



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

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

Análisis espacio-temporal del As en la subcuenca de Santo Tomás (2017-2018)

Ronald Zavaleta Yarin¹¹Science and Technology Consulting E.I.R.L.ronaldzavaletayarin@gmail.com

RESUMEN

Los resultados de análisis de aguas superficiales y subterráneas desde la parte alta de la subcuenca (cordillera dorada de Chumbivilcas) hasta la parte baja de la subcuenca (cerca al centro poblado de Ccapi), poseen valores de As que varían de 1.84 mg/L (concentración en estiaje) a 0.00032 mg/L (concentración en avenida), siendo los valores más representativos aquellos que están ubicados a lo largo del río Santo Tomás, con un aumento/disminución progresivo en los valores de concentración (+/- 0.002 mg/L) a medida que las aguas discurren a través de la subcuenca, siendo las mayores variaciones en la temporada de estiaje (Ruiz, 2008. «...La intensa evaporación durante estiaje provoca la sobresaturación de diversas sales sulfatadas, su redisolución provocan la liberación de acidez, sulfatos y metales...») con respecto a la temporada de avenida, se establecieron valores de fondo mayores al 50% de la data total aplicando la metodología de análisis ROS calculados mediante software R, versión 1.4.1106, simulando valores por debajo del límite de detección (L.D.), siendo los valores anómalos cerca a los proyectos mineros de Millo, Utunsa y del Cerro Huisimarca, sin embargo, otros valores anómalos de As pero con caudales menores a 5 l/s encontrados en la subcuenca Santo Tomás están relacionados a las fuentes termales ubicadas a lo largo del valle del río Ranrapata (fuentes termales de Callcana y Nanrapata).

Palabras clave: R-studio, Santo Tomás, arsénico, fuentes termales, kriging.

ABSTRACT

The results of analysis of surface and groundwater from the upper part of the sub-basin (Chumbivilcas golden mountain range) to the lower part of the sub-basin (near the town center of Ccapi), have as values that vary from 1.84 mg / L (concentration in low water) to 0.00032 mg / L (concentration in avenue), the most representative values being those that are located along the Santo Tomás river, with a progressive increase / decrease in concentration values (+/- 0.002 mg / L) as the waters flow through the sub-basin, the greatest variations being in the dry season (Ruiz, 2008. «... the intense evaporation during dry season causes the supersaturation of various sulphated salts, their redissolution causes the release of acidity, sulfates and metals ...») with respect to the flood season, background values greater than 50% of the total data were established by applying the ROS analysis methodology calculated using R software, version 1.4.1106, simulating values below the limit detection (L.D.), being the anomalous values near the mining projects of Millo, Utunsa and Cerro Huisimarca, however, other anomalous values of As but with flows less than 5 l/s found in the Santo Tomás sub-basin they are related to the hot springs located along the Ranrapata river valley (Callcana and Nanrapata hot springs).

Keywords: R-studio, Santo Tomás, arsenic, hot springs, kriging.

DESARROLLO

Para el análisis espacio-temporal del As corresponde a la subcuenca de Santo Tomas, la información fue obtenida a través de los estudios realizados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) dentro de los estudios de línea base geoambiental que realiza dicha institución. La subcuenca se encuentra dentro de los departamentos de Apurímac y Cusco, se localiza sobre depósitos aluviales, volcánico-sedimentarios en la parte alta y sedimentarios con ocurrencias intrusivas que cortan afloramientos de roca volcánico-sedimentaria, dichos emplazamientos generaron distintos prospectos mineros los cuales están ubicados a lo largo de la subcuenca, dichos proyectos corresponden en su etapa exploratoria a los Proyectos Millo, Utunsa, Anabi (Cerro Huisimarca) y Cerro Crespo, relacionado a depósitos epitermales de baja, intermedia y alta sulfuración, en la parte media se desarrolla el proyecto de exploración Haquira relacionado a depósitos porfídicos (Escobedo, 2014) y el único proyecto de explotación relacionado a esta subcuenca es Las Bambas, relacionado a depósitos de Skarn-Porfido (Cayllahua, 2016). El flujo superficial de toda la subcuenca toma dirección sur-norte, en algunos sectores de suroeste-noreste siendo más vertical a medida que sus aguas discurren aguas abajo. La metodología de muestreo fue con base a los estudios de línea base geoambiental del INGEMMET, identificándose 179 muestras para la temporada de estiaje y 195 muestras para la temporada de avenida respectivamente, dichas muestras poseen los análisis metales disueltos y metales totales, además de contar con sus respectivos controles de calidad los cuales aseguraron la calidad de los resultados de laboratorio, muestreo y de campo (INGEMMET, 2021).

Para el análisis temporal se tomaron datos de variación entre las temporadas de estiaje y avenida. Por otro lado, para el análisis espacial se tomaron en cuenta las aguas superficiales ligadas al río principal de la subcuenca (río Santo Tomas), debido a los outliers (puntos anómalos) corresponden a fuentes termales con gran carga en elemento disuelto de As (1.84 mg/L de As en el termal Callcana de código GW-008, valor de medición correspondiente a la temporada de estiaje) y no proporciona una idea real del ámbito de influencia

del As a lo largo del río Santo Tomas, por ultimo para delimitar el área del río principal se consideró el procedimiento de delimitación de la franja marginal entre 5 a 25 metros por margen (ANA, 2010).

Los análisis de metales disueltos y totales de agua fueron medidos por el laboratorio ALS Perú con métodos ICP-OES e ICP-MS, siendo el As uno de los parámetros acreditados por dicho laboratorio. Para validar el procesamiento estadístico robusto (ROS), se empleó la determinación del tipo de distribución (Salkind, 2007) o prueba de normalidad Lilliefors con R-studio (Figura 01).

El análisis estadístico se realizó considerando valores por encima del L.D. del 50% de la data total, aplicando la metodología de análisis robustos (ROS) y calculados en funciones diseñadas y adecuadas dentro del entorno de desarrollo integrado del R-studio en su versión 1.4.11 y del Software R Project versión 3.4.4., dentro de dicho software se usó los paquetes “bimixt”, “NADA”, “ggmap”, “ggplot2 y MASS” y el “nortest” para calcular, determinar datos por debajo del L.D., graficar y hacer la correlación de la prueba de normalidad Lilliefors. Dichos valores una vez cuantificados fueron llevados a una base de datos y exportados al entorno del Argis en su versión 10.5 o Qgis versión 3.16.6, usando la técnica geoestadística del Kriging (Battistella et al, 2016). Se consideraron 37 estaciones de muestreo (estiaje) y 39 estaciones de muestreo (avenida) para el análisis de varianza entre temporadas, cabe mencionar que se tomaron en cuenta 40 estaciones de muestreo para el modelado de concentraciones en el río Santo Tomas, sin embargo, las fuentes termales GW-002 (termal Chucchu), GW-005 (termal Nanrapata) y GW-008 (termal Callcana) no fueron considerados dentro del análisis geoestadístico Kriging.

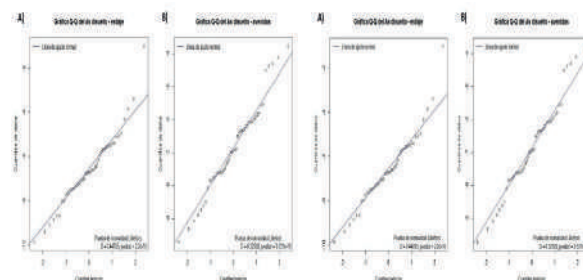


Figura 01 y 02. Prueba de Lilliefors considerando las 179 y 195 muestras correspondientes a las temporadas de estiaje (A) y avenida (B) respectivamente.

Una vez realizada la prueba de Lilliefors se aprecia una tendencia de normalidad en casi todos los datos de la subcuenca Santo Tomas, sin embargo, se aprecia datos anómalos (outliers) por encima de los valores normales de la función, en su mayoría estos datos corresponden a fuentes termales de la subcuenca, por ello, los valores de As disuelto sufren un estrés por estos puntos extremos (modifica la línea de ajuste normal).

Es así que se optó por tabular o no considerar dicha data dentro del análisis del río Santo Tomas, además otra consideración fue desde el punto de vista de su génesis y los caudales que poseen dichas estaciones (valores elevados ligados a fuentes termales y caudales relativos de entre 20-5 litros por segundo). De otro lado, la varianza de As disuelto (Figura 03) respecto a sus concentraciones en mg/L entre temporadas es similar en casi todos los puntos de muestreo, exceptuando de los puntos SW-042 y SW-047 (puntos sin escorrentía), GW-002 con un valor de concentración por debajo de L.D. y la SW-203 (ausencia de escorrentía). Por último, las estaciones de muestreo de estiaje poseen valores ligeramente elevados con respecto a la temporada de avenida, probablemente debido a la diferencia de caudales entre temporadas, el único punto de muestreo que muestra una tendencia mayor en la temporada de avenida es la estación SW-035.

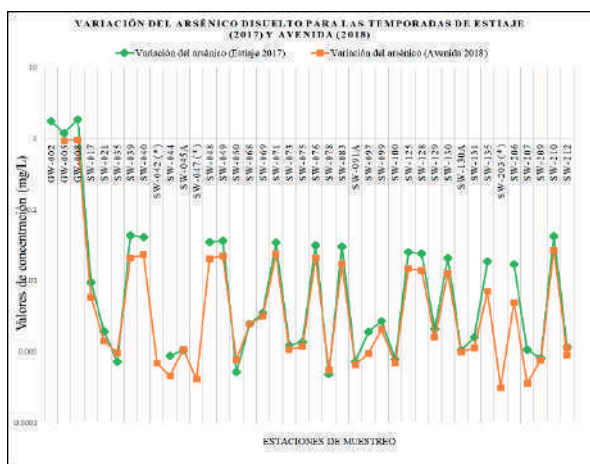
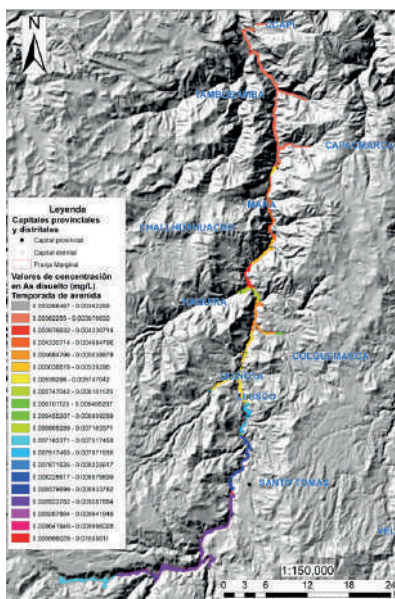
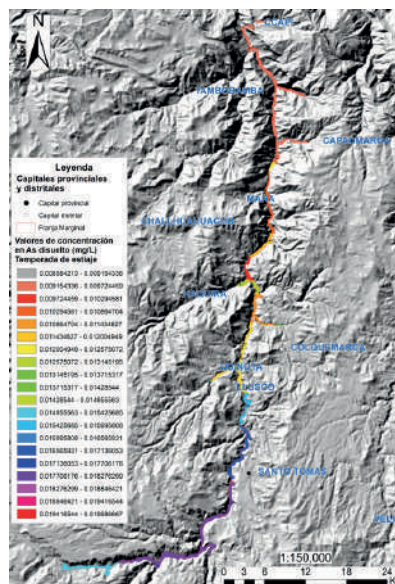


Figura 03. Variación del As disuelto temporal para las temporadas de estiaje y avenida.

Las figuras 04 y 05 muestran valores por encima de 0.01 mg/L de As disuelto que corresponden a la parte alta e intermedia de la subcuenca, siendo los centros poblados de Santo Tomas (Challhuane y Ampuro), Llusco, Quiñota (Charamuray) y Colquemarka afectados por dichos valores. La figura 05 muestra en la parte alta de la subcuenca

para la temporada de avenida valores por encima de 0.01 mg/L de As disuelto cercano al centro poblado de Santo Tomas.



Figuras 04 y 05. Variación del As disuelto espacial para la temporada de estiaje y avenida.

CONCLUSIONES

Para ambas temporadas, el centro poblado de Santo Tomas esta bajo concentraciones disueltas de As por encima de 0.01 mg/L. Llusco, Quiñota y Colquemarka son afectados en la temporada de estiaje.

CONTRIBUCIONES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

El uso de herramientas geoespaciales y de varianza permite identificar zonas potencialmente afectadas

tadas por As disuelto, considerar que el máximo permisible para el hombre es de 0.01 mg/L (ECA Agua, 2017), este trabajo proporciona las herramientas necesarias para su delimitación y gestión de los recursos hídricos.

REFERENCIAS

Salkind, N. (2007): Encyclopedia of measurement and Statistics. SAGE. Doi: 10.4135/9781412952644.

Ruiz, C. (2008). La calidad del agua de los ríos Tinto y Odiel. Evolución temporal y factores condicionantes de la movilidad de los metales. Universidad de Huelva. España.

Ng, W. et al. (2021). Estudio de línea base geambiental de las subcuencas Vilcabamba, Santo Tomas y Alto Apurímac. (Cusco Apurímac). INGEMMET. Perú.

Cayllahua, E. (2016). Implementación de pantallas Led Hypallume 20000 en el sistema de transporte del proyecto minero Las Bambas. UNSA. Perú.

Escobedo, A. (2014). Estudio geológico del prospecto Consuelo. UNSA. Perú.

Valdez, J. (2010). Procedimiento y guía para la delimitación de faja marginal. ANA. Perú.

Battistella, R. (2016). Caracterización hidroquímica de la cuenca de Santa Rosa con métodos multivariados y predicción espacial de contaminantes. Universidad Nacional de San Juan. Argentina.