5 para el cual fue calibrado el modelo, por lo tanto, para calcular el HC5 Local, el programa realiza un ajuste a los valores de calibración.

**Biodisponibilidad y RCR para el Zn:** La Relación de caracterización del Riesgo o Cociente del Riesgo (RCR) para el Zn., en función de la concentración de este metal en las estaciones de muestreo S0103-As001 y S0103-As003, dependiendo de la concentración de DOC, pH y concentración de Ca que se asuma es mayor a uno (>1) y por lo tanto existe un riesgo potencial, no obstante cabe señalar que el valor de pH es inferior a 5,5 y la concentración de Ca es inferior a 5,0 mg/L, parámetros que se encuentran por debajo del rango de calibración del modelo Bio-met.

**Biodisponibilidad y RCR para el Pb:** La Relación de caracterización del Riesgo o Cociente del Riesgo (RCR) para el Pb., para la estación de muestreo S0103-As001, para los escenarios de DOC en aguas claras, aguas blancas y aguas negras, en algunos casos es mayor a 1 pero los valores del pH y Ca se encuentran por debajo del límite de calibración del modelo Bio-met, por lo que automáticamente el programa realiza un ajuste en los valores de estos parámetros.

**INCERTIDUMBRES RELACIONADAS CON EL SOFTWARE BIO-MET Y CON LOS PARÁMETROS DE ENTRADA EMPLEADOS PARA CALCULAR EL FACTOR DE BIODISPONIBILIDAD Y DE RIESGO PARA EL Cu, Ni, Pb y Zn**

Es importante indicar que existen parámetros de diseño y programación del software Bio-met que son divergentes con las condiciones propias del Sitio S0103 (Botadero km 7) que pueden generar un sesgo en los resultados obtenidos del Factor de biodisponibilidad (BioF) y en la Relación de caracterización del Riesgo o Cociente del Riesgo (RCR).

Entre estos factores podemos citar los siguientes:

El desarrollo y calibración de la herramienta Bio-met se realizó empleando aguas de la Unión Europea, las cuales por sus propiedades fisicoquímicas son diferentes a las características hidroquímicas de las aguas de la Amazonía y específicamente de la cuenca del río Pastaza.

Los valores HC5 empleados en la base de datos de Bio-met, y a partir de los cuales se realiza la cuantificación del HC5 Local, se definieron a partir de datos ecotoxicológicos de especies propias de sitios ubicados en la Unión Europea.

Los cuerpos de agua de la Amazonía y específicamente de la cuenca del río Pastaza, se caracterizan por ser ácidos, muchos de los resultados obtenidos están por fuera del rango de calibración del pH y del Ca de la herramienta Bio-met.

No se tiene información primaria sobre la concentración de Carbono Orgánico Disuelto de los cuerpos de agua de la cuenca del río Pastaza (Se empleó información sobre DOC de ríos de la Amazonía de Brasil), dado que el DOC es un parámetro que determina en un elevado grado la disponibilidad de los metales, es recomendable determinar su concentración real. Sin

embargo, se reconoce que igual como en Brasil, el DOC es usualmente bajo en aguas de la Amazonia Peruana.

Para realizar el cálculo de HC5 Local, BioF, Biodisponibilidad, RCR, se empleó la concentración de metales totales de Cu, Ni, Pb y Zn en agua superficial. La herramienta Bio-met emplea en sus datos de entrada la concentración disuelta de estos metales.

Muchas de las aguas de la Amazonía tienen un bajo pH, bajo Ca, y bajo DOC, sin embargo, la diversidad de especies acuáticas es impresionante. Es importante indicar que las especies hidrobiológicas han desarrollado mecanismos de supervivencia y adaptación a condiciones aparentemente adversas (según especies de países templados). Existen hipótesis según las cuales las especies amazónicas han desarrollado mecanismos fisiológicos para evitar la toxicidad que provocan elementos donantes de protones (por acidez); dado que la excedencia de protones compite con los metales libres por los sitios de unión (ligandos) en las branquias, ellos ofrecen una protección a metales que pueden hacer daño a las especies acuáticas.

Se concluye también que el grado de toxicidad de los metales pesados depende de su biodisponibilidad en medios acuáticos, pero esta biodisponibilidad depende, entre otros factores, tal y como se señaló anteriormente de las características fisicoquímicas del cuerpo de agua, de la concentración y mecanismos de competencia de los iones para fijarse a estructuras fisiológicas y del grado de especiación de los metales.

Los estándares y referencias de calidad ambiental para los sedimentos que garanticen la protección de la vida acuática, para el Plan de Rehabilitación, se definieron a partir de lo reglamentado en las Guías *Environmental Quality Standards for contaminated Sites* y *Environmental Quality Guidelines for Alberta (2014)*. Las pautas de calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática son concentraciones de sustancias por debajo de las cuales se espera que ocurran efectos adversos en la biota acuática solo en raras ocasiones (*Environmental Quality Guidelines for Alberta Surface Waters*).

Sobre la metodología para determinar y cuantificar la toxicidad de los sedimentos, existen varios enfoques para realizar su evaluación. Uno de los primeros enfoques tomaba en consideración la toxicidad de sedimentos, las concentraciones de los contaminantes en sedimentos y datos de la comunidad béntica para evaluar el riesgo asociado con los sedimentos de interés (*Long ER, Chapman PM. 1985. A sediment quality triad--measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition in Puget Sound. Mar Pollut Bull 16:405-415*). A partir de este principio se desarrolló la Guía sobre la Calidad de Sedimentos (SQGs por sus siglas en inglés).

Los SQGs pueden ser obtenidos de una forma empírica y de una forma mecanicista.

La forma empírica utiliza una base de datos de efectos químicos y biológicos coincidente para derivar las concentraciones de sedimentos con diversas probabilidades de causar efectos adversos a las comunidades béntica. (*Mechanistic sediment quality guidelines based on contaminant bioavailability: equilibrium partitioning sediment benchmarks*)

El enfoque mecanicista para los SQG considera la biodisponibilidad de contaminantes antropogénicos en sedimentos y determina si estos contaminantes biodisponibles estarán presentes en concentraciones suficientes para causar efectos adversos. El enfoque



**INFORME COMPLEMENTARIO DE LEVANTAMIENTO DE  
OBSERVACIONES SUBSISTENTES DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE  
(MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA**

**OCTUBRE, 2022**

mecanicista afirma que la biodisponibilidad de un contaminante es directamente proporcional a su actividad química. (*Di Toro DM, Zarba CS, Hansen DJ, Berry WJ, Swartz RC, Cowan CE, Pavlou SP, Allen HE, Thomas NA, Paquin PR. 1991. Technical basis for the equilibrium partitioning method for establishing sediment quality criteria. Environ Toxicol Chem*). Generalmente la solubilidad del contaminante en agua se utiliza como estado de referencia y sirve de indicador de su toxicidad, es decir que la biodisponibilidad es una función de la distribución del contaminante entre las fases del sedimento (fracción de materia orgánica y agua intersticial). El enfoque mecanicista se puede emplear para predecir los efectos agudos (muerte) o efectos crónicos (por ejemplo, reproducción, crecimiento) para organismos bénticos, siempre y cuando se conozca la medida de la concentración disuelta. Cabe señalar que el enfoque mecanicista no busca predecir la bioacumulación o la transferencia trófica (*Mechanistic sediment quality guidelines based on contaminant bioavailability: equilibrium partitioning sediment benchmarks*).

Para las evaluaciones hidrobiológicas, la evaluación química de tejidos es la metodología principal, especialmente en casos donde se evalúa el consumo humano de estos recursos. Para profundizarse es necesario considerar cuales tejidos se consumen y enfocar las concentraciones en dichos tejidos. Generalmente se considera de manera simplificada que los contaminantes presentes en tejidos consumidos se consideran como 100% biodisponibles.

	<p style="text-align: center;"><b>INFORME COMPLEMENTARIO DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES SUBSISTENTES DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA</b></p> <p style="text-align: center;"><i>OCTUBRE, 2022</i></p>
---	--

## **ANEXOS MINAM SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7)**

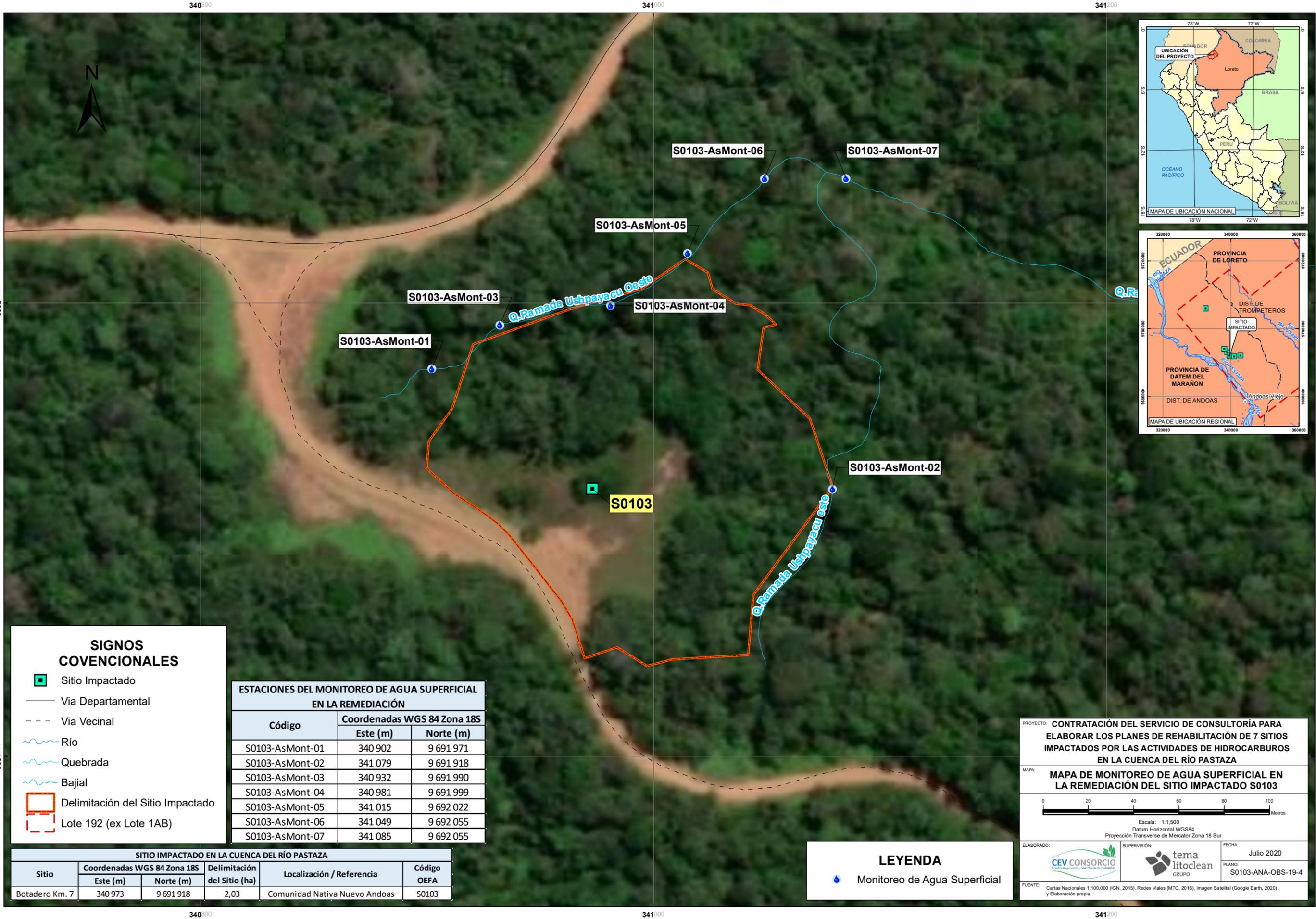
---

Anexo MINAM      Observación N° 7

	<p style="text-align: center;"><b>INFORME COMPLEMENTARIO DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES SUBSISTENTES DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM) – SITIO S0103 (BOTADERO KM. 7), CUENCA PASTAZA</b></p> <p style="text-align: center;"><i>OCTUBRE, 2022</i></p>
---	--

**Anexo MINAM  
Observación N° 7**

---



**SIGNOS COVENCIONALES**

- Sitio Impactado
- Via Departamental
- Via Vecinal
- Río
- Quebrada
- Bajial
- Delimitación del Sitio Impactado
- Lote 192 (ex Lote 1AB)

ESTACIONES DEL MONITOREO DE AGUA SUPERFICIAL EN LA REMEDIACIÓN			
Código	Coordenadas WGS 84 Zona 18S		
	Este (m)	Norte (m)	
S0103-AsMont-01	340 902	9 691 971	
S0103-AsMont-02	341 079	9 691 918	
S0103-AsMont-03	340 932	9 691 990	
S0103-AsMont-04	340 981	9 691 999	
S0103-AsMont-05	341 015	9 692 022	
S0103-AsMont-06	341 049	9 692 055	
S0103-AsMont-07	341 085	9 692 055	

SITIO IMPACTADO EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA					
Sitio	Coordenadas WGS 84 Zona 18S		Delimitación del Sitio (ha)	Localización / Referencia	Código OEFA
	Este (m)	Norte (m)			
Botadero Km. 7	340 973	9 691 918	2,03	Comunidad Nativa Nuevo Andoas	S0103

**LEYENDA**

Monitoreo de Agua Superficial

PROYECTO: **CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA ELABORAR LOS PLANES DE REHABILITACIÓN DE 7 SITIOS IMPACTADOS POR LAS ACTIVIDADES DE HIDROCARBUROS EN LA CUENCA DEL RÍO PASTAZA**

MAPA: **MAPA DE MONITOREO DE AGUA SUPERFICIAL EN LA REMEDIACIÓN DEL SITIO IMPACTADO S0103**



Escala: 1:1,500  
Datum Horizontal WGS84  
Proyección Transversa de Mercator Zona 18 Sur

ELABORADO: SUPERVISIÓN: FECHA: Julio 2020  
PLANO: S0103-ANA-OBS-19-4

FUENTE: Cartas Nacionales 1:100,000 (IGN, 2015), Redes Vales (MTC, 2016), Imagen Satelital (Google Earth, 2020) y Elaboración propia.

E. J. CASTAÑEDA SANTA CRUZ  
INGENIERO AMBIENTAL  
Reg. CIP. N° 189959