

---

# Variación del pH en Aguas Superficiales Debido a Drenajes Ácidos de Roca en la Subcuenca Quillcay, Huaraz, Ancash

Variation of pH in Surface Waters Due to Acid Rock Drainage in the Quillcay Subbasin, Huaraz, Ancash

Gabriel Martel Valverde<sup>1</sup>, Juan C. Torres Lázaro<sup>1</sup> y W. Harrinson Jara Infantes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Huaraz, Ancash

<https://doi.org/10.36580/rgem.i5.57-68>

## Resumen

El objetivo de esta investigación es caracterizar la variabilidad del pH en la subcuenca Quillcay, basada en mediciones puntuales directas. Con este fin, se realizó la recolección de datos en diferentes puntos de la subcuenca dentro de tres microcuencas en 2016 y 2017. En total se midieron treinta y siete puntos dentro de la subcuenca Quillcay: diez en la microcuenca Cojup, diecisiete en la microcuenca Quillcayhuanca y diez en la microcuenca Shallap.

Las mediciones en las microcuencas y sus aportantes fueron analizadas con la finalidad de determinar tendencias que muestren si los valores exceden los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA de Agua). Además, se realizó un levantamiento geológico en las cabeceras de la subcuenca Quillcay para poder identificar las formaciones geológicas, con lo cual se pudo determinar zonas de alteración y afloramiento de un pórfido andesítico en la quebrada Cayesh, que contiene minerales generadores de acidez.

Para mostrar el retroceso glaciar, se analizó las cabeceras de las microcuencas mediante la comparación de imágenes satelitales recuperadas de Google Earth Pro el 7 de setiembre de 2018. Las imágenes a comparar fueron obtenidas mediante la herramienta de Google Earth Pro (Historial de Imágenes) que permitió obtener imágenes de octubre 2013 y julio 2017.

**Palabras clave:** *Drenaje ácido de roca (DAR), ECA de agua, Cordillera Blanca, retroceso glaciar*

## Abstract

The objective of this research is to characterize the pH variability in the Quillcay subbasin, based on direct point measurements. To this end, data collection was carried out in different points of the subbasin within three microbasins in 2016 and 2017. In total, thirty-seven points were measured within

the Quillcay subbasin: ten in the Cojup microbasin, seventeen in the Quillcayhuanca microbasin and ten in the Shallap microbasin.

The measurements in the microbasins were analyzed in order to determine trends that show if the values exceed the Environmental Quality Standards for Water (Water EQS). In addition, a geological survey was carried out in the headwaters of the Quillcay subbasin in order to identify the geological formations, from which it was possible to determine zones of alteration and the outcrop of an andesitic porphyry in the Cayesh Valley, which contains acid-generating minerals.

To show the glacial retreat, the headwaters of the microbasins were analyzed by comparing satellite images retrieved from Google Earth Pro on September 7, 2018. The images to be compared were obtained using the Google Earth Pro tool (Image History) that yielded images from October 2013 and July 2017.

**Keywords:** *Acid rock drainage (ARD), environmental quality standards for water, Cordillera Blanca, glacial retreat*

## Introducción

El propósito de esta investigación es conocer la variación del pH como consecuencia de la generación de drenajes ácidos de roca, producto del retroceso glaciar en la subcuenca Quillcay, que se ubica en la parte media de la cuenca del río Santa en Ancash, Perú. La importancia de conocer la variación del pH en los sistemas acuáticos radica en tres aspectos. Primero, las aguas ácidas producen varios efectos nocivos para la flora y fauna. El aumento de acidez de las aguas de ríos y lagos produce cambios en la vida acuática, impidiendo su reproducción (por ejemplo, la eclosión de las huevas) y causando deformaciones en los peces más jóvenes. La vegetación también sufre, no solo por las consecuencias del deterioro del suelo, sino porque muchas especies no pueden adaptarse a

las nuevas condiciones, lo que puede resultar en su extinción. Segundo, la acidez origina las condiciones para que los metales permanezcan en estado líquido dentro de lagos y ríos, produciendo alteraciones en los ecosistemas. Tercero, alto acidez en los sistemas acuáticos ácidos previene su uso para consumo humano, porque no está dentro de los Estándares de Calidad Ambiental. Debemos tener presente que la mayoría de la población peruana vive en las llanuras costeras del Pacífico y las laderas occidentales de los Andes, donde la tierra es árida y muy dependiente de la escorrentía del agua de las montañas y glaciares (Vergara et al., 2007).

En la Cordillera Blanca se encuentra una de las zonas con yacimientos de minerales ricos en sulfuros metálicos (Wilson, Reyes y Garayar, 1967). Esta condición ocasiona que algunas microcuencas estén siendo alteradas por estar expuestas a drenajes ácidos de roca. El impacto de la fusión de los glaciares en el ciclo hidrológico ha sido cuantificado en una escala regional, pero se requiere un análisis más específico y detallado en cada microcuenca con el fin de caracterizar y determinar la variabilidad de la calidad y caudal del agua con mayor precisión y plantear controles geológicos (Baraër et al., 2009).

La acidez se genera al producirse la lixiviación de zonas mineralizadas que anteriormente se mantuvieron cubiertos por los glaciares. El Perú está perdiendo superficie glaciar de manera constante. Se ha realizado un análisis por zonas (norte, centro y sur) y por cordilleras, determinando una tasa de reducción de 1.6013 km<sup>2</sup>/año para las cordilleras de la zona norte (Blanca, Huallanca, Huayhuash y Raura), una tasa de reducción de 1.5831 km<sup>2</sup>/año para las cordilleras de la zona sur (Apolobamba, Carabaya, Vilcanota, Vilcabamba, Ampato, Urubamba, Chila, Huanzo y La Raya) y una tasa de reducción de 0.6799 km<sup>2</sup>/año para las cordilleras de la zona centro (La Viuda, Chonta, Central, Huagoruncho y Huaytapallana) (INAIGEM, 2018:56).

Además, una vez que la formación de Drenaje Ácido de Roca (DAR) ha comenzado, es generalmente difícil y costoso de controlar o suprimir. Por lo tanto, la prevención o minimización de la oxidación de sulfuro en la fuente es la opción más crítica versus el tratamiento de aguas contaminadas con DAR (Alakangas, Andersson y Mueller, 2013).

El tema es especialmente relevante debido a que el proceso de acidificación puede originar en otras subcuencas donde el agua está usada como fuente para actividades agrícolas, ganaderas, consumo humano, entre otras. La microcuenca Cojup, que es parte de la subcuenca Quillcay, es actualmente la única fuente de agua potable para la ciudad de Huaraz y podría sufrir un proceso de acidificación en el futuro, dejando la ciudad desabastecida y generando conflictos.

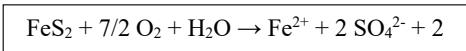
## Objetivos

- Analizar los resultados de pH de del agua superficial en las microcuencas de Cojup, Quillcayhuanca y Shallap.
- Analizar el mapa geológico de la subcuenca Quillcay para poder identificar formaciones que pueden originar drenaje ácido de roca.
- Analizar el retroceso glaciar mediante la comparación de imágenes satelitales en las microcuencas de Cojup, Quillcayhuanca y Shallap.

## Proceso de Formación de Drenaje Ácido de Roca en Áreas Glaciares

El área de estudio se encuentran en el ámbito de la Cordillera Blanca, la cual desde 1962 ha experimentado una pérdida de área glaciar de 445.81 km<sup>2</sup> (40.28%), según el análisis e interpretación de imágenes satelitales (INAIGEM, 2018). Esta desglaciación está exponiendo nuevas áreas, que estuvieron cubiertas con hielo durante miles de años, al aire y a la erosión de agua. El congelamiento y descongelamiento de la lámina de agua que rodea los minerales cautivos en las rocas debajo de los glaciares generan procesos de oxidación y lixiviación de los minerales, que pasan del estado sólido al estado líquido. Este proceso se agrava cuando los minerales presentes contienen sulfuros, como la pirita (FeS<sub>2</sub>) que es el más común en la naturaleza, encontrándose en formaciones de rocas ígneas y depósitos sedimentarios (Martel, 2016).

Los sulfuros son estables y muy insolubles mientras no entren en contacto con agentes oxidantes como el oxígeno. En este caso los glaciares sirvieron como cápsulas. Actualmente, el retroceso glaciar crea condiciones reductoras que permiten la lixiviación del material por el incremento y la disponibilidad de oxígeno, esencial para la oxidación de sulfuros (Martel, 2016) de acuerdo con la ecuación general de oxidación de la pirita:



Por otro lado, el proceso de oxidación se podría dar de manera lenta. Sin embargo, la intervención de determinadas bacterias quimiolitótrofas, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* y *Acidithiobacillus thiooxidans*, que tienen su desarrollo óptimo en condiciones de pH ácido, catalizando las reacciones de oxidación y obteniendo energía de este proceso, tiende a acelerar el proceso (Martel, 2016).

### Descripción del Área de Estudio

El área de estudio comprende la subcuenca del río Quillcay, conformada por las microcuencas Cojup, Quillcayhuanca y Shallap. La subcuenca se encuentra ubicada en la parte media de la cuenca del río Santa (Figura 1) teniendo una extensión importante dentro del Parque Nacional Huascarán. La ubicación de cada punto de monitoreo está indicada en la Tabla 1.

### Metodología:

#### Levantamiento de Información Geológica

##### Fase I: Pre-campo

- Definición del objetivo y alcance del estudio a la escala 1/25,000.
- Recopilación y análisis de información secundaria existente.
- Interpretación de imágenes satelitales.
- Elaboración del plan de trabajo.

##### Fase II: Campo – Recolección de Información

- Reconocimiento, caracterización y descripción de depósitos cuaternarios.
- Reconocimiento, caracterización y descripción del basamento rocoso.
- Definición preliminar de las unidades geológicas existentes en el área de estudio.
- Ejecución de estaciones de mapeo geológico-estructural.
- Extracción de muestras representativas de suelos y rocas.

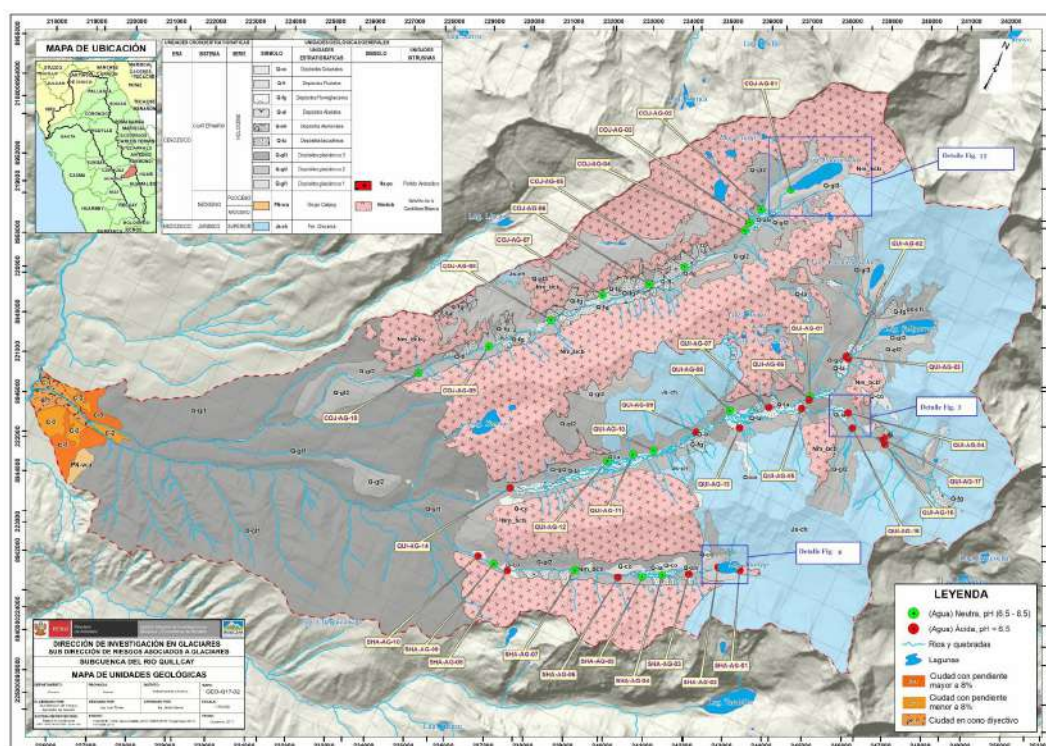


Figura 1. Unidades geológicas y puntos de monitoreo de calidad de agua en las microcuencas Cojup, Quillcayhuanca y Shallap. Fuente: INAIGEM.

**Tabla 1. Coordenadas UTM (WGS 84) de los puntos de monitoreo en las microcuencas Cojup, Quillcayhuanca y Shallap.**

Coordenadas UTM (WGS 84) de los puntos de monitoreo en la microcuenca Cojup			Coordenadas UTM (WGS 84) de los puntos de monitoreo en la microcuenca Quillcayhuanca			Coordenadas UTM (WGS 84) de los puntos de monitoreo en la microcuenca Shallap		
Código del punto de monitoreo	Este	Norte	Código del punto de monitoreo	Este	Norte	Código del punto de monitoreo	Este	Norte
COJ - AG - 01	238324	8960041	QUI - AG - 01	241232	8955057	SHA - AG - 01	241504	8949865
COJ - AG - 02	237808	8959200	QUI - AG - 02	241757	8956460	SHA - AG - 02	240924	8949681
COJ - AG - 03	237683	8958730	QUI - AG - 03	241699	8956482	SHA - AG - 03	240270	8949178
COJ - AG - 04	237649	8958469	QUI - AG - 04	242400	8955095	SHA - AG - 04	239616	8948822
COJ - AG - 05	236560	8956850	QUI - AG - 05	241174	8954638	SHA - AG - 05	239138	8948550
COJ - AG - 06	235879	8956000	QUI - AG - 06	241270	8954965	SHA - AG - 06	238521	8948259
COJ - AG - 07	234828	8955175	QUI - AG - 07	240340	8954289	SHA - AG - 07	237368	8947925
COJ - AG - 08	233825	8953945	QUI - AG - 08	239384	8953727	SHA - AG - 08	235663	8947135
COJ - AG - 09	232573	8952550	QUI - AG - 09	238805	8952803	SHA - AG - 09	235251	8947139
COJ - AG - 10	231108	8951060	QUI - AG - 10	237943	8951835	SHA - AG - 10	234748	8947157
-	-	-	QUI - AG - 11	237450	8951474	-	-	-
-	-	-	QUI - AG - 12	236899	8951032	-	-	-
-	-	-	QUI - AG - 13	239831	8953424	-	-	-
-	-	-	QUI - AG - 14	234796	8949217	-	-	-
-	-	-	QUI - AG - 15	242676	8954762	-	-	-
-	-	-	QUI - AG - 16	243677	8954734	-	-	-
-	-	-	QUI - AG - 17	243595	8954844	-	-	-

- Registro fotográfico de los depósitos cuaternarios y del basamento rocoso.

### **Fase III: Gabinete – Sistematización, Análisis y Evaluación**

- Procesamiento de la información primaria con el uso de programas especializados.
- Sistematización de la información primaria con el uso de programas especializados.
- Análisis e interpretación de los resultados de laboratorio petrográfico y paleontológico (si fuere el caso).
- Definición final de las unidades geológicas existentes en el área de estudio.
- Elaboración del mapa de unidades geológicas (formaciones geológicas y depósitos cuaternarios).
- Elaboración de informe final.

### **Medición del pH**

Hubo tres criterios principales para medir el pH en el área de estudio:

- Se establecieron los puntos en el cauce principal y algunos tributarios en las márgenes derecha e izquierda en las microcuencas Cojup, Quillcayhuanca y Shallap.

- El trabajo de campo se realizó a través de campañas de muestreo llevadas a cabo en diferentes estaciones durante los años 2016 y 2017 en un total de 37 puntos. Dicho trabajo incluyó la ubicación de las estaciones y las mediciones de campo.

- En cada estación se registraron parámetros fisicoquímicos, tal como oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH) y temperatura, para lo cual se utilizó la sonda multi-paramétrica portátil Hanna Hi 9829.

### **Microcuenca Quillcayhuanca**

En la microcuenca Quillcayhuanca, en términos geológicos, se tiene al intrusivo del batolito de la Cordillera Blanca (Nm-bcb), la Formación Chicama (J-ch) y el Stock Andesítico. El primero está conformado por rocas ígneas intrusivas, el segundo, por rocas sedimentarias jurásicas constituidas principalmente por arcillitas y areniscas, asociadas a los stocks o pórfidos andesíticos que estén afectando naturalmente las aguas superficiales y, por ende, su calidad (Figura 2).

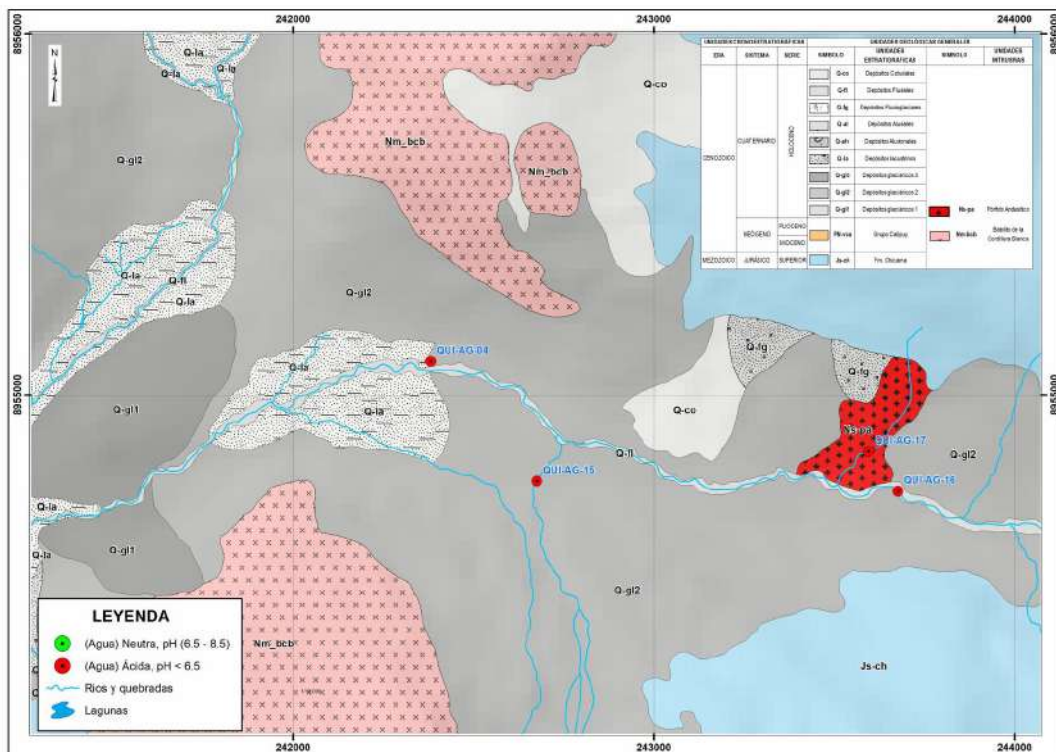


Figura 2. Mapa de unidades geológicas de la quebrada Cayesh. Fuente: INAIGEM.

En esta microcuenca, la superficie glaciar es de 1520.53 ha (1452.88 ha de glaciar limpio; 67.64 ha de glaciar cubierto). Encontramos evidencias del retroceso glaciar, como se puede apreciar en la quebrada Cayesh. Al realizar el análisis comparativo de las imágenes (Figuras 3a y 3b), se puede observar una fragmentación de la zona glaciar que deja expuesta una nueva zona. Hay un afloramiento

pequeño de un “stock” o pórfido andesítico, una roca ígnea hipoabisal, la cual presenta en forma diseminada mineral como pirita ( $FeS_2$ ), calcopirita ( $CuFeS_2$ ) y esfalerita ( $ZnS$ ), con una alteración tipo limonitización y una intensidad incipiente, asociada mineralógicamente a abundantes óxidos de hierro (véase Figuras 4a y 4b).



Figura 3a. Cabecera de la microcuenca Quillcayhuanca en octubre 2013. Se puede apreciar las lagunas de Cuchillacocha y Tulparaju que desembocan junto a la quebrada Cayesh y forman la quebrada Quillcayhuanca. El círculo de color rojo entrecortado representa el área de afloramiento del stock o pórfido andesítico.

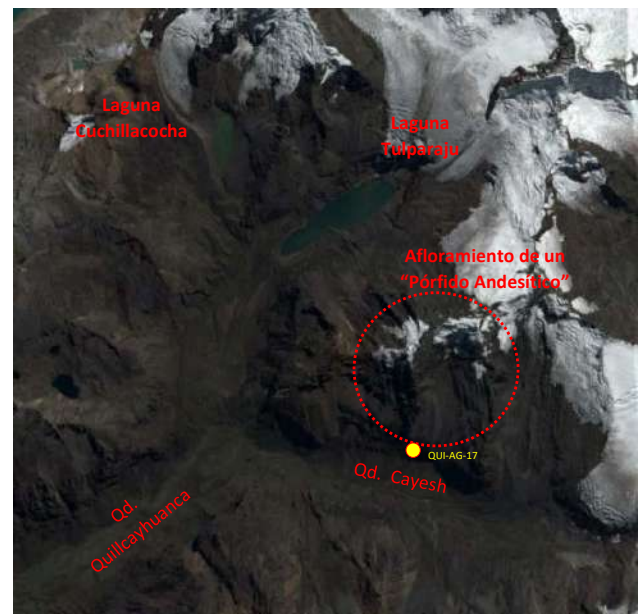
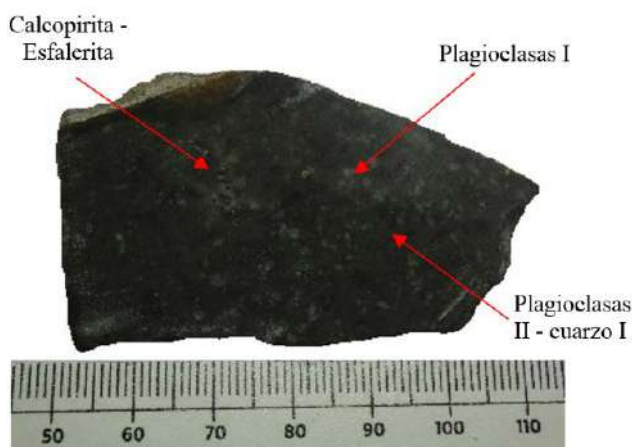


Figura 3b. Cabecera de la microcuenca Quillcayhuanca en julio 2017. El círculo de color rojo entrecortado representa el área de afloramiento del “stock o pórfido andesítico” que es el generador del DAR y aporta acidez a la quebrada Cayesh. El punto de color amarillo representa el punto de monitoreo QUI-AG-17 que nos permite analizar la variación temporal del pH.



**Figura 4a.** Vista de una muestra de roca representativa de un pórfido andesítico de la quebrada Cayesh.

Las condiciones descritas anteriormente nos permiten analizar la variación temporal del pH en el punto QUI-AG-17, influenciado por el afloramiento del pórfido andesítico. La Figura 5 muestra una tendencia que incrementa la acidez de manera leve en marzo 2016 (3.76), julio 2016 (3.45), octubre 2016 (3.24), marzo 2017 (3.11), junio 2017 (3.51) y noviembre 2017 (3.5). Esta tendencia podría verse incrementada si la exposición del afloramiento del pórfido andesítico se incrementara.

### Efectos en la Calidad del Agua

En esta microcuenca la generación del Drenaje Ácido de Roca afecta la calidad de las aguas superficiales, siendo la acidez una de las condiciones más críticas. Al analizar los resultados desde marzo 2016 hasta noviembre 2017, se puede apreciar una diferenciación importante entre los dos márgenes de la quebrada. Solo los aportantes de la margen derecha de la quebrada Quillcayhuanca presentan

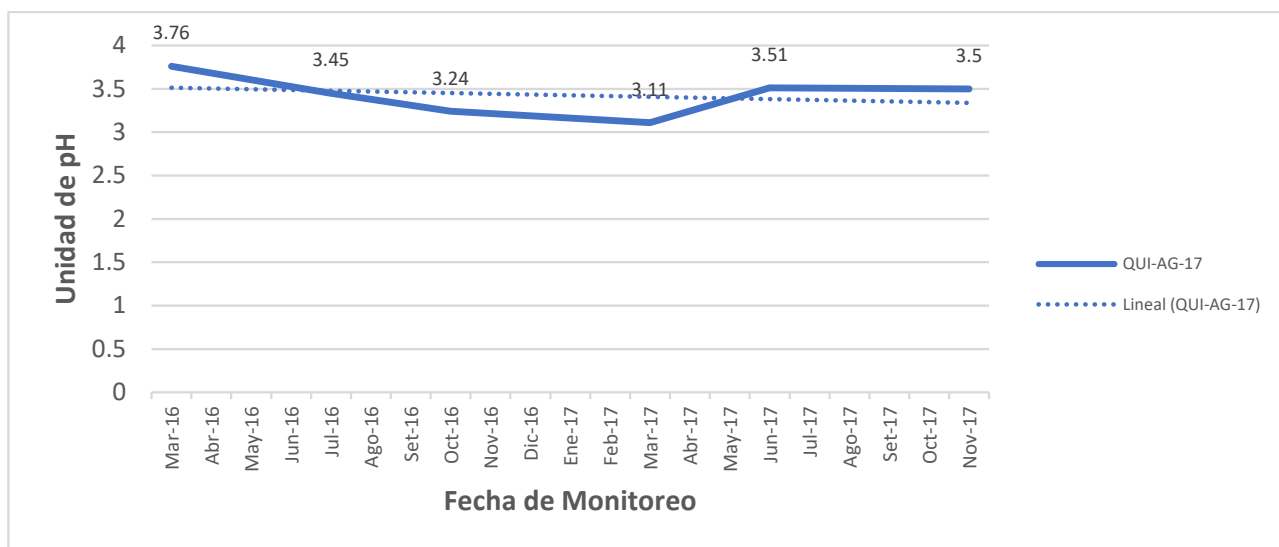


**Figura 4b.** Fotomicrografía con minerales opacos (OPs) intercrecidos con esfalerita (ef), de reflexiones internas rojizas, cloritas (CLOs) y agregados granulares de cuarzo II (cz II) relleno de plagioclasas II (PGLs II) y cuarzo I (cz I).

agua de pH neutro (6.5-8.5). Estos aportantes que mezclan sus aguas en el cauce principal no logran neutralizar la acidez proveniente de aguas arriba, y el resultado final es su acidificación. En contraste, todos los aportantes de la margen izquierda de la quebrada Quillcayhuanca presentan agua de pH ácido (<6.5) en los puntos de monitoreo QUI-AG-1, 5, 7, 9 y 13. Además, dentro de la quebrada Cayesh en todos los puntos QUI-AG-4, 15, 16 y 17, se presentan condiciones de acidez (Figura 6).

### Microcuenca Shallap

Geológicamente, la cabecera de la microcuenca Shallap está dominada por rocas sedimentarias jurásicas de la Formación Chicama (Js-ch), constituido principalmente por arcillitas y areniscas metamorizadas. Esta litología podría estar asociada a los stocks o pórfidos andesíticos mineralizados, los



**Figura 5.** Variación temporal del pH en el punto QUI-AG-17 del afloramiento del pórfido andesítico.

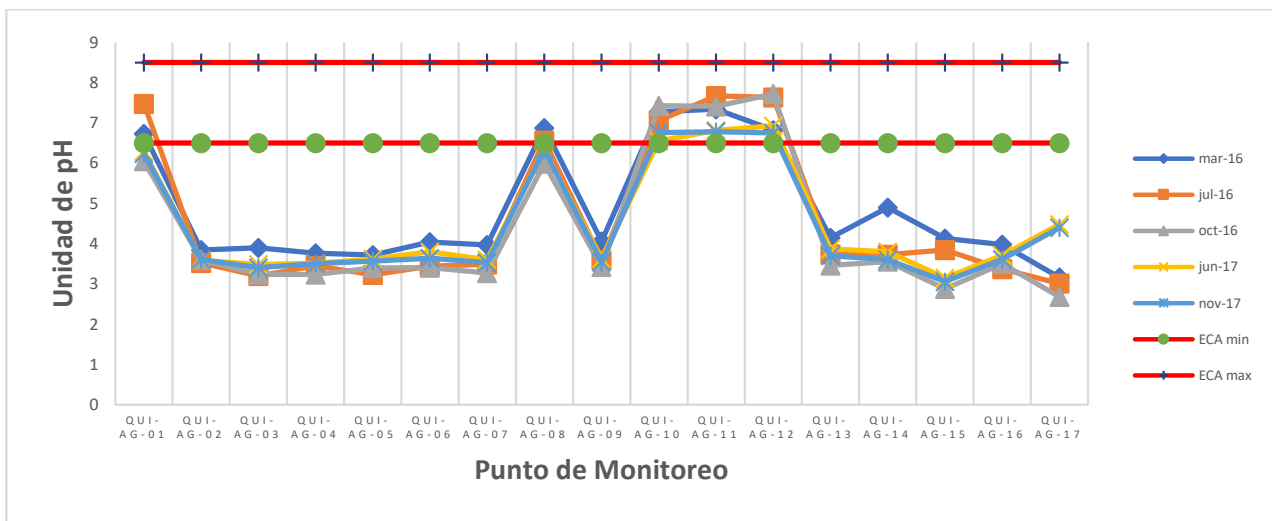


Figura 6. Valores de pH medidos durante los años 2016 y 2017 en las 17 estaciones de monitoreo en la microcuenca Quillcayhuanca.

cuales afectarían naturalmente las aguas superficiales y, por ende, su calidad. Asimismo, se tiene el batolito de la Cordillera Blanca (Nm-bcb), prácticamente dominando el tipo de basamento rocoso aguas abajo de la laguna Shallap (Figura 7).

En esta microcuenca, la superficie glaciaria es de 640.65 ha (569.76 ha de glaciar limpio; 70.89 ha de glaciar cubierto). En la cabecera de la microcuenca Shallap, se encuentra la laguna del mismo nombre, que está sufriendo un proceso de acidificación. En esta zona, el retroceso glaciario es poco evidente, pero

al realizar el análisis comparativo de las imágenes (Figuras 8a y 8b), se puede apreciar los cambios que se han dado.

Las evidencias de la acidificación en la quebrada Shallap también son claras al realizar el análisis de la variación temporal del pH en el punto SHA-AG-01 (entrada a la quebrada Shallap), como se puede apreciar en la Figura 9, en agosto 2016 (3.63), diciembre 2016 (3.9), junio 2017 (3.61) y, finalmente, noviembre 2017 (3.48). La línea de tendencia muestra que el pH está disminuyendo de manera paulatina.

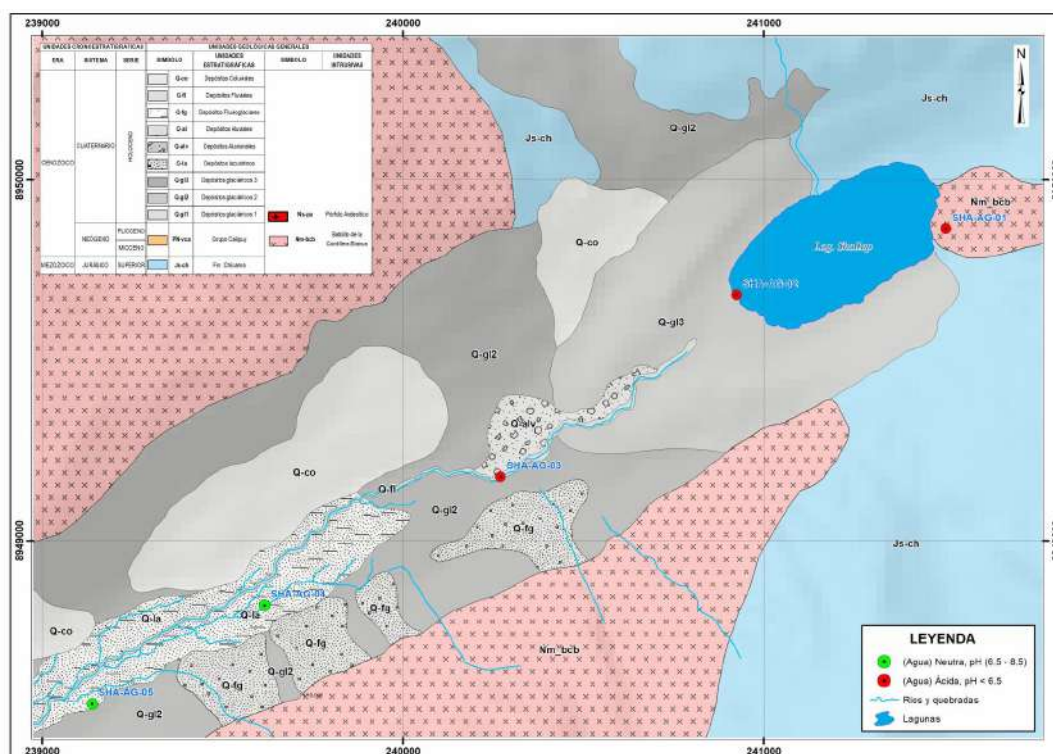
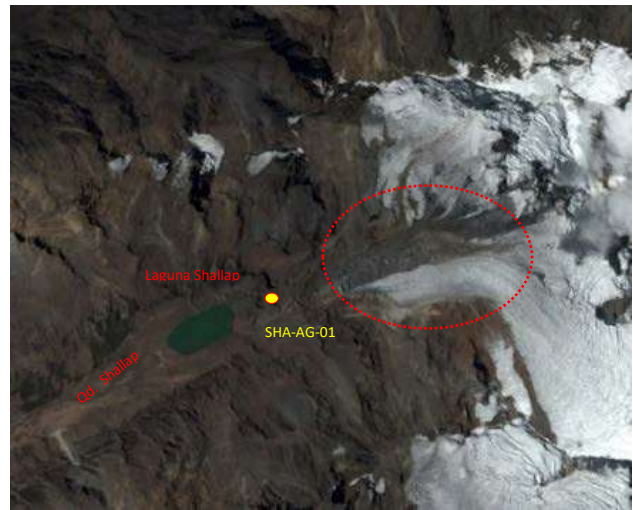


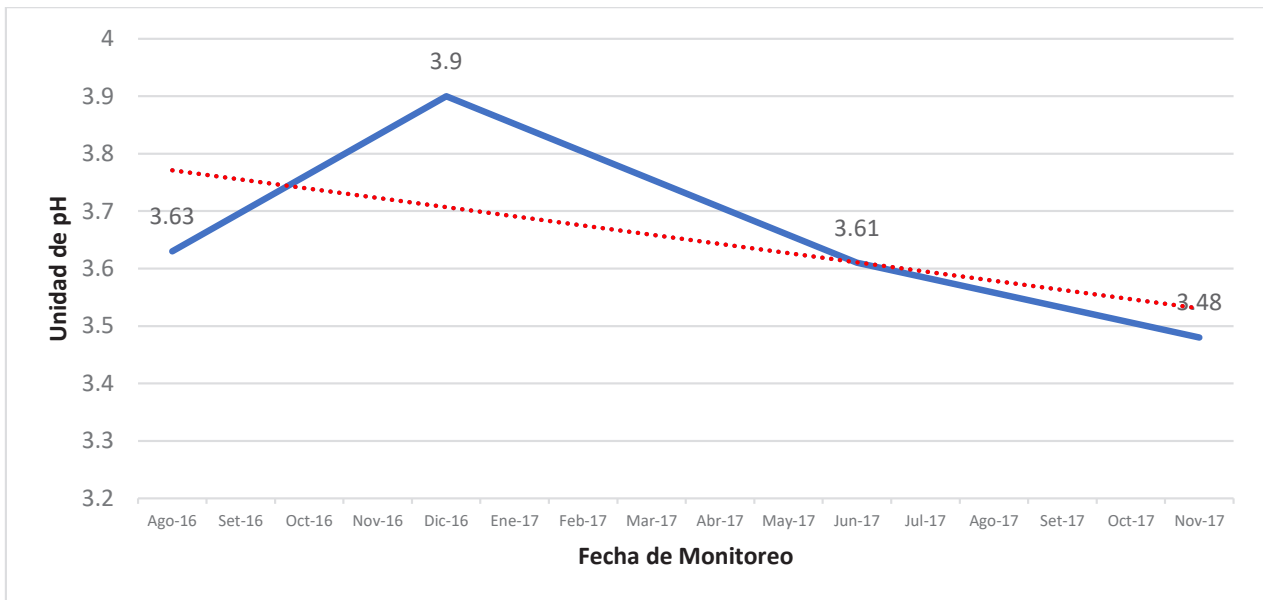
Figura 7. Mapa de unidades geológicas de la quebrada Shallap. Fuente: INAIGEM.



**Figura 8a.** Cabecera de la microcuenca Shallap en julio 2013. Se puede apreciar la laguna Shallap que origina la quebrada Shallap. El círculo de color rojo entrecortado representa el área de generación de DAR. Fuente: INAIGEM.



**Figura 8b.** Cabecera de la microcuenca Shallap en julio 2017. Comparando con 2013, se puede apreciar que no existen cambios evidentes en cuanto al retroceso glaciar. Fuente: INAIGEM.



**Figura 9.** Variación temporal del pH en el punto SHA-AG-01 de salida de la quebrada Cayesh.

### Efectos en la Calidad del Agua

La pérdida de la calidad de las aguas superficiales en la microcuenca Shallap es evidente según los resultados analizados durante los años 2016 y 2017. Al analizar el pH en las diferentes estaciones de monitoreo y compararlo con los ECA-Agua (Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales), se puede apreciar que sólo en las estaciones de monitoreo 6 y 7, que son aportantes a la quebrada Shallap, el pH se mantiene dentro de los Estándares de Calidad Ambiental. En general, toda la microcuenca presenta rangos de pH ácidos (Figura 10).

### Microcuenca Cojup

En términos geológicas, la microcuenca Cojup tiene una reducida área de rocas sedimentarias jurásicas de la Formación Chicama (Js-ch), conformados por arcillitas y areniscas metamorizadas. El dominio litológico de la cabecera de la microcuenca corresponde a las rocas ígneas intrusivas del batolito de la Cordillera Blanca (Nm-bcb). Al parecer, esto condiciona las características de pH de las aguas superficiales, los cuales son neutrales, de buena calidad para consumo humano (Figura 11).

En esta microcuenca la superficie glaciar es de 853.18 ha (792.38 ha de glaciar limpio; 60.80 ha de



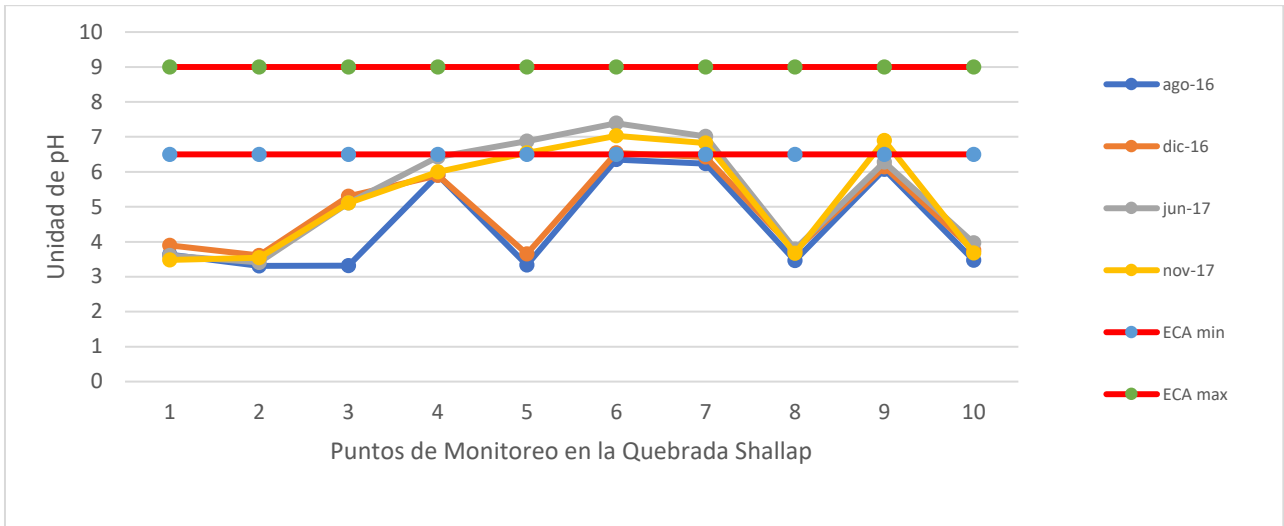


Figura 10. Valores de pH medidos durante los años 2016 y 2017 en las 17 estaciones de monitoreo en la microcuenca Quillcayhuanca.

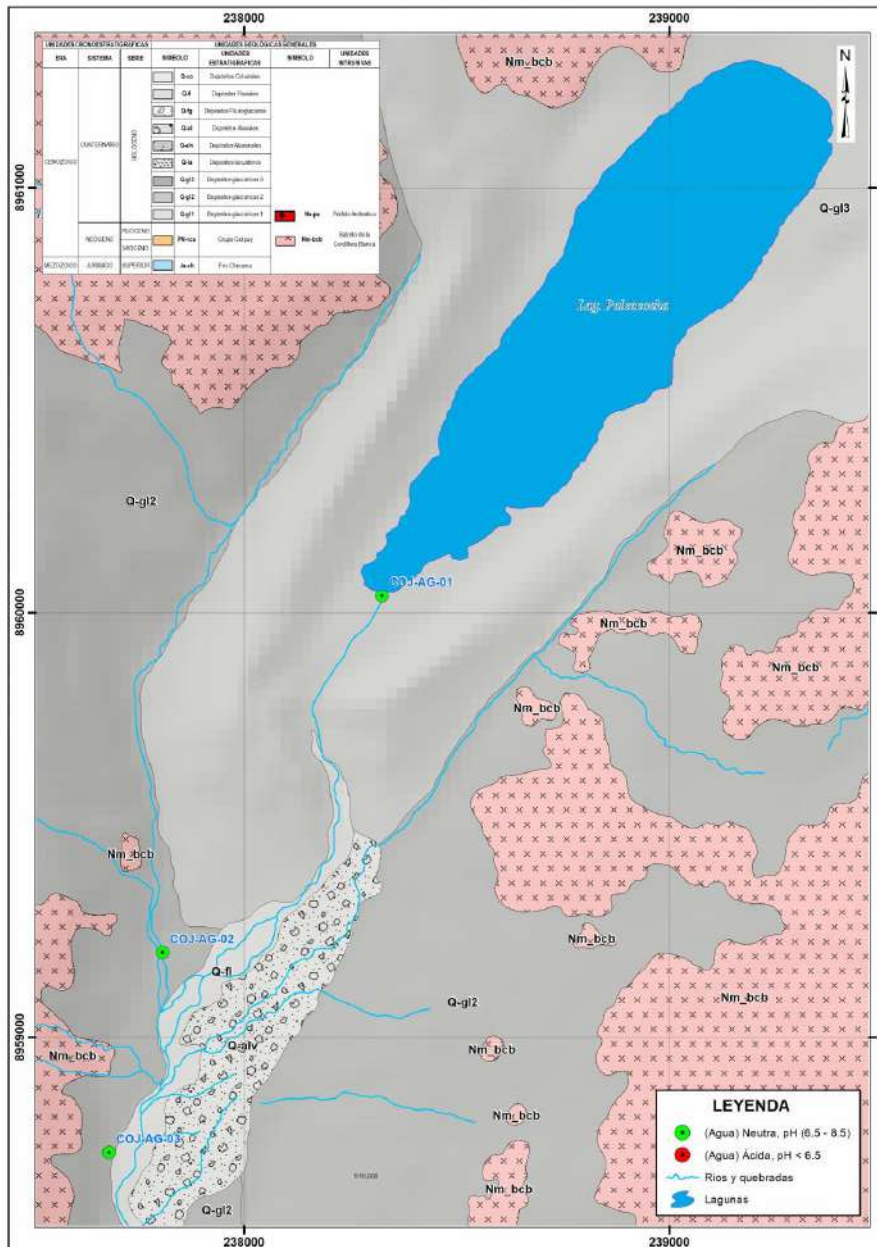


Figura 11. Mapa de unidades geológicas cerca de la laguna Palcacocha. Fuente: INAIGEM.



**Figura 12a. Laguna Palcacocha en la cabecera de la microcuenca Cojup en julio 2013.**



**Figura 12b. Laguna Palcacocha en la cabecera de la microcuenca Cojup en julio 2017.**



**Figura 13a. Cabecera de la microcuenca Cojup en julio 2013.**



**Figura 13b. Cabecera de la microcuenca Cojup en julio 2017.**

glaciar cubierto). En la cabecera de la microcuenca Cojup, se encuentra ubicada la laguna Palcacocha que aguas abajo, dará origen al río Paria. La importancia de esta laguna es que sirve de fuente de agua potable a la ciudad de Huaraz. Al realizar el análisis comparativo de las imágenes (Figuras 12a y 12b), se puede apreciar que alrededor de la laguna Palcacocha no existen cambios drásticos en la superficie glaciar que puedan alterar la calidad del agua u ocasionar la generación de DAR. El mayor peligro de afectación a la calidad de las aguas superficiales podría estar asociado al desprendimiento y caída de glaciares colgantes, pudiendo originar avalanchas con dirección a la laguna Palcacocha y alterar la calidad del agua.

El análisis comparativo de las imágenes (Figuras 13a y 13b) en una zona próxima a la laguna Palcacocha muestra las evidencias del retroceso glaciar y nuevas zonas quedan expuestas en su totalidad. Esta exposición podría generar el peligro de bajar la calidad del agua superficial. Faltan estudios para corroborar esta aseveración.

## Efectos en la Calidad del Agua

La calidad de las aguas superficiales en la microcuenca Cojup, presenta condiciones de buena calidad según los resultados analizados durante los años 2016 y 2017. Al analizar el pH en las diferentes estaciones de monitoreo y compararlo con los ECA-Agua (Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales), se puede apreciar que, en todas las estaciones aportantes y cauce principal, el pH se mantiene dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (Figura 14). Esto es más evidente al apreciar la presencia de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) en la parte media de la microcuenca Cojup.

## Conclusiones y Recomendaciones

El presente estudio comprende tres microcuencas Cojup, Quillcayhuanca y Shallap, donde se evalúa la variación del pH producto del DAR. Los resultados proporcionan información sobre la variación del pH en los diferentes puntos de monitoreo dentro de las microcuencas. La metodología que aplicamos ha demostrado ser potencialmente aplicable a otras microcuencas donde se necesita una evaluación

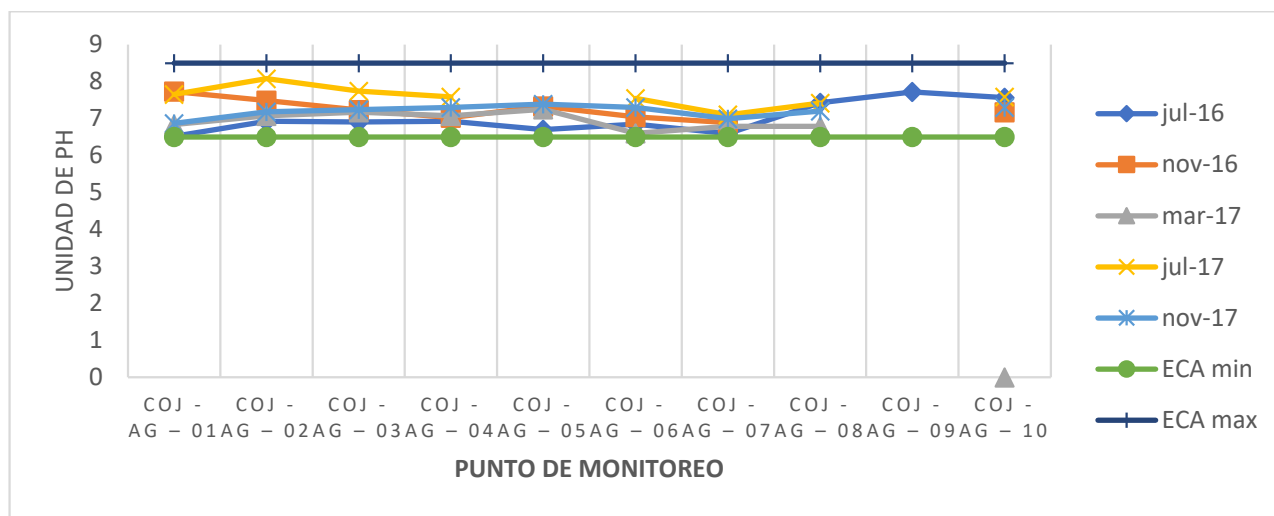


Figura 14. Valores de pH medidos durante los años 2016 y 2017 en las 10 estaciones de monitoreo en la microcuenca Cojup.

completa de la variación del pH por efectos de la generación del DAR.

Los resultados muestran que dentro de una subcuenca pueden existir microcuencas con diferentes condiciones. Las microcuencas de Shallap y Quillcayhuanca presentan condiciones de acidez permanente a lo largo del tiempo, la cual se va incrementando de manera muy leve. En cambio, la microcuenca de Cojup, hasta finales de 2017, mantiene condiciones de aguas neutras sin presencia de acidez en ninguno de sus puntos de monitoreo, por lo cual es usado como fuente por la EPS-Chavín para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Huaraz.

Los hallazgos indican que los niveles de alteración de la calidad del agua en las microcuencas Shallap y Quillcayhuanca podrían representar una amenaza para la salud de los seres humanos o los ecosistemas. La situación es peor en algunos afluentes de la quebrada Cayesh porque presentan los mayores niveles de acidez. La contaminación debe ser de origen natural y un producto del retroceso glaciar, visto que en esta zona no existe ninguna clase de actividad minera. Se necesita más investigación para poder determinar otras microcuencas generadoras de acidez en el ámbito de la Cordillera Blanca.

En la microcuenca Cojup se debe mantener monitoreo permanente debido a que, de acuerdo a la geología, existe la probabilidad de que en algún momento pueda generarse DAR, lo que cambiar la acidez las aguas provenientes de laguna Palcacocha y el resto de la quebrada, haciéndolas inutilizables como fuente de agua potable para la ciudad de Huaraz.

## Imágenes Satelitales

Google. (s.f.). [1] Imagen de la microcuenca Quillcayhuanca en Image © 2018 CNES / Airbus. [2] Imagen de la microcuenca Shallap en Image © 2018 DigitalGlobe. [3] Imagen de la microcuenca Cojup en Image © 2018 CNES / Airbus. Recuperadas de Google Earth Pro el 7 de setiembre 2018.

## Referencias

- Alakangas, L., Andersson, E. y Mueller, S. (2013). Neutralization/prevention of acid rock drainage using mixtures of alkaline by-products and sulfidic mine wastes. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(11), 7907–7916.
- Baraër, M., McKenzie, J., Mark, B. G., Bury, J. T. y Knox, S. (2009). Characterizing contributions of glacier melt and groundwater during the dry season in a poorly gauged catchment of the Cordillera Blanca (Peru). *Advances in Geosciences*, 22, 41–49.
- EPA. (1994). *Method 200.7, Revision 4.4 [EMMC Version]. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry*. Cincinnati, Ohio, U.S. Environmental Protection Agency (EPA).
- INAIGEM. (2018). *Inventario nacional de glaciares: Las cordilleras glaciares del Perú*. Huaraz, Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).
- Martel Valverde, G. (2016). Los ríos rojos en la Cordillera de los Andes: Alteración y acidificación de las aguas superficiales. *Boletín INAIGEM*, 1, 51-56. Huaraz,

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

*Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 88(25), 261–263.

Vergara, W., Deeb, A. M., Valencia, A. M., Bradley, R. S., Francou, B., Zarzar, A.,... Haussling, S. (2007). Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes.

Wilson, J., Reyes, L. y Garayar, J. (1967). Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari. *Boletín*, 16. Lima, Servicio de Geología y Minería.