

REPORTE

# EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) RÍO NEGRO



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



**INAIGEM**  
INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA



# **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) RÍO NEGRO**



**INAIGEM**  
INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA



## EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) RÍO NEGRO

### Autor

Yeidy Montano Chávez y Junior Figueroa Miranda

### Revisor

Mirtha Camacho Hernández

### Editado por

© Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM)

Sede central: Av. Centenario 2656 - Sector Palmira, Independencia, Huaraz - Áncash - Perú

Teléfono: (043) 64 3460

Correo electrónico: [diem@inaigem.gob.pe](mailto:diem@inaigem.gob.pe)

### Elaboración de mapas

Eduardo Sanchez Carrión

Técnico en Sistema de Información Geográfica

### Revisión de estilo

Jorge Coaguila y Mirtha Camacho Hernández

### Diseño y diagramación

Kipu Visual

### Fotografías

Yeidy Montano Chávez

### 1ra edición

Noviembre 2025

Depósito legal del libro N° 2025-14179

Se terminó de imprimir en: Multiservicios Imp. "Gráfica Francis"

Jr. Jorge Chávez N° 373 - Caraz - Huaylas - Ancash

Tiraje: 100 ejemplares

INAIGEM (2025). Evaluación de la concentración de metales en el agua superficial de la Unidad Hidrográfica (UH) Río Negro (Reporte). Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña - Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM), Huaraz, Perú.

[www.inaigem.gob.pe](http://www.inaigem.gob.pe)



# CONTENIDO

---

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
GLOSARIO	10
PRESENTACIÓN	11
INTRODUCCIÓN	12
1. ASPECTOS GENERALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) RÍO NEGRO	13
2. MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA UH	14
2.1. Metodología	14
2.2. Equipos y materiales	16
2.3. Red de puntos de monitoreo	17
3. RESULTADOS DEL MONITOREO	19
3.1. Análisis de resultados	23
3.2. Mapa de resultados	27
4. CONCLUSIONES	29
5. RECOMENDACIONES	29
LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXOS	32

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Características de la UH río Negro	13
Tabla 2. Frecuencia de análisis, laboratorio y método de análisis	15
Tabla 3. Resultados de los parámetros evaluados en la Unidad Hidrográfica río Negro de 2021 a 2024	21
Tabla 4. Recurrencia de parámetros que incumplen el ECA en la UH río Negro (2021-2024)	27
Tabla 5. Estándar de calidad para el agua de la categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales (parámetros usados en el reporte)	32
Tabla 6. Estándar de calidad para el agua de la categoría 4: conservación del ambiente acuático, E2: ríos (parámetros usados en el reporte)	33
Tabla 7. Ubicación y descripción de los puntos de evaluación	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Mapa de ubicación de la UH río Negro	14
Figura 2. Toma de muestra de agua en el punto 5 de la UH río Negro	16
Figura 3. Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto 1 de la UH río Negro	17
Figura 4. Mapa de puntos de monitoreo en la UH río Negro	18
Figura 5. Evaluación del pH en el punto 1 de la UH río Negro (2021-2024)	20
Figura 6. Evolución de los valores de pH (Und.) para el periodo 2021-2024	23
Figura 7. Evolución de la concentración de Mn (mg/L) para el periodo 2021-2024	24
Figura 8. Diagrama de calor de la concentración anual de manganeso (Mn), periodo 2021-2024	25
Figura 9. Evolución de la concentración de Fe (mg/L) para el periodo 2021-2024	26
Figura 10. Diagrama de calor de la concentración anual de hierro (Fe), periodo 2021-2024	26
Figura 11. Mapa de resultados de la UH río Negro, periodo 2021-2024	28
Figura 12. Imágenes de la zona de muestreo del punto 1	34
Figura 13. Imágenes de la zona de muestreo al punto 5	35
Figura 14. Imágenes de la zona de muestreo al punto 6	36
Figura 15. Imágenes de la zona de muestreo al punto 8	37
Figura 16. Imágenes de la zona de muestreo al punto 9	38

## GLOSARIO

- » **Calidad del agua:** medida de las características físicas, químicas y biológicas del agua en relación con los estándares establecidos para su uso específico (consumo humano, agricultura, vida acuática, etc.) (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).
- » **Cambio climático:** es la alteración a largo plazo de los patrones climáticos globales o regionales, que fue atribuido principalmente a actividades humanas que provienen de actividades como deforestación y combustibles fósiles (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021).
- » **Conductividad eléctrica:** medida de la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, que se relaciona con la concentración de sales disueltas (iones) (American Public Health Association [APHA], 2017).
- » **Drenaje ácido de roca (DAR):** es un proceso natural que incorpora metales pesados a los cuerpos de agua, debido al retroceso glaciar generado por el cambio climático, que dejan expuestas rocas ricas en sulfuros (Zimmer et al., 2018).
- » **Estándares de calidad ambiental (ECA):** son los límites establecidos para la concentración de contaminantes en el aire, agua y suelo, para proteger la salud humana y los ecosistemas (Minam, 2017).
- » **Monitoreo:** proceso sistemático de medición y evaluación de parámetros ambientales para determinar cambios en la calidad del agua, aire o suelo (Sierra Ramírez, 2011).
- » **Parámetros fisicoquímicos:** características medibles del agua, como pH, turbidez, oxígeno disuelto y metales, que determinan su calidad (Sierra Ramírez, 2011).
- » **pH:** medida de la acidez o alcalinidad del agua en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro, valores menores indican acidez y mayores, alcalinidad (APHA, 2017).
- » **Punto de monitoreo:** ubicación específica donde se toman muestras de agua, aire o suelo para evaluar su calidad (Sierra Ramírez, 2011).
- » **Turbidez:** medida de la claridad del agua, afectada por partículas en suspensión (arcilla, materia orgánica, etc.) (APHA, 2017).

## PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (Inaigem) es el ente rector de la investigación científica en glaciares y ecosistemas de montaña. Su finalidad es fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en el ámbito de los glaciares y los ecosistemas de montaña; promoviendo su gestión sostenible en beneficio de las poblaciones o pueblos que viven en o se benefician de dichos ecosistemas.

En este marco, la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM) es el órgano de línea responsable de desarrollar estudios científicos sobre el comportamiento y la evolución de los ecosistemas de montaña frente a los impactos del cambio climático y otros factores de presión.

Uno de los fenómenos naturales que afecta la calidad del agua superficial en cuencas glaciares es el drenaje ácido de roca (DAR), el cual se ve intensificado por el retroceso glaciar que expone materiales sulfurosos a las condiciones ambientales, generando procesos de acidificación y presencia de metales en el agua.

En este contexto, se vienen desarrollando estudios en diversas unidades hidrográficas, donde se ha confirmado la ocurrencia del DAR, con el fin de evaluar su comportamiento temporal. El presente reporte, titulado «Evaluación de la concentración de metales en el agua superficial de la unidad hidrográfica (UH) río Negro», expone los resultados del monitoreo realizado entre 2021 y 2024. El estudio comprende el análisis de parámetros fisicoquímicos y de metales en la zona alta de esta UH, con el propósito de evaluar la calidad del agua conforme a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) e identificar posibles áreas afectadas por procesos de DAR.

La información brindada permite conocer el estado situacional de la calidad del agua en la UH, constituyéndose en un insumo relevante para futuras investigaciones académicas y, especialmente, para los tomadores de decisión vinculados a la gestión y provisión del recurso hídrico en el territorio.

El presente trabajo forma parte de los estudios que se vienen desarrollando en la cordillera Blanca y complementa los esfuerzos del Inaigem al generar información científica dirigida para los tomadores de decisiones y la comunidad académica, sobre los ecosistemas de montaña, así como de los peligros y presiones que afectan a las poblaciones que habitan y dependen de ellos.

## INTRODUCCIÓN

En el departamento Áncash, se ubica la cordillera Blanca, que es la cadena tropical glaciar con más glaciares del mundo y estos actualmente están en un retroceso acelerado (Emmer & Vilímek, 2013). En la actualidad, posee una extensión de 424,86 km<sup>2</sup> y, de 1962 a 2020, ha sufrido un retroceso glaciar de 301,4 km<sup>2</sup> (Inaigem, 2023).

La unidad hidrográfica de río Negro forma parte de la cuenca del río Santa y comprende los distritos de Olleros y Recuay, en la provincia de Huaraz. En la actualidad, es una de las zonas de estudio de la cordillera Blanca que registra el mayor impacto por el drenaje ácido de roca (DAR) y que representa un peligro para la calidad del agua en la zona (Instituto Andino de Montaña [IDM], 2022).

Este fenómeno natural se produce cuando minerales ricos en sulfuros metálicos quedan expuestos al oxígeno y al agua. Como consecuencia, se genera un proceso de oxidación, principalmente de la pirita, seguido de su lixiviación, lo que provoca la acidificación del agua (disminución del pH) y la liberación de metales tóxicos como arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) (Grande et al., 2019; Martel Valverde et al., 2018; Zarroca et al., 2021).

Este reporte, elaborado por la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM), abarca datos recopilados de 2021 a 2024. En este periodo se evaluaron parámetros de calidad del agua, incluyendo pH, conductividad eléctrica y concentraciones de metales pesados (Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Cr y Hg), comparándolos con los estándares de calidad ambiental (ECA) establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

El monitoreo se realizó en nueve puntos, de los cuales cuatro puntos (1, 6, 8 y 9) presentaron concentraciones de hierro (Fe) y manganeso (Mn) que superan los límites establecidos por la normativa. Los valores promedio registrados para el hierro oscilan de 5,07 a 48,64 mg/L, mientras que para el manganeso se encuentran de 0,240 a 1,063 mg/L. Además, estos mismos puntos reportaron valores de pH inferiores a 4, lo cual evidencia condiciones de acidificación y la presencia de metales asociadas al drenaje ácido de roca (DAR).

Estos resultados subrayan la urgencia de implementar estrategias de gestión sostenible orientadas a mejorar la calidad del agua y proteger tanto los ecosistemas acuáticos como a las comunidades de montaña que dependen de este recurso.

# 1. ASPECTOS GENERALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) RÍO NEGRO

La unidad hidrográfica (UH) del río Negro se encuentra en el distrito de Olleros, provincia de Huaraz, e incluye también parte de los centros poblados Canrey Chico y Pariapata, pertenecientes al distrito de Recuay, en la provincia de Recuay. Ambas provincias forman parte del departamento de Áncash (Instituto Andino de Montaña [IDM], 2022).

El recurso hídrico superficial proviene principalmente de las quebradas Rurec y Uquian, las cuales alimentan el río Negro, que a su vez desemboca en el río Santa. La UH del río Negro se divide en tres zonas:

- » Zona alta: localizada dentro del Parque Nacional Huascarán, donde se encuentran Rurec y Arhuaycancha.
- » Zona media: comprende las comunidades campesinas de Cordillera Blanca y Canray Grande.
- » Zona baja: incluye los centros poblados de Huaripampa y Canrey Chico.

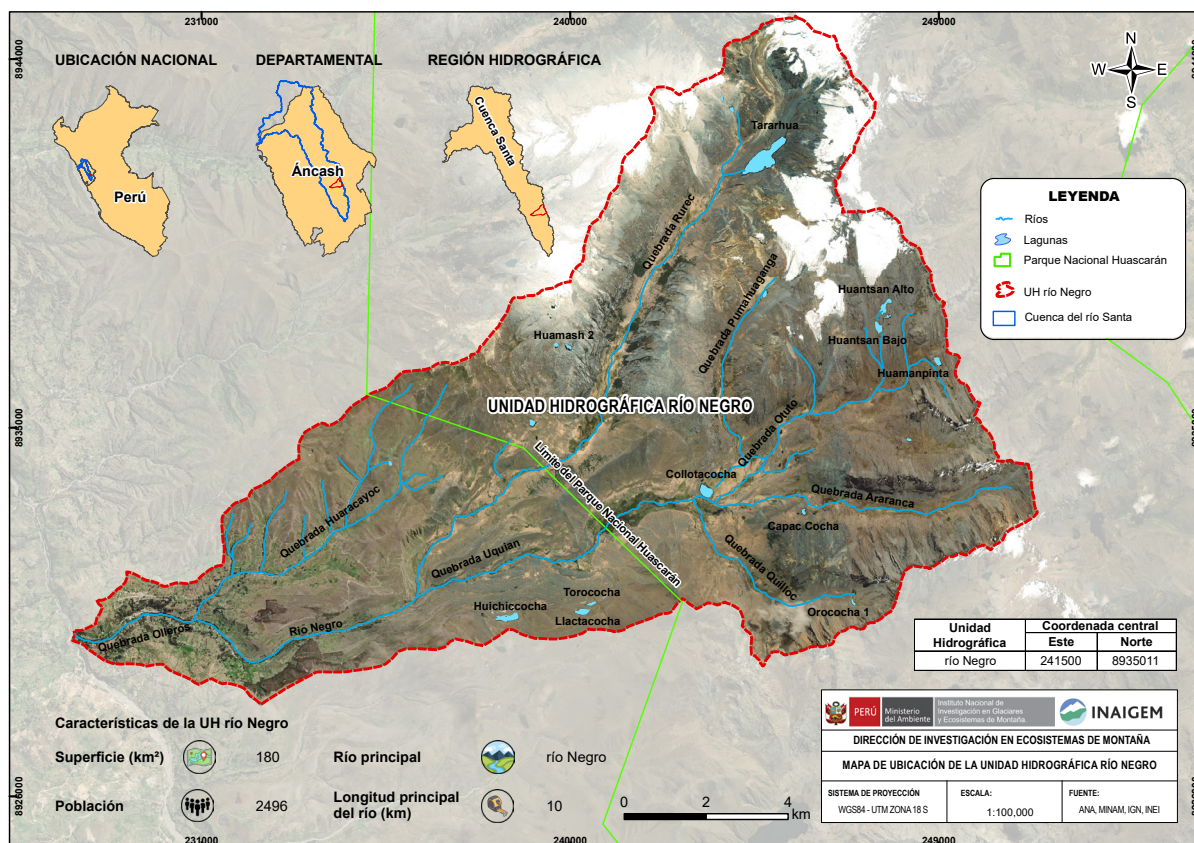
En estas zonas, las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería (IDM, 2022).

Desde el punto de vista ambiental, el río Negro presenta una calidad de agua afectada por factores naturales, caracterizada por una alta conductividad eléctrica (1529  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), un pH ácido cercano a 3,8 y la presencia de metales pesados como aluminio, hierro, manganeso, cobre y níquel (Geo-ecological Systems Peru, 2017). Debido a esta concentración de metales, el agua no es apta para el consumo humano, lo cual representa un riesgo para la salud, especialmente en niños y adultos (Zevallos, 2023).

**Tabla 1. Características de la UH río Negro**

Características		Descripción del criterio
Nombre de la UH		Río Negro
Clasificación	Nivel	7
	Código pfafstetter	1376978
Ubicación	Política	Distrito de Olleros y Recuay, provincia de Huaraz, departamento de Áncash
	Geográfica	9° 16' 48.36" S y 77° 48' 38.16" O
Vertiente hidrográfica		Océano Pacífico
Superficies (kilómetros cuadrados)		180
Río principal (km)		10
Altitud (m s. n. m.)		3 300-5 752 m s. n. m.
Población aproximada		2 496
Principales usos		Ganadería y agricultura

Figura 1. Mapa de ubicación de la UH río Negro



## 2. MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) RÍO NEGRO

### 2.1. METODOLOGÍA

Para el monitoreo de la calidad de agua en la UH río Negro se tomó como referencia el Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales-Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, desarrollando el proceso en tres fases clave:

**a) Definición de puntos de monitoreo:** se establecieron estaciones estratégicas dentro de la UH mediante criterios técnicos que incluyeron:

- » Configuración de la red hidrográfica.
- » Influencia de actividades antropogénicas.
- » Zonas con potencial presencia de drenaje ácido de roca (DAR). Cada punto seleccionado fue georreferenciado y codificado según su posición en la cuenca.
- » Régimen perenne de los afluentes.
- » Acceso a los puntos seleccionados, sin poner en riesgo la seguridad del personal.

**b) Trabajo de campo:** en los puntos identificados se realizó la toma de muestras de agua siguiendo el protocolo establecido e indicaciones de cada laboratorio, para garantizar la precisión y la representatividad de los datos. Las actividades realizadas fueron:

- » Medición *in situ* de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica y turbidez), mediante equipos como: multiparámetro y turbidímetro.
- » Recolección de muestras de agua para el análisis de metales en un laboratorio acreditado, priorizando 11 metales: aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr) y mercurio (Hg).
- » Preservación de muestras y llenado de cadena de custodia.

El estudio abarca el periodo comprendido de 2021 a 2024, y se centra en la parte alta de la unidad hidrográfica. Además, a partir del 2022, los monitoreos son bianuales, por ello en 2023 no se realizó campañas de monitoreo.

A continuación, en la tabla 2 se presenta la frecuencia en la que se desarrolló la evaluación del agua, el laboratorio donde se realizaron estos análisis de metales y el método de análisis del laboratorio.

**Tabla 2. Frecuencia de análisis, laboratorio y método de análisis**

Número de evaluación	Fecha	Laboratorio	Método de análisis
1	Mayo de 2021	SGS del Perú <sup>i</sup>	ICP-MS <sup>ii</sup>
2	Agosto de 2021		
3	Mayo de 2022		
4	Setiembre de 2022		
5	Abril de 2024		
6	Agosto de 2024		

i. SGS del Perú S. A. C., ubicado en la ciudad de Lima. Acreditado en todos los parámetros analizados.

ii. Espectrometría masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

**c) Evaluación de resultados:** los resultados obtenidos fueron analizados y comparados con los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental (ECA) para el agua (Decreto Supremo N°04-2017-Minam) de manera exacta la categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales y la categoría 4: conservación del ambiente acuático, permitiendo:

- » Identificar alteraciones en la calidad del recurso hídrico.
- » Determinar puntos críticos afectados por DAR.
- » Generar información base para la toma de decisiones.

**Figura 2. Toma de muestra de agua en el punto 5 de la UH río Negro**



## 2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

El presente reporte describe los equipos y materiales utilizados para la evaluación de la calidad del agua en la UH del río Negro. El proceso de muestreo y medición se realizó con el siguiente equipamiento:

- » Materiales para la toma de muestras: se emplearon frascos de muestreo de polietileno de aproximadamente 100 ml de capacidad, según los requerimientos del laboratorio de análisis. Para evitar la contaminación de las muestras durante la recolección, se utilizaron guantes de látex, minimizando los riesgos de contaminación externa.

- » Equipos de medición *in situ*: las mediciones en campo se realizaron con los siguientes equipos:
  - Multiparámetro portátil, dispositivo que permite medir simultáneamente parámetros como temperatura, pH y conductividad eléctrica.
  - Turbidímetro, equipo especializado en la medición de la turbidez, que determina la concentración de partículas suspendidas en el agua.

**Figura 3. Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto 1 de la UH río Negro**

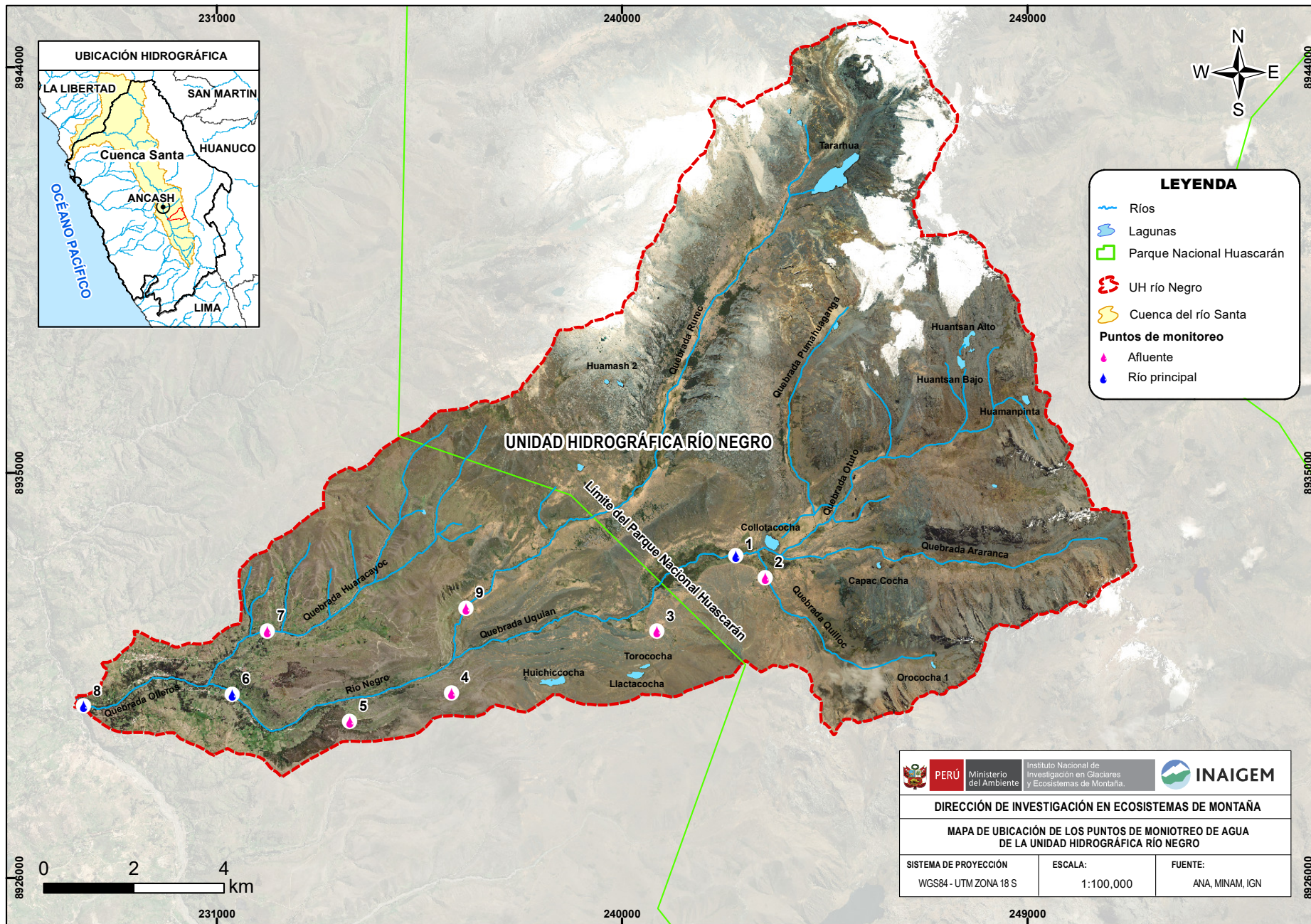


## 2.3. RED DE PUNTOS DE MONITOREO

En la figura 4 se presentan los nueve puntos de monitoreo establecidos en la UH del río Negro, distribuidos en tres puntos ubicados sobre el cauce principal y seis en sus afluentes. La ubicación de estos puntos fue determinada considerando la permanencia de los cauces tanto en época seca como en época húmeda, para asegurar una adecuada representatividad de las condiciones hidrológicas a lo largo del año.

Asimismo, se priorizó que los sitios de muestreo fueran accesibles y seguros, a fin de reducir los riesgos operativos para el personal técnico durante las campañas de monitoreo. Esta red de monitoreo proporciona una cobertura espacial apropiada para la evaluación de la calidad del agua superficial en la parte alta de la cuenca, considerando posibles fuentes naturales de alteración, como el drenaje ácido de roca (DAR).

Figura 4. Mapa de puntos de monitoreo en la UH río Negro



	<b>PERÚ</b>	Ministerio del Ambiente	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña	
<b>DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN ECOSISTEMAS DE MONTAÑA</b>				
<b>MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DE AGUA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO NEGRO</b>				
SISTEMA DE PROYECCIÓN		ESCALA:	FUENTE:	
WGS84 - UTM ZONA 18 S		1:100,000	ANA, MINAM, IGN	

### 3. RESULTADOS DEL MONITOREO

Los resultados que se presentan a continuación corresponden al monitoreo de calidad del agua realizado en la UH del río Negro. La información ha sido organizada por parámetro y por punto de monitoreo, presentando en primer lugar los datos correspondientes al cauce principal del río y, posteriormente, los de sus afluentes.

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para los parámetros medidos *in situ*: pH, conductividad eléctrica (CE) y turbidez, así como para los once metales evaluados: aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr) y mercurio (Hg). Para cada uno de estos parámetros, se reportan los valores promedio, mínimo y máximo registrados durante el periodo de estudio.

Los resultados fueron comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, específicamente en las siguientes categorías:

- » Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales (subcategorías D1 y D2).
- » Categoría 4: conservación del ambiente acuático (subcategoría E2: ríos de la costa y sierra).

Estas categorías son aplicables a cuerpos de agua ubicados dentro de áreas naturales protegidas y se relacionan con las actividades de la población asentada en la zona de estudio.

En los resultados obtenidos, se observa que los puntos de monitoreo 1, 6, 8 y 9 presentan valores de pH (promedio, mínimo y máximo) por debajo de los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental (ECA). Los valores promedio registrados fueron de 3,26 (punto 1), 3,20 (punto 6), 3,30 (punto 8) y 3,51 (punto 9). Asimismo, en el punto 5, los valores promedio y mínimo de pH también se encuentran fuera del rango permitido, con un valor promedio de 5,70.

En cuanto al parámetro de hierro (Fe), los puntos 1, 6 y 8 presentan concentraciones que superan los valores establecidos en el ECA para agua, tanto en la categoría 4, subcategoría E2 (ríos en la costa y sierra), como en la categoría 3, subcategorías D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales). Los valores promedio registrados fueron de 48,64 mg/L (punto 1), 13,28 mg/L (punto 6) y 9,68 mg/L (punto 8). Además, en el punto 9, los valores promedio y máximo de hierro también superan los límites establecidos por la normativa.

Respecto al manganeso (Mn), los puntos 1, 6, 8 y 9 registran concentraciones (promedio, mínimo y máximo) por encima de los valores permitidos en el ECA para agua (categoría 3: D1 y D2, y categoría 4: E2). Los valores promedio observados fueron de 1,063 mg/L (punto 1), 0,693 mg/L (punto 6), 0,677 mg/L (punto 8) y 0,552 mg/L (punto 9). Asimismo, en el punto 5, tanto el valor promedio como el máximo de manganeso se encuentran fuera de los límites establecidos.

En conjunto, los nueve puntos de monitoreo muestran comportamientos diferenciados. Se pueden agrupar en dos categorías: Grupo 1: Puntos 1, 5, 6, 8 y 9, los cuales presentan incumplimientos de los parámetros de pH, hierro (Fe) y manganeso (Mn); respecto a los valores establecidos en el ECA para agua. Grupo 2: Puntos 2, 3, 4 y 7, que se mantienen dentro de los rangos permitidos por el ECA.

A continuación, se muestra en la figura 5 una representación gráfica de los resultados de la tabla 3. A modo de ejemplo, se muestran los valores de pH registrados en el punto de monitoreo 1, donde se aprecia que los valores promedio, mínimo y máximo están por debajo del rango permitido por el ECA para agua, en la categoría 4 subcategoría E2: Ríos y la categoría 3 en las subcategorías D1 «Riego de vegetales» y D2 «Bebida de animales», cuyos rangos permitidos varían desde 6,5 hasta 9 para las categorías mencionadas.

**Figura 5. Evaluación del pH en el punto 1 de la UH río Negro (2021-2024)**

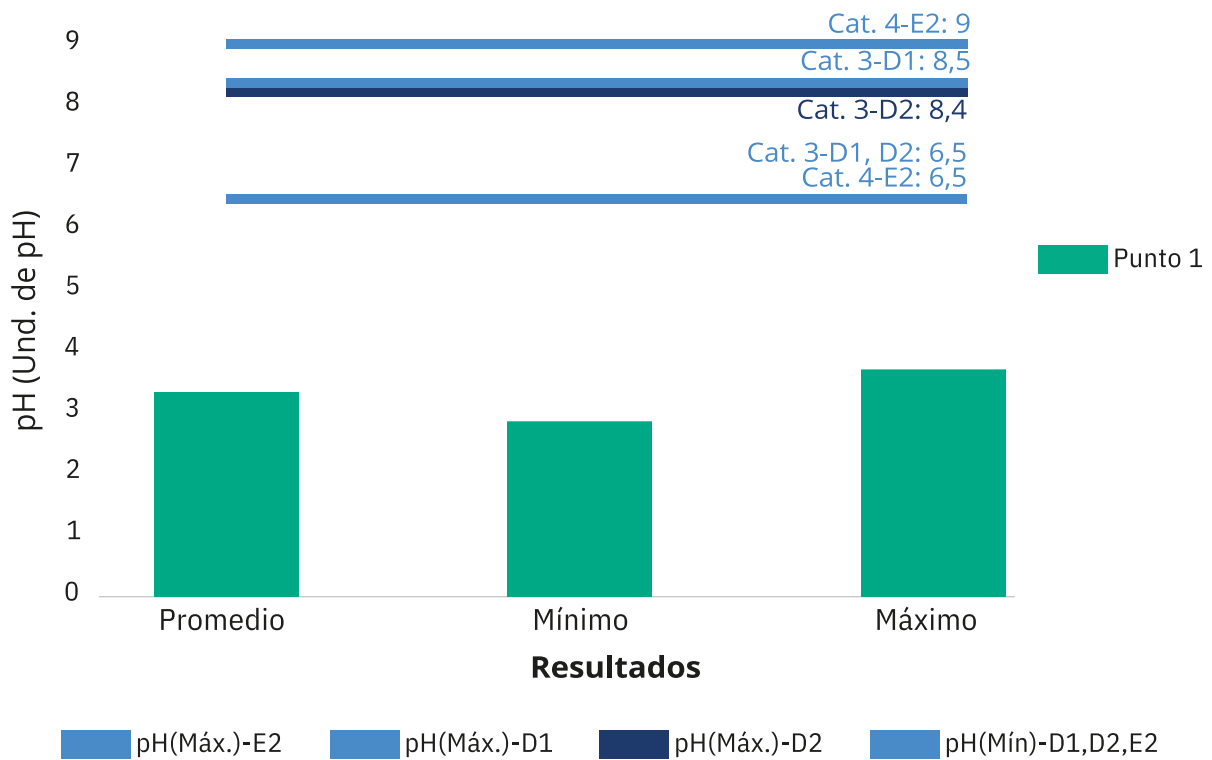


Tabla 3. Resultados de los parámetros evaluados en la UH río Negro de 2021 a 2024

Zona de estudio	Puntos de monitoreo	pH (Unidad de pH)			C.E. (uS/cm)			Turb. (NTU)			Al (mg/L)			
		V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	
Unidad Hidrográfica río Negro	Río principal	1	3.26	2.92	3.61	715.76	425.69	1005.83	10.468	8.346	12.590	4.94	3.85	6.02
		6	3.20	2.93	3.46	583.20	377.41	788.99	11.872	10.362	13.381	3.07	2.22	3.92
		8	3.30	3.06	3.54	586.77	352.14	821.39	13.645	10.686	16.604	3.12	2.40	3.85
	Afluentes	2	6.83	6.50	7.16	56.83	33.69	79.96	0.918	0.210	1.626	0.04	0.02	0.06
		3	6.68	6.28	7.07	23.33	9.30	37.37	2.688	0.263	5.112	0.04	0.00	0.08
		4	6.84	6.57	7.10	16.98	6.38	27.57	1.095	0.630	1.560	0.04	0.01	0.06
		5	5.70	3.82	7.57	217.51	31.68	403.34	3.300	0.434	6.166	0.14	0.00	0.37
		7	7.32	6.80	7.83	72.89	44.16	101.63	2.453	0.655	4.250	0.05	0.02	0.09
		9	3.51	3.01	4.01	453.17	204.39	701.94	6.747	5.730	7.763	2.02	0.97	3.07
ECA para el agua (categoría 3 - D1)		6,5 - 8,5			2500			-----			5			
ECA para el agua (categoría 3 - D2)		6,5 - 8,4			5000			-----			5			
ECA para el agua (categoría 4 - E2)		6,5 - 9,0			1000			-----			-----			

- Incumple las 3 subcategorías.
- Incumple de 1 a 2 subcategorías.
- Cumple con todas las subcategorías

Zona de estudio	Puntos de monitoreo	As (mg/L)			Cd (mg/L)			Cu (mg/L)			Fe (mg/L)			
		V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	
Unidad Hidrográfica río Negro	Río principal	1	0.0004	0.0000	0.0009	0.00027	0.00020	0.00033	0.0046	0.0032	0.0059	48.64	32.06	65.22
		6	0.0003	0.0000	0.0006	0.00029	0.00018	0.00040	0.0054	0.0022	0.0087	13.28	8.54	18.01
		8	0.0103	0.0091	0.0115	0.00027	0.00016	0.00038	0.0042	0.0027	0.0057	9.68	6.59	12.78
	Afluentes	2	0.0001	0.0001	0.0002	0.00007	0.00000	0.00016	0.0001	0.0001	0.0001	0.22	0.10	0.35
		3	0.0005	0.0000	0.0013	< 0,00003* < 0,00003* < 0,00003*			0.0001	0.0000	0.0002	0.06	0.01	0.11
		4	0.0007	0.0000	0.0018	0.00004	0.00002	0.00005	0.0006	0.0000	0.0017	0.15	0.03	0.28
		5	0.0008	0.0001	0.0014	0.00012	0.00000	0.00028	0.0002	0.0000	0.0005	0.43	0.00	1.01
		7	0.0017	0.0009	0.0025	0.00004	0.00002	0.00006	0.0008	0.0000	0.0016	0.11	0.07	0.15
		9	0.0004	0.0001	0.0006	0.00026	0.00007	0.00044	0.0043	0.0026	0.0060	5.07	1.55	8.58
ECA para el agua (categoría 3 - D1)		0.1			0.01			0.2			5			
ECA para el agua (categoría 3 - D2)		0.2			0.05			0.5			----			
ECA para el agua (categoría 4 - E2)		0.15			-----			0.1			-----			

- Incumple de 1 a 2 subcategorías.
- Cumple con todas las subcategorías

\* Los valores obtenidos se encuentran por debajo del valor de cuantificación.

Zona de estudio	Puntos de monitoreo	Mn (mg/L)			Pb (mg/L)			Zn (mg/L)			
		V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	
Unidad Hidrográfica río Negro	Río principal	1	1.063	0.740	1.386	0.0007	0.0006	0.0008	0.255	0.168	0.341
		6	0.693	0.469	0.917	0.0008	0.0006	0.0010	0.168	0.116	0.221
		8	0.677	0.481	0.872	0.0007	0.0006	0.0008	0.162	0.119	0.205
	Afluentes	2	0.036	0.016	0.057	< 0,0006*	< 0,0006*	< 0,0006*	0.013	0.000	0.028
		3	0.002	0.000	0.004	< 0,0006*	< 0,0006*	< 0,0006*	0.059	0.000	0.186
		4	0.002	0.000	0.004	< 0,0006*	< 0,0006*	< 0,0006*	0.028	0.000	0.072
		5	0.240	0.000	0.525	< 0,0006*	< 0,0006*	< 0,0006*	0.059	0.000	0.163
		7	0.003	0.001	0.006	< 0,0006*	< 0,0006*	< 0,0006*	0.003	0.002	0.004
		9	0.552	0.269	0.834	0.0010	0.0005	0.0014	0.132	0.063	0.201
ECA para el agua (categoría 3 - D1)			0.2			0.05		2			
ECA para el agua (categoría 3 - D2)			0.2			0.05		24			
ECA para el agua (categoría 4 - E2)			----			0.0025		0.12			

■ Incumple de 1 a 2 subcategorías.

□ Cumple con todas las subcategorías

\* Los valores obtenidos se encuentran por debajo del valor de cuantificación.

Zona de estudio	Puntos de monitoreo	B (mg/L)			Cr (mg/L)			Hg (mg/L)			
		V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	V. prom.	V. mín.	V. máx.	
Unidad Hidrográfica río Negro	Río principal	1	0.010	0.004	0.016	0.0004	0.0003	0.0005	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
		6	0.008	0.004	0.011	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
		8	0.403	0.316	0.489	0.0003	0.0003	0.0004	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
	Afluentes	2	< 0,006*	< 0,006*	< 0,006*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
		3	< 0,006*	< 0,006*	< 0,006*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
		4	< 0,006*	< 0,006*	< 0,006*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
		5	< 0,006*	< 0,006*	< 0,006*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
		7	0.009	0.004	0.014	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
		9	0.009	0.004	0.013	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,0003*	< 0,00009*	< 0,00009*	< 0,00009*
ECA para el agua (categoría 3 - D1)			1			0.1		0.001			
ECA para el agua (categoría 3 - D2)			5			1		0.01			
ECA para el agua (categoría 4 - E2)			----			----		0.0001			

□ Cumple con todas las subcategorías

\* Los valores obtenidos se encuentran por debajo del valor de cuantificación.

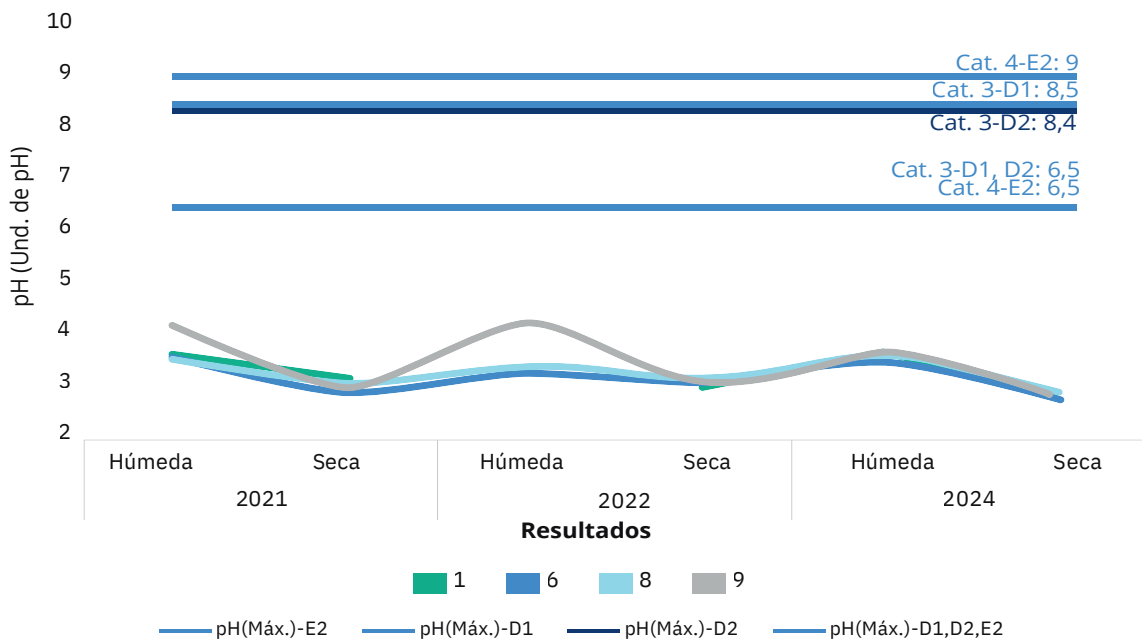
### 3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### -Potencial de hidrógeno (pH)

En la figura 6 se presenta la evolución de los valores de pH registrados de 2021 a 2024 en los puntos de monitoreo 1, 6, 8 y 9 de la UH río Negro. Los resultados evidencian condiciones altamente ácidas, con valores que varían entre 2,79 y 4,22, muy por debajo del umbral mínimo de 6,5 establecido por el estándar de calidad ambiental (ECA) para agua en las categorías D1 (riego de vegetales), D2 (bebida de animales) y E2 (ríos de la costa y sierra). Esta acidez es más pronunciada durante la temporada seca, alcanzando un valor mínimo de 2,79 en 2024. Estas condiciones sugieren una marcada influencia de procesos naturales como el drenaje ácido de rocas (DAR).

La recurrencia de estos valores bajos de pH a lo largo de los años y en diversos puntos de monitoreo indica un impacto sostenido sobre la UH, comprometiendo la calidad del agua y representando un riesgo significativo para los ecosistemas acuáticos.

**Figura 6. Evolución de los valores de pH (Und.) para el periodo 2021-2024**



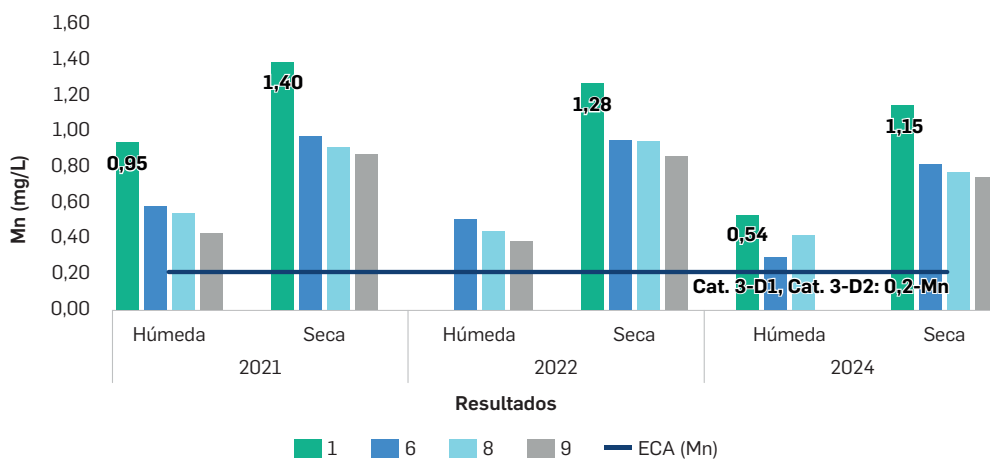
**-Manganeso (Mg)**

En la figura 7 se presentan los resultados del parámetro manganeso (Mn) registrados en la UH del río Negro durante el periodo 2021-2024. Los datos evidencian que el punto de monitoreo 1 reporta consistentemente las concentraciones más altas, superando el valor límite establecido por el ECA (0,2 mg/L) en todas las campañas. Destacan los valores registrados en época seca, con 1,40 mg/L en 2021 y 1,15 mg/L en 2024.

Los puntos ubicados aguas abajo (6, 8 y 9) muestran una disminución progresiva en las concentraciones, aunque en todos los casos se mantienen por encima del umbral normativo, especialmente durante la estación seca. Esta distribución sugiere una dispersión del contaminante a lo largo del flujo, con una atenuación parcial aguas abajo.

La tendencia temporal indica una leve reducción en las concentraciones hacia 2024. Sin embargo, se mantiene el patrón estacional, con valores más altos durante los periodos secos. Este comportamiento sugiere la influencia de procesos naturales como la lixiviación de minerales en épocas de escasa precipitación, mientras que en temporada húmeda se observa una probable dilución del manganeso debido al aumento del caudal por lluvias.

**Figura 7. Evolución de la concentración de Mn (mg/L) para el periodo 2021-2024**

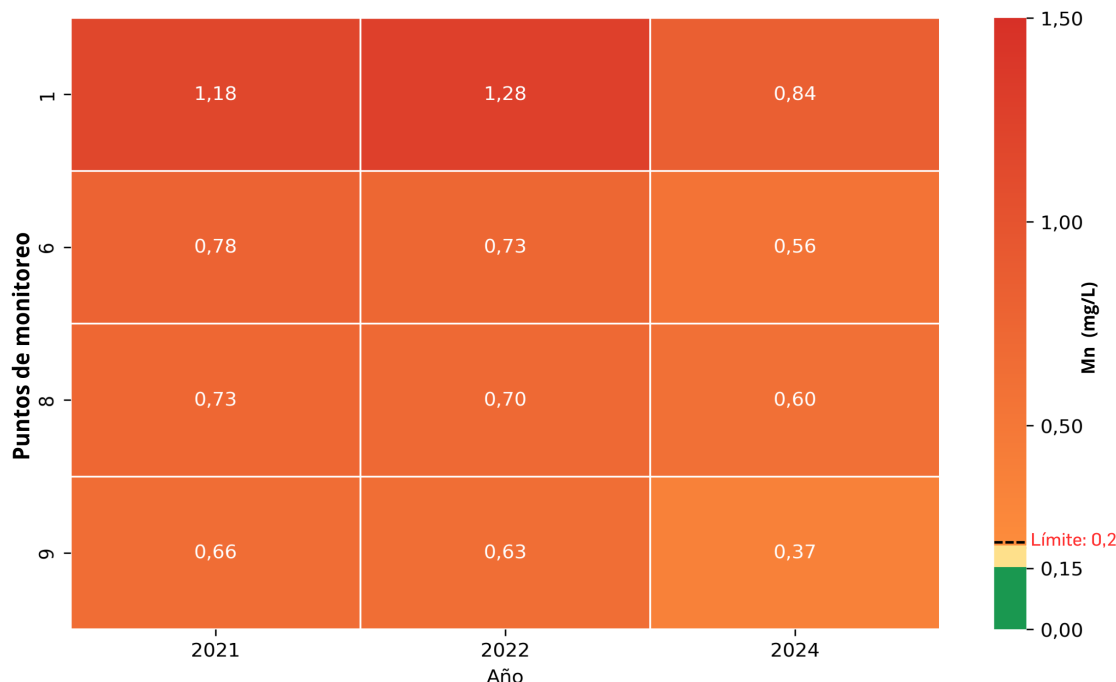


En la figura 8, se muestra la evolución de las concentraciones de manganeso (Mn) en la UH del río Negro, durante el periodo 2019-2024. Los resultados se compararon con el valor límite establecido por los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua en la categoría 3, subcategorías D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales), ambos con un umbral de 0,2 mg/L.

El punto de monitoreo 1 registra las concentraciones más elevadas, alcanzando un valor máximo de 1,28 mg/L en 2022, seguido por un descenso gradual en los puntos 6, 8 y 9, lo que evidencia un patrón de dilución aguas abajo. Aunque se observa una reducción progresiva de las concentraciones hacia 2024, todos los puntos monitoreados continúan superando el valor normativo en cada campaña evaluada.

Este comportamiento espacial y temporal sugiere que la presencia de manganeso podría estar relacionada con procesos naturales de liberación de minerales presentes en las rocas del área, especialmente las que se encuentran cercanas a la zona del punto 1, donde se observan las concentraciones más elevadas. La persistencia de estos niveles, a pesar de la ligera disminución hacia 2024, indica la necesidad de implementar medidas de mitigación específicas.

**Figura 8. Diagrama de calor de la concentración anual de manganeso (Mn), periodo 2021-2024**



**-Hierro (Fe)**

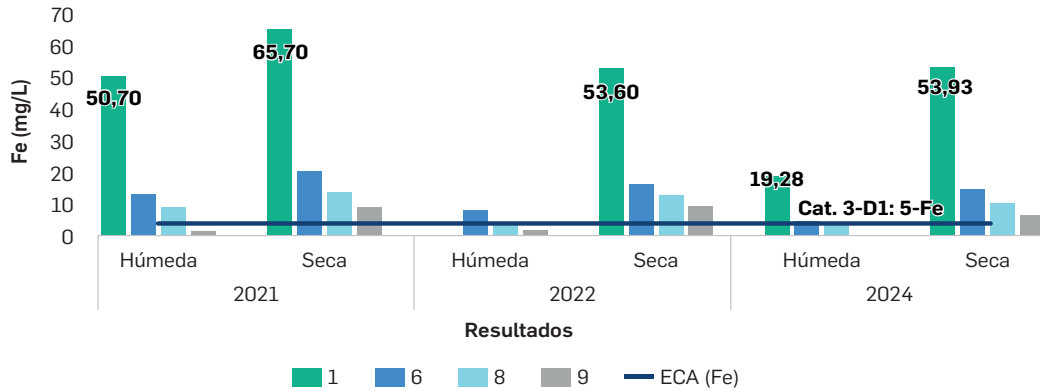
En la figura 9 se presentan los resultados de las concentraciones de hierro (Fe), correspondientes al periodo 2021-2024 en la UH del río Negro. Estos resultados muestran que el punto 1 de monitoreo presenta de forma constante los niveles más altos de hierro, superando ampliamente el valor límite permitido por el ECA (5 mg/L) en todas las campañas. Estas concentraciones fueron especialmente elevadas durante la época seca, alcanzando 65,70 mg/L en 2021 y 53,93 mg/L en 2024. Este comportamiento sugiere que el hierro proviene principalmente de procesos naturales, como la oxidación de minerales en las rocas, un fenómeno conocido como drenaje ácido de roca (DAR).

Los puntos ubicados aguas abajo (6, 8 y 9) presentan concentraciones más bajas en comparación con el punto 1, aunque en ciertos periodos también superan el límite permitido. En general, se observa que las concentraciones disminuyen progresivamente desde el punto 1 hacia las zonas más alejadas, lo que indica una posible dilución o atenuación del hierro a medida que el agua avanza a lo largo del curso del río.

Además, se observa una marcada diferencia estacional, con concentraciones más elevadas durante las épocas secas, lo que evidencia el efecto de dilución asociado a las precipitaciones en temporada húmeda.

Estos resultados muestran la necesidad de implementar medidas de control y mitigación, particularmente en el punto 1, con el fin de reducir la carga de hierro y proteger tanto el ecosistema como a las poblaciones que podrían verse afectadas.

**Figura 9. Evolución de la concentración de Fe (mg/L) para el periodo 2021-2024**

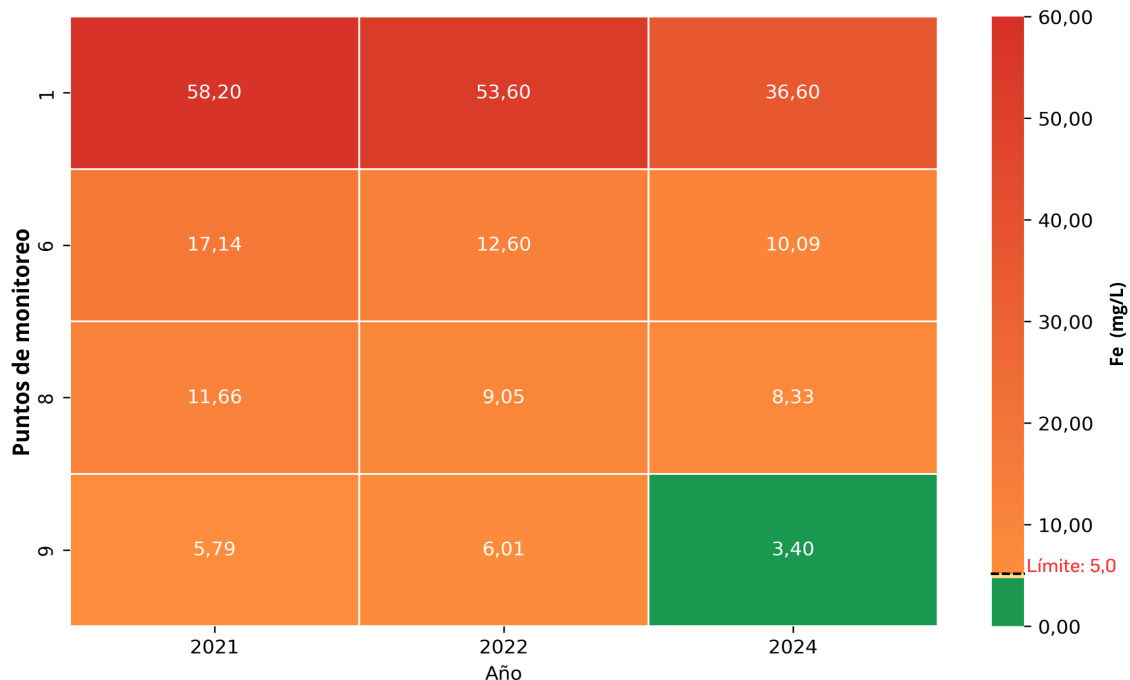


En la figura 10 se presenta la evolución anual de las concentraciones de hierro (Fe), correspondientes al periodo 2019-2024, comparadas con el valor establecido por el ECA para agua, categoría 3, subcategoría D1 «Riego de vegetales» (5 mg/L).

El punto de monitoreo 1 registra las concentraciones más elevadas durante todo el periodo de evaluación, alcanzando un valor máximo de 58,20 mg/L en 2021 y manteniéndose significativamente alto en 2024 (36,60 mg/L), superando ampliamente el límite normativo. De manera similar, los puntos ubicados aguas abajo (6, 8 y 9) también presentan concentraciones continuas que exceden la normativa, aunque con una tendencia decreciente en función de la distancia respecto al punto 1.

Si bien se identifica una ligera disminución temporal de las concentraciones hacia 2024, los niveles permanecen muy por encima del valor permitido, lo que evidencia la existencia de una fuente continua y persistente de aporte de hierro, posiblemente asociada a procesos naturales como el drenaje ácido de roca (DAR).

**Figura 10. Diagrama de calor de la concentración anual de hierro (Fe), periodo 2021-2024**



### -Recurrencia de parámetros

La UH río Negro presenta, en términos generales en la tabla 4, una recurrencia moderada de incumplimientos en los parámetros de pH, manganeso (Mn) y hierro (Fe), respecto a los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. De un total de 45 mediciones, se evidencia que no se cumple con los valores establecidos para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), subcategorías D1 y D2, así como para la categoría 4 (conservación del ambiente acuático), subcategoría E2 (ríos de la costa y sierra). En cuanto al parámetro de pH, el 57,8% de los valores registrados muestran condiciones ácidas, mientras que las concentraciones de hierro (44,4%) y manganeso (53,3%) superan los límites permitidos. En el caso del aluminio, se reporta una menor frecuencia de excedencias (6,7%).

Estos resultados reflejan una clara influencia del drenaje ácido de rocas (DAR), especialmente en los puntos 1, 6, 8 y 9, fenómeno posiblemente intensificado por el retroceso glaciar en la zona. Además, estos hallazgos coinciden con lo reportado por Bravo-Zevallos et al. (2024), quienes también identificaron concentraciones elevadas de hierro y manganeso, así como niveles bajos de pH, concluyendo que dichas condiciones hacen que estas aguas no sean aptas para el consumo humano.

**Tabla 4. Recurrencia de parámetros que incumplen el ECA en la UH río Negro (2021-2024)**

Parámetros	Valor ECA Agua	Recurrencia (%)
pH (Unid)	6,5-8,5 (Cat 3-D1)	
	6,5-8,4 (Cat 3-D2)	
	6,5-9,0 (Cat 4-E2)	
Manganeso (Mn)	≥ 0,2 mg/L (Cat 3-D1)	
	≥ 0,2 mg/L (Cat 3-D2)	
Hierro (Fe)	≥ 5 mg/L (Cat 3-D1)	
Aluminio (Al)	≥ 5 mg/L (Cat 3-D1)	
	≥ 5 mg/L (Cat 3-D2)	

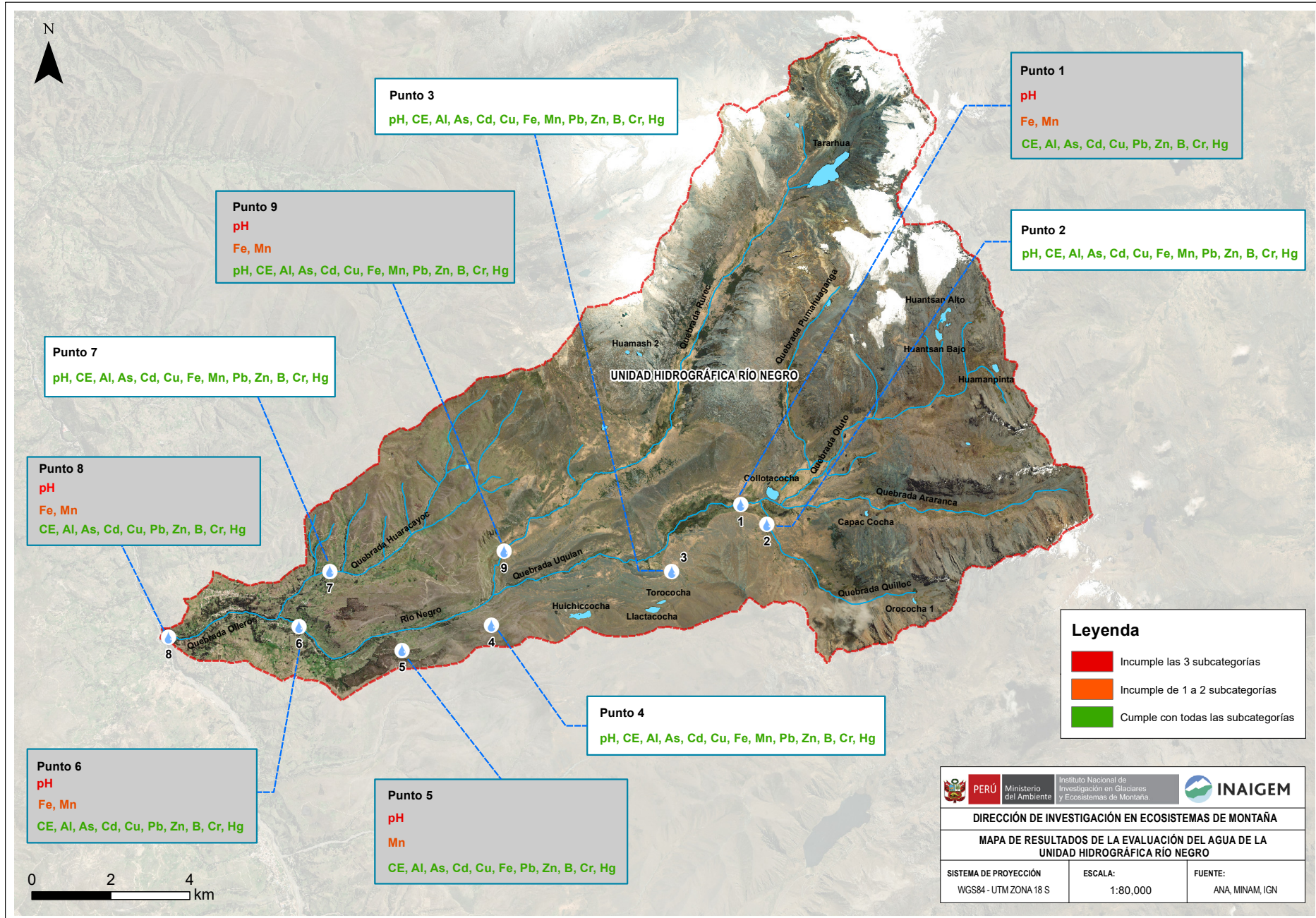
## 3.2. MAPA DE RESULTADOS

En la figura 11 se muestra el mapa con los resultados del monitoreo realizado en la UH río Negro, el cual se basa en los datos de parámetros fisicoquímicos y metales totales recopilados durante el periodo 2021-2024. Es importante señalar que en 2023 no se realizaron campañas de campo, por lo que los resultados corresponden solo a los años con información disponible.

Para facilitar la interpretación, se utilizó un código de colores que representa el grado de cumplimiento del estándar de calidad ambiental (ECA) para agua: rojo (incumplimiento en las tres subcategorías evaluadas), anaranjado (incumplimiento en una o dos subcategorías) y verde (cumplimiento en las tres subcategorías).

Los resultados indican que el parámetro de pH no cumple con los valores establecidos para la categoría 4, subcategoría E2 (conservación del ambiente acuático), ni con la categoría 3, subcategorías D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales), principalmente en los puntos 1, 5, 6, 8 y 9. Asimismo, el manganeso (Mn) y el hierro (Fe) superan los límites permitidos del ECA en la categoría 3 (D1 y D2), lo cual confirma que las aguas superficiales en estos puntos presentan una acidez elevada, atribuible a los efectos del drenaje ácido de roca (DAR). Estos hallazgos evidencian la necesidad de evaluar alternativas de tratamiento para mejorar la calidad del agua y reducir la presencia de metales, con miras a proteger tanto el ambiente como la salud humana y animal.

Figura 11. Mapa de resultados de la UH río Negro, periodo 2021-2024.



## 4. CONCLUSIONES

El monitoreo realizado en la unidad hidrográfica del río Negro de 2021 a 2024 evidencia una situación preocupante en cuanto a la calidad del agua superficial. Los resultados muestran que varios puntos de monitoreo incumplen los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua, particularmente en los parámetros de pH, hierro (Fe) y manganeso (Mn).

Cinco puntos evaluados (1, 5, 6, 8 y 9) presentan condiciones de alta acidez, con valores de pH por debajo del mínimo establecido (6,5), lo que indica un entorno ácido no apto para el riego de cultivos, el consumo de animales ni la conservación de la vida acuática. Además, en estos mismos puntos se identificaron concentraciones elevadas de hierro y manganeso, superando de forma constante los límites establecidos por la normativa ambiental. El punto 1 fue el más crítico, con niveles que se mantienen persistentemente altos a lo largo del tiempo.

La causa principal de estas condiciones desfavorables es el drenaje ácido de roca (DAR), asociado al retroceso glaciar que ocurre en esta parte de la cordillera. Este proceso natural libera minerales y metales al agua, alterando su calidad de forma significativa. La recurrencia de estos hallazgos en distintos años y campañas confirma que se trata de un fenómeno continuo y estructural, no puntual.

Estos resultados refuerzan la necesidad de establecer medidas de control y mitigación en la cuenca, así como buscar alternativas de tratamiento del agua que permitan reducir su acidez y capturar metales disueltos.

## 5. RECOMENDACIONES

- » Establecer un comité técnico intersectorial que articule a los principales actores involucrados, con el propósito de optimizar la coordinación institucional y fortalecer la gobernanza del agua en los ámbitos local y regional. Este comité permitirá avanzar hacia una gestión integrada, participativa y sostenible del recurso hídrico.
- » Implementar un sistema integrado de monitoreo ambiental que combine mediciones periódicas de parámetros fisicoquímicos críticos (como pH y conductividad eléctrica) con el uso de tecnologías accesibles y de bajo costo. Este sistema debe articularse con la participación activa de autoridades locales, comunidades y demás actores clave, a fin de fortalecer la vigilancia comunitaria y promover una gestión descentralizada y eficiente de la calidad del agua.
- » Promover investigaciones y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, como humedales artificiales, integrándolas en la planificación territorial y el desarrollo local. Asimismo, incentivar la participación activa de la población local en las etapas de operación y mantenimiento de estos sistemas, mediante procesos de capacitación y fortalecimiento de capacidades que garanticen su funcionamiento continuo y sostenible.
- » Adaptar experiencias exitosas de otros países en la remediación de cuerpos de agua contaminados. La participación protagónica del gobierno regional y local en la conservación de los ecosistemas de montaña es fundamental para fortalecer las capacidades técnicas en el territorio y, con ello, asegurar una gestión adecuada, oportuna y sostenible de los recursos hídricos.

## LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>ANA</b>	Autoridad Nacional del Agua
<b>Cond.</b>	Conductividad eléctrica
<b>DAR</b>	Drenaje ácido de roca
<b>DIEM</b>	Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña
<b>ECA</b>	Estándar de Calidad Ambiental
<b>ICP-MS</b>	Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente
<b>Inaigem</b>	Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
<b>INEI</b>	Instituto Nacional de Estadística e Informática
<b>Minam</b>	Ministerio del Ambiente
<b>NTU</b>	Unidades nefelométricas de turbidez
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>Turb.</b>	Turbidez
<b>UH</b>	Unidad hidrográfica
<b>UTM</b>	Universal Transverse Mercator (Proyección Universal Transversa de Mercator)
<b>WGS84</b>	World Geodetic System 1984 (Sistema Geodésico Mundial de 1984)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- » APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd edition). American Public Health Association.
- » Bravo-Zevallos, W., Fernández-Jerí, Y., Torres-Lázaro, J. C., & Zuñiga-Bardales, K. (2024). Assessment of Human Health Risk Indices Due to Metal Contamination in the Surface Water of the Negro River Sub-Basin, Áncash. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph21060733>
- » Emmer, A., & Vilímek, V. (2013). Review article: Lake and breach hazard assessment for moraine-dammed lakes: An example from the Cordillera Blanca. In *Natural Hazards and Earth System Sciences* (vol. 13, nro. 6, pp. 1551-1565). Copernicus GmbH. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1551-2013>
- » Geo-ecological Systems Peru. (2017). *SIAR Áncash*. <https://siar.minam.gob.pe/ancash/publicaciones/?nid=297006>
- » Grande, J. A., Loayza-Muro, R., Alonso-Chaves, F. M., Fortes, J. C., Willems, B., Sarmiento, A. M., Santisteban, M., Dávila, J. M., de la Torre, M. L., Durães, N., Díaz-Curiel, J., & Luís, A. T. (2019). The Negro River (Áncash-Perú): A unique case of water pollution, three environmental scenarios and an unresolved issue. *Science of The Total Environment*, 648, 398-407. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.068>
- » Inaigem. (2023). *Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas de Origen Glaciar 2023* (Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Ed.). <https://doi.org/10.36580/Inaigem.document17>
- » Instituto Andino de Montaña (IDM). (2022). *Plan de Gestión para cuencas resilientes basado en participación comunitaria para la subcuenca del río Negro*.
- » Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Summary for Policymakers*. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- » Martel Valverde, G., C. Torres Lázaro, J., & Jara Infantes, W. H. (2018). Variación del pH en Aguas Superficiales Debido a Drenajes Ácidos de Roca en la Subcuenca Quillcay, Huaraz, Áncash. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 5. <https://doi.org/10.36580/rgem.i5.57-68>
- » OMS. (2017). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*. [www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950](http://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950)
- » Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico* (1 Edición). Ediciones de la U.
- » Zarroca, M., Roqué, C., Linares, R., Salminci, J. G., & Gutiérrez, F. (2021). Natural acid rock drainage in alpine catchments: A side effect of climate warming. *Science of the Total Environment*, 778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146070>
- » Zevallos, W. A. B. (2023). *Evaluación de los índices de riesgo para la salud humana por contaminación de metales en aguas superficiales de la subcuenca del río Negro, Áncash*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12748/555>
- » Zimmer, A., K. Brito Rodríguez, M., J. Alegre Oropeza, C., W. Sánchez León, J., & Recharte Bullard, J. (2018). Implementación de dos sistemas de biorremediación como estrategia para la prevención y mitigación de los efectos del drenaje ácido de roca en la cordillera Blanca, Perú. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 4. <https://doi.org/10.36580/rgem.i4.57-76>

## ANEXOS

ANEXO 1. Anexo Categorías 3 y 4 del estándar de calidad ambiental (ECA) para agua, Decreto Supremo N.° 004-2017-Minam

**Tabla 5. Estándar de calidad para el agua de la categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales (parámetros usados en el reporte)**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido <sup>i</sup>	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS-QUÍMICOS</b>				
Conductividad	( $\mu$ S/cm)		2 500	5 000
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5-8,5	6,5-8,5
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L		5	5
Arsénico	mg/L		0,1	0,2
Boro	mg/L		1	5
Cadmio	mg/L		0,01	0,05
Cobre	mg/L		0,2	0,5
Cromo	mg/L		0,1	1
Hierro	mg/L		5	**
Manganeso	mg/L		0,2	0,2
Mercurio	mg/L		0,001	0,01
Plomo	mg/L		0,05	0,05
Zinc	mg/L		2	24

<sup>i</sup> Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, solo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

\*\* El parámetro no aplica para esta subcategoría.

Fuente: Decreto Supremo N.° 004-2017-Minam, Estándar de calidad ambiental (ECA) para agua.

**Tabla 6. Estándar de calidad para el agua de la categoría 4: conservación del ambiente acuático, E2: ríos (parámetros usados en el reporte)**

Parámetros	Unidad de medida	E2: ríos
		Costa y sierra
<b>FÍSICOS-QUÍMICOS</b>		
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0
<b>INORGÁNICOS</b>		
Arsénico	mg/L	0,15
Cobre	mg/L	0,1
Mercurio	mg/L	0,0001
Plomo	mg/L	0,0025
Zinc	mg/L	0,12

Fuente: Decreto Supremo N.° 004-2017-Minam, estándar de calidad ambiental (ECA) para agua.

## ANEXO 2. Ubicación de los puntos de evaluación de la UH Pariac-Rajucolta

**Tabla 7. Ubicación y descripción de los puntos de evaluación.**

Código del punto de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud	D2: Bebida de animales Bebida de animales
	Este	Norte	m s.n.m.	
1	242 528	8 933 165	3 988	Río Uquian, aguas debajo de la confluencia del punto de monitoreo 2 y el río Uquian
2	243 185	8 932 671	3 932	Aportante al río Uquian - Quebrada Quilloc
3	240 778	8 931 477	4 046	Aportante al río Uquian
4	236 219	8 930 119	3 964	Aportante al río Uquian
5	233 957	8 929 484	3 747	Aportante al río Negro
6	231 351	8 930 081	3 525	Río Negro, antes de la unión con el río Puyhuan
7	232 350	8 931 479	3 657	Río Puyhuan
8	228 053	8 929 821	3 334	Río Negro, descarga al río Santa
9	236 538	8 931 994	3 876	Río Rurec

### ANEXO 3. Imágenes de los puntos donde incumplen el ECA

**Figura 12. Imágenes de la zona de muestreo del punto 1**



Figura 13. Imágenes de la zona de muestreo del punto 5



Figura 14. Imágenes de la zona de muestreo del punto 6



Figura 15. Imágenes de la zona de muestreo del punto 8



**Figura 16. Imágenes de la zona de muestreo del punto 9**







**INAIGEM**

INSTITUTO NACIONAL DE  
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y  
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA