

REPORTE

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) PACHACOTO



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) PACHACOTO

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD
HIDROGRÁFICA (UH) PACHACOTO

Autores:

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

Colaborador:

Cristian Quispe (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 - Ancash - 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, diagramación y desarrollo de ilustraciones: Ana Mercedes Periche Acosta

1ra edición digital

Depósito legal N° 2024-13559

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) Pachacoto (*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) Pachacoto	9
2. Colecta de datos para calidad de agua	11
2.1. Análisis de laboratorio y gabinete	13
3. Resultados	15
3.1. Mapa de resultados en la Unidad Hidrográfica (UH) Pachacoto	19
3.2. Evaluación de la última estación de monitoreo	19
Conclusiones	22
Referencias bibliográficas	23
Anexos	24
Anexo 1: Ubicación de los puntos de evaluación de la UH Pachacoto	24

► Índice de tablas

Tabla 1.	Características principales de la UH Pachacoto	9
Tabla 2.	Frecuencia de análisis, laboratorio y método de análisis	14
Tabla 3.	Resultados de los parámetros evaluados en la UH Pachacoto de 2016 a 2022	17
Tabla 4.	Resultados de los parámetros evaluados en el último punto de monitoreo de la UH Pachacoto (pH, conductividad eléctrica, turbiedad, aluminio y arsénico)	21
Tabla 5.	Resultados de los parámetros evaluados en el punto 10 de la UH Pachacoto (cadmio, cobre, hierro, manganeso y plomo)	21
Tabla 6.	Resultados de los parámetros evaluados en el punto 10 de la UH Pachacoto (zinc, boro, cromo y mercurio)	21
Tabla 7.	Ubicación y descripción de los puntos de evaluación	24

► Índice de figuras

Figura 1.	Mapa de ubicación de la UH Pachacoto	10
Figura 2.	Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto 7 de la UH Pachacoto	11
Figura 3.	Mapa de puntos de monitoreo en la UH Pachacoto	12
Figura 4.	Toma de muestra de agua en el punto 10 de la UH Pachacoto	13
Figura 5.	Evaluación del pH en el punto 1 de la UH Pachacoto (2016-2022)	16
Figura 6.	Mapa de resultados en la UH Pachacoto	20

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 beneficien 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) Pachacoto», que ofrece los resultados de las concentraciones de metales y parámetros de campo evaluados en el río principal y afluentes de 2016 a 2022.

El objetivo central es informar sobre la calidad del agua, basados en parámetros fisicoquímicos y metales totales de la UH Pachacoto, durante este periodo de evaluación (2016-2022).

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

En el centro-norte de Perú, departamento Áncash, la cordillera de los Andes 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, pero, por desgracia, sus glaciares están experimentando un gran retroceso (Santofimia et al., 2017); se redujeron a 448,81 kilómetros cuadrados. La tendencia muestra una tasa de retroceso glaciar de 4,97 kilómetros cuadrados por 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. Una de las UH aportantes a la cuenca del río Santa es la de Pachacoto, ubicada en el distrito de Cátac, provincia de Recuay, Áncash. Esta UH cuenta con diversos tipos de coberturas como pajonal altoandino, matorral arbustivo, lagunas, bofedales y glaciares. Además, presenta una importante actividad turística y también se realizan actividades de agropecuarias, entre otras.

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 ese sentido, en este reporte se presentan los resultados de los parámetros físicoquímicos y metales evaluados en la UH Pachacoto del 2016 a 2022. 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 10 puntos de monitoreo en esta UH, de los cuales 9 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 las actividades que desarrolla la población.

De la evaluación realizada en el agua superficial de esta UH, se ha obtenido como resultado que, de los diez puntos monitoreados, los puntos 1 y 7 presentan pH bajos con valores de 3,51 y 4,07, respectivamente. Además, seis de ellos presentan altas concentraciones de manganeso y se reporta casos puntuales de altas concentraciones de cadmio, plomo y zinc.

En este sentido, la información presentada se espera que sirva como soporte técnico para posteriores estudios sobre la influencia del retroceso glaciar en la generación de drenaje ácido de roca (DAR), así también, para investigaciones en temas de biorremediación, como una alternativa viable para disminuir los impactos en la calidad del agua en las partes altas de los ecosistemas de montaña.

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

1. ASPECTOS GENERALES DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA (UH) PACHACOTO

Esta unidad hidrográfica (UH) se ubica, en lo político, en el distrito de Cátac, provincia de Recuay, departamento de Áncash, en la parte central occidental del Perú. Tiene una extensión territorial de 203 kilómetros cuadrados. En lo geográfico, se encuentra entre los paralelos 9°48'16" y 9°57'18" de latitud Sur y los meridianos 77°24'37" y 77°10'31" de longitud Oeste. Su nivel altitudinal varía de 3.700 a 5.700 metros. Ocupa parte de la vertiente occidental de la cordillera Blanca. Sus aguas fluyen desde la parte alta de la cuenca, desde la quebrada Pastoruri, hasta formar el río Pachacoto, que drena sus aguas por la margen derecha del río Santa.

En lo hidrográfico, se halla en la cuenca del río Santa, perteneciente a la vertiente del Pacífico. La UH es una fuente importante para la agricultura y ganadería. Además, en ella se encuentran lagunas de producción natural de la cianobacteria *Nostoc* sp.

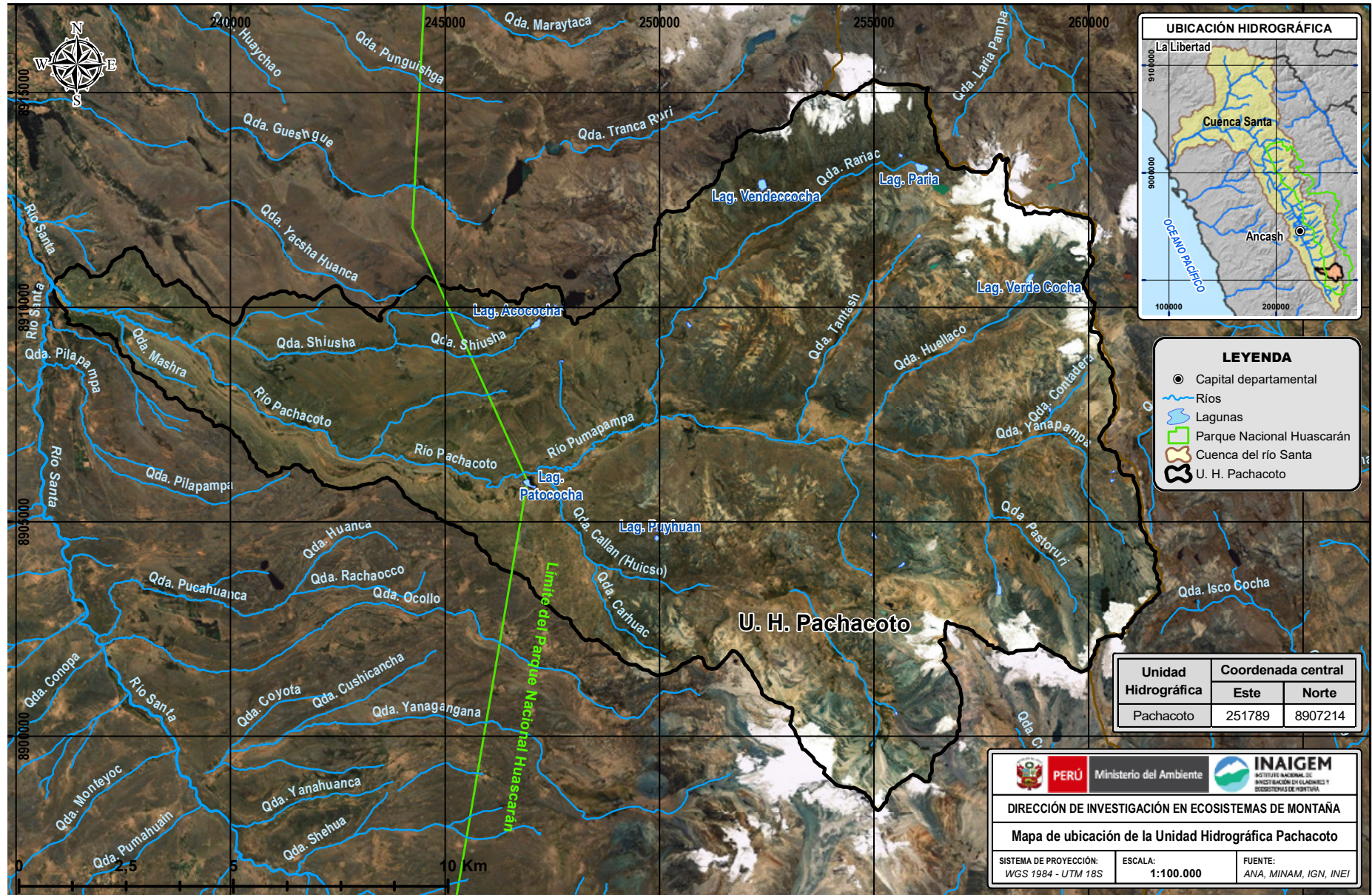
► Tabla 1. Características principales de la UH Pachacoto

Características		Descripción
Nombre de la UH		Pachacoto
Clasificación	Nivel	7
	Código Pfafstetter	1376994
Ubicación	Política	Distrito de Cátac
	Geográfica	9°52'41,474" S y 77°15'48,219" W
Vertiente hidrográfica		Pacífico
Superficie (kilómetros cuadrados)		203
Río principal (kilómetros)		37
Altitud (m s. n. m.)		3.700-5.700
Población		68
Principales usos		Agricultura y ganadería

Fuente: Elaboración propia

En esta UH, las aguas de riego para la actividad agropecuaria son captadas generalmente de los afluentes del río Santa que bajan de la cordillera. También directamente del río principal (MEM, 1998). Los comités de regantes, dentro de la organización de usuarios, son la base organizacional de las comisiones de regantes y junta de usuarios. Los comités de regantes están formados por usuarios de riego cuyos predios son particulares y comunales. La oferta hídrica de la UH Pachacoto corresponde a las descargas que se presentan tal cual ocurren en la naturaleza, con aporte de las precipitaciones, lagunas, nevados y manantiales, en forma natural (Quesquén, 2008).

► Figura 1. Mapa de ubicación de la UH Pachacoto



Fuente: Elaboración propia

2. COLECTA DE DATOS PARA CALIDAD DE AGUA

La DIEM realiza evaluaciones de las aguas superficiales desde 2016 en la UH Pachacoto. 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. Desde 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 Pachacoto, en Áncash.

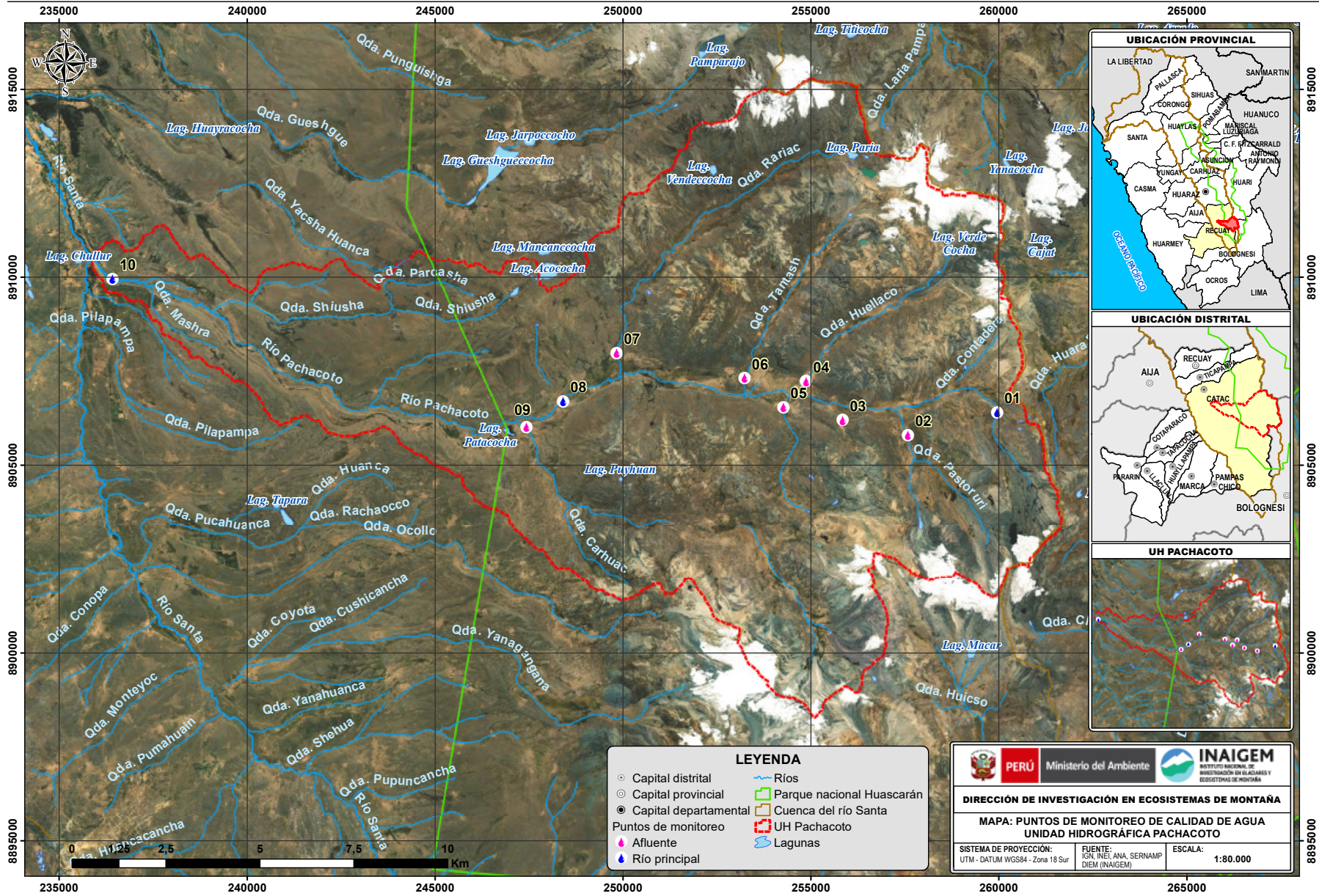
► **Figura 2. Medición de parámetros fisicoquímicos en el punto 7 de la UH Pachacoto**



Fuente: Archivo fotográfico DIEM-INAIGEM

Teniendo en consideración el régimen perenne de los afluentes y el acceso a ellos, se establecieron diez puntos de monitoreo en la UH Pachacoto, todos ubicados en la parte alta, como se observa en la figura 3. Además, la evaluación de la calidad de agua se realizó en el río principal y sus principales afluentes. Se consideraron el régimen perenne y el fácil acceso. Se evaluó la parte alta de la UH, que se encuentra en el Parque Nacional Huascarán (PNH), considerando que los principales factores de alteración se relacionarán con procesos naturales, como la generación de drenaje ácido de roca (DAR) y aguas sulfurosas, entre otras.

► Figura 3. Mapa de puntos de monitoreo en la UH Pachacoto



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 (2016-2022) se calculó la estadística descriptiva de promedio, rango mínimo y máximo, con un intervalo de confianza de la media del 90 por ciento.

► **Figura 4. Toma de muestra de agua en el punto 10 de la UH Pachacoto**



Fuente: Archivo fotográfico DIEM-INAIGEM

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, laboratorio y método de análisis

Número de evaluación	Fecha	Laboratorio	Método de análisis	Unidad Hidrográfica
1	Marzo de 2016			
2	Octubre de 2016			
3	Marzo de 2017	LCA-Unasam ⁱ	Espectrofotometría	
4	Julio de 2017			
5	Noviembre de 2017			
6	Marzo de 2018			
7	Agosto de 2018			Pachacoto
8	Noviembre de 2018			
9	Marzo de 2019			
10	Setiembre de 2020	SGS del Perú ⁱⁱ	ICP-MS ^{iv}	
11	Mayo de 2021			
12	Setiembre de 2021			
13	Mayo de 2022			
14	Setiembre de 2022			

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 de 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 Pachacoto. 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 microcuenca, luego se muestran los puntos de los afluentes al río principal. El estudio se realizó en la parte alta de la UH Pachacoto de 2016 a 2022.

En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos en la UH Pachacoto, donde se observa el promedio, los valores mínimos y máximos, de los parámetros 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, en los puntos monitoreados 1 y 7, los valores de pH (promedio, mínimo y máximo) se encuentran fuera del rango establecido por el ECA para agua (categoría 4), con valores promedio de 3,51 y 4,07, respectivamente. Es decir, son aguas muy ácidas.

Para el caso del cadmio (Cd) encontramos que el valor promedio y máximo en el punto 3, supera el valor referencial establecido en el ECA para agua (categoría 3), con valores promedio y máximo de 0,0251 y 0,0403 mg/L, respectivamente. Para el hierro (Fe), encontramos que el valor promedio y máximo, para el punto 7, supera el valor referencial establecido en el ECA para agua (categoría 3), con valores promedio y máximo de 7,48 y 11,16 mg/L, respectivamente. Además, para el manganeso (Mn), el valor promedio, mínimo y máximo, en los puntos monitoreados 1, 8, 3 y 7, supera el valor referencial establecido en el ECA para agua (categoría 3). El valor máximo de los promedios se reporta en el punto 3, con una concentración de 1,47 mg/L. El valor promedio y máximo, en los puntos monitoreados 2 y 10, supera el valor referencial establecido en el ECA para agua (categoría 3). En el caso del plomo (Pb), encontramos que el valor promedio y máximo, para el punto 3, supera el valor establecido por el ECA para agua (categoría 4), con una concentración promedio y máximo de 0,0075 y 0,0149 mg/L, respectivamente.

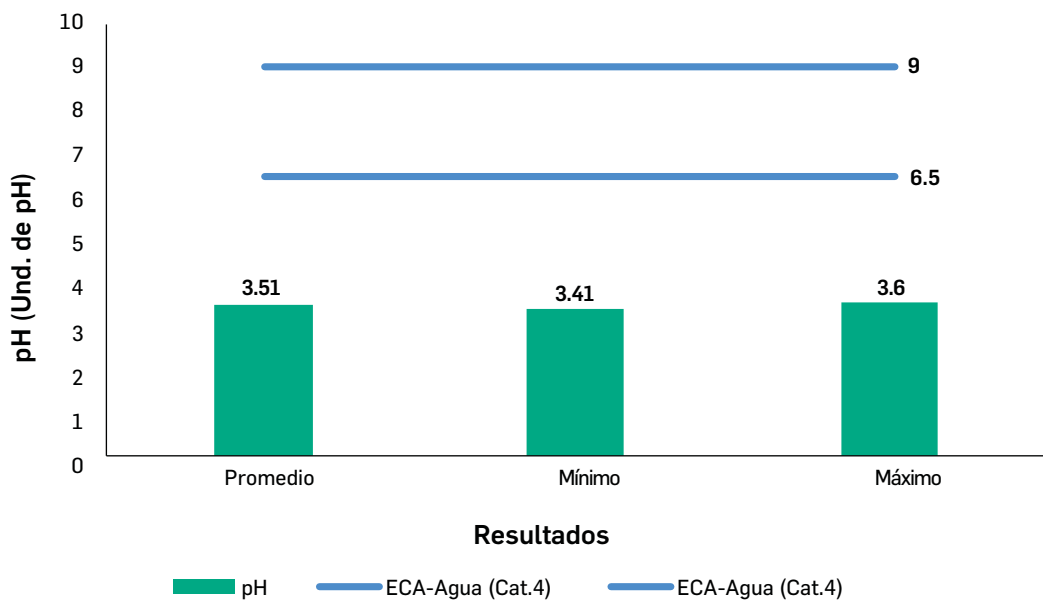
Para el caso del zinc (Zn), el valor promedio, mínimo y máximo, del punto 3, supera el valor establecido por el ECA para agua (categoría 4), con una concentración promedio, mínima y máxima de 3,103, 1,234 y 4,972 mg/L, respectivamente. Para el caso del boro (B), el valor promedio, mínimo y máximo no supera el valor referencial establecido en el ECA para agua (categoría 3), la concentración promedio más alta registrada fue de 0,153 mg/L en el punto monitoreado 10. Finalmente, para los casos de cromo (Cr) y mercurio (Hg), encontramos que el valor promedio, mínimo y máximo no supera el valor establecido por el ECA para agua.

De los diez puntos monitoreados, seis puntos presentan uno o más parámetros evaluados que se encuentran fuera del ECA para agua (categoría 4). Es decir, no cumplen con esta categoría, que es para aguas de conservación del ambiente acuático dentro de un área natural protegida (ANP).

El punto de monitoreo 1 es el que se encuentra más cercano al nevado Pastoruri. Presenta concentración alta de manganeso y pH muy bajo. Esto puede deberse a que está ocurriendo un proceso de generación de drenaje ácido de roca (DAR), como se menciona en un estudio que se realizó en este nevado. En esta investigación, se desarrolló una caracterización hidroquímica y mineralógica del área glaciar, en que se reportó que se está dando un proceso de drenaje ácido de roca (DAR) como resultado de la disolución oxidativa de lutitas y areniscas ricas en piritas. En las evaluaciones se encontraron aguas muy ácidas y altas concentraciones de hierro, aluminio, magnesio, manganeso, zinc, cobalto y níquel (Santofimia et al., 2017).

A continuación, se muestra en la figura 5, una representación gráfica de los resultados que se presenta en la tabla 3. Para este ejemplo, se presentan los resultados de pH del punto de monitoreo 1. Como se observa, el valor promedio, mínimo y máximo, se encuentra por debajo del rango establecido en el ECA para agua (categoría 4), cuyo rango permitido es de 6,5 a 9,0. Asimismo, se presentan los resultados (promedio, mínimo y máximo) comparados con el ECA para agua, para los demás parámetros evaluados.

► **Figura 5. Evaluación del pH en el punto 1 de la UH Pachacoto (2016-2022)**



Fuente: Elaboración propia

► Tabla 3. Resultados de los parámetros evaluados en la UH Pachacoto de 2016 a 2022

Zona de estudio	Puntos de monitoreo	pH (unidad de pH)	Conductividad eléctrica (μS/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 Pachacoto	Río principal	1	3,51 (3,41-3,60)	205 (170-239)	1,37 (0,68-2,06)	3,71 (2,51-4,91)	0,0013 (0,0004-0,0023)
		8	6,68 (6,42-6,93)	186 (161-211)	13,30 (10,25-16,35)	1,60 (0,96-2,25)	0,0013 (0,0005-0,0020)
		10	7,50 (7,33-7,66)	169 (146-191)	24,12 (14,01-34,23)	1,26 (0,70-1,81)	0,0021 (0,0010-0,0031)
	Afluentes	2	7,04 (6,86-7,23)	157 (147-168)	15,73 (10,03-21,43)	0,66 (0,32-1,00)	0,0033 (0,0021-0,0044)
		3	6,85 (6,66-7,05)	398 (303-493)	4,32 (2,87-5,78)	0,37 (0,10-0,64)	0,0439 (0,0000-0,0906)
		4	8,07 (7,92-8,22)	154 (132-176)	10,57 (5,34-15,81)	0,23 (0,12-0,35)	0,0013 (0,0001-0,0025)
		5	7,97 (7,82-8,12)	220 (189-252)	9,95 (4,08-15,81)	0,65 (0,08-1,23)	0,0012 (0,0005-0,0020)
		6	8,04 (7,89-8,19)	132 (114-149)	4,16 (3,43-4,89)	0,28 (0,06-0,49)	0,0012 (0,0003-0,0020)
		7	4,07 (3,89-4,25)	234 (195-273)	12,65 (8,90-16,40)	3,62 (2,29-4,95)	0,0009 (0,0000-0,0017)
9	7,18 (6,95-7,41)	112 (94-131)	9,70 (6,08-13,31)	0,38 (0,20-0,56)	0,0032 (0,0021-0,0043)		
ECA para agua (categoría 4)		6,5 - 9,0	1000	---	5*	0,15	

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

● El valor promedio, máximo y mínimo, supera el ECA para agua (categoría 4).

● El valor mínimo no cumple con lo establecido por el ECA para agua (categoría 4).

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 Pachacoto	Río principal	1	0,0006 (0,0003-0,0010)	0,003 (0,002-0,003)	1,34 (1,08-1,61)	1,20 (0,92-1,49)	0,0013 (0,0008-0,0017)
		8	0,0006 (0,0002-0,0010)	0,001 (0,000-0,002)	2,13 (1,28-2,99)	0,59 (0,36-0,81)	0,0006 (0,0005-0,0008)
		10	0,0004 (0,0001-0,0007)	0,001 (0,001-0,002)	1,56 (1,09-2,03)	0,21 (0,18-0,25)	0,0009 (0,0005-0,0013)
	Afluentes	2	0,0004 (0,0000-0,0007)	0,001 (0,001-0,002)	0,63 (0,47-0,80)	0,22 (0,10-0,33)	0,0008 (0,0005-0,0010)
		3	0,0251 (0,0099-0,0403)	0,002 (0,001-0,003)	2,17 (0,53-3,81)	1,47 (0,68-2,27)	0,0075 (0,0001-0,0149)
		4	0,0003 (0,0000-0,0007)	0,0004 (0,0001-0,0007)	0,29 (0,19-0,39)	0,02 (0,01-0,03)	0,0006 (0,0005-0,0006)
		5	0,0003 (0,0000-0,0007)	0,001 (0,000-0,001)	0,46 (0,25-0,67)	0,04 (0,01-0,07)	0,0007 (0,0005-0,0009)
		6	0,0003 (0,0000-0,0007)	0,001 (0,000-0,001)	0,47 (0,36-0,59)	0,07 (0,03-0,11)	0,0007 (0,0005-0,0009)
		7	0,0008 (0,0005-0,0011)	0,002 (0,001-0,003)	7,48 (3,80-11,16)	1,09 (0,80-1,39)	0,0006 (0,0005-0,0006)
9	0,0004 (0,0000-0,0007)	0,001 (0,001-0,002)	0,89 (0,67-1,11)	0,08 (0,05-0,11)	0,0008 (0,0005-0,0010)		
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).

● El valor promedio, máximo y mínimo, supera el ECA para agua (categoría 4).

● El valor promedio y máximo supera el ECA para agua (categoría 4).

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.)	
Río principal	1	0,091 (0,063-0,118)	0,007 (0,006-0,008)	<0,0005 (0,0003-0,0008)	<0,0004 (0,0002-0,0006)	
	8	0,056 (0,033-0,079)	0,125 (0,039-0,21)	<0,0005 (0,0003-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0007)	
	10	0,036 (0,021-0,050)	0,153 (0,086-0,22)	<0,0005 (0,0003-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)	
UH Pachacoto	Afluentes	2	0,021 (0,010-0,032)	0,005 (0,005-0,006)	<0,0005 (0,0003-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)
		3	3,103 (1,234-4,972)	0,006 (0,005-0,006)	<0,0005 (0,0003-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)
		4	0,007 (0,002-0,012)	0,006 (0,005-0,006)	<0,0005 (0,0002-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)
		5	0,013 (0,003-0,024)	0,005 (0,005-0,006)	<0,0005 (0,0003-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)
		6	0,026 (0,002-0,050)	0,005 (0,005-0,006)	<0,0005 (0,0003-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)
		7	0,109 (0,076-0,143)	0,007 (0,005-0,01)	<0,0005 (0,0002-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)
		9	0,028 (0,015-0,042)	0,012 (0,003-0,021)	<0,0005 (0,0003-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)
ECA para agua (categoría 4)		0,12	1*	0,1*	0,0001	

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

● El valor promedio, máximo y mínimo, supera el ECA para agua (categoría 4).

● El valor promedio y máximo supera el ECA para agua (categoría 4).

3.1. Mapa de resultados en la Unidad Hidrográfica (UH) Pachacoto

A continuación, en la figura 6, se presentan los resultados en los parámetros evaluados en cada punto de monitoreo en la UH Pachacoto, 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 6, se presenta el mapa de calidad de agua (tipo semáforo), basado en parámetros físicoquímicos y metales totales. Se observa que los puntos monitoreados 04, 05, 06 y 09 en la UH Pachacoto son de color verde, lo que significa que ninguno de los parámetros evaluados se encuentra fuera del ECA para agua (categoría 4). Es decir, para los parámetros evaluados en estos puntos, las aguas son de buena calidad para la conservación del ambiente acuático. Se puede observar que los demás puntos monitoreados son de color rojo o amarillo. Esto indica que para los parámetros evaluados, estas aguas no son de buena calidad, pues alguno de los puntos monitoreados presentan pH ácidos y/o altas concentraciones de algunos metales, como cadmio (Cd), hierro (Fe), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn).

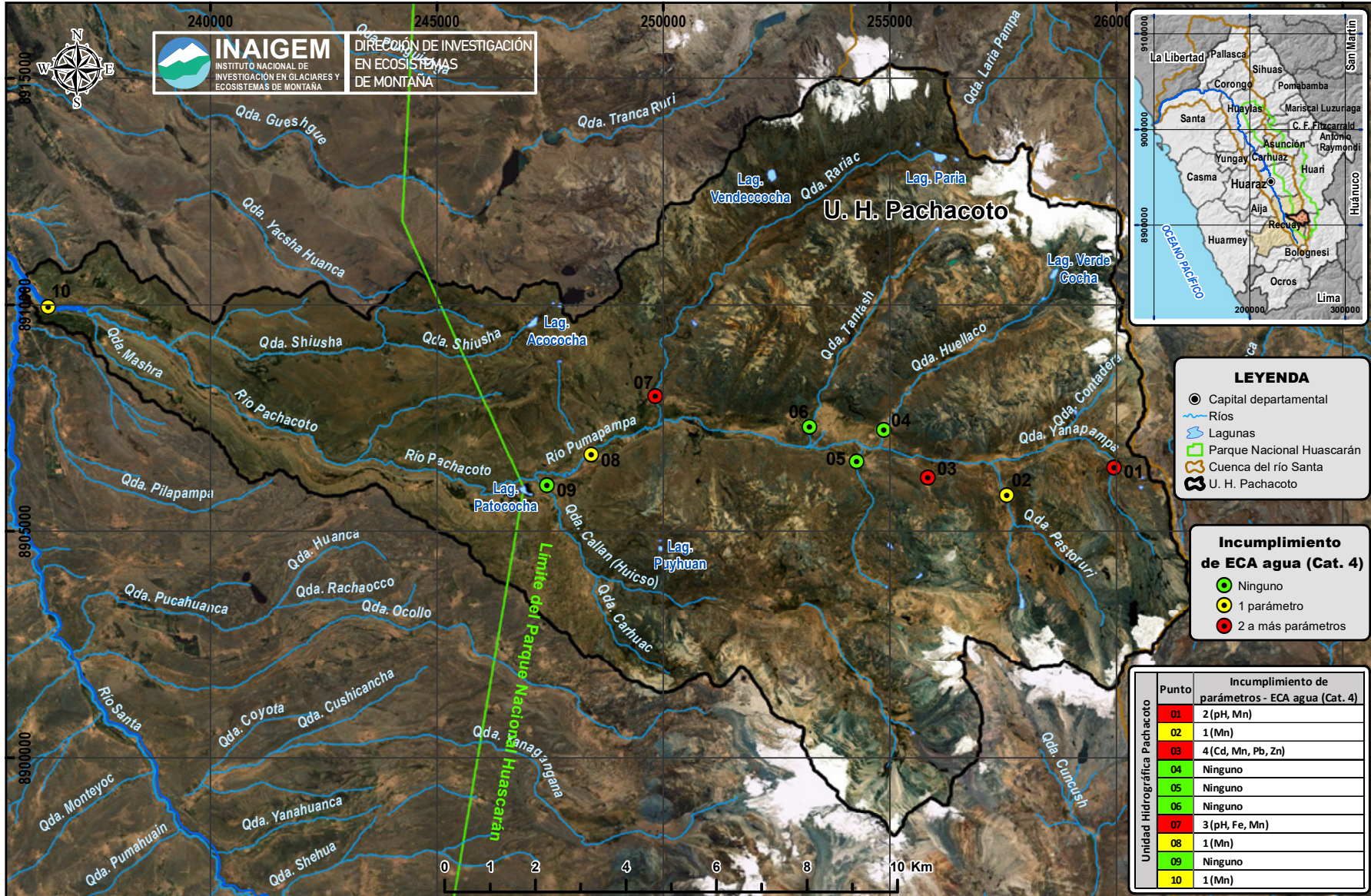
3.2. Evaluación de la última estación de monitoreo

En esta sección se presenta los resultados de la evaluación del último punto de estudio de la UH Pachacoto (tablas 4, 5 y 6). Se presenta el valor promedio, mínimo y máximo, de los parámetros evaluados (parámetros físicoquímicos 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-SA), para comparar con valores más estrictos.

En la UH Pachacoto, según los resultados en el último punto de monitoreo evaluado (punto 10) de 2016 a 2022, el valor promedio, máximo y mínimo, para todos los parámetros evaluados (excepto manganeso) se encuentra en el rango establecido por el ECA para agua (categoría 3-D1). En el caso del manganeso, el valor promedio es 1,05 veces mayor a lo establecido y el valor máximo es 1,25 veces mayor a lo establecido (Mn = 0,2 mg/L). Es decir, para los parámetros evaluados, al superar el manganeso la normativa, estas aguas no deben 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), encontramos que el valor promedio, máximo y mínimo, de la turbiedad supera la normativa mencionada. El promedio es 4,8 veces mayor y el valor máximo es aproximadamente 7 veces mayor a lo establecido (Turb = 5 NTU). En cuanto al aluminio y hierro, los valores promedio, máximo y mínimo, superan los valores estipulados en esta normativa. La concentración promedio del aluminio es 6,3 veces mayor a lo establecido (Al = 0,2 mg/L) y la concentración promedio de hierro es 5,2 veces mayor a lo establecido (Fe = 0,3 mg/L). Es decir, para los parámetros evaluados, tres de ellos no cumplen con la normativa, por ello estas aguas no pueden ser utilizadas para consumo de la población.

► Figura. 6. Mapa de resultados en la UH Pachacoto



Fuente: Elaboración propia

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

Zona de estudio UH Pachacoto	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	7,50 (7,33-7,66)	169 (146-191)	24,12 (14,01-34,23)	1,26 (0,70-1,81)	0,0021 (0,0010-0,0031)
ECA (categoría 3)	6,5-8,5	2500	---	5	0,1
Decreto Supremo 031-2010-SA	6,5-8,5	1 500	5	0,2	0,010

● El valor promedio, máximo y mínimo, supera el ECA para agua (categoría 3) y/o Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

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

Zona de estudio UH Pachacoto	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	0,0004 (0,0001-0,0007)	0,001 (0,001-0,002)	1,56 (1,09-2,03)	0,21 (0,18-0,25)	0,0009 (0,0005-0,0013)
ECA (categoría 3)	0,01	0,2	5	0,2	0,05
Decreto Supremo 031-2010-SA	0,003	2,0	0,3	0,4	0,010

● El valor promedio, máximo y mínimo, supera el ECA para agua (categoría 3) y/o Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

● El valor promedio y máximo supera el ECA para agua (Categoría 3) y/o el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

►Tabla 6. Resultados de los parámetros evaluados en el punto 10 de la UH Pachacoto (zinc, boro, cromo y mercurio)

Zona de estudio UH Pachacoto	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	0,036 (0,021-0,05)	0,153 (0,086-0,22)	<0,0005 (0,0003-0,0007)	<0,0004 (0,0002-0,0006)
ECA (categoría 3)	2	1	0,1	0,001
Decreto Supremo 031-2010-SA	3,0	1,5	0,05	0,001

CONCLUSIONES

Durante el periodo de evaluación (2016-2022) en la UH Pachacoto, se ha observado que, de los diez puntos monitoreados, dos presentan pH bajos (aguas ácidas). Sin embargo, se han registrado altas concentraciones de manganeso en seis de los puntos monitoreados y se tiene casos puntuales de altas concentraciones de cadmio, plomo y zinc, en el punto 03 que no presenta aguas ácidas y se ha registrado hierro en el punto 07.

El punto de evaluación 3 presenta altas concentraciones de cadmio, manganeso, plomo y zinc, a diferencia de los metales que se encontraron regularmente en los otros puntos de monitoreo. Aquí encontramos altas concentraciones de cadmio, las que superan el ECA para agua (categoría 4).

A partir del monitoreo del año 2020, los resultados evidencian en el punto 1 un ligero incremento principalmente en las concentraciones de aluminio, manganeso, plomo y zinc, a diferencia de años anteriores, en que solo se registraban altas concentraciones de manganeso y aguas ácidas. Estos resultados podrían relacionarse con la generación del drenaje ácido de roca (DAR), pues en la actualidad los glaciares en la cordillera Blanca están en un continuo proceso de derretimiento. Esto permite un aumento en la cantidad de agua y la exposición de rocas con minerales sulfurosos cuya meteorización genera 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*, 17, 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: <https://www.inaigem.gob.pe/wp-content/uploads/2019/04/INVENTARIO-NACIONAL-DE-GLACIARES-.LAS-CORDILLERAS-GLACIARES-DEL-PERÚ.pdf>.
- LOAYZA-Muro, R. A.; DUIVENVOORDEN, J. F.; KRAAK, M. H. S. y ADMIRAAL, W.** (2014). «Metal Leaching, Acidity, and Altitude Confine Benthic Macroinvertebrate Community Composition in Andean Streams». *Environmental Toxicology and Chemistry*, número 33(2), páginas 404-411.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES** (1998). *Estudio de evaluación ambiental, territorial y de planeamiento para reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Santa*.
- 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, número 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), 25243-25259.

ANEXOS

Anexo 1: Ubicación de los puntos de evaluación de la UH Pachacoto

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

Código del punto de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud	Descripción
	Este	Norte		
1	259959	8906405	4.485	Quebrada Yanapampa.
2	257580	8905793	4.453	Quebrada Pastoruri o Tuco, cuya descarga son las aguas en la margen izquierda del río.
3	255846	8906194	4.468	Quebrada Camadero, cuyo flujo de agua proviene de la antigua mina Santon. El curso del agua tiene una coloración rojiza y descarga sus aguas en la margen izquierda del río.
4	254870	8907230	4.321	Quebrada Huellaco, cuya descarga son las aguas en la margen derecha del río.
5	254265	8906537	4.339	Quebrada Rajocolta, cuya descarga son las aguas en la margen izquierda del río.
6	253233	8907311	4.065	Quebrada Tantash, cuya descarga son las aguas en la margen derecha del río.
7	249831	8907979	3.995	Quebrada Radiac, zona denominada Pumapampa. Descarga sus aguas en la margen derecha del río.
8	248409	8906698	4.169	A 1 kilómetro aguas arriba de la caseta de control del PNH.
9	247432	8906005	4.151	Quebrada Huicso, cerca de la caseta de control del PNH. Sector Carpa, cuya descarga son las aguas en la margen izquierda del río.
10	236416	8909949	3.666	100 metros aguas arriba del punto de confluencia con el río Santa. Puente Pachacoto.

Fuente: Elaboración propia

Sede central:

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

Central telefónica: (043) 643-460

www.gob.pe/inaigem



INAIGEM

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA