REPORTE

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

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) SANTIAGO

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM),
Áncash - Perú, octubre 2023

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

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

Colaborador:
Cristian Quispe Ccajavilca y Leonel Canchari Gabriel (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) 643-460
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
Depósito legal N° 2024-13560

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 agua superficial de la Unidad Hidrográfica (UH) Santiago (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) Santiago 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) Santiago 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 moniitoreo de la UH Santiago 24

Índice de tablas

Tabla 1.	Características principales de la UH Santiago	9
Tabla 2.	Frecuencia de análisis, laboratorio y método de análisis	14
Tabla 3.	Resultados de los parámetros evaluados en la UH Santiago de 2016 a 2019	16
Tabla 4.	Resultados de los parámetros evaluados en el punto 8 de monitoreo de la UH Santiago (pH, conductividad eléctrica, turbiedad, aluminio y arsénico)	21
Tabla 5.	Resultados de los parámetros evaluados en el último punto de monitoreo de la UH Santiago (cadmio, cobre, hierro, manganeso y plomo)	21
Tabla 6.	Resultados de los parámetros evaluados en el último punto de monitoreo de la UH Santiago (zinc, boro, cromo y mercurio)	21
Tabla 7.	Ubicación y descripción de los puntos de monitoreo	24

Índice de figuras

Figura 1.	Mapa de ubicación de la UH Santiago	11
Figura 2.	Medición de parámetros fisicoquímicos en la UH Santiago	11
Figura 3.	Mapa de puntos de evaluación en la UH Santiago	12
Figura 4.	Toma de muestra de agua en la UH Santiago	13
Figura 5.	Evaluación del pH en el punto 7 de la UH Santiago (2016-2019)	15
Figura 6.	Mapa de resultados en la UH Santiago	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 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) Santiago», en la cual se presentan los resultados de las concentraciones de metales y parámetros de campo monitoreados 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 en la UH Santiago, 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

El Perú es un país con una larga tradición minera que se remonta a épocas preíncas. Durante la República, y en especial en el siglo XX, se intensificaron las labores exploratorias en todo el país, en especial en los Andes, las cuales permitieron la apertura de nuevas minas. Muchas de ellas siguen operando todavía, mientras que otras, por razones económicas, fueron abandonadas, lo que las convirtió en pasivos ambientales mineros (PAM) (Chappuis, 2019). En la actualidad, se estiman en el Perú 6.128 PAM (Minem, 2023).

La cuenca del río Huarmey pertenece a la vertiente del océano Pacífico, abarca el 85,80 por ciento de la provincia de Aija, el 35,07 por ciento de la provincia de Huarmey y el 11.59 por ciento de la provincia de Recuay, del departamento de Áncash. Esta cuenca está formada por las lagunas ubicadas en los distritos de Tapacocha, Coris, Malvas, Huayán y Succha, en las provincias de Aija y Recuay (Minagri, 2007). Una de las principales unidades hidrográficas (UH) aportantes a la cuenca del río Huarmey es la UH Santiago, ubicada en el distrito de Aija, provincia de Aija, departamento de Áncash. El distrito de Aija, según el Ministerio de Energía y Minas (Minem), presenta varios PAM, como bocaminas, tajeos, desmonte de mina, los cuales están registrados en el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros (Minem, 2023).

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 Santiago del 2016 a 2019. Estos resultados fueron comparados con el ECA[2] 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 08 puntos de monitoreo dentro de esta UH, cuyos resultados fueron comparados con el ECA para agua, categoría 3-D1 «Riego de vegetales». Este indicador de calidad ambiental se emplea para aguas que pueden ser utilizadas para el riego de los cultivos. El resultado del último punto evaluado (punto 08), en el cauce del río Santiago, se comparó con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (CACH) (Decreto Supremo 031-2010-SA), por ser el más cercano al área urbana y de 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 ocho puntos monitoreados, seis de ellos presentan valores de pH que se encuentran por debajo del rango establecido en el ECA para agua, categoría 3-D1. Además, dos puntos evaluados (04 y 08) presentan concentraciones de cadmio, manganeso y zinc que superan la normativa mencionada.

En este sentido, la información presentada constituye un soporte técnico para estudios sobre la influencia del drenaje ácido de mina en la calidad del agua, principalmente en zonas con pasivos ambientales mineros y, con operaciones mineras activas. De manera particular, permite conocer la calidad del agua en la parte alta de la UH Santiago, y debe servir de base para el planteamiento de alternativas orientadas a la mejora de la calidad del agua, para así mitigar los impactos generados por el drenaje ácido de mina (DAM).

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) SANTIAGO

Esta unidad hidrográfica se ubica, en lo político, en el distrito de Aija, provincia de Aija, departamento de Áncash, en la parte central occidental del Perú. Tiene una extensión territorial de 48,44 kilómetros cuadrados.

En lo geográfico, se ubica entre los paralelos 9°44'2" y 9°46'59" de latitud Sur y los meridianos 77°32'25" y 77°37'34" de longitud Oeste. Su nivel altitudinal varía de 3.050 a 4.900 metros. Ocupa parte de la vertiente occidental de la cordillera Negra, las aguas del río Santiago fluyen para después verter sus aguas al río La Merced que posteriormente formará el río Huarmey.

En lo hidrográfico, se halla en la cuenca Huarmey y pertenece a la vertiente del océano Pacífico. Limita por el Norte con la cuenca del río Culebras, por el Noreste con la cuenca del río Casma, por el Este con la cuenca del río Santa, por el Sudeste con la cuenca del río Fortaleza, por el Sur con la intercuenca Pararín y por el Oeste con el océano Pacífico.

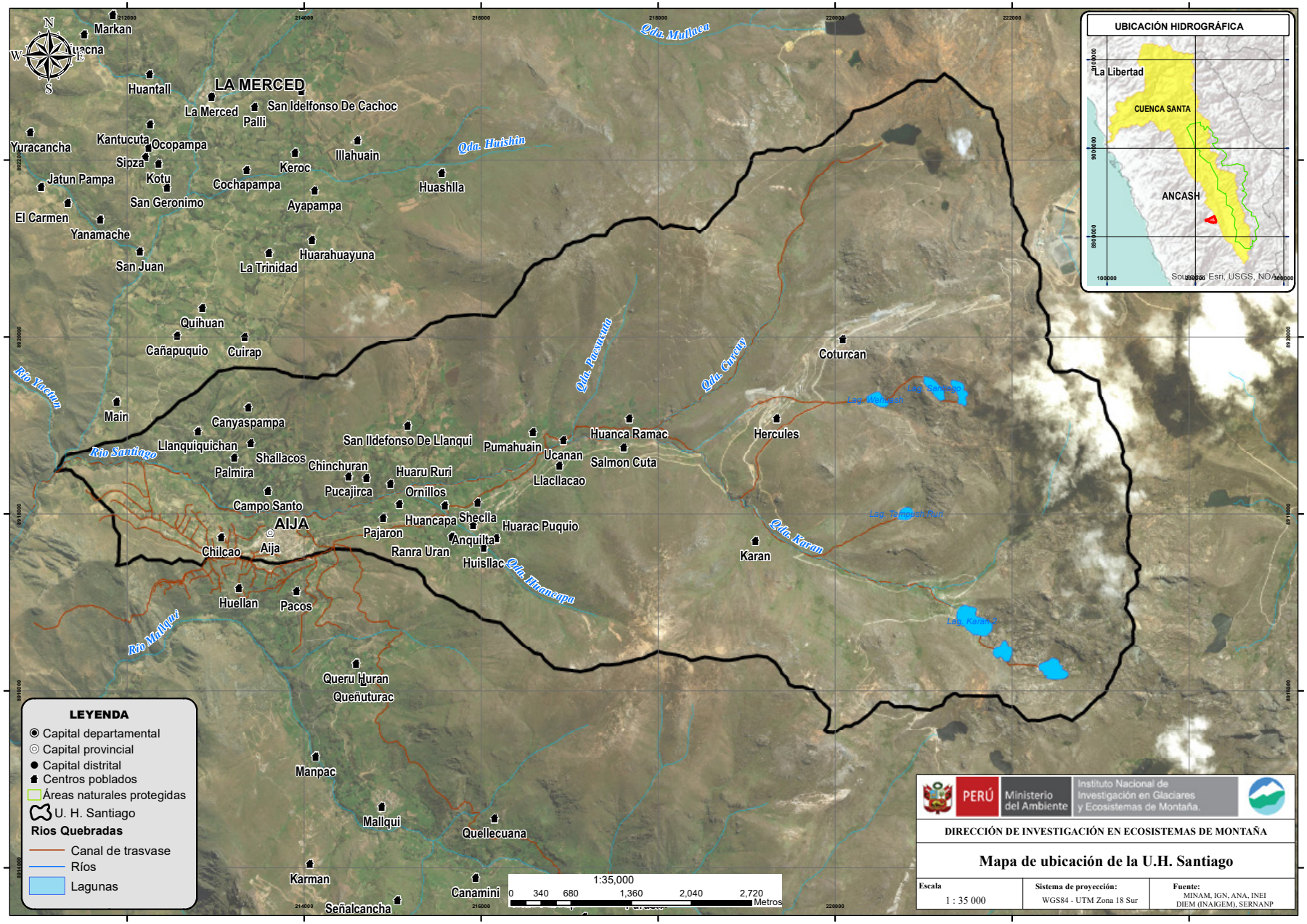
El recurso de agua superficial proviene de la quebrada Santa Ana. El 50 por ciento (lo que proviene de las lagunas Wewash, Santiago, Santa Rosa, Tampush, Karan I, Karan II, Karan III y Curcuy y las quebradas Curcuy y Pallca) es utilizado con fines agrarios. Así, abastece a 250,35 hectáreas bajo riego, que forma el área del bloque de riego Kakesh-Santa Ana, los cuales son distribuidos por el Comité de Usuarios de Agua Toma Kakesh y Santa Ana. Estos recursos se utilizan desde 1950, mediante las captaciones Curcuy y Pallca. Son conducidos a través del canal Kakesh-Santa Ana hasta donde se ubican los predios agrícolas de los usuarios pertenecientes al comité de usuarios mencionado.

