

REPORTE

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) RÍO BLANCO- SANTA CRUZ



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

REPORTE

**EVALUACIÓN DE LA
CONCENTRACIÓN DE
METALES EN EL AGUA
SUPERFICIAL DE LA
UNIDAD HIDROGRÁFICA
(UH) RÍO BLANCO-
SANTA CRUZ**

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD
HIDROGRÁFICA (UH) RÍO BLANCO-SANTA CRUZ

Autores:

Yeidy Montano, Beatriz Fuentealba, Pedro M. Tapia y Helder Mallqui

Colaborador:

Cristian Quispe Ccajavilca (elaboración de mapas)

Editado por:

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

Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM)

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

Teléfono: (043) 64 3460

Correo electrónico: diem@inaigem.gob.pe

Fotografías de portada e interiores: Archivo DIEM-INAIGEM

Corrección de estilo: Jorge Coaguila y Mirtha Camacho Hernández

Diseño y diagramación: Ana Mercedes Periche Acosta

1ra edición

Depósito legal N° 2024-13561

Por favor citar la publicación de la siguiente manera:

Montano, Y., Fuentealba B., Tapia, P. M. y Mallqui H. (2023). Evaluación de la concentración de metales en el agua superficial de la Unidad Hidrográfica (UH) Río Blanco-Santa Cruz (*Reporte*). Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM).

► Índice

Presentación	7
Introducción	8
1. Aspectos generales de la unidad hidrográfica (UH) Río Blanco-Santa Cruz	10
2. Colecta de datos para calidad de agua	12
2.1. Análisis de laboratorio y gabinete	14
3. Resultados	15
3.1. Mapa de resultados en la unidad hidrográfica (UH) Río Blanco-Santa Cruz	18
3.2. Evaluación de la última estación de monitoreo	20
Conclusiones	22
Referencias bibliográficas	23
Anexos	24
Anexo 1: Ubicación de los puntos de evaluación de la UH Río Blanco-Santa Cruz	24

► Índice de tablas

Tabla 1.	Características principales de la UH Río Blanco-Santa Cruz	10
Tabla 2.	Frecuencia de análisis, laboratorios y método de análisis	14
Tabla 3.	Resultados de los parámetros evaluados en la UH Río Blanco-Santa Cruz de 2016 a 2019	16
Tabla 4.	Resultados de los parámetros evaluados en el último punto de monitoreo de la UH Río Blanco-Santa Cruz (pH, conductividad eléctrica, turbiedad, aluminio y arsénico).	21
Tabla 5.	Resultados de los parámetros evaluados en el punto 10 de la UH Río Blanco-Santa Cruz (cadmio, cobre, hierro, manganeso y plomo)	21
Tabla 6.	Resultados de los parámetros evaluados en el punto 10 de la UH Río Blanco-Santa Cruz (zinc, boro, cromo y mercurio)	21

► Índice de figuras

Figura 1.	Mapa de ubicación de la UH Río Blanco-Santa Cruz	11
Figura 2.	Toma de muestra de agua y medición de parámetros físicoquímicos	12
Figura 3.	Mapa de puntos de monitoreo en la UH Río Blanco-Santa Cruz	13
Figura 4.	Evaluación del pH en el punto 04 de la UH Río Blanco-Santa Cruz (2016-2019)	15
Figura 5.	Mapa de resultados en la UH Río Blanco-Santa Cruz	19

PRESENTACIÓN

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) es el ente rector en investigación científica en glaciares y ecosistemas de montaña. Busca fomentar y expandir la investigación científica y tecnológica en el ámbito de los ecosistemas de montaña para promover una gestión sostenible que beneficie a las poblaciones que viven en o se benefician de estos ecosistemas. En este sentido, la Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña (DIEM) desarrolla estudios de la calidad del agua en los ecosistemas de montaña para convertirlos en reportes que contribuyan con el desarrollo de investigaciones científicas sobre los impactos y vulnerabilidad frente al cambio climático de los sistemas humanos y naturales en el ámbito de los ecosistemas de montaña.

A continuación, se presenta el reporte «Evaluación de la concentración de metales en el agua superficial de la Unidad Hidrográfica (UH) Río Blanco-Santa Cruz», que ofrece los resultados de las concentraciones de metales y parámetros de campo evaluados en el río principal y afluentes de 2016 a 2019.

El objetivo central es informar sobre la calidad del agua, basados en parámetros fisicoquímicos y metales totales de la UH Río Blanco-Santa Cruz, durante este periodo de evaluación (2016-2019).

Además, este reporte se podrá utilizar como línea base ambiental para estudios tanto del INAIGEM como de otras instituciones o investigadores. Asimismo, permitirá conocer la secuencia histórica sobre calidad de agua en la cabecera de cuenca de esta UH, mediante la comparación de estos resultados con los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua. Así, se corroborará el cumplimiento de la norma con la categoría respectiva y el uso que la población le puede dar. Por último, este reporte servirá de insumo para intervenciones de las autoridades locales frente a algún problema de contaminación que se pueda presentar.

INTRODUCCIÓN

La cordillera de los Andes en el centro-norte del Perú, departamento de Áncash, comprende dos montañas paralelas, la cordillera Blanca oriental y la cordillera Negra occidental, que recorren a lo largo del río Santa. La cordillera Blanca es una de las zonas más importantes de la cordillera de los Andes peruanos, allí se encuentran glaciares tropicales que están experimentando actualmente un gran retroceso (Santofimia et al., 2017). La cordillera Blanca se redujo a 448,81 kilómetros cuadrados. La tendencia muestra una tasa de retroceso glaciar de 4,97 kilómetros cuadrados al año (INAIGEM, 2018).

