



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Contaminación natural a causa del drenaje ácido de roca en los afluentes al Embalse Pasto Grande

Roger Gonzales Aliaga¹, Andrés Olivera Chura², Jaime Cesar Rodrigo Martínez³, Samuel Machacca Hanco⁴, Luis Ortiz Gallegos⁵

¹Universidad Nacional del Altiplano Puno

RESUMEN

El presente trabajo es realizado en la Cordillera del Barroso al sur del Perú, en la cuenca de influencia del Embalse Pasto Grande; este reservorio provee de agua a las ciudades de Moquegua e Ilo, por lo cual se tuvo la necesidad de conocer la calidad de agua que ingresa al embalse. Para este fin se tomaron ocho parámetros fisicoquímicos del agua, dentro de los cuales se puso énfasis en el pH, este tiene relación con la generación de Drenajes Ácidos de Roca (DAR). Se llegó a establecer los siguientes valores promedio en los afluentes: pH de 5.55, potencial redox 336.59 mV, oxígeno disuelto 4.40 ppm, conductividad eléctrica 575.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resistividad 0.0044 Ω/cm , sólidos totales disueltos 769 mg/L, salinidad 0.84 PSU, turbidez 17.06 FNU y temperatura 14.37 °C. Los valores con pH ácidos (2.85 - 4.45) se encontraron en los ríos Antajarani, Patara, Cacachara; quebradas Huisacollo, Millojahuirá, Palleutani y Huilcane; todos ellos nacen y cortan afloramientos alterados por hidrotermalismo; las rocas presentan disseminaciones de sulfuros, esto ayudó a interpretar y determinar la presencia de contaminación de origen natural en la zona de estudio producto del DAR.

PALABRAS CLAVE

Agua, Parámetros fisicoquímicos, Pasto Grande.

ABSTRACT

The present work is carried out in the Cordillera

del Barroso in southern Peru, in the basin of influence of the Pasto Grande Reservoir; This reservoir provides water to the cities of Moquegua and Ilo, for which it was necessary to know the quality of the water that enters said infrastructure. For this purpose, eight physicochemical parameters of the water were taken, within which emphasis was placed on pH, this is related to the generation of acid rock drainage (DAR). The following average values were established in the tributaries: pH of 5.55, redox potential 336.59 mV, dissolved oxygen 4.40 ppm, electrical conductivity 575.39 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resistivity 0.0044 Ω/cm , total dissolved solids 769 mg / L, salinity 0.84 PSU, turbidity 17.06 FNU and temperature 14.37 °C. Values with acidic pH (2.85-4.45) were found in the Antajarani, Patara, Cacachara rivers; Huisacollo, Millojahuirá, Palleutani and Huilcane streams; all of them are born and cut outcrops altered by hydrothermalism; The rocks present disseminations of sulfides, this helped to interpret and determine the presence of contamination of natural origin in the study area, DAR product.

KEY WORD

Water, Physicochemical parameters, Pasto Grande.

INTRODUCCIÓN

El área de influencia de la cuenca es de 478.4 Km², el cual se encuentra a una altitud promedio de 4250 m.s.n.m.

Este embalse fue ejecutado aprovechando las condiciones geográficas y topográficas, logrando embalsar un aproximado de 194 MMC con una presa de tierra de 80 m de coronamiento y 10.30 m de altura, y una extensión superficial de 45 km²; esta infraestructura convierte al embalse en el tercer de mayor tamaño en el país (Sucapuca, 2017). El embalse tiene los siguientes afluentes principales, entre quebradas y ríos: Huiscacollo, Millojahuirá, Huancalni, Tiji, Caironi, Palleutani, Antajaurá, Cacachara y Patara, todos ubicados en el sector norte de la cuenca, al sur se tienen a las quebradas Cinejo, Asnuni, Incacachi y Chullumpiri. El equipo utilizado en esta investigación fue un multiparámetro marca HANNA modelo HI 9829, el cual obtiene 8 parámetros fisicoquímicos in situ. Antes de la salida de campo se diseñó un mapa y matriz de muestreo en 18 puntos, entre quebradas y confluencias de río. Los parámetros fisicoquímicos obtenidos fueron: pH, potencial de oxidación-reducción (mV), oxígeno disuelto (ppm), conductividad (mS/cm), resistividad (Ω cm), sólidos totales disueltos (mg/L), salinidad (PSU), turbidez (FNU) y temperatura (°C).

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

La geología de la zona de estudio muestra afloramientos rocosos de origen volcánico, sedimentario y depósitos de edad cuaternaria, las que corresponden a seis unidades estratigráficas. De estas unidades la que tiene mayor superficie es el Grupo Barroso, en los que se pueden observar rocas de composición andesítica con textura afanítica, porfirítica y vesicular; domos y flujos de dacitas porfiríticas; brechas de composición riolítica; toba de cristales, lapilli, toba riolíticas y traquiandesitas de textura porfirítica. La Formación Capillune se compone de piroclastos, cenizas volcánicas, areniscas, limolitas, conglomerados intercalados con tobas amarillas y calizas con materia orgánica. La Formación Sencca encuentra constituida por tobas lapilli rica en biotita, pómez, tobas líticas, lavas andesíticas gris oscura a rojiza con fenocristales de plagioclasas. La Formación Vizcachas está compuesta por tobas brechadas. El grupo Maure consta de facies volcánicas y sedimentarias; las facies volcánicas están compuestas por tobas de lapilli con cuarzo, biotita y pómez, y la facie sedimentaria está compuesta por limolitas laminadas tobáceas, tobas retrabajadas, areniscas tobáceas y conglomerados. El Grupo Puno, está compuesto por areniscas feldespáticas y líticas interestratificadas con conglomerados polimícticos de clastos

subredondeados de calizas, areniscas rojizas con cemento de carbonatos.



Foto 1: Zonas de alteración hidrotermal entre los cerros Huilacota y Antajarani.

El hidrotermalismo que ocurrió hace millones de años atrás, alteró química y físicamente las rocas de origen volcánico y sedimentario, los cuales en la actualidad muestran colores amarillo-rojizos, por la oxidación de minerales sulfurados, que son los que causan el drenaje ácido de roca; esto se observa en las cumbres altas de los cerros Arichua, Queneamachini, Jutipadja, Señorani, Huilacota, Antajarani, Huancarani, Cotañani, Quenamilloco y Maruma (ver foto 1). El contenido de minerales diseminados de sulfuros y óxidos se puede observar en los fragmentos de roca hallados en las morrenas que ocurren en el lugar (cerro Islahuco), estos sulfuros al entrar en contacto con el agua y hielo producen reacciones químicas naturales, lo cual provoca niveles ácidos en cuanto al pH. Cabe indicar que, en el lado Noreste de la influencia de la cuenca, en la naciente del río Cacachara, existieron centros mineros como Cacachara, Pavico y Santa Rosa, cuya explotación fue subterránea y tajo abierto. Las fuentes termales que dan al río Patara, ocurren de forma dispersa en donde se obtuvieron intervalos de temperatura de 22,6 - 54,2°C, pH que varía de 5,51- 8,2; conductividad eléctrica se encuentra entre 76,2-12210 mS/cm y el TDS de 36-5985 mg/L (ver foto 2, A). Trabajos hechos por Carpio & Peña (2019) mencionan que dentro de la cuenca los valores bajos de pH se dan en la fuente termal de Occoruni, el valor más alto de conductividad se presenta en la fuente termal de Huacamañana y el valor más bajo de TDS ocurre en la fuente termal de Occoruni. A estos campos termales se asocian precipitación de sales de color blanco que forman costras en una extensión superficial de más o menos 2,22 Km². Estas emanaciones de aguas de origen hidrotermal dejan a su paso costras de sales cubriendo depósitos fluvio-glaciares y aluviales, poco compactos que presentan estratificación de más de 2m de espesor; los clastos son de formas subredondeados, con matriz de arenas y gravas con óxidos de hierro y cemento de sales. Las aguas termales básicas se mezclan

con aguas ácidas en la intersección entre el río Cacachara y Quebrada Palleutani; estas finalmente van a dar al embalse (ver foto 2, B y C). Según análisis hecho por Cruz et al (2014) los minerales que se forman por precipitación en estos sectores son Cuarzo, Calcita, Halita y Dolomita, ver foto 2 (A).

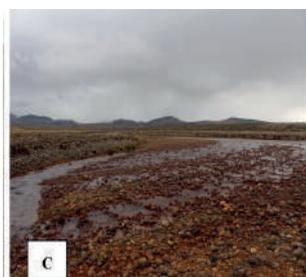


Foto 2: Emanaciones de fuentes hidrotermales, río Patara (A), Quebrada Millojahuira (B) y río Patara (C).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en los 18 puntos de muestreo de parámetros fisicoquímicos son mostrados en la tabla 01, los valores de pH ácidos se dieron en las quebradas Huiscacollo, Millojahuira, Huilcani, Palleutani, río Antajani, río Cacachara y nacimiento del río Patara; estos afluentes mostraban coloraciones rojizas en el lecho de río producto de transporte y precipitación iónica de Fe^{+3} ; los pH alcalinos se dieron en la quebrada Caironi, en el cual se observa precipitación de sales producto de la actividad hidrotermal actual; estas aguas se mezclan con aguas ácidas (DAR), el resultado de la mezcla provoca un leve incremento del pH de las aguas procedentes del río Cacachara; casi to-

dos los afluentes de la microcuenca del río Patara sufren este fenómeno. El potencial redox muestra valores altos que están relacionados a cursos de agua con pH ácido (quebrada Millojahuira y Río Cacachara). El oxígeno disuelto muestra valores bajos (2.38 ppm) que se encuentran en las quebradas intermitentes con poca circulación de agua; los valores altos están restringidos a la quebrada Caironi, ríos Antajarani y Patara. En la conductividad los valores altos se relacionan a afluentes donde se observa mucha precipitación de sales producto de la mezcla de aguas termales y ácidas que provienen de las nacientes de los ríos Patara y Cacachara; otro sector en donde se observa conductividad alta es en la quebrada Millojahuira, aquí la conductividad se asocia con aguas ácidas. La resistividad muestra valores mínimos en la microcuenca del río Patara y en las aguas luego de la intersección del río Antajarani y Huilcane, y los valores altos se registraron en las aguas de la quebrada Chullumpiri y aguas provenientes del manantial Keñuañi. Los TDS presentan valores máximos que se encuentran en el dominio del río Patara y quebrada Caironi; estos valores se relacionan con pH ácidos. La salinidad presenta valores medios a altos relacionados a afluentes con pH de agua ácidos y modernamente alcalinos; como los que ocurren en las quebradas Millojahuira, Huiscacocha, Huilcane y Caironi (con valores de pH ácido) y ríos Cacachara y Patara (con pH alcalino moderado). La turbidez tiene valores bajos de turbidez en relación con causas de quebradas con pH ácidos y aguas de manantial; los valores altos todos relacionados a los afluentes del río Patara, son relacionados a mezclas con agua hidrotermal. La temperatura media en el agua fue de 14.37 °C, su máximo fue de 20.7 °C y un mínimo de 9.14 °C. En la presa Pasto Grande, los parámetros fisicoquímicos muestran valores de pH ácido de 4.1, temperatura de 11.56°C, potencial de óxido reducción de 369.3 mV, oxígeno disuelto de 3.61 ppm, conductividad de 586 us/cm, resistividad de 0.0017 Ω cm, sólidos totales disueltos de 293 mg/L, salinidad de 0.29 PSU y turbidez de 2.1 FNU. Ver tabla 01 y figura 01.

| Parámetros. | pH | °C | mV | ppm | us/cm | Ω cm | mg/L | PSU | FNU |
|-------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------------|---------|--------|--------|
| Numero | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Máximo | 8.53 | 20.7 | 558.6 | 10.84 | 2490 | 0.0139 | 7219 | 8.44 | 115.8 |
| Mínimo | 2.85 | 9.14 | 204.5 | 2.38 | 14.37 | 0.0001 | 36 | 0.03 | 0 |
| Media | 5.55 | 14.37 | 336.59 | 4.40 | 739.19 | 0.0044 | 769.00 | 0.84 | 17.06 |
| DE | 1.99 | 3.47 | 110.24 | 1.80 | 811.55 | 0.0048 | 1657.03 | 1.94 | 32.18 |
| CV | 35.92 | 24.14 | 32.75 | 40.96 | 109.79 | 108.52 | 215.48 | 230.79 | 188.60 |

Tabla 1: Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los afluentes al Embalse Pasto Grande.

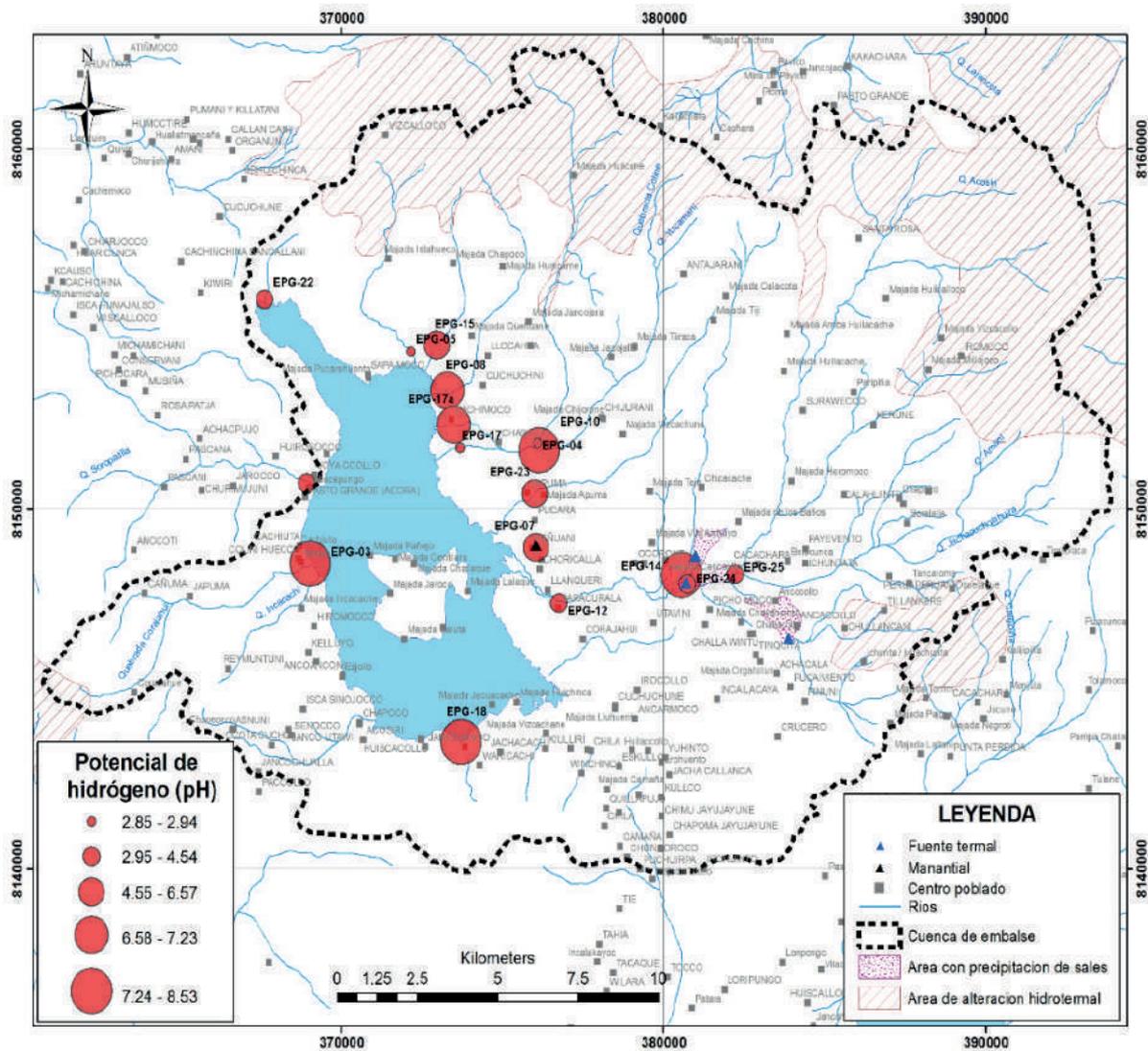


Figura 1: Mapa de concentraciones geoquímicas de pH, en el Embalse Pasto Grande.

CONTRIBUCIONES TÉCNICO CIENTÍFICAS

La investigación confirma que la contaminación (pH ácido) no es por una acción antropogénica si no por una contaminación de origen natural en seis afluentes al embalse.

Los estudios hidrogeoquímicos deben ser incluidos dentro de las etapas de prefactibilidad en la ejecución de una presa y otros tipos de obras civiles que tengan relación con Drenaje Acido de Roca (DAR).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carpio, J. & Peña, F. (2020) Río Tambo (1318) Hidrogeología de la Cuenca del Regiones Arequipa, Moquegua y Puno. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. INGEMMET Lima.

Cruz, V., Vargas, V., Cacya, L. (2014) Caracterización y Evaluación del Potencial Geotérmico de la Región Moquegua. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. INGEMMET Lima.

Sucapuca, F., Dias, J., Mogrovejo, M., Perez, G. (2017). Medidas de remediación de las aguas del Embalse Pasto Grande, Moquegua – Perú. Revista ciencia y tecnología para el desarrollo-UJCM 2017; 3(5):83-90.