▶Tabla 1. Características principales de la UH Santiago

Características		Descripción
Nombre de la UH		Santiago
Clasificación	Nivel	8
	Código Pfafstetter	13759494
Ubicación	Política	Distrito de Aija
	Geográfica	9°46'16,732" S y 77°33'52,440" W
Vertiente hidrográfica		Pacífico
Superficie (kilómetros cuadrados)		48,44
Río principal (kilómetros)		12,72
Altitud (m s. n. m.)		3.050-4.900
Población		1.516
Principales usos		Agropecuario

Fuente: Elaboración propia

▶Figura 1. Mapa de ubicación de la UH Santiago

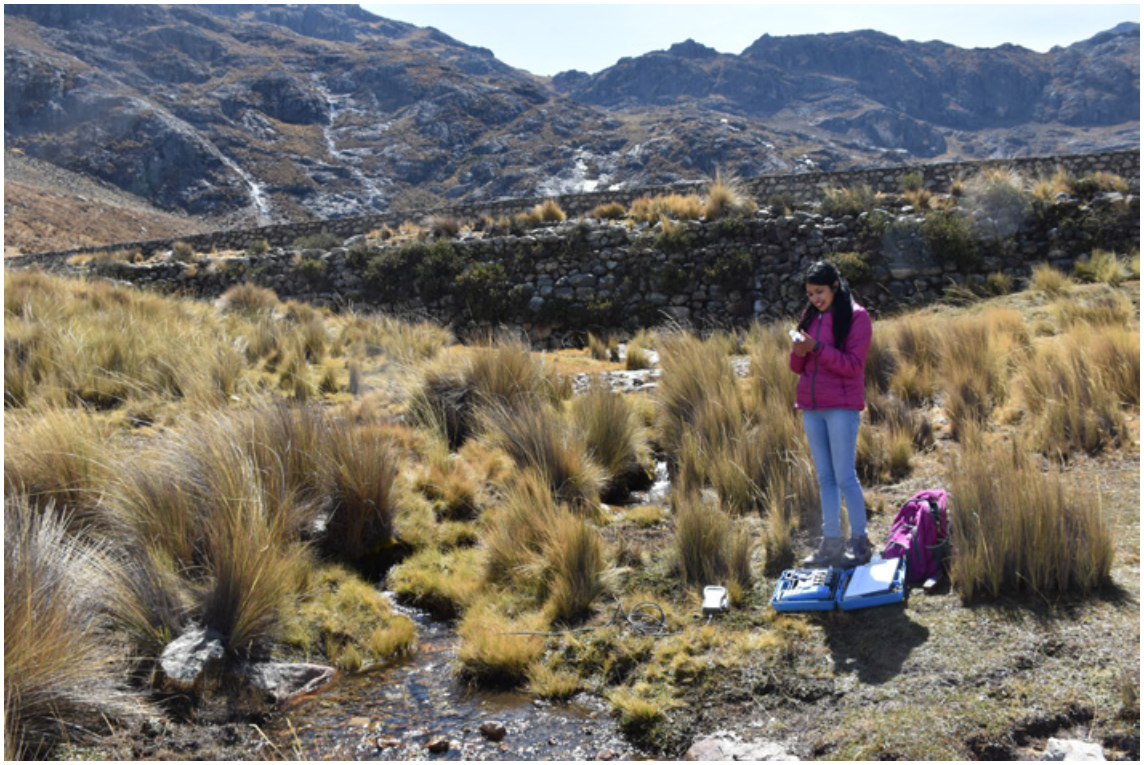


Fuente: Elaboración propia

2. COLECTA DE DATOS PARA CALIDAD DE AGUA

La DIEM realiza evaluaciones de las aguas superficiales desde 2016 en la UH Santiago. 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 el departamento de Áncash.

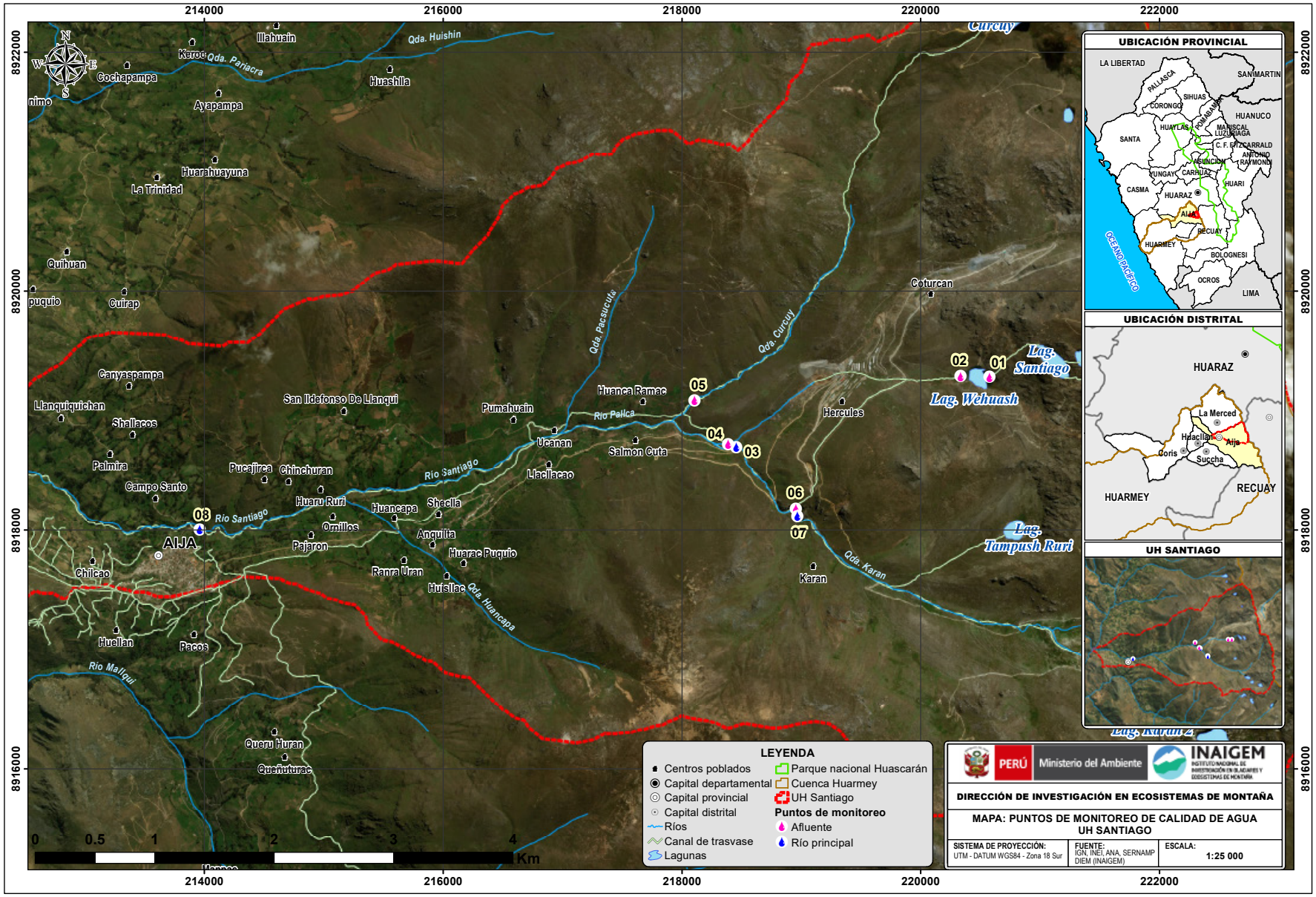
▶Figura 2. Medición de parámetros fisicoquímicos en la UH Santiago



Fuente: Archivo fotográfico DIEM-INAIGEM

Teniendo en consideración el régimen perenne de los afluentes y el acceso a ellos, se establecieron ocho puntos de monitoreo en la UH Santiago, 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 no se encuentra en el Parque Nacional Huascarán (PNH), considerando que los principales factores de alteración se relacionarán con procesos antrópicos, como la generación de drenaje ácido de mina (DAM), principalmente de antiguas operaciones mineras en esta área. En el distrito de Aija se encuentran muchos pasivos ambientales mineros (PAM) y se desorrollan actividades mineras.

▶Figura 3. Mapa de puntos de evaluación en la UH Santiago



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 labotarorio 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.

▶Figura 4. Toma de muestra de agua en la UH Santiago

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	Junio de 2016	LCA-Unasam[i]	Espectrofotometría	Santiago
2	Octubre de 2016			
3	Febrero de 2017			
4	Julio de 2017			
5	Noviembre de 2017			
6	Abril de 2018			
7	Agosto de 2018	SGS del Perú[ii]	ICP-MS[iii]	
8	Noviembre de 2018			
9	Marzo 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 de Lima. Acreditado en todos los parámetros analizados.
[iii] Espectrometría masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

3. RESULTADOS

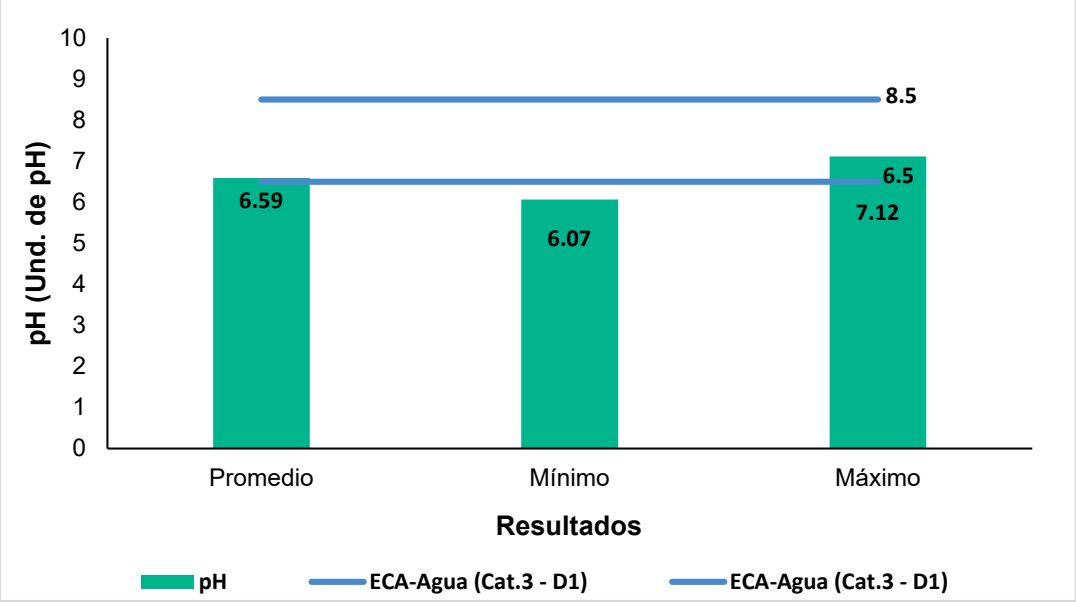
Los resultados que a continuación se presentan son de la UH Santiago. La información se ordena por parámetro evaluado en cada punto de monitoreo. Primero se muestran los resultados de los puntos de monitoreo en el río principal, desde la parte alta de la UH, luego se muestran los puntos de los afluentes al río principal.

En la tabla 3, se presentan los resultados obtenidos en la UH Santiago, 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 en los puntos monitoreados el valor de pH (promedio y mínimo) se encuentra fuera del rango establecido por el ECA para agua (categoría 3-D1).

Además, encontramos altas concentraciones de algunos metales, como cadmio, manganeso y zinc, en dos puntos (04 y 08) evaluados. También hay casos puntuales en las que no se cumple con la normativa mencionada, como es para el arsénico, cobre y plomo. Es decir, estas aguas no cumplen con esta categoría. No se pueden usar para riego de vegetales. Esto agrupa el riego no restringido y restringido (cultivos alimenticios que se consumen crudos y cultivos alimenticios que se consumen cocidos, respectivamente). Estas concentraciones altas pueden ser originadas por un problema de la generación de drenaje ácido de mina (DAM), debido a la presencia de pasivos ambientales mineros (PAM) en esta zona de estudio.

A continuación, en la figura 5 se muestra una representación gráfica de los resultados de la tabla 3. Se presenta los resultados de pH del punto de monitoreo 7 de la UH Santiago. Como se observa, el valor mínimo se encuentra fuera del rango establecido en el ECA para agua (categoría 3-D1), que es de 6,5 a 8,5, a diferencia del valor promedio y máximo, que tienen un pH de 6,59 y 7,12, respectivamente y se encuentran dentro de este rango. De la misma manera, en la tabla 3 se presentan los resultados (promedio, mínimo y máximo) comparados con el ECA para agua (categoría 3-D1) para los demás parámetros evaluados.

▶Figura 5. Evaluación del pH en el punto 7 de la UH Santiago (2016-2019)



Fuente: Elaboración propia

▶Tabla 3. Resultados de los parámetros evaluados en la UH Santiago de 2016 a 2019

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 Santiago	Río principal	7	6,59 (6,07-7,12)	901 (294-1509)	7,55 (0,82-14,28)	1,046 (0,266-1,825)	0,028 (0,012-0,045)
		3	6,93 (6,51-7,34)	44 (36-53)	3,22 (0,0003-6,44)	1,151 (0,346-1,955)	0,019 (0,011-0,027)
		8	6,17 (4,40-7,93)	723 (0-2011)	10,04 (0,00-30,59)	2,282 (0,005-4,559)	0,046 (0,000-0,108)
	Afluentes	1	6,17 (5,49-6,84)	47 (30-64)	0,65 (0,43-0,87)	0,952 (0,071-1,832)	0,019 (0,013-0,025)
		2	6,25 (5,80-6,70)	59 (47-71)	0,62 (0,44-0,81)	0,106 (0,038-0,174)	0,018 (0,012-0,023)
		4	6,47 (6,05-6,89)	1.011 (188-1834)	18,49 (0,00-38,75)	2,495 (1,248-3,743)	0,187 (0,000-0,391)
		5	5,65 (5,00-6,31)	987 (391-1583)	10,21 (0,000 - 22,12)	1,838 (0,726-2,950)	0,013 (0,004 - 0,023)
		6	5,93 (5,09-6,77)	61 (48-73)	1,76 (0,51-3,02)	1,145 (0,000-0,174)	0,015 (0,009-0,021)
ECA para agua (categoría 3-D1)*			**6,5-8,5**	**2.500**	**---**	**5**	**0,1**

* ECA para agua (categoría 3-D1). Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1: Riego de vegetales.
El valor promedio, máximo y mínimo supera el ECA para agua (categoría 3).
El valor promedio y/o máximo o mínimo, supera el ECA para agua (categoría 3).

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 Santiago	Río principal	7	0,004 (0,000-0,009)	0,05 (0,016-0,084)	0,544 (0,084-1,003)	0,060 (0,000-0,127)	0,01 (0,003-0,016)
		3	0,001 (0,001-0,002)	0,046 (0,008-0,084)	0,396 (0,198-0,594)	0,036 (0,019-0,052)	0,012 (0,003-0,02)
		8	0,106 (0,000 - 0,234)	0,236 (0,000-0,638)	0,715 (0,000-1,467)	10,934 (0,000-23,619)	0,027 (0,003-0,052)
	Afluentes	1	0,004 (0,000 - 0,009)	0,044 (0,008-0,08)	0,272 (0,099-0,444)	0,174 (0,000-0,351)	0,008 (0,003-0,013)
		2	0,008 (0,001 - 0,015)	0,051 (0,012-0,09)	0,242 (0,048-0,436)	0,219 (0,000-0,462)	0,004 (0,001-0,007)
		4	0,117 (0,029 - 0,205)	0,107 (0,042-0,172)	4,083 (0,000-8,751)	26,966 (2,718-51,213)	0,111 (0,000-0,229)
		5	0,002 (0,002 - 0,002)	0,078 (0,027-0,128)	0,319 (0,145-0,493)	0,109 (0,069-0,150)	0,017 (0,000-0,035)
		6	0,002 (0,001 - 0,004)	0,059 (0,013-0,104)	0,369 (0,162-0,577)	0,063 (0,031-0,094)	0,011 (0,004-0,019)
ECA para agua (categoría 3-D1)*			**0,01**	**0,2**	**5**	**0,2**	**0,05**

* ECA para agua (categoría 3-D1). Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1: Riego de vegetales.
El valor promedio, máximo y mínimo, supera el ECA para agua (categoría 3).
El valor promedio y máximo supera el ECApara agua (categoría 3).
El valor máximo supera el ECA para agua (categoría 3).

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 Santiago	Río principal	7	0,568 (0,000 - 1,328)	0,013 (0,005-0,022)	<0,0004 (0,0003-0,0005)	<0,0005 (0,0003-0,0008)
		3	0,176 (0,114-0,237)	0,011 (0,005-0,018)	<0,0004 (0,0003-0,0005)	<0,0005 (0,0003-0,0008)
		8	10,302 (0,00-22,413)	0,04 (0,000-0,085)	<0,0004 (0,0002-0,0005)	<0,0003 (0,0000-0,0009)
	Afluentes	1	0,600 (0,000-1,244)	0,008 (0,005-0,011)	<0,0004 (0,0003-0,0005)	<0,0005 (0,0002-0,0008)
		2	1,343 (0,177-2,509)	0,008 (0,006-0,009)	<0,0004 (0,0003-0,0006)	<0,0005 (0,0002-0,0008)
		4	15,054 (2,298-27,811)	0,243 (0,085-0,402)	<0,0004 (0,0003-0,0005)	<0,0005 (0,0002-0,0008)
		5	0,409 (0,269-0,549)	0,011 (0,006-0,015)	<0,0004 (0,0003-0,0005)	<0,0005 (0,0003-0,0008)
		6	0,370 (0,075-0,664)	0,007 (0,005-0,008)	<0,0004 (0,0004-0,0005)	<0,0007 (0,0003-0,0010)
ECA para agua (categoría 3-D1)*			**2**	**1**	**0,1**	**0,001**

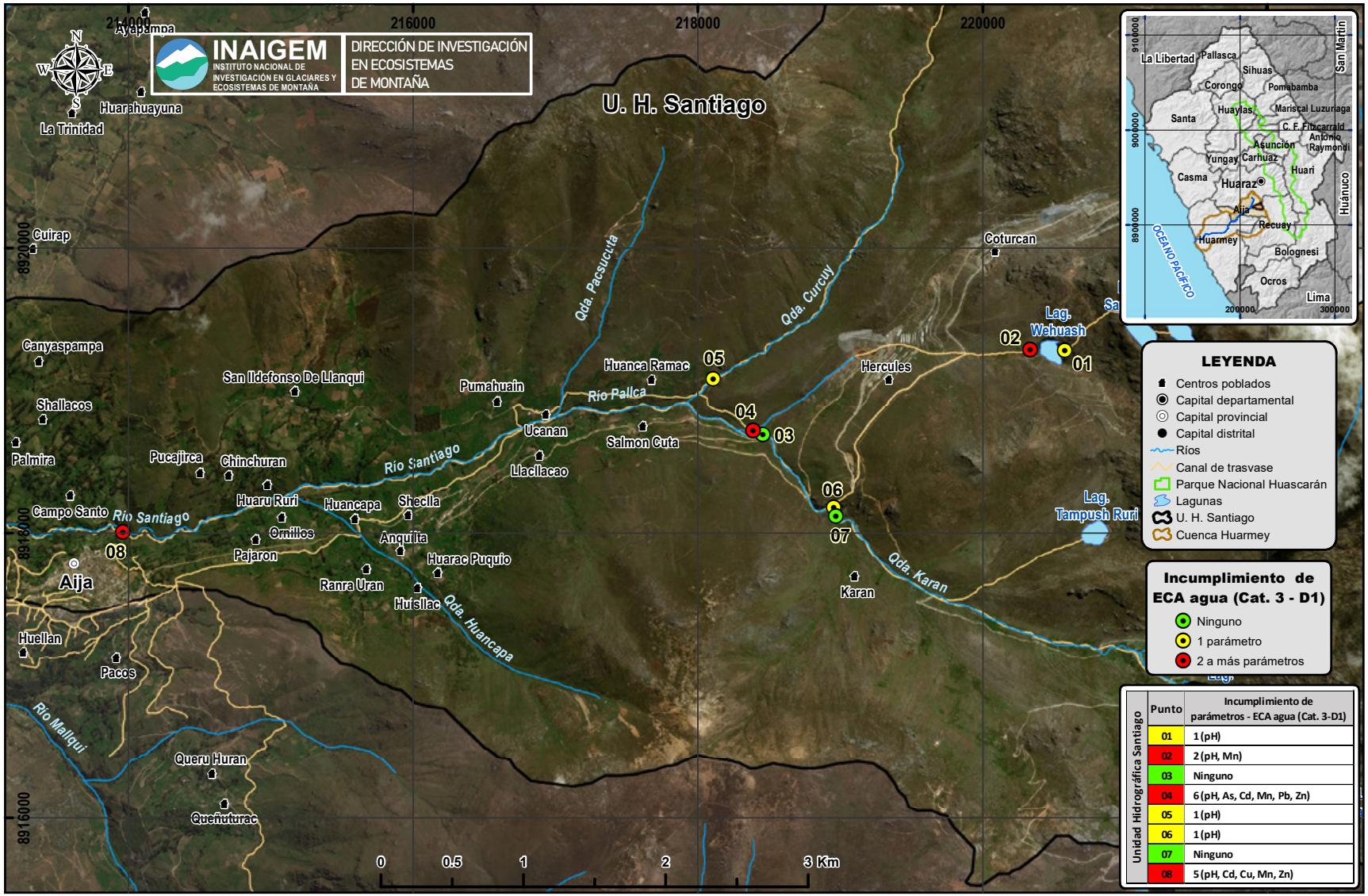
* ECA para agua (categoría 3-D1). Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. D1: Riego de vegetales.
El valor promedio, máximo y mínimo, supera el ECA para agua (categoría 3).
El valor promedio y máximo supera el ECA para agua (categoría 3).
El valor máximo supera el ECA para agua (categoría 3).

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

A continuación, en la figura 6, se presentan los resultados en los parámetros evaluados en cada punto de monitoreo en la UH Santiago, comparados con el ECA para agua (categoría 3-D1). 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 fisicoquímicos y metales totales. Se observa en la UH Santiago que los puntos monitoreados número 3 y 7 son de color verde, lo que significa que los parámetros evaluados se encuentran dentro del ECA para agua (categoría 3-D1). Es decir, para los parámetros evaluados estas aguas podrían usarse para el riego de vegetales. Los puntos de evaluación número 1, 5 y 6 presentan color amarillo, ya que superan esta norma en un solo parámetro, que en este caso es el potencial de hidrógeno (pH). Los demás puntos son de color rojo, pues superan la normativa de dos a más parámetros. Ahí presentan principalmente pH ácidos y altas concentraciones de cadmio (Cd), manganeso (Mn) y zinc (Zn). Además, el punto de evaluación número 4 supera también la normativa en los metales de arsénico (As), cadmio (Cd), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn).

▶Figura 6. Mapa de resultados en la UH Santiago



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 Santiago (tablas 4, 5 y 6). Se presenta 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 cultivos vegetales. Además, se usó el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo 031-2010-SA), con el fin de comparar con valores más estrictos.

En la UH Santiago, según los resultados del último punto de monitoreo (punto 8) evaluado de 2016 a 2019, encontramos que el valor promedio y mínimo del pH se encuentra fuera del rango (6,5 - 8,5) establecido por el ECA para agua (categoría 3-D1), el valor máximo de arsénico y el valor promedio y máximo del cadmio, cobre, manganeso y zinc supera el rango establecido por el ECA para agua (categoría 3-D1). Por ejemplo, la concentración promedio del cadmio es 10,6 veces mayor al establecido (Cd = 0,01 mg/L), la concentración promedio del manganeso es 54,7 veces mayor al establecido (Mn = 0,2 mg/L) y la concentración promedio del zinc es 5,2 veces mayor al establecido (Zn = 2 mg/L).

En la evaluación de los resultados con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (Decreto Supremo 031-2010-SA), encontramos que los valores promedio y mínimo del pH se encuentran fuera del rango establecido y los valores promedio y máximo de la turbiedad, aluminio, arsénico, cadmio, hierro, manganeso, plomo y zinc, superan los valores estipulados en la normativa. Por ejemplo la concentración promedio del aluminio es 11.4 veces mayor a lo establecido (Al = 0,2 mg/L), la concentración promedio del cadmio es 35.3 veces veces mayor a lo establecido (Cd = 0,003 mg/L) y la concentración promedio del manganeso es 27.3 veces mayor al establecido (Mn = 0,4 mg/L). Esto significa que para los parámetros evaluados, estas aguas no podrían ser usadas directamente para riego de los cultivos vegetales, ni para consumo de la población.

▶Tabla 4. Resultados de los parámetros evaluados en el punto 8 de monitoreo de la UH Santiago (pH, conductividad eléctrica, turbiedad, aluminio y arsénico)

Zona de estudio: UH Santiago	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.)
Pto 8	6,17 (4,4-7,93)	723 (0-2011)	10,04 (0,00-30,59)	2,282 (0,000-4,559)	0,046 (0,000-0,108)
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 y/o máximo 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 último punto de monitoreo de la UH Santiago (cadmio, cobre, hierro, manganeso y plomo)

Zona de estudio: UH Santiago	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.)
Pto 8	0,106 (0,000-0,234)	0,236 (0,000-0,638)	0,715 (0,000-1,467)	10,934 (0,000-23,619)	0,027 (0,003-0,052)
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 y máximo supera el ECA para agua (categoría 3) y/o Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

▶Tabla 6. Resultados de los parámetros evaluados en el último punto de monitoreo de la UH Santiago (zinc, boro, cromo y mercurio)

Zona de estudio: UH Santiago	Zinc (mg/L)	Boro (mg/L)	Cromo (mg/L)	Mercurio (mg/L)
	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)	Prom. (mín.-máx.)
Pto 8	10,3 (0,00-22,41)	0,04 (0,000-0,085)	<0,0004 (0,0002-0,0005)	<0,0003 (0,0000-0,0009)
ECA-categoría 3	2	1	0,1	0,001
Decreto Supremo 031-2010-SA	3,0	1,5	0,05	0,001

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

CONCLUSIONES

Durante el periodo de evaluación (2016-2019) en la UH Santiago, se observó que el parámetro de pH evaluado en la mayoría de los puntos del río principal y afluentes se encuentra fuera de los rangos establecidos en el ECA para agua (categoría 3-D1), con excepción de los puntos número 3 y 7, que no presenta problemas de acidez ni altas concentraciones de metales.

Los resultados del punto final monitoreado de la UH Santiago muestran que el agua es de mala calidad, el pH se encuentra por debajo del rango establecido y algunos metales presentan valores promedio y/o máximo superior a los límites establecidos en el ECA para agua (categoría 3-D1) y/o en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano del Ministerio de Salud (Minsa). De los once metales evaluados, ocho superan la normativa en referencia. Los metales (concentración promedio y/o máxima) que son superiores a los límites establecidos son aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc. Este punto evaluado se encuentra cerca del distrito de Aija. Por ello, es recomendable su vigilancia a los usos que los habitantes le dan a estas aguas.

Los puntos número 04 y 08 presentan altas concentraciones de cadmio, manganeso y zinc. Además, el punto número 04 también presenta concentraciones de arsénico y plomo que superan el ECA para agua (categoría 3-D1). Esto quizá se debe a la generación de drenaje ácido de mina (DAM), producto de los pasivos ambientales mineros (PAM) de esta zona de estudio. Por ello, es importante el monitoreo y vigilancia de esta UH.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BROUGHTON, L. M. y ROBERTSON, A. M. (1992). «Acid Rock Drainage from Mines-where We Are Now, IMM Minerals». En: Metals and Environment Conference.

CHAPPUIS, M. (2019). «Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú». Medio Ambiente y Desarrollo, páginas 1-47.

MINAGRI (2007). Estudio hidrológico en la cuenca del río Huarmey. Diciembre.

MINEM (2023). «Inventario de Pasivos Ambientales Mineros». 18(2). Resolución Ministerial N.° 510-2023-MINEM/DM. https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/4961275-510-2023-minem-dm

MEM (2002). Guia metodológica sobre drenaje ácido en la industria minera.

SORIANO FIGUEROA, R. (2018). Evaluación de la eficiencia en neutralización y remoción de metales pesados (Fe, Cu, Pb, Zn) del drenaje acido de mina con lodos de baja densidad a nivel planta piloto de Cía. Minera Huancapeti-2016.

ANEXOS

Anexo 1: Ubicación de los puntos de monitoreo de la UH Santiago

▶Tabla 7. Ubicación y descripción de los puntos de monitoreo

Código del punto de muestreo	Coordenadas UTM		Altitud	Descripción
	Este	Norte		
1	220577	8919280	4.131	Afluente a la laguna Wewash, cuya descarga es la laguna Santiago.
2	220333	8919287	4.293	Descarga de agua de la laguna Wewash. Se ubica a 50 metros al oeste de la carretera Recuay-Aija.
3	218439	8918692	3.900	Rio Santiago, a 10 metros aguas arriba de la captación de agua para riego.
4	218389	8918718	3.898	Se ubica en la parte baja, en dirección a la mina Lincuna, cuya descarga son las aguas en la margen derecha del río Santiago.
5	218108	8919082	3.891	Se ubica en la margen derecha del río Santiago junto a un puente.
6	218943	8918163	4.036	Catarata afluente al río Pallca, cuya descarga son las aguas en la margen derecha del río Santiago.
7	218957	8918112	4.002	Río Pallca, cuyo origen es la laguna Karan.
8	213962	8918006	3.332	Río Santiago, ubicado a aproximadamente 500 metros de la ciudad de Aija.

Fuente: Elaboración propia

Sede central:

Av. Centenario 2656 - Sector Palmira, Independencia,
Áncash, Perú
Central telefónica: (043) 643-460
www.gob.pe/inaigem

INAIGEM
INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y
ECOSISTEMAS DE MONTAÑA