La cuenca del río Santa pertenece a la vertiente del Pacífico y comprende sectores de la costa y sierra de los departamentos de Áncash y La Libertad. Posee un extenso territorio caracterizado por tener una de las zonas de glaciares tropicales más extensas del país y del planeta. Estos glaciares son una importante fuente de reserva de agua para el desarrollo de actividades económicas. Una de las unidades hidrográficas (UH) aportantes a la cuenca del río Santa es la UH Río Blanco-Santa Cruz, ubicada en la provincia de Huaylas, departamento Áncash. En esta UH las principales actividades económicas son la producción agropecuaria y el turismo de aventura, ambas ligadas a los ecosistemas de montaña que se encuentran en la parte alta de su territorio.

El término «calidad del agua» es usado para describir las características físicas, químicas y biológicas del agua (por ejemplo, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH)¹, turbiedad, metales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosfatos, nitratos, sólidos suspendidos totales (SST), coliformes, entre otros), dependiendo principalmente del uso que se le va dar. En este sentido, en este reporte se presentan los resultados de los parámetros físicoquímicos y metales evaluados en la UH Río Blanco-Santa Cruz del 2016 a 2019. Estos resultados fueron comparados con el ECA² para agua, que son indicadores de calidad que presentan valores máximos de concentraciones de elementos, sustancias u otros. Su finalidad es fijar metas que representan el nivel a partir del cual se puede afectar significativamente el ambiente y la salud humana.

Se evaluaron 11 puntos de monitoreo dentro de esta UH, de los cuales 10 se encuentran en el interior del Parque Nacional Huascarán (PNH), es por ello que los resultados se compararon con el ECA para agua, categoría 4, «Conservación del ambiente acuático». Este indicador de calidad ambiental se utiliza para cuerpos naturales de agua superficial que forman parte de ecosistemas frágiles y que se encuentran en áreas naturales protegidas (ANP). Existen algunos parámetros en esta categoría que no reporta un valor, como es el caso del aluminio (Al), cadmio (Cd), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B) y cromo (Cr); para estos casos se utilizó como valor referencial la categoría 3-D1, «Riego de vegetales». Finalmente, se compararon los resultados del último punto de monitoreo (punto 10) con el ECA para agua (categoría 3-D1) y con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (CACH) (Decreto Supremo 031-2010-SA), a fin de conocer la calidad del agua que sale del PNH, y por ser este punto el más cercano a de las áreas donde se realizan actividades agropecuarias y existen fuentes de uso para consumo humano.

1 El pH es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de soluciones acuosas (Osorio, 2012).

2 www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf



© Archivo fotográfico DIEM-INAIGEM

En este sentido, la información que se presenta constituye un soporte técnico para estudios sobre la potencial influencia del retroceso glaciar en el agua superficial. También permite conocer la calidad del agua en las partes altas de los ecosistemas de montañas, que puede ser utilizada como línea base para futuras investigaciones.

1. ASPECTOS GENERALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA RÍO BLANCO-SANTA CRUZ

Esta unidad hidrográfica (UH) se ubica, en lo político, en el departamento de Áncash, provincia de Huaylas, distrito de Santa Cruz, en la parte central occidental del Perú. Tiene una extensión territorial de 236 kilómetros cuadrados. En lo geográfico, se encuentra entre los paralelos 8°55'9" y 8°54'0,5" de latitud Sur y los meridianos 77°50'49" y 77°34'27" de longitud Oeste. Su nivel altitudinal varía de 1.950 a 6.300 metros. Ocupa parte de la vertiente occidental de la cordillera Blanca, sus aguas fluyen desde la parte alta, desde la quebrada Taullicocha para formar el río Santa Cruz, y desembocan en la laguna Jatuncocha para seguir fluyendo y confluir con la quebrada Paccharuri, y formar el río Yuracmayu denominado «Río Blanco» para luego verter sus aguas al río Santa. En lo hidrográfico, se halla en la cuenca del Santa y pertenece a la región hidrográfica del océano Pacífico.

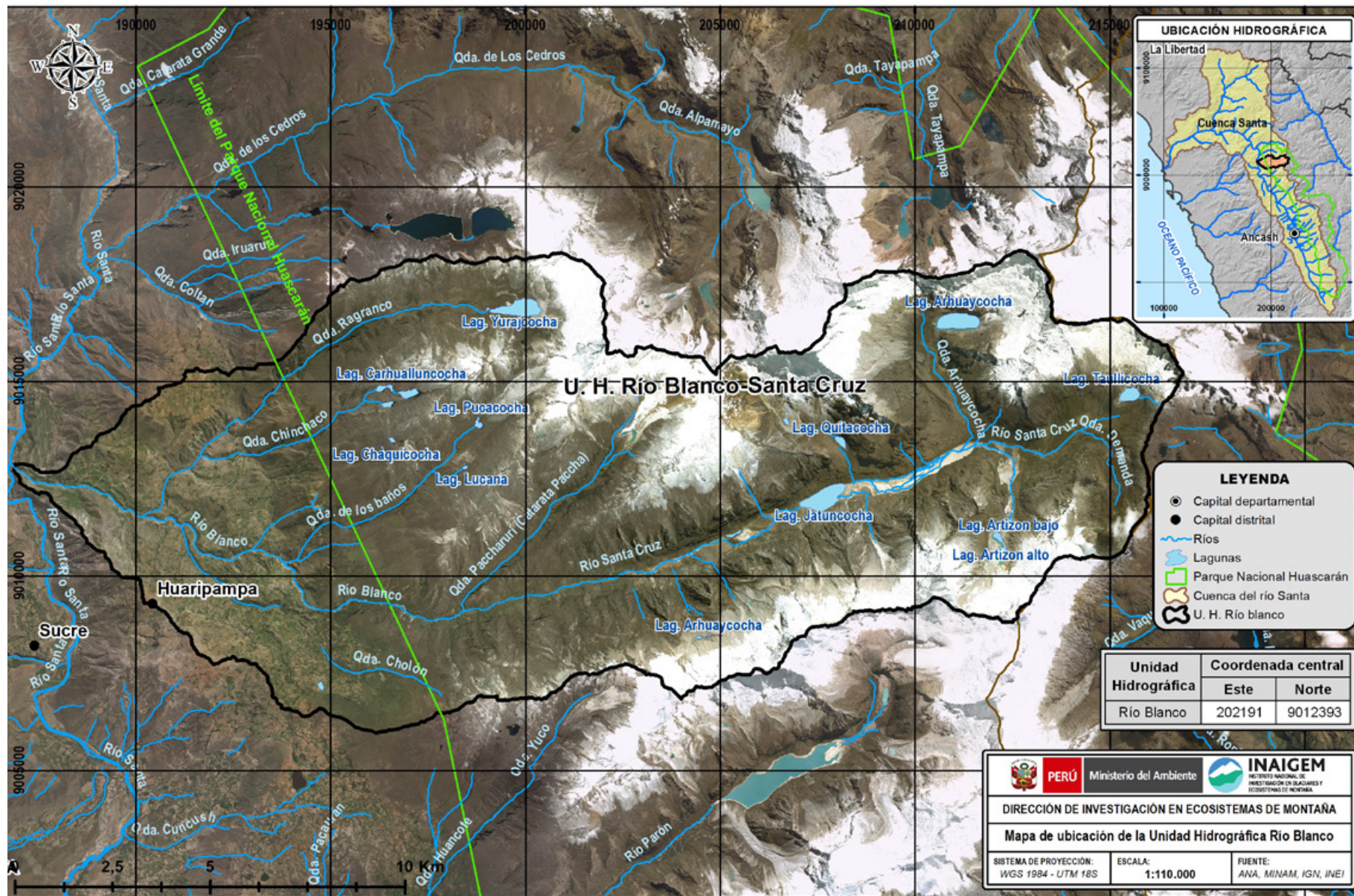
El mayor volumen de agua de esta UH se utiliza en las actividades agropecuarias. Luego en actividades como el abastecimiento de agua potable para la población.

► Tabla 1. Características principales de la UH Río Blanco-Santa Cruz

Características		Descripción
Nombre de la UH		Río Blanco
Clasificación	Nivel	6
	Código Pfafstetter	137692
Ubicación	Política	Distrito de Santa Cruz
	Geográfica	8°55'28,480" S y 77°42'28,580" W
Vertiente hidrográfica		Pacífico
Superficie (kilómetros cuadrados)		236
Río principal (kilómetros)		31
Altitud (metros sobre el nivel del mar)		1.950-6.300
Población		2.242
Principales usos		Turístico

Fuente: Elaboración propia

►Figura 1. Mapa de ubicación de la UH Río Blanco-Santa Cruz



Fuente: Elaboración propia

2. COLECTA DE DATOS PARA CALIDAD DE AGUA

La DIEM realiza evaluaciones de las aguas superficiales desde 2016 en la UH Río Blanco-Santa Cruz. Las mediciones son parámetros fisicoquímicos de campo como potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y temperatura, con el apoyo de equipos de medición de calidad de agua (multiparámetro y turbidímetro). La entidad colectó muestras de agua que se enviaron para analizar el contenido de metales totales en laboratorios acreditados, en la mayoría de los casos. Este trabajo se realizó tres veces al año en temporada húmeda, seca y de transición hasta 2018. En 2019, las evaluaciones se realizaron en temporada húmeda y seca, todo como parte del sistema de evaluación de la calidad del agua en la UH Río Blanco-Santa Cruz, en Áncash.

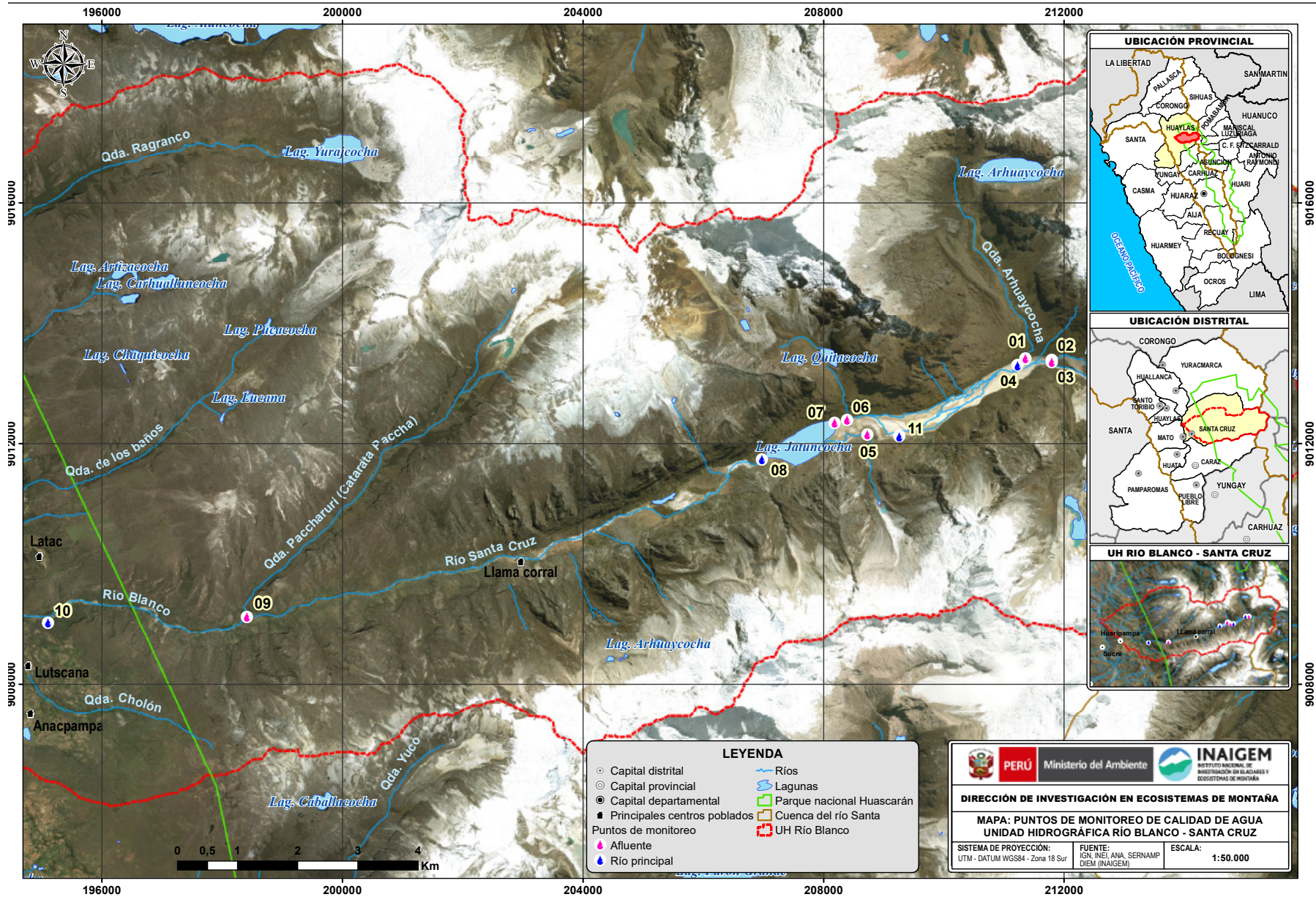
► **Figura 2. Toma de muestra de agua y medición de parámetros fisicoquímicos**



Fuente: Archivo fotográfico DIEM-INAIGEM

Teniendo en consideración el régimen perenne de los afluentes y el acceso a ellos, se establecieron once puntos de monitoreo en la UH Río Blanco-Santa Cruz, todos ubicados en la parte alta de la UH, como se observa en la figura 3, en que se presenta la ubicación de los puntos monitoreados. Además, la evaluación de la calidad de agua se realizó en el río principal y sus principales afluentes. Se tuvo principalmente en consideración que sean de régimen perenne y de fácil acceso. Se evaluó la parte alta de la UH, que se encuentra en el Parque Nacional Huascarán, sabiendo que los principales factores de alteración serán relacionados con procesos naturales como la generación de drenaje ácido de roca (DAR), aguas sulfurosas, entre otras.

► Figura 3. Mapa de puntos de monitoreo en la UH Río Blanco-Santa Cruz



Fuente: Elaboración propia

2.1. Análisis de laboratorio y gabinete

Las muestras de agua tomadas en cada punto de evaluación fueron analizadas por espectrofotometría UV-Visible o por espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), según el método de análisis empleado por cada laboratorio al cual se enviaron las muestras. De los resultados obtenidos, se priorizaron once metales: aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr) y mercurio (Hg), los cuales son tóxicos. Por ello, era necesario conocer si aquellos superan los niveles establecidos en los ECA para agua. Con los resultados de la serie de tiempo, se calculó la estadística descriptiva de promedio, rango mínimo y máximo, con un intervalo de confianza de la media del 90 por ciento.

A continuación, en la tabla 2 se presenta la frecuencia en la que se desarrolló la evaluación de calidad de agua, los laboratorios donde se realizaron los análisis de metales y el método de análisis utilizado por cada laboratorio.

► Tabla 2. Frecuencia de análisis, laboratorios y método de análisis

Número de evaluación	Fecha	Laboratorio	Método de análisis	Unidad Hidrográfica
1	Mayo de 2016			
2	Octubre de 2016			
3	Mayo de 2017	LCA-Unasam ⁱ	Espectrofotometría	
4	Julio de 2017			
5	Noviembre de 2017			Río Blanco-Santa Cruz
6	Abril de 2018			
7	Julio de 2018			
8	Noviembre de 2018	SGS del Perú ⁱⁱ	ICP-MS ⁱⁱⁱ	
9	Mayo de 2019			
10	Setiembre de 2019			

ⁱ Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (Unasam), ubicado en la ciudad de Huaraz. No está acreditado en los parámetros analizados.

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

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

3. RESULTADOS

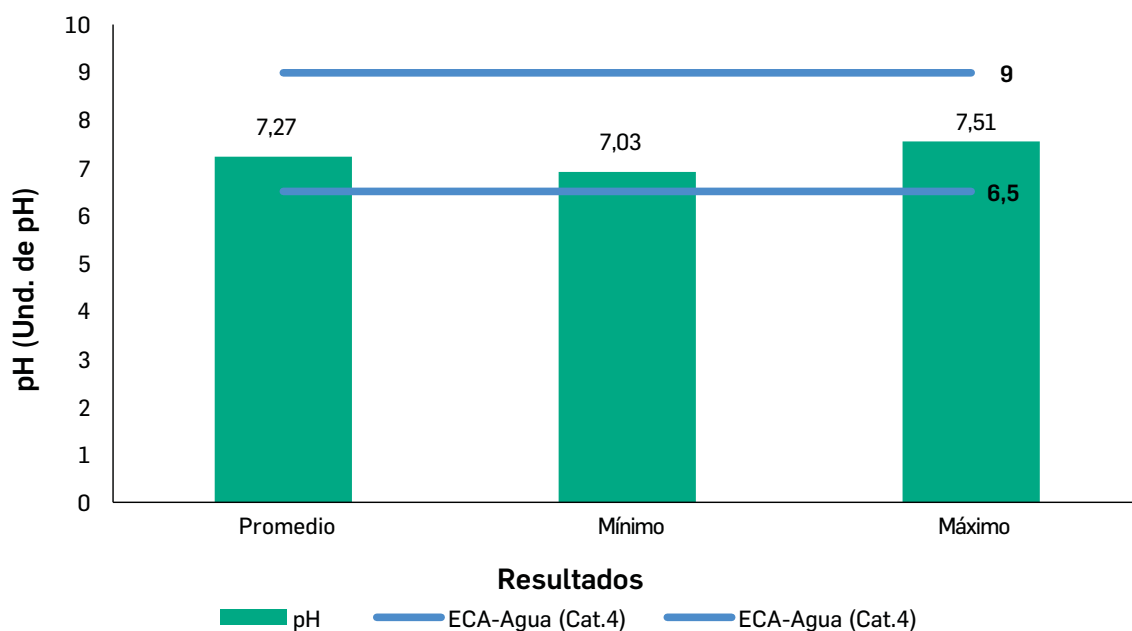
Los resultados que a continuación se presentan son de la UH Río Blanco-Santa Cruz. La información se ordena por parámetro evaluado en cada punto de monitoreo, en el cual primero se muestran los resultados de los puntos de monitoreo en el río principal. Se inicia desde la parte alta de la UH, luego se muestran los puntos de los afluentes al río principal. El estudio se realizó en la parte alta de la UH Río Blanco-Santa Cruz de 2016 a 2019.

En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos en la UH Río Blanco-Santa Cruz, donde se observa el promedio, los valores mínimos y máximos, de los parámetros de pH, conductividad eléctrica (CE) y turbiedad, además de 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). Con estos resultados, se observa que todos los puntos para los parámetros monitoreados se encuentran dentro de los valores establecidos en el ECA para agua (categoría 4). Es decir, cumplen con esta categoría que es para aguas de conservación del ambiente acuático.

El valor promedio mínimo registrado de pH fue de 6,80 (punto 2). La concentración promedio máxima de aluminio fue de 0,40 mg/L (punto 3), de arsénico fue de 0,0031 mg/L (punto 2), de cadmio fue de 0,0006 mg/L (punto 9), de cobre fue de 0,0085 mg/L (punto 3), de hierro fue de 0,36 mg/L (punto 2), de manganeso fue de 0,056 mg/L (punto 6), de plomo fue de 0,0019 mg/L (punto 9), de zinc fue de 0,0575 mg/L (punto 2) y del boro fue de 0,0197 mg/L (punto 11).

A continuación, figura 4, se ofrece una representación de los resultados de la tabla 3. Para este ejemplo, se presentan los resultados de pH del punto de monitoreo 4 de la UH Río Blanco-Santa Cruz. Como se observa, el valor promedio, mínimo y máximo (7,27, 7,03 y 7,51) está en el rango establecido en el ECA para agua (categoría 4), que es de 6,5 a 9,0. De la misma manera, en la tabla 3 se presentan los resultados (promedio, mínimo y máximo) comparados con el ECA para agua (categoría 4) para los demás parámetros evaluados.

► **Figura 4. Evaluación del pH en el punto 4 de la UH Río Blanco-Santa Cruz (2016-2019)**



Fuente: Elaboración propia

► Tabla 3. Resultados de los parámetros evaluados en la UH Río Blanco-Santa Cruz de 2016 a 2019

Zona de estudio	Puntos de monitoreo	pH (unidad de pH)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbiedad (NTU)	Aluminio (mg/L)	Arsénico (mg/L)	
		Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	
UH Río Blanco-Santa Cruz	Río principal	4	7,27 (7,03-7,51)	91 (70-112)	2,17 (1,3-3,04)	0,18 (0,11-0,26)	0,0015 (0,0000-0,0035)
		8	7,37 (7,1-7,64)	102 (92-112)	3,00 (1,59-4,42)	0,22 (0,04-0,40)	0,0019 (0,0000-0,0037)
		10	7,55 (7,37-7,73)	92 (69-115)	2,56 (1,63-3,48)	0,13 (0,07-0,2)	0,0018 (0,0000-0,0039)
	Afluentes	3	6,99 (6,86-7,30)	79 (47-111)	6,03 (0,00-13,27)	0,40 (0,00-0,88)	0,0018 (0,0000-0,0042)
		2	6,80 (6,46-7,14)	103 (57-149)	5,15 (0,09-10,21)	0,32 (0,10-0,54)	0,0031 (0,0000-0,0064)
		1	6,92 (6,52-7,31)	134 (57-212)	2,34 (1,01-3,67)	0,18 (0,05-0,32)	0,0015 (0,0000-0,0032)
		5	7,26 (7,13-7,39)	107 (94-120)	2,14 (1,22-3,06)	0,10 (0,03-0,17)	0,0018 (0,0000-0,0036)
		6	7,23 (7,07-7,38)	186 (140-232)	0,93 (0,61-1,25)	0,11 (0,06-0,15)	0,0024 (0,0000-0,0047)
		7	7,19 (7,06-7,32)	241 (141-340)	1,72 (0,52-2,91)	0,10 (0,05-0,16)	0,0018 (0,0000-0,004)
		9	7,46 (7,27-7,64)	106 (81-131)	2,96 (1,81-4,11)	0,15 (0,08-0,22)	0,0016 (0,0000-0,0036)
		11	6,99 (6,71-7,28)	117 (91-144)	0,38 (0,11-0,66)	0,08 (0,01-0,15)	0,0025 (0,0000-0,0051)
ECA para agua (categoría 4)		6,5-9,0	1.000	---	5*	0,15	

* Se tomaron los valores del ECA para agua (categoría 3-D1).

Zona de estudio	Puntos de monitoreo	Cadmio (mg/L)	Cobre (mg/L)	Hierro (mg/L)	Manganeso(mg/L)	Plomo (mg/L)	
		Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom.(mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	
UH Río Blanco-Santa Cruz	Río principal	4	0,0002 (0,0001-0,0003)	0,0043 (0,0018-0,0068)	0,17 (0,14-0,20)	0,032 (0,017-0,048)	0,0016 (0,0008-0,0024)
		8	0,0002 (0,0001-0,0004)	0,0054 (0,0001-0,0107)	0,20 (0,15-0,25)	0,034 (0,016-0,052)	0,0014 (0,0007-0,0021)
		10	0,0002 (0,0001-0,0003)	0,0022 (0,0011-0,0033)	0,17 (0,10-0,25)	0,032 (0,015-0,049)	0,0015 (0,0007-0,0023)
	Afluentes	3	0,0003 (0,0001-0,0005)	0,0085 (0,0001-0,017)	0,35 (0,03-0,67)	0,051 (0,009-0,093)	0,0015 (0,0004-0,0026)
		2	0,0003 (0,0002-0,0005)	0,0040 (0,0023-0,0057)	0,36 (0,02-0,70)	0,055 (0,021-0,089)	0,0017 (0,0009-0,0025)
		1	0,0004 (0,0002-0,0006)	0,0030 (0,0006-0,0054)	0,20 (0,12-0,28)	0,028 (0,000-0,056)	0,0016 (0,0010-0,0023)
		5	0,0002 (0,0001-0,0003)	0,0018 (0,0009-0,0026)	0,11 (0,06-0,16)	0,016 (0,000-0,034)	0,0012 (0,0007-0,0017)
		6	0,0005 (0,0000 - 0,0010)	0,0015 (0,0007-0,0022)	0,12 (0,04-0,21)	0,056 (0,021-0,092)	0,0013 (0,0009-0,0017)
		7	0,0003 (0,0001-0,0004)	0,0018 (0,0012-0,0024)	0,17 (0,08-0,27)	0,040 (0,009-0,071)	0,0014 (0,0008-0,0019)
		9	0,0006 (0,000-0,0014)	0,0025 (0,0015-0,0035)	0,22 (0,14-0,31)	0,034 (0,015-0,053)	0,0019 (0,0010-0,0027)
		11	0,0002 (0,0001-0,0003)	0,0021 (0,0003-0,0039)	0,07 (0,02-0,11)	0,018 (0,000-0,038)	0,0014 (0,0009-0,0019)
ECA para agua (categoría 4)		0,01*	0,1	5*	0,2*	0,0025	

* Se tomaron los valores del ECA para agua (categoría 3-D1).

Zona de estudio	Puntos de monitoreo	Zinc (mg/L)	Boro (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)	
		Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	
UH Río Blanco-Santa Cruz	Río principal	4	0,0396 (0,0241-0,0550)	0,0148 (0,0055-0,0240)	< 0,00039 (0,00032-0,00045)	< 0,0005 (0,0002-0,0008)
		8	0,0409 (0,0200-0,0618)	0,0133 (0,0067-0,0199)	< 0,0004 (0,00034-0,00046)	< 0,0005 (0,0003-0,0008)
		10	0,0317 (0,0158-0,0476)	0,0151 (0,0064-0,0238)	< 0,00039 (0,00032-0,00045)	< 0,0005 (0,0002-0,0008)
	Afluentes	3	0,0420 (0,0127-0,0713)	0,0141 (0,0053-0,023)	< 0,00039 (0,00032-0,00045)	< 0,0005 (0,0002-0,0008)
		2	0,0575 (0,0254-0,0897)	0,0173 (0,0085-0,0261)	< 0,0004 (0,00034-0,00046)	< 0,0005 (0,0003-0,0008)
		1	0,0382 (0,0029-0,0735)	0,0144 (0,0063-0,0225)	< 0,0004 (0,00034-0,00046)	< 0,0005 (0,0003-0,0008)
		5	0,0251 (0,0089-0,0413)	0,0131 (0,0065-0,0197)	< 0,0004 (0,00034-0,00046)	< 0,0005 (0,0003-0,0008)
		6	0,0279 (0,0104-0,0454)	0,0165 (0,0084-0,0246)	< 0,0004 (0,00034-0,00046)	< 0,0005 (0,0003-0,0008)
		7	0,0258 (0,0090-0,0425)	0,0148 (0,0066-0,0229)	< 0,00043 (0,00036-0,00049)	< 0,0007 (0,0003-0,0010)
		9	0,0372 (0,0201-0,0543)	0,0159 (0,007-0,0248)	< 0,00041 (0,00035-0,00048)	< 0,0006 (0,0003-0,0009)
		11	0,0278 (0,0052-0,0504)	0,0197 (0,010-0,0293)	< 0,00039 (0,00032-0,00045)	< 0,0005 (0,0002-0,0008)
ECA para agua (categoría 4)		0,12	1*	0,1*	0,0001	

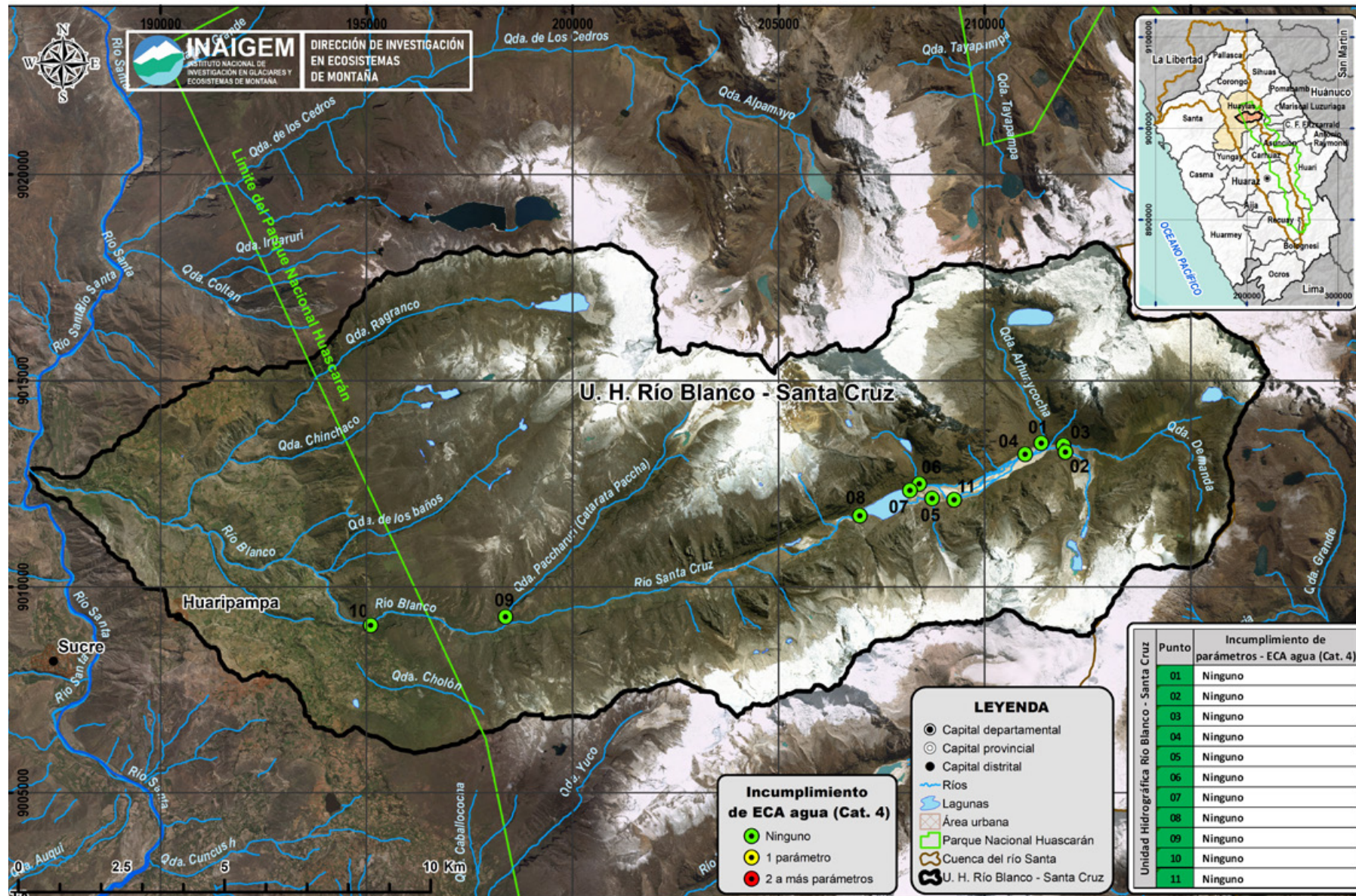
* Se tomaron los valores del ECA para agua (categoría 3-D1).

3.1. Mapa de resultados en la UH Río Blanco-Santa Cruz

A continuación, en la figura 5 se presentan los resultados de los parámetros evaluados en cada punto de monitoreo en la UH Río Blanco-Santa Cruz, comparados con el ECA para agua (categoría 4). El color verde indica que no supera ningún parámetro, el color amarillo, que supera un parámetro y el color rojo que supera dos a más parámetros.

En la figura 5, se presenta el mapa de calidad de agua (tipo semáforo), basado en parámetros fisicoquímicos y metales totales. Se observa que ninguno de los puntos monitoreados en UH Río Blanco-Santa Cruz son de color amarillo y rojo, lo que significa que los parámetros evaluados se encuentran dentro del ECA para agua (categoría 4). Es decir, las aguas son de buena calidad para la conservación del ambiente acuático. Se observa también que todos los puntos monitoreados son de color verde. Es decir, las aguas son de buena calidad en los parámetros evaluados. En los puntos monitoreados no se registran pH ácidos ni altas concentraciones de metales.

►Figura 5. Mapa de resultados en la UH Río Blanco-Santa Cruz



Fuente: Elaboración propia

3.2. Evaluación de la última estación de monitoreo

En esta sección se presentan los resultados de la evaluación del último punto de estudio de la UH Río Blanco-Santa Cruz (tablas 4, 5 y 6). Se presenta, asimismo, el valor promedio, mínimo y máximo, de los parámetros evaluados (parámetros fisicoquímicos y once metales), comparados con el ECA para agua (categoría 3-D1), que es para uso de «riego de vegetales». Es decir, de no superar los valores establecidos, estas aguas pueden ser utilizadas para el riego de los cultivos vegetales. Además, se usó el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo 031-2010-SA), para comparar con valores más estrictos.

En la UH Río Blanco-Santa Cruz, según los resultados obtenidos en el último punto de monitoreo evaluado (punto 10) de 2016 a 2019, el valor promedio, máximo y mínimo para todos los parámetros evaluados está en el rango establecido por el ECA para agua (categoría 3-D1). Es decir, según los parámetros evaluados, estas aguas pueden ser utilizadas para el riego de los cultivos vegetales.

En la evaluación de los resultados con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo 031-2010-SA), el valor promedio, máximo y mínimo para todos los parámetros evaluados se encuentran dentro del rango establecido por esta normativa. Es decir, según los parámetros evaluados, estas aguas pueden ser utilizadas para consumo de la población, previamente con su respectivo tratamiento.

► Tabla 4. Resultados de los parámetros evaluados en el último punto de monitoreo de la UH Río Blanco-Santa Cruz (pH, conductividad eléctrica, turbiedad, aluminio y arsénico).

Zona de estudio UH Río Blanco-Santa Cruz	pH (unidad de pH)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turbiedad (NTU)	Aluminio (mg/L)	Arsénico (mg/L)
	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)
Punto 10	7,55 (7,37-7,73)	92 (69-115)	2,56 (1,63-3,48)	0,13 (0,07-0,2)	0,0018 (0,0000-0,0039)
ECA (categoría 3-D1)	6,5-8,5	2500	---	5	0,1
Decreto Supremo 031-2010-SA	6,5-8,5	1 500	5	0,2	0,010

► Tabla 5. Resultados de los parámetros evaluados en el punto 10 de la UH Río Blanco-Santa Cruz (cadmio, cobre, hierro, manganeso y plomo).

Zona de estudio UH Río Blanco-Santa Cruz	Cadmio (mg/L)	Cobre (mg/L)	Hierro (mg/L)	Manganeso (mg/L)	Plomo (mg/L)
	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)
Punto 10	0,0002 (0,0001-0,0003)	0,0022 (0,0011-0,0033)	0,17 (0,1-0,25)	0,032 (0,015-0,049)	0,0015 (0,0007-0,0023)
ECA (categoría 3-D1)	0,01	0,2	5	0,2	0,05
Decreto Supremo 031-2010-SA	0,003	2,0	0,3	0,4	0,010

► Tabla 6. Resultados de los parámetros evaluados en el punto 10 de la UH Río Blanco-Santa Cruz (zinc, boro, cromo y mercurio).

Zona de estudio UH Río Blanco-Santa Cruz	Zinc (mg/L)	Boro (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)
	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)
Punto 10	0,0317 (0,0158-0,0476)	0,0151 (0,0064-0,0238)	<0,00039 (0,00032-0,00045)	<0,0005 (0,0002-0,0008)
ECA (categoría 3-D1)	2	1	0,1	0,001
Decreto Supremo 031-2010-SA	3,0	1,5	0,05	0,001

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Durante el periodo de evaluación (2016-2019) en la UH Río Blanco-Santa Cruz, se observó que los parámetros evaluados (pH, conductividad eléctrica, turbiedad, aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc, cromo y mercurio), en los once puntos monitoreados, cumplen con el ECA para agua tanto en la categoría 3-D1, «Riego de vegetales» como en la categoría 4, «Conservación del ambiente acuático».
- El punto de evaluación 2 presenta las más altas concentraciones promedio de hierro, arsénico y zinc, pero no superan el ECA para agua (categoría 4).
- Según la evaluación de 2016 a 2019, no se registraron pH bajos (aguas ácidas) ni altas concentraciones de metales pesados. Es decir, en esta UH hasta la fecha de evaluación, no se registra que esté ocurriendo un proceso de generación de drenaje ácido de roca (DAR).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EGIEBOR, N. O. y ONI, B.** (2007). «Acid Rock Drainage Formation and Treatment: A Review». *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, número 17, páginas 47-62. <https://doi.org/10.1002/apj>
- INAIGEM** (2018). «Inventario Nacional de Glaciares-Las Cordilleras Glaciares del Perú». Año 3, número 5, diciembre. [en línea]. Huaraz. Disponible en: www.inaigem.gob.pe/wp-content/uploads/2019/04/INVENTARIO-NACIONAL-DE-GLACIARES-.LAS-CORDILLERAS-GLACIARES-DEL-PERU.pdf.
- REYES NOLASCO, A. W.** (2018). «Contaminación por metales pesados de aguas y suelos en la microcuenca Quilcayhuanca; su relación con la litología y el contexto del cambio climático». *Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo*, 6(11), 180. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2381>.
- SANTOFIMIA, E.; LÓPEZ-PAMO, E.; PALOMINO, E. J.; GONZÁLEZ-TORIL, E. y AGUILERA, Á.** (2017). «Acid Rock Drainage in Nevado Pastoruri Glacier Area (Huascarán National Park, Perú): Hydrochemical and Mineralogical Characterization and Associated Environmental Implications». *Environmental Science and Pollution Research*, 24(32), páginas 25243-25259.

ANEXO

Anexo 1: Ubicación de los puntos de evaluación de la UH Río Blanco-Santa Cruz

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

Código del punto de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud	Descripción
	Este	Norte		
1	211355	9013415	3.970	Quebrada Arhuaycocha.
2	211798	9013383	4.010	Quebrada Taullicocho, proveniente de la laguna Taullicocho, antes de la confluencia con la quebrada Artizon.
3	211798	9013352	4.005	Quebrada Artizon, originada en la laguna Artizon bajo.
4	211152	9013343	3.947	Ubicado en el río principal de la quebrada Santa Cruz, a 200 metros aguas abajo del punto de confluencia de las quebradas Arhuaycocha, Taullicocho y Artizon.
5	208726	9012151	3.904	Afluente aguas abajo a la margen izquierda del río principal de la quebrada Santa Cruz, aproximadamente 200 metros aguas arriba de la laguna Jatuncocha.
6	208390	9012390	3.909	Quebrada que nace en la laguna Quitacocho. Descarga sus aguas en la margen derecha del río principal.
7	208185	9012346	3.887	A 200 metros agua arriba de la laguna Jatuncocha.
8	206972	9011731	3.902	Descarga de la laguna Jatuncocha, río principal.
9	198411	9009116	3.556	Quebrada Paccharuri, descarga sus aguas en la margen derecha del Río Blanco.
10	195107	9009016	3.173	500 metros aguas arriba del puesto de control del Parque Nacional Huascarán (PNH), antes de la bocatoma de agua para riego del centro poblado de Cashapampa.
11	209259	9012119	3.913	Entrada a la parcela cercada por el INAIGEM, aguas arriba de la laguna Jatuncocha, junto a la zona de campamento.

Fuente: Elaboración propia

Sede central:

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

Central telefónica: (043) 64 3460

www.gob.pe/inaigem



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA