Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar
Marzo-Abril, 2023, Volumen 7, Número 2.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5645

Determinación del área inundable ante posible colapso del depósito de relaves del Pasivo Ambiental Minero Quiulacocha en el tramo del Río Ragra, distrito de Simón Bolívar – Pasco

Alex Santiago Uriarte Ortiz[1]
alexuriarteortiz@gmail.com
https://orcid.org/0000-0003-4429-6678
Ingeniero Ambiental
Magister en Ecología y Gestión Ambiental
Docente Tiempo Parcial
Universidad Ricardo Palma
Lima – Perú

Evilson Jaco Rivera
evilson.unfv@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7851-201X
Ingeniero Ambiental
Universidad Federico Villarreal
Lima – Perú

Liliana Leaño Espinoza
liliana.leano.espinoza@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-6616-8100
Ingeniero Químico
Universidad Nacional del Callao
Lima - Perú

Saida Margarita Cuadros Oria
saida.cuadros.oria@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-7728-8271
Ingeniero Agroindustrial
Magister en Seguridad Industrial
y Protección Ambiental
Docente Tiempo Parcial
Universidad César Vallejo
Lima – Perú

RESUMEN

El depósito de relave del pasivo ambiental minero denominado Quiulacocha se encuentra localizado en el distrito Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco e hidrográficamente se ubica en ámbito de la antigua Laguna Quiulacocha. El presente artículo está enfocado en determinar el área inundable ante un posible colapso del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha en el tramo del río Ragra aplicando Hec-Ras 6.3.1 y ArcGIS 10.5. El desarrollo metodológico de la investigación se determinó en tres fases. La primera fase se encuentra relacionada a las actividades de recopilación de datos de las variables de precipitación pluvial, caudal del área de estudio y el análisis de gráficos de la variación de las variables citadas. La segunda fase se encuentra vinculada a la descarga de las imágenes satelitales desde la plataforma digital de Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA) y el procesamiento de las imágenes satelitales mediante ArcMap 10.8 derivada del software ArcGIS 10.5. La tercera fase se encuentra emparentada con la elaboración del modelo hidrológico en el río Ragra. Finalmente, mediante la ejecución de las tres fases permitió determinar el área inundable ante un eventual colapso del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha, el cual comprende un área de 1 151 391.58 m^2 que a su vez abarca las comunidades de Quiulacocha, Huandohuasi y Yarajhuanca

Palabras claves: *depósito Quiulacocha; modelo hidrológico; comunidad Quiulacocha, Huandohuasi y Yarajhuanca.*

[1] Autor Principal

Determination of the floodable area in the event of a possible collapse of the tailings deposit of the Quiulacocha mining environmental liability in the section of the Ragra river, district of Simón Bolívar - Pasco

ABSTRACT

The tailings deposit of the mining environmental liability called Quiulacocha is located in the Simón Bolivar district, province and department of Pasco and hydrographically it is located in the area of the old Quiulacocha Lagoon. This article is focused on determining the floodable area in the event of a possible collapse of the tailings deposit of the Quiulacocha mining environmental liability in the section of the Ragra river applying Hec-Ras 6.3.1 and ArcGIS 10.5. The methodological development of the research was determined in three phases. The first phase is related to the data collection activities of the variables of pluvial precipitation, flow of the study area and the analysis of graphs of the variation of the aforementioned variables. The second phase is linked to downloading the satellite images from the Copernicus Services Data Hub digital platform of the European Space Agency (ESA) and processing the satellite images using ArcMap 10.8 derived from the ArcGIS 10.5 software. The third phase is related to the elaboration of the hydrological model in the Ragra river. Finally, through the execution of the three phases, it was possible to determine the floodable area in the event of a possible collapse of the tailings deposit of the Quiulacocha mining environmental liability, which includes an area of 1,151,391.58 m^2 that in turn includes the communities of Quiulacocha, Huandohuasi and Yarajhuanca

Keywords: *deposit Quiulacocha; hydrological model; Quiulacocha, Huandohuasi and Yarajhuanca community.*

Artículo recibido 20 marzo 2023

Aceptado para publicación: 05 abril 2023

INTRODUCCIÓN

Los depósitos de relaves mineros son estructuras geotécnicas complejas, construidos mediante un sistema de relleno hidráulico que crecen gradualmente con los residuos o con otro material de préstamo. Los residuos se encuentran mezclados con agua, con consistencia de lodo y bombeados mediante de tuberías hacia un depósito (Hernández Columbie & Guardado Lacaba, 2010).

La trayectoria histórica por rotura de depósitos de relaves mineros tiene frecuentemente consecuencias ambientales catastróficas debido a que la fracción sólida posee una elevada superficie específica, cuya propiedad determina que el lodo se comporte como un fluido viscoso, permitiendo que el volumen vertido se esparza sobre grandes superficies. Esto hace que, ocurrida la rotura del depósito de relave minero, una gran masa de residuos, frecuentemente con sulfuros, se ponga en contacto con el oxígeno de la atmósfera; el ácido producido provoca la disminución del pH del medio, con lo que se favorece la disolución de los metales contenidos en los residuos mineros, permitiendo movilizarse e incorporarse al suelo, a las aguas superficiales o aguas subterráneas, contaminándolos de tal forma que su recuperación resulte inviable (Oldecop & Rodríguez, 2007).

Se ha identificado repetidas veces que uno de los factores claves en algunas de las roturas de los depósitos de relaves mineros más catastróficas y conocidas fue la licuación estática, esto debido a que la mayoría son limos o arenas limosas depositadas mediante descarga hidráulica, cuyas características de baja compacidad y elevada saturación los hacen propensos a licuación (Arroyo & Gens, 2022) .Así, por ejemplo, es el caso de la escombrera de Aberfan en Gales (Alonso, 2019), de la presa de Stava en Italia (Chandler & Tosatti, 1995), de la presa de Merriespruit en Suráfrica (Fourie et al., 2001) de la presa Fundão en Brasil con un vertido de 50 Mm^3 y recorrió el río Doce durante 650 km hasta el mar (Norbert R. Morgenstern et al., 2016); cuatro años después, en enero del año 2019, en Brasil se produjo la rotura de otra presa de relave en Brumadinho causando la muerte a 270 personas, liberó cerca de 11 millones de m^3 de lodo de minería en el río Paraopeba, afluente del río São Francisco, uno de los más importantes de Brasil y de América del Sur, las pruebas revelaron una tasa de metal alarmante (hierro y aluminio en particular) en las aguas y peces (Arroyo & Gens, 2022).

En el Perú, en los últimos años se ha generado el derrame de depósitos de relaves mineros correspondiente a la unidad fiscalizable Huancapeti ubicado en Ancash y ocurrido en el año 2018 debido

al colapso del extremo y de la base del dique frontal de la Presa de Relaves Nº 2, deslizando 50 000 m^3 de relave minero y en la unidad fiscalizable Cobriza localizado en Huancavelica y acontecido en el año 2019 por la erosión interna y el colapso de la Presa Norte, generando un forado que permitió la fuga de 37 000 m^3 de relave (COEN- INDECI, 2019). Afectando este último el río Mantaro.

El depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha está localizada en el distrito de Simón Bolívar, departamento y provincia de Pasco. Se ubica a una distancia aproximada de 130 km al Norte de La Oroya y a 310 km de Lima, capital del Perú (Coordenadas UTM E:359608; N:8816885) y tiene una altitud de 4,300 msnm. (Activos Mineros S.A.C., 2021). Por sus lados Este y Oeste del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha se localizan los canales que llevan aguas al río Ragra, el cual tributa al río San Juan (OEFA, 2020).

Activos Mineros (2021) indicó que en el área de influencia del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha se encuentran las poblaciones de Quiulacocha, Yurajhuanca y Rancas, poblaciones que pertenecen al distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco, ubicadas a una distancia lineal de 20 metros, 2155 metros y 4196 metros, respectivamente aguas abajo del depósito de relaves, estas poblaciones se dedican económicamente a la actividad de la ganadería y minería. En dichos centros poblados se identificó establecimientos educativos: la Institución Educativa Integrado 13 de agosto (Quiulacocha), Institución Educativa Anselmo Zárate (Yurajhuanca) e Institución Educativa Simón Bolívar (Rancas).

OEFA (2020) realizó evaluaciones en el ámbito del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha identificando dos clases de flora: *Liliopsida y Magnoliopsida* y diversas clases de fauna tales como; dos (2) especies de anfibios (Clase Amphibia) que pertenecen a la orden Anura y se distribuyen entre las familias *Hemiphractidae* y *Leptodactylidae*, cada una con una especie, ocho (8) especies de aves: *Anas flavirostris, Gallinago andina, Colaptes rupícola, Zonotrichia capensis, Asthenes humilis, Cinclodes albiventris, Upucerthia validirostris y Muscisaxicola griseus*, tres (3) especies de mamíferos menores: *Abrothrix jelskii, Akodon juninensis y Auliscomys pictus* y tres (3) especies de mamíferos de fauna doméstica: *Capra hircus, Ovis aries* y *Vicugna pacos*.

Además, el OEFA (2020) realizó la caracterización de las comunidades hidrobiológicas en un punto del río Ragra aproximadamente a 250 metros aguas abajo de la unión de los canales izquierdo y derecho, advirtiendo las siguientes comunidades; (i) perifiton vegetal, (ii) perifiton animal y (iii) macroinvertebrados bentónicos.

Por otro lado, Activos Mineros (2021) detalló que el depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha comprende un aproximado de medio millón (500 000) de metros cúbicos caracterizado por presentar aguas ácidas (pH 3.5) y presencia de metales pesados (Zn, Cu, Pb, Cd, entre otros) generados por las operaciones desarrolladas por las empresas Cerro de Pasco Cooper Corporation y Centromín Perú S.A. entre los años 1943 al 1992. Asimismo, Activos Mineros (2021) precisó que el dique principal se ubica en la zona Oeste de la relavera Quiulacocha, el cual tiene una longitud de 725 metros aproximadamente, con un ancho de corona 16 metros de aproximadamente y una altura máxima de 12 metros aproximadamente desde el inicio en la cota 4 245 msnm hasta la corona en la cota 4257 msnm.

En esa línea, el depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha podría desbordarse ya que de acuerdo a Activos Mineros (2021) las altas precipitaciones pluviales en la zona generarían la disminución del borde libre del dique del depósito que al llegar el nivel del agua a la corona del dique produciría un eventual desborde de aguas ácidas generando afectaciones (i) a la estructura del depósito y su colapso, (ii) a las poblaciones Quiulacocha, Huandohuasi y Yurajhuanca, (iii) a la calidad del agua del cuerpo receptor del río Ragra, río San Juan y al lago Chinchaycocha (Lago Junín), (iv) a las 58 hectáreas de pastizales y bofedales aproximadamente y (v) a la vía de comunicación: vía de evitamiento con aproximadamente 10 km.

Según los registros de la estación meteorológica Cerro de Pasco (estación más cercana y de mayor registro al depósito), la precipitación media anual del área de estudio es de 1 153,9 mm. Las mayores precipitaciones pluviales ocurren entre los meses de octubre-abril y las menores se presentan entre los meses de mayo-setiembre. La precipitación máxima en 24 horas es de 72,4 mm (para un periodo de retorno de 500 años) y la estimación de la precipitación máxima probable es de 178,4 mm (Robles, 2019).

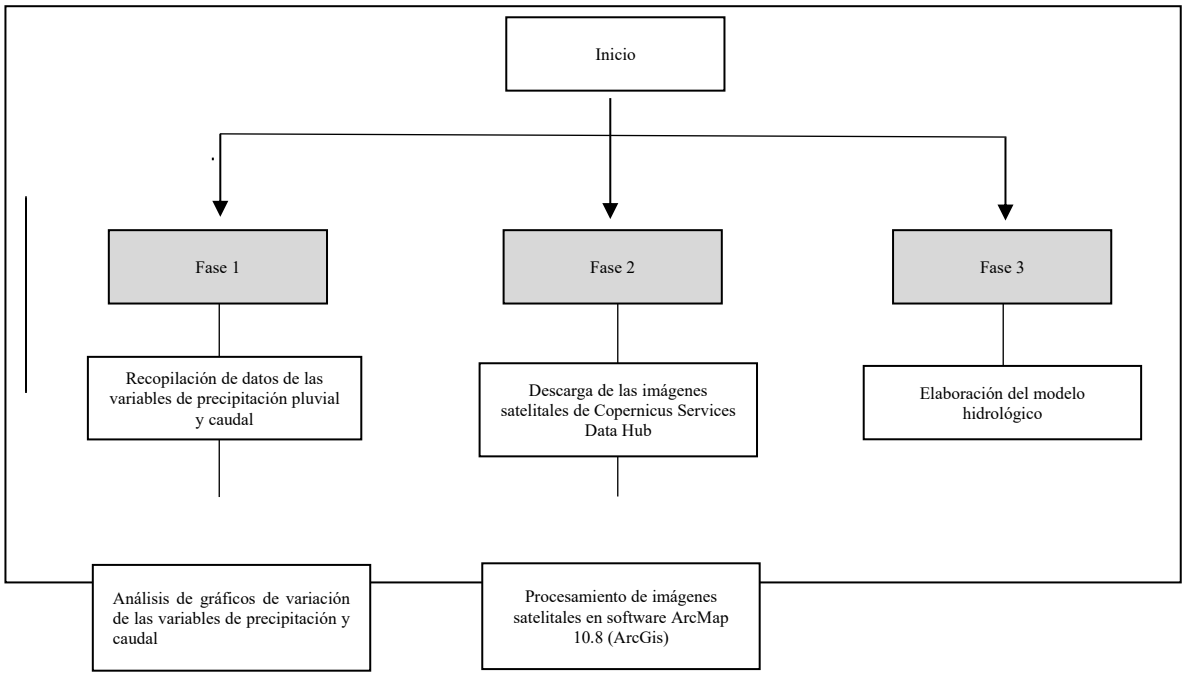
Por tanto, la presente investigación tiene como objetivo determinar el área inundable ante el colapso del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha en el tramo del río Ragra aplicando Hec-

Ras 6.3.1 y ArcGIS 10.5, distrito de Simón Bolívar (Pasco) ante un posible desborde por el dique y como consecuencia de ello el colapso del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha por las precipitaciones pluviales que incrementan el volumen de agua en el depósito, esta situación representa un potencial riesgo de afectación negativa a las (i) poblados Quiulacocha, Huandohuasi y Yurajhuanca, ubicadas aguas debajo del depósito, (ii) a la calidad del agua del cuerpo receptor río Ragra, río San Juan y al lago Chinchaycocha (Lago Junín) y (iii) a la flora y fauna de la zona de estudio.

METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico de la investigación comprende tres fases: (Fase 1). Recopilación de datos de las variables de precipitación pluvial, caudal y el análisis de gráficos de variación de las variables citadas. (Fase 2). Descarga de las imágenes satelitales de Copernicus Services Data Hub y procesamiento de imágenes satelitales en la aplicación ArcMap 10.8 del software ArcGis 10.5. (Fase 3). Elaboración del modelo hidrológico. (Ver Figura 01).

Figura 01: *Desarrollo metodológico de la investigación*

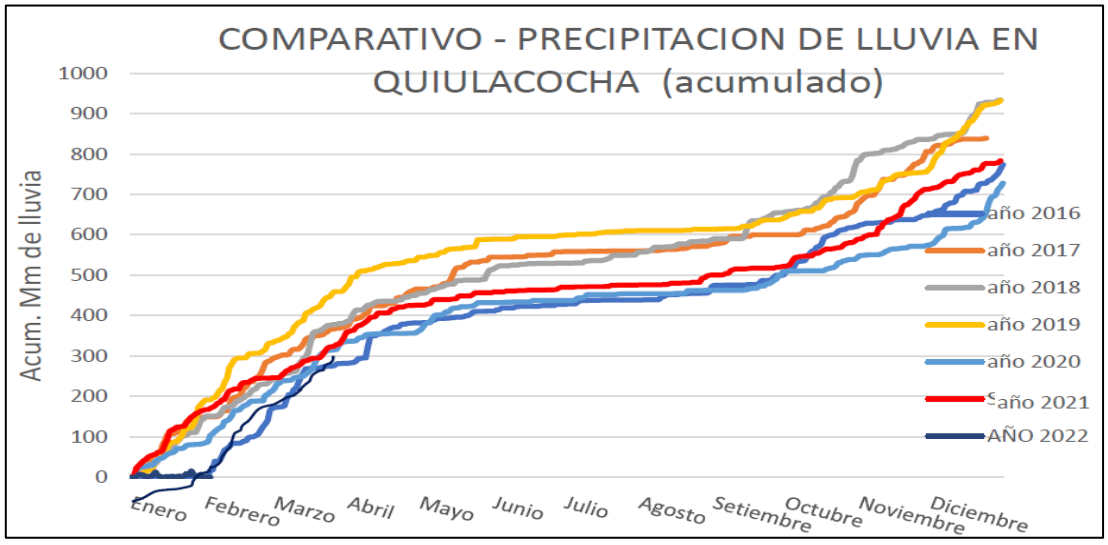


Fuente: Elaborado por el autor

Fase 1:

En la Fase 1 se realizó la recopilación de datos de las variables de precipitación pluvial y caudal de la estación meteorológica Cerro de Pasco. En la etapa de análisis de gráficos de la variación de las variables de precitación y caudal se utilizó el Informe Nº 059-2022-GO/JDPCM (Activos Mineros S.A.C., 2022) y el Informe de Estimación del Riesgo por Peligro Inminente - Relavera Quiulacocha por Lluvias Extraordinarias (Activos Mineros S.A.C., 2021). La tendencia de la precipitación pluvial en la zona de estudio tiene un comportamiento de incremento desde el mes de noviembre al mes de abril y presentando una disminución durante los meses de mayo a setiembre, lo cual se puede apreciar en el siguiente gráfico.

Figura 02: *Precipitación pluvial acumulada por años.*

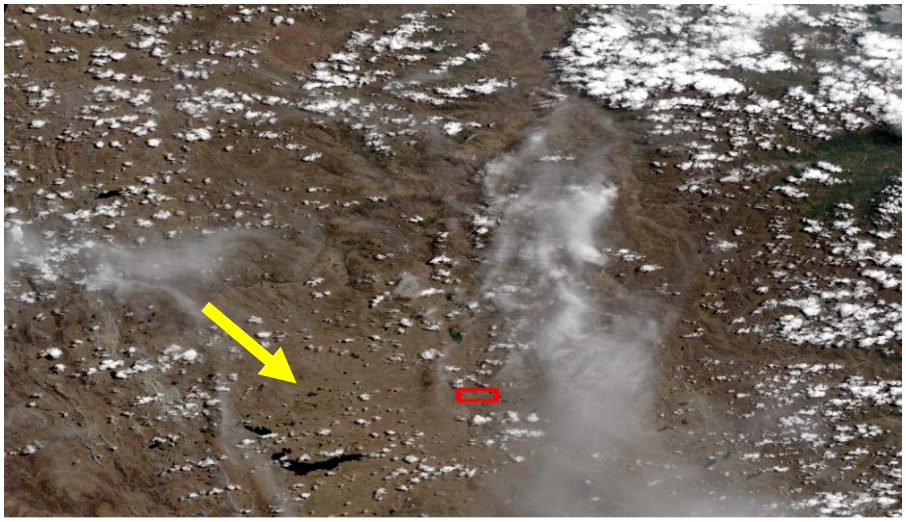


Fuente: Informe Nº 059-2022-GO/JDPCM (Activos Mineros S.A.C., 2022)

Además, una variable importante a evaluar es el borde libre, definido como la altura desde la superficie del agua acumulado en el vaso hasta la parte superior del dique del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha y cuya altura debe estar por encima de los 100 cm para mantener el equilibrio adecuado del dique. No obstante, desde el mes de Enero se han presentado precipitaciones mayores a 10 mm/día y 20 mm/día, acción que ha provocado la pierda del borde libre que tenía una altura inicial de 102 cm (01.01.2021) hasta llegar a una altura de 55 cm (11.02.2021) debido a que el agua acumulada supera la capacidad de bombeo de los dos sistemas de bombeo de agua ácida y neutra. (Activos Mineros S.A.C., 2021).

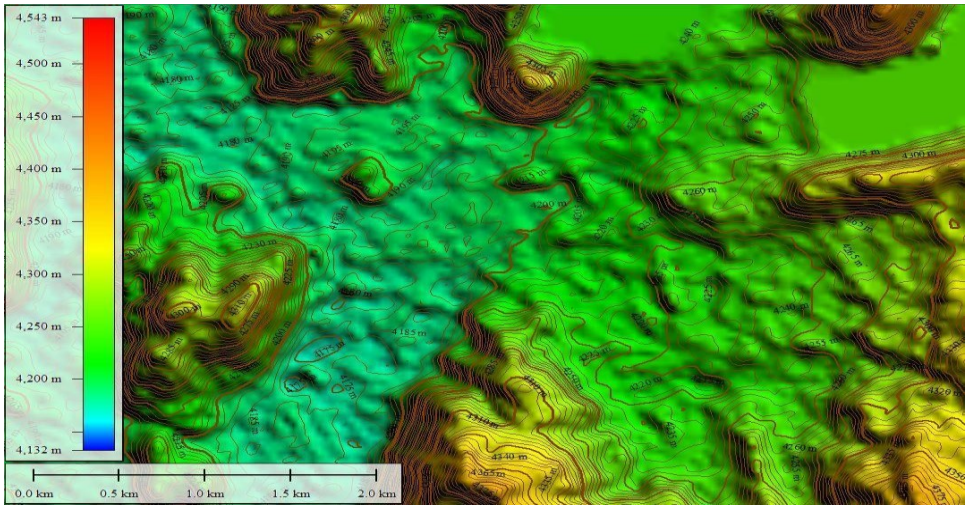
Fase 2: En la Fase 2 se descargó la (i) imagen satelital Sentinel-2 desde la plataforma de Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA) denominada: "S2A_MSIL1C_20220922T151711_N0400_R125_T18LUP_20220922T214104.SF y la imagen Aster GDEM v3 (imagen satelital de modelo de elevación digital) desde el centro de búsqueda Earthdata Search (datos de ciencias de la Tierra de la NASA) de la zona de estudio para obtener información del relieve.

Figura 03: ***Imagen Satelital Sentinel-2 del área de estudio***



Fuente: Sentinel – Copernicus Open Access Hub: https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home

Figura 04. ***Imagen del modelo de elevación digital***



Fuente: EARTHDATA: https://search.earthdata.nasa.gov/search

Seguidamente, se utilizó la aplicación ArcMap 10.8 derivada del software ArcGIS 10.5 para realizar el corte de la imagen satelital y la extracción de una sección del área de estudio y proceder con la digitalización de la trayectoria del río Ragra con la finalidad de utilizarlo en la fase 3 de la investigación.

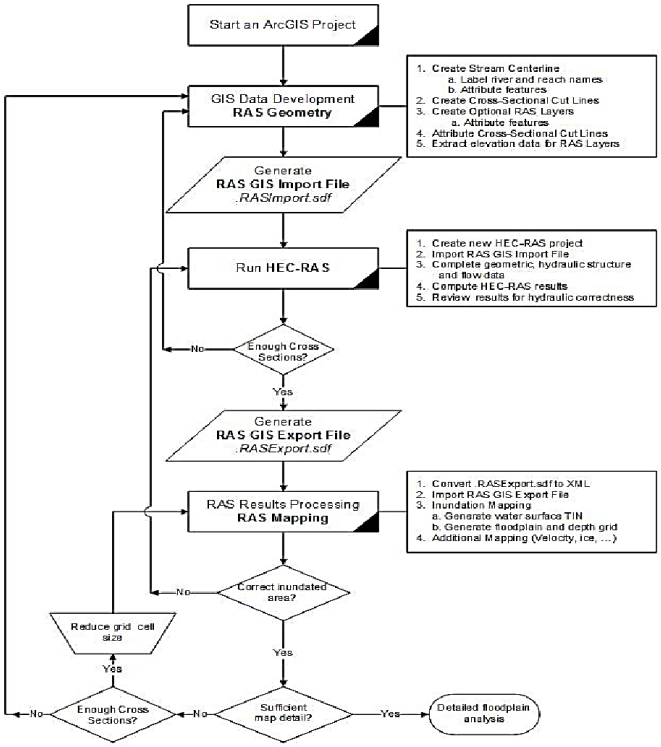
Figura 05: *Trayectoria del río Ragra*



Fuente: Sentinel – Copernicus Open Access Hub: https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home

Fase 3: En la Fase 3 se utilizó el procedimiento de trabajo establecido y propuesto en el Manual de Usuario "HEC-GeoRAS 10 for ArcGIS 10" y se aplicó la herramienta HEC-GeoRAS 6.3.1 del software ArcGIS 10.5 con la finalidad de definir las variables del modelo. Inicialmente, se definió la línea central de la corriente del río Ragra, se digitalizó la capa de los bancos (línea de color) mediante la visualización de la imagen satelital y se estableció las secciones transversales con una equidistancia de 300 metros.

Figura 06. ***Procedimiento de trabajo del Manual de Usuario "HEC-GeoRAS 10 for ArcGIS 10"***



***Fuente*:** HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS (4.2). (Ackerman, 2009)

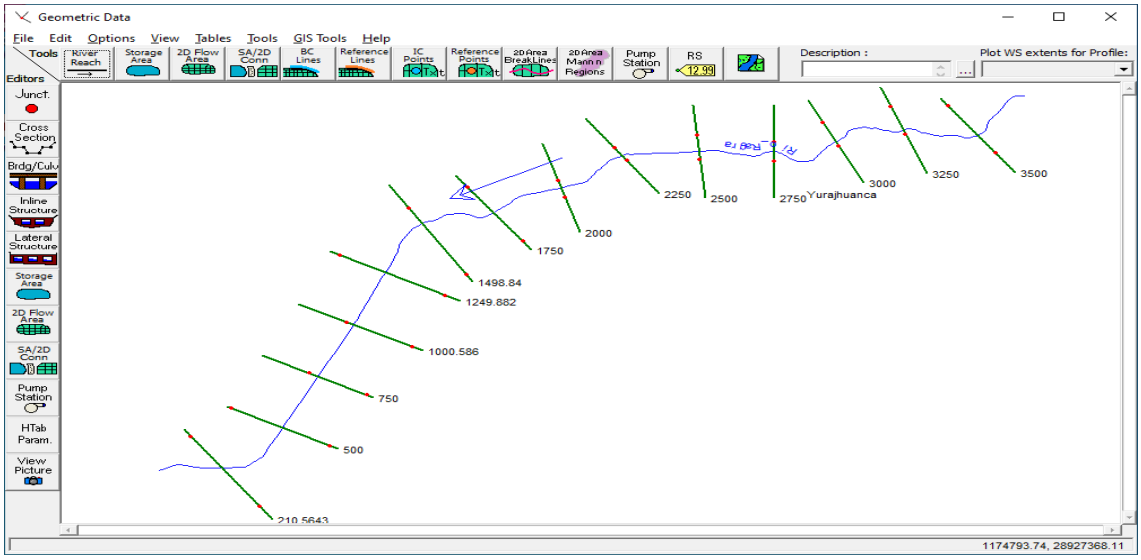
Figura 07. ***Secciones transversales del río Ragra***



Fuente: Elaborado por el autor

Se configuró las variables de precipitación y caudal para determinar el área inundable por el depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha en el tramo del río Ragra mediante los datos generados en ArcGIS 10.5 y se procedió a exportar en formato RAS con la finalidad de utilizarlos en el software HEC-RAS 6.3.1

Figura 08. ***Secciones transversales del río Ragra mediante HEC-RAS 6.3.1***



Fuente: Elaborado por el autor / HEC-RAS 6.3.1

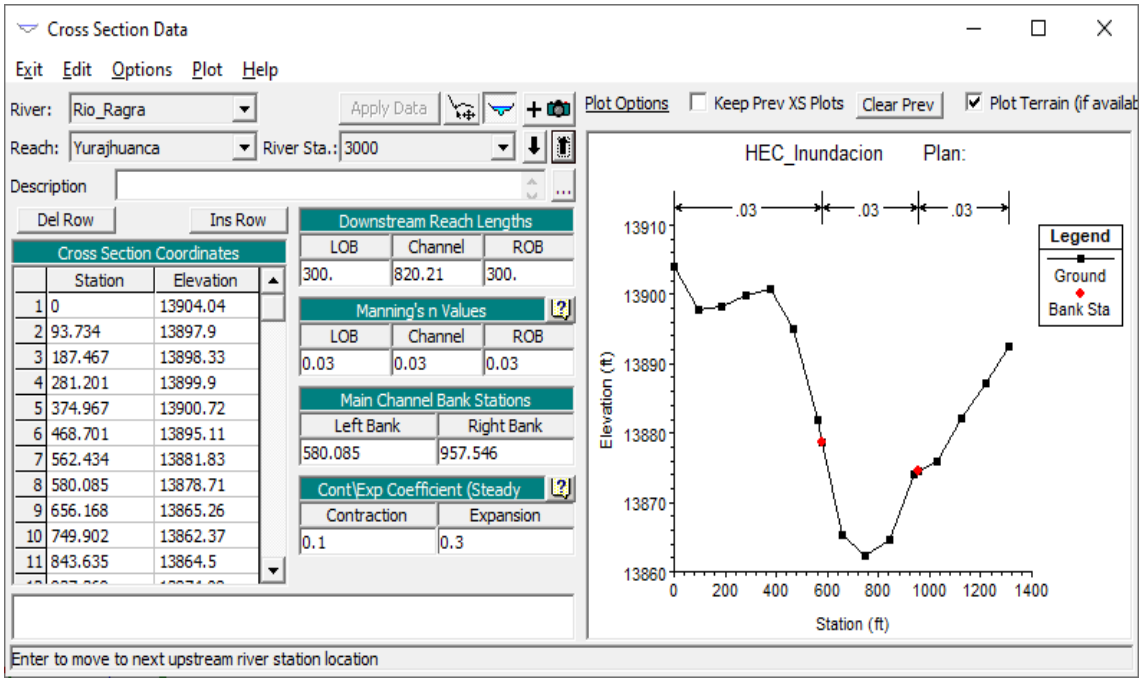
Además, se alineo el parámetro de coeficiente de rugosidad con valores típicos de "n" de Manning en la herramienta HEC-RAS 6.3.1, siendo el valor del coeficiente de rugosidad para cauces naturales rectos con algunas piedras y pastos de 0.03.

Figura 09. ***Curso del río Ragra***



Fuente: Elaborado por el autor

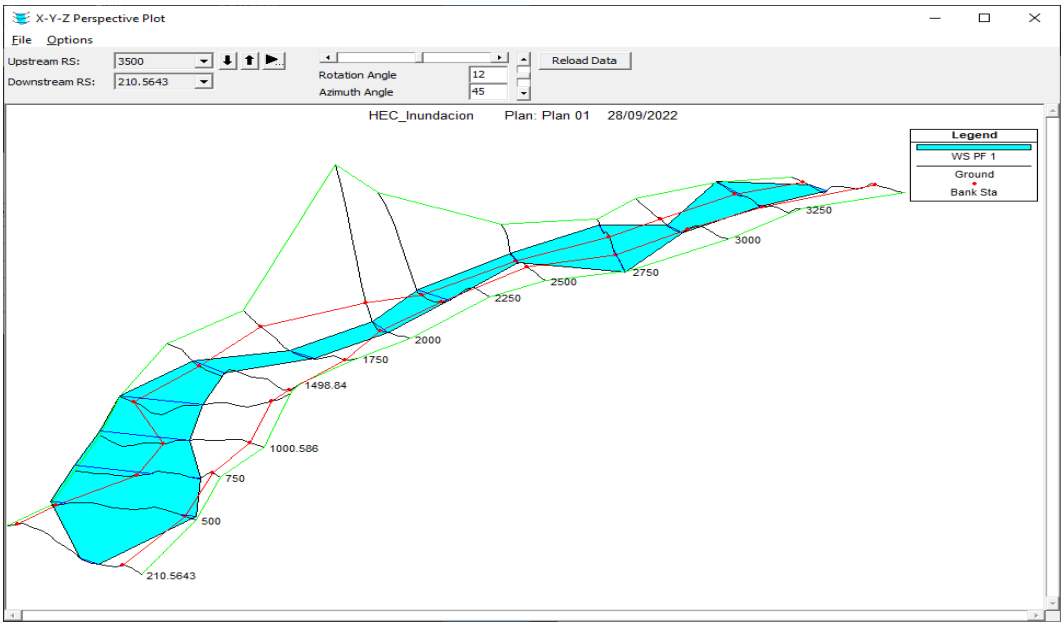
Figura 10. ***Parámetros configurados en el software HEC-RAS 6.3.1***



Fuente: Elaborado por el autor / HEC-RAS 6.3.1

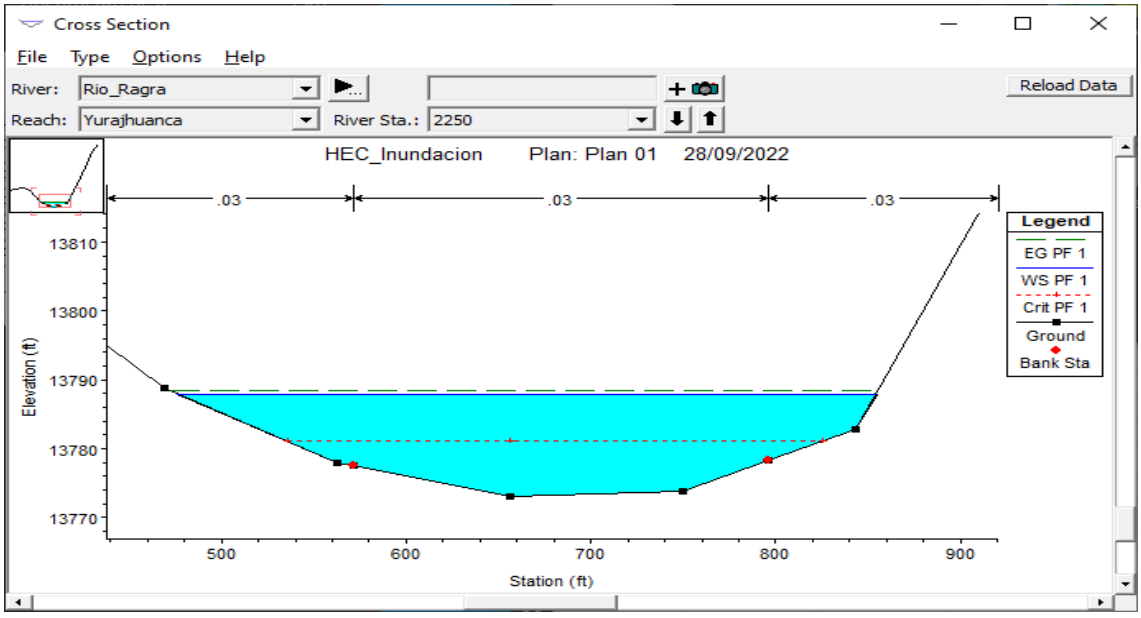
Se ejecutó el modelo hidrológico, simulando lo que sucedería ante un posible colapso del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha a consecuencia de las precipitaciones pluviales.

Figura 11. ***Modelamiento hidrológico del río Ragra***



Fuente: Elaborado por el autor

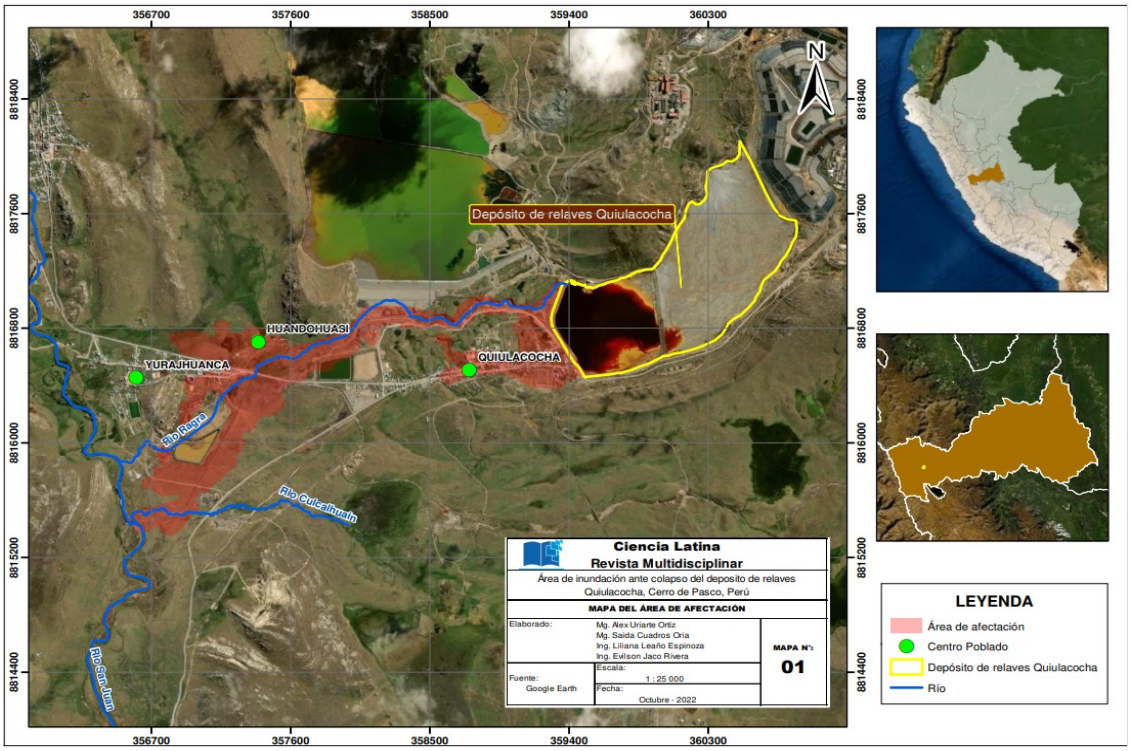
Figura 12. ***Área inundada – Sección transversal.***



Fuente: Elaborado por el autor

Finalmente se exportó los resultados de las variables hacia el aplicativo ArcMap 10.8 para estimar el área inundable, cuyo resultado determino un área de 1 151 391.58 m^2.

Figura 13. ***Mapa del área inundable por colapso de la relavera Quiulacocha***



Fuente: Elaborado por el autor

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Daño potencial a la población

Gouveia Mendes et al. (2022) indicó que la rotura de la presa de relave B1 en Brumadinho (Minas Gerais, Brasil) ocasionó la muerte de más de 270 habitantes. En la presente investigación los pobladores de los centros poblados de Quiulacocha, Huadohuasi y Yurajhuanca se verían afectados ante un posible colapso del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha provocadas por las precipitaciones pluviales, el relave está compuesto por lodos con aguas ácidas (pH 3.5) y metales pesados (Zn, Cu, Pb, Cd, entre otros), según el área inundable correspondiente a 1 151 391.58 m^2 abarcaría a los centros poblados citados.

3.2 Daño potencial al componente agua

La rotura de la presa de relaves B1 en Brumadinho (Minas Gerais, Brasil) impactó al río Paraopeba en los primeros 155.3 km contados desde el sitio de la presa de relave, debido a que el relave tenía altas concentraciones de metales (Al, Fe, Mn, P) y turbidez, perjudicando a la flora: los bosques ribereños y

la calidad del agua que era empleado como fuente de agua potable (Gouveia Mendes et al., 2022). En el presente caso, el colapso del depósito impactaría negativamente a la calidad de río Ragra, afectando en consecuencia a las comunidades hidrobiológicas (perifiton vegetal, perifiton animal y macroinvertebrados bentónicos). Asimismo, se generaría un gran impacto ambiental a la Reserva Nacional de Junín y principalmente al Lago Chinchaycocha, (Lago Junín).

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo al modelo hidrológico, se determinó que el área inundable comprende 1 151 391.58 m^2 ante un posible colapso del depósito de relave del pasivo ambiental minero Quiulacocha por las precipitaciones pluviales, representando un riesgo potencial de afectación a la fauna y flora característica de la zona de estudio y a los centros poblados de Quiulacocha, Huandohuasi y Yurajhuanca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ackerman, C. T. (2009). *HEC-GeoRAS GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS* (4.2). https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas/documentation/HEC-GeoRAS42_UsersManual.pdf

Activos Mineros S.A.C. (2021). *Informe de estimación del riesgo por peligro inminente-relavera Quiulacocha por lluvias extraordinarias*.

Activos Mineros S.A.C. (2022). *Informe N° 059-2022-GO/JPCM*.

Alonso, B. (2019, November 20). *Aberfan: ¿qué pasó realmente en la sobrecogedora tragedia que cuenta "The Crown 3"?* https://www.elle.com/es/living/ocio-cultura/a29829566/aberfan-desastre-reina-isabel-the-crown-3/

Arroyo, M., & Gens, A. (2022). La rotura de la presa de relaves de Brumadinho: la montaña de cristal. *XI Simposio Nacional de Ingeniería Geotécnica, Mieres (Asturias), España*, 279–286. https://www.researchgate.net/publication/360901513_La_rotura_de_la_presa_de_relaves_de_Brumadinho_la_montana_de_cristal

Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN)- Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2019). *Informe de emergencia Nº 759-30/09/2019/COEN-INDECI/12:50 horas (Informe N° 15) Derrame de relave en el distrito de San Pedro de Coris Huancavelica*.

https://portal.indeci.gob.pe/emergencias/derrame-de-relave-minero-en-el-distrito-san-pedro-de-coris-huancavelica-reporte-preliminar-n-704-11-07-2019-coen-indeci-2310-horas/

Chandler, R., & Tosatti, G. (1995). The Stava Tailings dams failure, Italy, july 1985. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering* (2nd ed., Vol. 113, pp. 67–79). https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/igeng.1995.27586?journalCode=jgeen

Fourie, A. B., Blight, G. E., & Papageorgiou, G. (2001). Static liquefaction as a possible explanation for the Merriespruit tailings dam failure. *Canadian Geotechnical* , *38*, 707–719. https://cdnsciencepub.com/doi/10.1139/t00-112#abstract

Gouveia Mendes, R., Farias do Valle Junior, R., Abreu Pires de Melo Silva, M. M., Sanches Fernandes, L. F., Pinheiro Fernandes, A. C., Tarlé Pissarra, T. C., Carvalho de Melod, M., Valera, C. A., & Leal Pacheco, F. A. (2022). A partial least squares-path model of causality among environmental deterioration indicators in the dry period of Paraopeba River after the rupture of B1 tailings dam in Brumadinho (Minas Gerais, Brazil). *Environmental Pollution*, *306*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119341

Hernández Columbie, T., & Guardado Lacaba, R. (2010). Funcionamiento y mecanismos de rotura en presas de relaves mineros: Estudio de caso la presa de colas de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba de Moa. In *Pub. Esp. N°* (Vol. 9). https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG15-237.pdf

Norbert R. Morgenstern, Vick, S. G., Viotti, C. B., & Watts, B. D. (2016). *Fundão tailings dam review panel Report on the immediate causes of the failure of the Fundão dam*. https://pedlowski.files.wordpress.com/2016/08/fundao-finalreport.pdf

Oldecop, L., & Rodríguez, R. (2007). *Mecanismos de fallas de las presas de residuos mineros* (Vol. 148). https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/2007_148_181.pdf

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2020). *Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha a cargo de Activos Mineros SAC.*

Robles, A. (2019). *Evaluación de la estabilidad geoquímica de relaves sulfurados de Quiulacocha mediante el uso de cobertura biológica en medios no saturados con riego de efluentes domésticos*

a escala piloto -AMSAC-2018 [Tesis de grado. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1430/1/T026_72760594_T.pdf