



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO
DE ROTURA DEL DIQUE DE TIERRA CCOCHACCUCHO EN LA
COMUNIDAD DE NINAHUISA, MACUSANI – CARABAYA –
PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

LUIGI RAFAEL QUISPE YANAPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2024



LUIGI RAFAEL QUISPE YANAPA

CARACTERIZACIÓN TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO DE ROTURA DEL DIQUE DE TIERRA CCOCHACCUCHO EN LA COM...

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::8254:416607396

125 Páginas

Fecha de entrega
16 dic 2024, 12:57 p.m. GMT-5

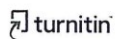
60,829 Palabras

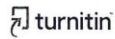
Fecha de descarga
16 dic 2024, 1:02 p.m. GMT-5

197,424 Caracteres

Nombre de archivo
LRQY - BORR - ROTURA DE DIQUE - 03.pdf

Tamaño de archivo
7.9 MB





3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 3% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

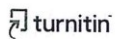
Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Texto oculto**
50 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.





DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres, por su apoyo incondicional permanente durante todo el proceso de formación haciendo de mí una persona, con valores, principios, perseverancia y empeño.

Luigi Rafael Quispe Yanapa



AGRADECIMIENTOS

En agradecimiento a todo quien, de manera directa o indirecta, contribuyó en la realización de este trabajo de investigación.

Como primera persona, quiero agradecer al Dr. Edilberto Huaquisto Ramos, quien fue mi director y asesor de tesis, en todo este tiempo ha sido un gran pilar para mi persona compartiendo sus conocimientos, sabiduría, consejos y observaciones respecto a mi trabajo de investigación; guiándome al objetivo de culminar este proyecto para optar el título universitario; aprovechando también para agradecer a mis jurados de tesis, que gracias a sus observaciones logre comprender y profundizar los conocimientos acerca del tema y sobre los formatos necesarios para realizar un trabajo decente de investigación.

Quiero agradecer a mi primera casa de estudios superiores; la Universidad Nacional del Altiplano; que, con sus experimentados docentes de cada materia, han logrado despertar el interés por la superación personal y colectiva; mediante el dinámico dictado de las materias impartidas en todo el transcurso de mi formación universitaria.

Luigi Rafael Quispe Yanapa



ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|----------------------------------------------------|-----------|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTOS | |
| ÍNDICE GENERAL | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| ACRÓNIMOS | |
| RESUMEN | 18 |
| ABSTRACT..... | 19 |
| CAPÍTULO I | |
| INTRODUCCIÓN | |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 21 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. | 22 |
| 1.2.1. Problema general. | 22 |
| 1.2.2. Problemas específicos..... | 23 |
| 1.3. HIPÓTESIS..... | 23 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 23 |
| 1.5. OBJETIVOS..... | 24 |
| 1.5.1. Objetivo general..... | 24 |
| 1.5.2. Objetivos específicos..... | 24 |
| CAPÍTULO II | |
| REVISIÓN DE LITERATURA | |
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 25 |
| 2.1.1. Antecedentes a nivel internacional. | 25 |



| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.2. | Antecedentes a nivel nacional..... | 27 |
| 2.1.3. | Antecedentes a nivel local | 30 |
| 2.2. | MARCO TEÓRICO..... | 31 |
| 2.2.1. | Presas..... | 31 |
| 2.2.2. | Seguridad en presas..... | 32 |
| 2.2.3. | Marcos reguladores de la seguridad de presas en el Perú..... | 32 |
| 2.2.4. | Seguridad de presas en el Perú..... | 32 |
| 2.2.5. | Clasificación del dique en función al riesgo potencial..... | 34 |
| 2.2.6. | Evaluación del riesgo..... | 35 |
| 2.2.7. | Análisis del riesgo..... | 36 |
| 2.2.8. | Elementos de una presa..... | 36 |
| 2.2.9. | Ventajas y desventajas de una presa de tierra..... | 37 |
| 2.2.9.1. | Cimentación fácil..... | 37 |
| 2.2.9.2. | Economía del material..... | 37 |
| 2.2.9.3. | Integración ambiental..... | 37 |
| 2.2.9.4. | Mayor volumen..... | 37 |
| 2.2.9.5. | Imposibilidad de vertido por coronación..... | 38 |
| 2.2.9.6. | Disponibilidad de material..... | 38 |
| 2.2.9.7. | Mantenimiento..... | 38 |
| 2.2.9.8. | Fracturas de la presa..... | 39 |
| 2.2.10. | Procesos que originan una fractura de represa de tierra..... | 39 |
| 2.2.10.1. | Rebase de la cortina..... | 39 |
| 2.2.10.2. | Deslizamiento de taludes..... | 39 |
| 2.2.10.3. | Agrietamiento..... | 40 |
| 2.2.10.4. | Sismos..... | 40 |



| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.10.5. | Licuefacción. | 40 |
| 2.2.10.6. | Pérdidas por infiltración. | 40 |
| 2.2.10.7. | Sifonamiento..... | 41 |
| 2.2.11. | Efectos de una rotura de presa de tierra..... | 41 |
| 2.2.12. | Clasificación de peligros en una presa..... | 41 |
| 2.2.13. | Desbordes que provocan una fractura de represa de tierra. | 42 |
| 2.2.14. | Determinación de la brecha. | 42 |
| 2.2.15. | Parámetros de estimación de una brecha. | 43 |
| 2.2.16. | Parámetros de tiempo..... | 43 |
| 2.2.17. | Elementos de una brecha. | 44 |
| 2.2.17.1. | Amplitud de la brecha..... | 44 |
| 2.2.17.2. | Profundidad de la brecha. | 44 |
| 2.2.17.3. | Carga sobre la brecha.g | 44 |
| 2.2.17.4. | Inclinación del talud. | 44 |
| 2.2.17.5. | Duración de la modelación de la brecha..... | 45 |
| 2.2.18. | Ecuaciones para estimar la formación de una brecha. | 45 |
| 2.2.18.1. | Ecuaciones para estimar el ancho de la brecha..... | 45 |
| 2.2.18.2. | Ecuaciones para estimar el caudal máximo a través de la brecha. | 48 |
| 2.2.18.3. | Ecuaciones para estimar el intervalo del tiempo de la brecha. | 49 |
| 2.2.19. | Modelación de una brecha – guía técnica de clasificación de presas. 51 | |
| 2.2.20. | El uso de software para modelamientos numéricos..... | 51 |
| 2.2.20.1. | Que es un Software..... | 51 |
| 2.2.20.2. | Modelamiento con software. | 52 |



| | | |
|-------------|----------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.20.3. | Modelo hidráulico IBER para rotura de presas. | 52 |
| 2.2.20.4. | Preproceso. | 53 |
| 2.2.20.5. | Proceso. | 53 |
| 2.2.20.6. | Postproceso..... | 54 |
| 2.2.21. | Hidrograma generado por la rotura de presa. | 54 |
| 2.3. | DEFINICIÓN DE TÉRMINOS..... | 54 |
| 2.3.1. | Cuenca hidrográfica. | 54 |
| 2.3.2. | Vaso de la presa. | 54 |
| 2.3.3. | Boquilla..... | 54 |
| 2.3.4. | Estribos. | 55 |
| 2.3.5. | Reservorio..... | 55 |
| 2.3.6. | Presa..... | 55 |
| 2.3.7. | Corona de la presa..... | 55 |
| 2.3.8. | Pie de presa. | 55 |
| 2.3.9. | Base de la presa..... | 56 |
| 2.3.10. | Cimentación de presa..... | 56 |
| 2.3.11. | Diques laterales..... | 56 |
| 2.3.12. | Avenida máxima probable (AMP)..... | 56 |
| 2.3.13. | Avenida extrema. | 56 |
| 2.3.14. | Avenida de diseño..... | 57 |
| 2.3.15. | Periodo de retorno..... | 57 |
| 2.3.16. | Nivel de agua máximo ordinario (NAMO)..... | 57 |
| 2.3.17. | Nivel de agua máximo extraordinario (NAME)..... | 57 |
| 2.3.18. | Nivel de agua mínimo (NAMI). | 57 |
| 2.3.19. | Nivel de agua mínimo de operación (NAMINO). | 57 |



| | | |
|---------|------------------------------------------|----|
| 2.3.20. | Borde libre. | 58 |
| 2.3.21. | Capacidad total del embalse. | 58 |
| 2.3.22. | Volumen útil. | 58 |
| 2.3.23. | Aliviadero de demasías. | 58 |
| 2.3.24. | Estructura de control. | 58 |
| 2.3.25. | Presas de materiales sueltos. | 58 |
| 2.3.26. | Flujo transitorio o no permanentes. | 59 |
| 2.3.27. | Flujo variado. | 59 |
| 2.3.28. | Falla o rotura de presa. | 59 |
| 2.3.29. | Número de courant. | 60 |
| 2.3.30. | Modelado de rotura de presa. | 60 |
| 2.3.31. | Brecha. | 60 |
| 2.3.32. | Modelo digital de terreno. | 60 |
| 2.3.33. | Modelamiento unidimensional. | 61 |
| 2.3.34. | Modelamiento bidimensional. | 61 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | | |
|-------------|----------------------------------------------|-----------|
| 3.1. | UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO..... | 62 |
| 3.2. | TIPO DE INVESTIGACIÓN | 66 |
| 3.3. | DISEÑO DE INVESTIGACIÓN..... | 66 |
| 3.4. | POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 66 |
| 3.4.1. | Población | 66 |
| 3.4.2. | Muestra | 66 |
| 3.5. | MATERIALES..... | 67 |
| 3.5.1. | Equipos de campo | 67 |



| | | |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.2. | Recursos humanos | 67 |
| 3.5.3. | Software y equipos..... | 67 |
| 3.6. | METODOLOGÍA | 68 |
| 3.6.1. | Metodología para la características hidrológicas y geométricas del dique. | 68 |
| 3.6.1.1. | Procesamiento de los datos en campo: | 68 |
| 3.6.1.2. | Procesamiento de los datos en gabinete: | 70 |
| 3.6.2. | Metodología para evaluar el riesgo de rotura de dique..... | 80 |
| 3.6.2.1. | Modelamiento de la rotura del dique..... | 80 |
| 3.6.2.2. | Evaluación del riesgo de rotura. | 84 |
| CAPÍTULO IV | | |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | |
| 4.1. | CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS Y GEOMETRICAS DEL DIQUE..... | 89 |
| 4.2. | EVALUACION DEL RIESGO DE ROTURA DEL DIQUE. | 93 |
| 4.2.1. | Progreso de la rotura respecto al tiempo..... | 93 |
| 4.2.2. | Forma de la rotura del dique. | 95 |
| 4.2.3. | Hidrograma de salida. | 97 |
| 4.2.4. | Clasificación del riesgo..... | 99 |
| 4.3. | DISCUSIÓN. | 102 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 104 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 105 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 106 |
| ANEXOS..... | | 111 |



Área: Recursos hídricos.

Tema: Evaluación de rotura de dique de tierra Ccochaccucho.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de diciembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tabla 1 Tabla para determinar la clasificación de una presa o dique | 35 |
| Tabla 2 Valores para C_b en función al tamaño del embalse | 46 |
| Tabla 3 Tabla de llenado de características hidrológicas y geométricas del dique... | 69 |
| Tabla 4 Tabla de precipitación para diferentes duraciones de tiempo y periodos de retorno | 71 |
| Tabla 5 Características del dique en estudio | 89 |
| Tabla 6 Tabla de comparación de características geométricas | 90 |
| Tabla 7 Datos del hidrograma de ingreso para el modelamiento del dique..... | 92 |
| Tabla 8 Resultados de tiempos de rotura según las formulas | 94 |
| Tabla 9 Características del dique en estudio | 96 |
| Tabla 10 Características del dique en estudio | 97 |
| Tabla 11 Tabla para determinar la clasificación de una presa o dique en función al riesgo potencial | 99 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura 1 Reglamento de seguridad de presas públicas de embalses de agua. | 34 |
| Figura 2 Variables de una brecha de represa idealizada..... | 43 |
| Figura 3 Ubicación geopolítica del distrito de Macusani..... | 63 |
| Figura 4 Ubicación geopolítica del distrito de Macusani..... | 64 |
| Figura 5 Ubicación hidrográfica del dique Ccochaccucho – Ninahuisa | 65 |
| Figura 6 Dibujo del dique de tierra en el Software Civil 3D. | 69 |
| Figura 7 Identificación del área de interés para la simulación de los caudales..... | 70 |
| Figura 8 Procesamiento del DEM, en el software Global Mapper | 72 |
| Figura 9 Procesamiento del DEM en el Software ArcGIS..... | 73 |
| Figura 10 Generación del mapa de dirección de flujo..... | 73 |
| Figura 11 Generación del mapa de acumulación de flujo | 74 |
| Figura 12 Mapa de delimitación de la microcuenca..... | 75 |
| Figura 13 Exportación de las superficies en formato ASCII..... | 75 |
| Figura 14 Importación de superficie al software IBER..... | 76 |
| Figura 15 Inserción de datos al software para su procesamiento | 77 |
| Figura 16 Resultados del modelamiento de precipitaciones para 60 minutos para diferentes periodos de retorno..... | 78 |
| Figura 17 Hidrograma de caudal obtenido medido en el punto de construcción del dique..... | 78 |
| Figura 18 Determinación del hidrograma de ingreso para la rotura del dique. | 79 |
| Figura 19 Figuras poligonales proyectadas en el ArcGIS | 81 |
| Figura 20 Inserción de datos en el Software IBER | 82 |
| Figura 21 inserción de los datos del dique de tierra al software IBER | 83 |



| | | |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 22 | Vista de los resultados en el punto de rotura del dique..... | 84 |
| Figura 23 | Área de interés tomada para modelar el área inundable después de la rotura | 85 |
| Figura 24 | Delimitación del área de interés para el modelamiento de la inundación.... | 86 |
| Figura 25 | Recorte de las superficies delimitadas por el área de interés..... | 86 |
| Figura 26 | Exportación de las superficies en formato ASCII..... | 87 |
| Figura 27 | Importación de la superficie al IBER..... | 87 |
| Figura 28 | Insertamos los parámetros del área inundable a evaluar..... | 88 |
| Figura 29 | Hidrograma de caudal en el punto de interés de la cuenca..... | 91 |
| Figura 30 | <i>Hidrograma de ingreso para el modelamiento de rotura del dique.</i> | 91 |
| Figura 31 | Gráfico de líneas, progreso de rotura respecto al tiempo..... | 93 |
| Figura 32 | Forma final de la rotura del dique, para todos los TR. | 95 |
| Figura 33 | Hidrograma de salida por la brecha para todos los TR..... | 97 |
| Figura 34 | Imagen de inundación de aguas abajo luego de una potencial rotura del dique..... | 100 |



ACRÓNIMOS

| | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ANA: | Autoridad Nacional del Agua. |
| CFRD: | Concrete Faced Rockfill Dam (presas de enrocado con membrana impermeable). |
| DGM: | Dirección General de Minería. |
| DINAGUA: | Dirección Nacional de Aguas – Uruguay. |
| ECRD: | Earth Core Rockfill Dam (presa de enrocado con núcleo impermeable de arcilla). |
| DESCOSUR: | Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo del Sur. |
| GR2M: | Génie Rural à 2 parameters Monthly (modelo de generación de escorrentía |
| IBER: | software de modelamiento hidráulico bidimensional. |
| ICOLD: | International Commission on Large Dams (comisión internacional en Presas grandes). |
| IGME: | Instituto Geológico y Minero de España. |
| IMFIA: | Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental – Uruguay. |
| INADE: | Instituto Nacional de Desarrollo. |
| MIDAGRI: | Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. |
| MMC: | Millones de Metros Cúbicos. |
| MINAGRI: | Ministerio de Agricultura. |
| MINEM: | Ministerio de Energía y Minas. |
| NAME: | Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias. |
| NAMO: | Nivel de Aguas Máximas Ordinarias. |
| NAMINO: | Nivel de Aguas Mínimas Operativas. |



| | |
|-------------|--------------------------------------------------------------|
| NAMIN: | Nivel de Aguas Mínimas. |
| SINAGERD: | Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. |
| OSINERGMIN: | Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. |
| OEFA: | Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. |
| PNLCDL: | Plan Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía |
| Mensua. | |



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la comunidad de Ninahuisa, distrito de Macusani, provincia de Carabaya, departamento de Puno, en Perú, el objetivo fue evaluar el riesgo de rotura del dique de tierra Ccochaccucho, ejecutado en el 2022 por la municipalidad provincial de Carabaya, con fines de almacenamiento de agua; en la mayoría de proyectos de diques, se omite el análisis de riesgo de rotura; en este estudio determinaron las características hidrológicas o hidrogramas de ingreso de caudales en el punto de interés del dique, así como las características geométricas, posteriormente, con base en la información obtenida del expediente técnico, se determinaron 4 escenarios de rotura las cuales se basan en los tiempos de retorno de 5 años, 10 años, 20 años y 50 años; estos escenarios se simularon con la ayuda de Software de modelamiento IBER; se llevaron a cabo los procedimientos necesarios para concluir que la rotura del dique tiene una duración de 2520 s, desde el inicio de la rotura hasta su forma final (ver **Figura 32**) la cual es trapezoidal, cuyas dimensiones son base superior 23.81m, base inferior 15.15m y altura 3.5m, presenta caudales máximos para diferentes tiempos de retorno; 87.18m³/s para 5 años, 103.74 m³/s para 10 años, 134.61 m³/s para 20 años y 192.31 m³/s para 50 años; logrando obtener los hidrogramas de salida para cada periodo de retorno, lo que sirvió para realizar el modelado para el análisis del riesgo de la rotura; según el reglamento publicado por la ANA (2019), se clasifica en la CATEGORIA DE RIESGO C debido a que ante una potencial rotura del dique, los daños simulados son materiales y/o medio ambientales menores.

Palabras Clave: Dique, modelo, riesgo, rotura, software.



ABSTRACT

The present research was conducted in the community of Ninahuisa, district of Macusani, province of Carabaya, department of Puno, in Peru. The objective was to evaluate the risk of dam breaking of the Ccochaccucho earth dam, executed in 2022 by the provincial municipality of Carabaya for water storage purposes. In most dam projects, the risk analysis of dam break is omitted. In this study, the hydrological characteristics or inflow hydrographs at the point of interest of the dam, as well as the geometric characteristics, were determined. Subsequently, based on the information obtained from the technical file, four dam break scenarios were determined, which are based on return periods of 5 years, 10 years, 20 years, and 50 years. These scenarios were simulated with the help of the IBER modeling software. The necessary procedures were carried out to conclude that the dam break has a duration of 2520 seconds, from the beginning of the break to its final form (see **Figura 32**), which is trapezoidal, with dimensions of 23.81m for the top base, 15.15m for the bottom base, and 3.5m in height. It presents maximum flows for different return periods: 87.18 m³/s for 5 years, 103.74 m³/s for 10 years, 134.61 m³/s for 20 years, and 192.31 m³/s for 50 years. The outflow hydrographs for each return period were obtained, which served to model the risk analysis of the dam break. According to the regulations published by ANA (2019), it is classified in the RISK CATEGORY C because, in the event of a potential dam break, the simulated damages are minor material and/or environmental damages.

Keywords: Dock, model, risk, breakage, software.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente demanda del recurso hídrico, en el Perú y en el mundo, las autoridades de los diferentes niveles de gobierno han optado hace algunos años por implementar políticas de manejo de los recursos hídricos, su recuperación y la seguridad hídrica en el tiempo, sin embargo la creciente demanda de la necesidad del recurso, ha hecho que la construcción de presas en diferentes dimensiones sea una de las alternativas más conocidas y usadas para el aprovechamiento de las temporadas lluviosas.

El número de estructuras hídricas ha crecido continuamente, así también, crece el riesgo de falla, es por ello la importancia de implementar estudios de riesgo de rotura de diques incluso en las que tienen poca capacidad de almacenamiento.

En el capítulo 1 y 2, se mencionan las razones del porqué se ha llevado a cabo esta investigación y que es lo que se desea lograr en base a la bibliografía revisada y los antecedentes existentes respecto al tema en mención.

En el capítulo 3, se menciona la metodología utilizada en este trabajo, así también el procedimiento y los diversos materiales y equipos utilizados para lograr la realización de esta investigación.

En los capítulos 4, 5 y 6; se detalla el procedimiento realizado, la obtención de los resultados, en las que se detalla los resultados para cada escenario evaluado los cuales se evaluaron para 4 escenarios y el resultado de estos; la interpretación de estos resultados y las recomendaciones a tomar en cuenta en base a lo anteriormente mencionado.

En el capítulo 7, se menciona la bibliografía utilizada para culminar este trabajo.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El agua es indispensable para el desarrollo económico de las personas (Atencio et al., 2022; Peña et al., 2022; Picón, 2020), eso hizo que en varios lugares del mundo, se haya convertido en una mercancía cara de obtener (Picón, 2020), motivo que en el Perú, se ha implementado leyes y mecanismos con la finalidad de impulsar y promover las prácticas de recargas de los recursos hídricos en las cuencas altas; y así, incrementar la disponibilidad de este recurso; Algunas de las cuales son: ley de recursos hídricos, plan nacional de recursos hídricos, la política y estrategia nacional de recursos hídricos, entre otras.

La demanda del agua crece cada año más (IMFIA & DINAGUA, 2011), esto requiere cada vez más cantidad de recursos de bienes y servicios, a esto se suman las modificaciones de los patrones de lluvias (Solis, 2019); el crecimiento poblacional, agricultura extensiva, crecimiento industrial (Peña et al., 2022); generación de energías, medicinales, recreativas y turísticas (Picón, 2020), por último, que el agua no es un recurso totalmente renovable (Espinoza & Oyola, 2019); todo esto, genera alteraciones de la calidad de agua, resultando dañinas para el consumo y la salud humano (Peña et al., 2022). Es así como aparece la opción de represarlas (IMFIA & DINAGUA, 2011); este sistema responde a la demanda de los pobladores (Espinoza & Oyola, 2019), además que por su construcción (presas de tierra), resultan ser económicamente viables y oportunas para abastecer las demandas (IMFIA & DINAGUA, 2011). Sin embargo, estos sistemas presentan desventajas (pequeñas presas de tierra o qochas) como: el bajo conocimiento, no son modernas y que muchas veces no se consideran como cuestiones de ingeniería (Herrera-Franco et al., 2020).



Se debe considerar el riesgo que conlleva la ejecución de presas en sus distintas clasificaciones (Chalco, 2018); a pesar de que las probabilidades de ocurrencia de roturas son muy pequeñas (Gómez & Peralta, 2021), de presentarse este posible suceso, ocasionaría seguramente eventos altamente desastrosos (Chalco, 2018), además que, las presas con mayor vulnerabilidad a estos eventos son las de materiales sueltos (Padrino, 2018).

En 2021, la Municipalidad Provincial de Carabaya, en Perú, formuló el expediente técnico denominado “mejoramiento y ampliación en la siembra y cosecha de agua en los sectores de Parina, Ccatacancha, Queracucho, Ninahuisa, Jacho Occo y Pacaje del distrito de Macusani - provincia de Carabaya – departamento de Puno”, donde busca incrementar la disponibilidad hídrica en temporada seca mediante la construcción de 30 diques de tierra, captando y almacenando el agua para ser aprovechada en temporadas secas; sin embargo, carece de estudios de riesgos en caso de rotura de las estructuras; la ejecución de este expediente fue por la misma entidad, en el 2022, y hasta la fecha no se tiene ningún tipo de evaluación de riesgo de rotura de los diques.

Por lo que, en esta investigación se han planteado las siguientes interrogantes:

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema general.

¿Cuáles son las características técnicas y cómo evaluar el riesgo de rotura del dique de tierra Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – Puno?



1.2.2. Problemas específicos.

¿Cuáles son las características hidrológicas y geométricas del dique de tierra Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – Puno?

¿Cómo evaluar el riesgo de rotura del dique de tierra Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – Puno mediante el software IBER?

1.3. HIPÓTESIS.

Determinando las características técnicas y evaluando el riesgo de rotura del dique de tierra Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – Puno, nos permitirá conocer el nivel riesgo de rotura realizando los modelamientos 2d con el software IBER.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo de investigación se justifica por la necesidad y la importancia de conocer el riesgo que conlleva el represamiento de las aguas superficiales en el dique de tierra Ccochaccucho y en todas las clasificaciones de presa en el Perú; más aún que en la actualidad; el recurso agua se está convirtiendo en un recurso no renovable y caro de obtener; así que, diferentes entidades comenzaron a interesarse en los diversos métodos de captación y almacenamiento de este recurso, con el objetivo de la seguridad hídrica.

Entre varias entidades; Sierra Azul, Agro Rural, DESCOSUR, gobiernos regionales y locales han apostado desde hace unos años en la construcción masiva de diques de tierra y concreto y durante su etapa de realización del estudio definitivo, no contempla la evaluación de riesgo de rotura de presas para cada estructura propuesta ni ejecutada.



En la zona de estudio el agua es un elemento indispensable para la vida, debido a que representa el recurso principal que contribuye en la economía y calidad de vida del poblador rural, en la actualidad varias instituciones ejecutaron los diques de tierra pero no se tiene la situación real de cumplimientos de las metas proyectadas, requiriendo de una evaluación con las características y objetivos planteadas en el estudio, ya que su uso inadecuado provoca la contaminación, cambio de los patrones de lluvias y fuertes sequías en todo el país debido al cambio climático, motivo que se definió las características hidrológicas y geométricas del dique, luego se evaluó el riesgo de rotura de presa con el apoyo del modelamiento con el software IBER, posteriormente se interpretaron los resultados, realizando los análisis con la información obtenida para aporte a las entidades del rubro tanto públicas y privadas encargados en promocionar para establecer mejoras en las poblaciones rurales, buscando respaldar la seguridad hídrica.

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. Objetivo general.

Determinar las características técnicas para el riesgo de rotura del dique de tierra Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – Puno.

1.5.2. Objetivos específicos.

Definir las características hidrológicas y geométricas del dique de tierra Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – puno.

Evaluar el riesgo de rotura del dique de tierra Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – Puno mediante el software: IBER.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1.1. Antecedentes a nivel internacional.

Las prácticas de represamiento para la captación de aguas no es una práctica que se dio recientemente (Solis, 2019). Los Romanos, por ejemplo, tuvieron grandes habilidades para captar el agua; este sistema comenzó a interesar a las entidades internacionales, sin embargo, se enfrenta a una situación de riesgo, y es la disminución de la población rural, el abandono de los sistemas y la inapropiada política de manejos de estos sistemas (IGME, 2018).

En Honduras, la falta de agua ocasiona grandes pérdidas económicas; para afrontar este problema, se han implementado programas y planes como: el Plan Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (PNLCDL), al mismo tiempo que, se han destinado grandes fondos para la construcción de proyectos de represamiento de aguas (Cáceres Coello, 2018).

En la comunidad de Guana Grande, Municipio – Santiago de Callapa, Provincia – Pacajes, del departamento de La Paz – Bolivia, a solicitud de los pobladores de Crucero, se realizó un estudio y diseño técnico de represamiento de aguas, a los que ellos denominan “atajos”, para ser utilizados con fines de riego agrícola, fueron 12 las estructuras propuestas para su ejecución, teniendo como capacidad de almacenamiento de 1000m³ cada una (Berrocal, 2021).

En el distrito – 14 Sarapiquí, Provincia – Alajuela, Costa Rica; Aguilar (2006), realiza una comparativa económica entre los diques de tierra y diques de



gaviones, donde concluye que, pese a que los gaviones requieren de menos material natural, los costos de estos representan en 40% más elevadas que los diques de tierra.

Arroyo & Gens (2022), mencionan en su investigación denominada "La rotura de la presa de relaves de Brumadinho: la montaña de cristal", este hecho ocurrió en Minas Gerais, Brasil; según mencionan, no fue las que habitualmente se dan en la mayoría de este tipo de eventos (sismos, lluvias, construcciones), sino fue a causa de la licuefacción del suelo; el infortunio suceso se dio cabida en el 2019, causando el deceso de 270 personas.

En Colombia, distrito de Choco, se realiza "Generación de mapas de peligro producido por la simulación del vertido de relaves de la rotura de la presa N° 4 en el distrito de Carmen de Atrato en el departamento de Chocó – Colombia", donde Castillo & Castillo (2019), mencionan que mediante los modelos: hidrológico, hidráulico, y clasificación de mapas; lograron delimitar las zonas de riesgo ante un posible evento de rotura de presa.

Según Toapaxi & Acero (2021), mencionan en su trabajo denominado "Dam-break flooding analysis using HEC-RAS 2D model: Case study of the mulacorral dam, Tungurahua province, Ecuador", que en Albato, Ecuador, la hipotética rotura de la presa Mulacorral, que tiene la capacidad de embalsar 3.5 Millones de metros cúbicos, tendría como resultado del desastre del 65% de la vía Flores.

Así también, como los mencionados acontecimientos desagradables, se dieron sucesos en: Laos, con la presa Attapeu en 2018, ubicada en la provincia de Attapeu, cerca de la frontera con Camboya. El colapso durante su construcción



liberó aproximadamente 5.000 millones de metros cúbicos de agua, causando la muerte de al menos 71 personas y desplazando a miles; Texas, con la presa Dunlop en 2019, ubicada en el lago Dunlap. El colapso resultó en el vaciado del lago Dunlap y la posterior reconstrucción de la presa; India, con la presa Tiware en 2019, ubicada en el distrito de Ratnagiri, Maharashtra. El colapso tras lluvias intensas causó inundaciones y la muerte de al menos 19 personas; India, con la presa Tehri en 2021, ubicada en el estado de Uttarakhand. Aunque la presa no colapsó, la región sufrió un desastre debido al desprendimiento de una parte del glaciar Nanda Devi, provocando una inundación repentina; y Colombia, con la presa Hidroituango en 2018, ubicada en el departamento de Antioquia. Un deslizamiento en una de sus márgenes bloqueó uno de los túneles de desviación del río, retrasando significativamente el proyecto.

Debido a esto, los gobiernos confrontan estas situaciones planteando normas, leyes, presupuestos para investigación, entre otros. España, por ejemplo, publicó en el 2021, la guía técnica para la clasificación de presas, esto con el objetivo de incentivar y orientar a las entidades administrativas y colaboradoras sobre la evaluación y control de la seguridad de las presas y los embalses (DGA; ESPAÑA, 2021).

2.1.2. Antecedentes a nivel nacional.

Nicodemos (2021), realiza una investigación en distrito de Vilca, provincia de Huancavelica, región Huancavelica, para su trabajo de suficiencia denominado “simulación de niveles de operación en qocha para la siembra y cosecha de agua en la cuenca del río vilca”, mediante la recopilación de datos estadísticos, logra completar los datos usando el método CUTOFF, para luego, usando el modelo



GR2M, logra calibrar y validar los datos usando como cuenca calibradora el río Vilca, y de tal manera, logra calcular los caudales a un nivel de persistencia del 75%, para concluir los siguientes parámetros de la qocha: NAMO (3.23MMC), NAMINO (0.79MMC) y NAMIN (2.45MMC).

Espinoza & Oyola (2019), nos informan en su estudio denominado “Diseño de un sistema de captación y almacenamiento - caso cosecha agua para su aprovechamiento-Garbanzal-Tumbes-2018”, trabajo de investigación de tipo aplicativo, usando técnicas de recolección de información, observación de características donde proponen el diseño de un sistema de presa de tierra con un embalse que logrará acumular 863,941 m³.

Guerrero & Gutarra (2021), realizan una investigación denominada “Propuesta de un programa de cosecha de agua frente a la escasez del recurso hídrico en la microcuenca Yanama, en el Distrito de Yauli, provincia de Yauli - La Oroya 2021”, en el cual, logran proponer un programa de cosecha de aguas compuesta, que consta de zanjias de infiltración, la construcción de dos diques de tierra en la micro cuenca Yanama, ellos indican que, a cabo de los 10 años, se lograra pasar desde un déficit hídrico actual, a un superávit futuro.

En Arequipa, la presa El Frayle representa un riesgo alto en su eventual rotura, esto debido a presentar agrietamientos en su estructura, si el desastroso hecho llegar a ocurrir, arrasaría con todas las casas a la rivera del río Chili, afectando en su mayoría a la zona que se encuentra desde la avenida La Marina, hasta El Vallecito.

En Junín; Burga & Gonzales (2023), realizaron una investigación de "comparación de los métodos empíricos y numero en la determinación del área



afectada mediante la evaluación de riesgo de rotura de presa de un depósito de relaves ubicado en Yauli, Junín", nos dicen que, debido a la importancia de la rotura de presas, logran realizar la comparación de los métodos mencionados en las presas usando el método de Rico, para luego comparar los resultados.

Según Canales (2022), narra en su investigación denominada "Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en la presa Tullpacancha, Locroja, Churcampa, Huancavelica", usando los métodos de Bishop, Janbu, Morgenther-Price y Spencer, logra realizar el estudio de comportamiento del factor de seguridad, para posteriormente plantear filtros para evitar la erosión interna, e inyecciones de concreto para evitar el exceso de las subrepciones.

En Huancavelica; se realizó la investigación denominada "Análisis comparativo de simulación de crecidas para estimar los riesgos por la rotura de represas – Microcuenca Palermo, El Carmen, Churcampa – Huancavelica" por parte de Chalco (2018), donde utilizando los modelos de IBER y HEC RAS, realiza el modelamiento para 7 escenarios posibles basándose en la guía española "clasificación de presas en función a si riesgo potencial", los resultados fueron la obtención de áreas inundables, análisis de creciente y la obtención de riesgos potenciales.

Gómez & Peralta (2021), realizaron un estudio a profundidad sobre la rotura de una presa, teniendo como resultado el hidrograma después de la rotura de presa. su trabajo se denomina "Modelamiento hidráulico bidimensional para el análisis de la potencial rotura de la presa las delicias ubicado en el distrito de Oyotún – Chiclayo – Lambayeque".



En Lima, el dique Huaycoloro sufrió una rotura debido al incremento del caudal de las aguas residuales, afortunadamente no se reportaron muertes El Comercio (2024).

ANA (2019), publicó el “Reglamento de seguridad de presas públicas de embalse de agua” esto con el objetivo de implementar instrumentos técnicos para la operación y mantenimiento, evaluación de seguridad, inspección y el plan de acción de emergencia durante la puesta en marcha.

2.1.3. Antecedentes a nivel local

Se tiene conocimiento que el poblador rural ha realizado las prácticas de represamiento de sus aguas, construyendo para ello, micro presas rusticas de tierra y champas; esfuerzos que han servido para mantener la disponibilidad de su recurso máspreciado y aprovecharlo en las temporadas de estiaje; Sin embargo, al carecer de tecnificación, muchas veces estas construcciones rusticas no fueron capaces de soportar las avenidas máximas, dando como resultados la destrucción total o parcial de las mismas; es por ello que, ellos comentan, se vieron obligados a re proteger estas estructuras constantemente entre mediados de temporada de lluvias o, al finalizar esta.

En el 2022, el gobierno local, por parte de la municipalidad provincial de Carabaya, ha invertido en la ejecución de 30 diques de tierra en la parte alta del rio Macusani, siendo estas en los sectores de Parina, Ccatacancha, Queracucho, Ninahuisa, Jacho Occo Y Pacaje; esto ha presentado resultados positivos para la población; debido a que es un sistema que requirió de tecnificación, estudios, entre otros atributos; estas construcciones permiten retener y almacenar el agua en temporadas de lluvia, para luego, poder aprovecharlas en las temporadas de sequía



o cuando los usuarios lo consideren necesario; además que, incrementará los caudales de las aguas subterráneas, los bofedales y esto representa un avance por la adaptación al cambio climático.

Cuadros & Mercado (2021), hicieron una evaluación del aporte hídrico de las mini presas en el distrito de Asillo, provincia de Azángaro, departamento de Puno denominado “práctica ancestral de cosecha de agua, para el aprovechamiento y almacenamiento”; donde da como resultado, la evaluación de los medios disponibles a partir de los estudios que realizaron para la construcción de dos mini presas, y concluyen que la construcción de estas, aportan incrementos significativos en la disponibilidad hídrica local.

La empresa generadora de electricidad San Gaban, realizó la construcción de una presa (CFRD) en la misma comunidad; según Rimachi (2016), esta presa presenta las siguientes características: Nivel de corona (4,578.50 msnm), altura de presa (31.50 m), Ancho de corona (6.00 m) Longitud de corona (81.5 m) y la capacidad de embalse es de 32.0 Hm³, este recurso, sería aprovechado para abastecer de electricidad.

2.2. MARCO TEÓRICO.

2.2.1. Presas.

Según el “reglamento de seguridad de presas” (ANA, 2019), es una barrera construida que sirve para el estancamiento de las aguas y que está generalmente construida en el cauce natural del río o cualquier agua superficial; a su vez, la presa comprende obras conexas y de embalse.



Por otro lado; Canales (2022), menciona que se trata de una estructura usada para el almacenamiento de agua o derivado de un río; sugiere también que se son aceptables los términos presa o cortina.

2.2.2. Seguridad en presas.

Se refiere al margen que existe entre las condiciones reales de la presa construida y/o diseñada, respecto a los factores que puedan llevarla a su deterioro; el objetivo de esta es mantener la seguridad operacional y estructural durante el pasar del tiempo, para proteger al poblador y su patrimonio y el medio ambiente (ANA, 2019).

2.2.3. Marcos reguladores de la seguridad de presas en el Perú.

- Ley N° 29338, ley de recursos hídricos.
- Ley N° 29664 ley que crea el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres (SINAGERD).
- decreto supremo N° 001-2010-ag, que aprueba el reglamento de la ley de los recursos hídricos.
- Decreto supremo N° 018-2017-MINAGRI, reglamento de organizaciones y funciones de la Autoridad Nacional del agua.
- Decreto Supremo N° 048-2001-PCM, donde aprueba el reglamento de la ley N° 29664.

2.2.4. Seguridad de presas en el Perú.

De acuerdo con De La Torre (2020), la seguridad de presas se divide en; Seguridad de presas en minería, quien está controlada por la DGM-MINEM,



OSINERGMIN Y LA OEFA y seguridad de presas en Agricultura; cuyas normas y regulaciones se da a continuación:

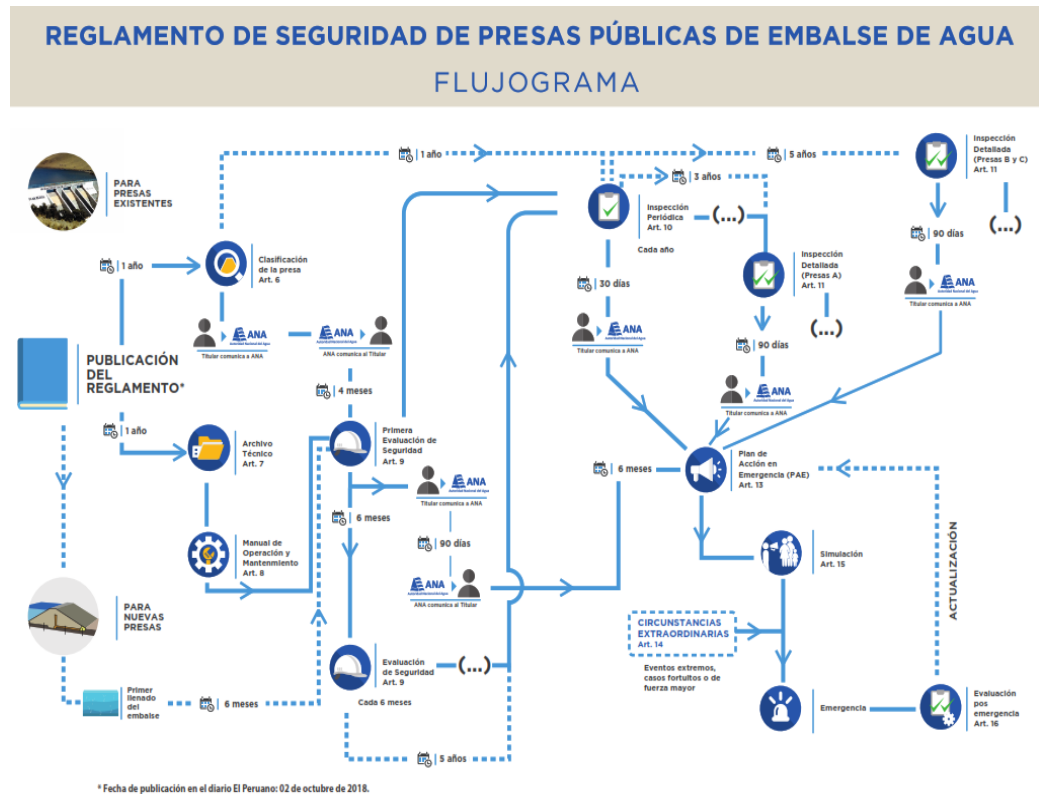
- Normas de inspección de presas y reservorios (1972).
- Reglamento de seguridad de presas del INADE (2002).
- Ley 29337, Ley de recursos hídricos (Artículo 106).
- Reglamento de seguridad de presas públicas de embalse de agua (2019).

Del mismo modo, según el acuerdo al reglamento publicado por la ANA (2019), el documento en mención, tiene como objetivo establecer las disposiciones orientadas a clasificar las presas, así mismo implementar los instrumentos técnicos para su operación y mantenimiento, inspección, evaluación de seguridad y por último el plan de acción durante la puesta en marcha y la operación y mantenimiento de las estructuras de presa; la aplicación de este documento es de carácter obligatorio en todo el ámbito nacional; las responsabilidades del titulas de la estructura serán la seguridad, clasificación, comunicación, el monitoreo y la elaboración y actualización del archivo técnico.

A continuación, se muestra el flujograma de seguridad de presas publicado por la ANA.

Figura 1

Reglamento de seguridad de presas públicas de embalses de agua.



Fuente: (ANA, 2019).

2.2.5. Clasificación del dique en función al riesgo potencial.

Para clasificar el dique, nos guiaremos del “Reglamento de seguridad de presas públicas de embalse de agua” de la ANA (2019), donde menciona que se clasifican en:

Categoría A. presas cuya rotura o pésimo funcionamiento, podría afectar muy gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales.

Categoría B. presas cuya rotura o deficiente funcionamiento, podría ocasionar daños importantes mas no catastróficos.

Categoría C. presas cuya rotura o deficiente funcionamiento, puede ocasionar daños moderados y de ninguna manera la pérdida de vidas humanas.

Tabla 1

Tabla para determinar la clasificación de una presa o dique

| Categ | Descripción | Altura (m) | Vol (hm ³) | Consecuencias Potenciales | Uso Principal | Clasif |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| A (Alto) | Pérdida de vidas humanas, daños significativos a la propiedad y al medio ambiente | > 45 | > 10 | Pérdida de vidas humanas, daños graves | Abastecimiento de agua, riego, generación de energía, control de inundaciones | A (Alto) |
| B (Modo rado) | Daños materiales importantes, daños moderados al medio ambiente | 15 - 45 | 1 - 10 | Daños materiales importantes, daños moderados | Abastecimiento de agua, riego, generación de energía, control de inundaciones | B (Modo rado) |
| C (Bajo) | Daños materiales menores, daños ambientales limitados | < 15 | < 1 | Daños materiales menores, daños ambientales menores | Almacenamiento de agua | C (Bajo) |

Fuente: (ANA, 2019).

2.2.6. Evaluación del riesgo.

Ircañaupa (2015), argumenta que se trata del riesgo que presenta la probable falla de una presa, menciona que generaría la formación de onda creciente por las descargas descontroladas del embalse, provocando la inundación de vastas extensiones aguas abajo; esto se debe aminorar ya que afectaría la vida social y el medio ambiente.

Debemos mencionar también que alteraría varios factores como: el ecosistema funcional alrededor de la presa. la vida acuática, agrícola, actividades



económicas, costumbres, entre otras que se habían normalizado durante el funcionamiento de la presa.

Según la ANA (2019), para determinar la seguridad de las presas en el Perú, se debe tomar en cuenta algunas consideraciones como la seguridad estructural, seguridad frente a avenidas, seguridad de operación y, por último, la seguridad funcional.

2.2.7. Análisis del riesgo.

El fin de analizar el riesgo de una posible rotura de presas según Ircañaupa (2015), es medir la magnitud del riesgo, para optimizar la eficiencia en la toma de decisiones, de tal manera elaborar los planes de prevención y contingencia con metas a enfrentar posibles eventos de rotura; menciona que este análisis involucra la identificación y cuantificación de tres elementos principales:

- ¿que podría ocurrir?, Acciones y condiciones que puedan causar la falla.
- ¿Cómo podría ocurrir?, el comportamiento y las características de la falla.
- ¿Cuáles son las consecuencias?, las inundaciones aguas abajo.

2.2.8. Elementos de una presa.

Ircañaupa (2015), define los elementos de la presa de la siguiente manera:

- El embalse. El volumen de agua retenido.
- El vaso. La pared del valle que se inunda.
- La cerrada. El punto donde se construye la estructura de la presa.
- La presa. El muro construido que soporta el empuje del agua.



2.2.9. Ventajas y desventajas de una presa de tierra.

Frente a las construcciones de las diversas presas existentes, las de tierra presentan algunas ventajas y desventajas en particular, y que, según Gómez & Peralta (2021), las ventajas son:

2.2.9.1. Cimentación fácil.

Debido a la adaptabilidad en suelos con baja capacidad portante, se podría construir casi en todos los suelos.

2.2.9.2. Economía del material.

Los materiales usados para la conformación de este tipo de presas debido a su estructura suelen ser del lugar o cercanos al lugar de su construcción; por tanto, los costos son significativamente menores a la de las presas de otros materiales.

2.2.9.3. Integración ambiental.

Al tratarse su construcción por materiales de la zona, estas se adaptan fácilmente con la geografía del lugar, incluso pudiendo llegar a confundirse con el paisaje. Esto debido a que muchas veces son protegidas con roca o vegetación local.

Así mismo, como desventajas, Gómez & Peralta (2021) mencionan las siguientes:

2.2.9.4. Mayor volumen.

Debido a que este tipo de construcciones son fácilmente erosionables, o en todo caso, las filtraciones internas podrían hacer que la



estructura llegue a desgastarse más que las de otro material; es por ello por lo que para su construcción se debe emplear grandes volúmenes de material comparado con sus similares de otros materiales.

2.2.9.5. Imposibilidad de vertido por coronación.

Debido a su composición de material, su función hidráulica de vaciado o desvió de los excesos de almacenamiento, llega a darse en los laterales de la estructura; ya que, de construirse en el medio del cuerpo, esta llegaría a desgastar la estructura rápidamente, tanto que la estructura construida colapsaría, lo cual provocaría catástrofes aguas abajo.

2.2.9.6. Disponibilidad de material.

La preocupación por la cantidad de los materiales afecta durante la elaboración del estudio definitivo del proyecto, resultando en el subdimensionamiento de la estructura en las secciones del dique o sus obras de arte.

2.2.9.7. Mantenimiento.

Las inspecciones y, por ende, los mantenimientos se deberán realizar permanentemente y de manera obligatoria en temporadas secas tanto en el dique como en sus respectivas obras de arte, esto debido a que este tipo de estructuras lo requiere.



2.2.9.8. Fracturas de la presa.

Las presas de tierra, si no se hace los mantenimientos correctos y debidos, tienden a fallar, presentando un gran riesgo debido a que podrían ocasionar grandes desastres.

2.2.10. Procesos que originan una fractura de represa de tierra.

En el caso de este tipo de construcciones, las fallas que presentan pueden ser muy diversas, a continuación, se muestra de acuerdo con la información bibliográfica recopilada.

2.2.10.1. Rebase de la cortina.

La ANA (2017), sugiere que se trata del rebose sobre el coronamiento del dique por la incapacidad del aliviadero u otras estructuras de descarga; Sánchez (2020), cuando el agua rebasa sobre la cortina y escurre aguas abajo por el talud. Esto se da por la presencia de materiales erosionables en la presa o el vertedero; por el diseño inadecuado del aliviadero; o por la carencia de atención a los asentamientos del cimiento y/o terraplén.

2.2.10.2. Deslizamiento de taludes.

se trata del deslizamiento de los taludes de la presa las cuales se provocan durante la construcción, operación o posterior a un rápido desembalse de aguas; esto se debería a la existencia de esfuerzos cortantes mayores a la resistencia de movilizar el suelo en un tramo determinado de superficie de falla (ANA, 2017; Sánchez, 2020).



2.2.10.3. Agrietamiento.

Sánchez (2020), se refiere como a la formación de fisuras y grietas que no pasan inadvertidas en el cuerpo de la presa; se origina por los esfuerzos de tracción, originados por os asentamientos variados del suelo.

2.2.10.4. Sismos.

Sánchez (2020), indica que se trata de la formación de grietas en la corona o en los asentamientos; se genera por los temblores de tierra, principalmente por la componente horizontal de los mismos hacia el eje transversal del eje de la corona.

2.2.10.5. Licuefacción.

Según Sánchez (2020), se trata del derrame de los distintos materiales de la cortina con los que se ha construido, hasta adoptar taludes notoriamente tendidos o irregulares y, según la ANA (2017), podría ser causado también por sismos de gran magnitud; a lo que Sánchez (2020), menciona que se debe a la utilización de materiales altamente licuables durante la construcción de la presa, estos materiales pueden ser limos, arenas no plásticas, entre otros.

2.2.10.6. Pérdidas por infiltración.

Sánchez (2020), se refiere a la infiltración como la pérdida del embalse a través del cimient o la cortina de la presa; esto se debe a que la presa pudo haber sido construida en suelos con presencia de zonas cársticas, fallas o suelos dispersivos; por el inadecuado diseño en los elementos de control de infiltraciones.



2.2.10.7. Sifonamiento.

Sánchez (2020), define al sifonamiento como a la fuga de agua que se concentra y es capaz de erosionar el dique progresivamente, podría formar un conducto que une el embalse con el pie de talud del dique construido; esto se debe a la presencia de suelos diversos en la cortina, o a la formación de agrietamientos o fisuras no muy notorios.

2.2.11. Efectos de una rotura de presa de tierra.

Sin duda, los efectos que causa la rotura de una presa, en cualquiera de sus dimensiones, es considerable; esto debido a la cantidad de agua que es capaz de liberar en un determinado tiempo; tales como las inundaciones, arrastre de sedimentos, huaicos, entre otros.

Gómez & Peralta (2021), por ejemplo, nos dice que el riesgo de daño incrementa cada año más; esto debido al constante crecimiento poblacional, ya que se demanda mayor cantidad de agua para la satisfacción de agua potable, suministro eléctrico, entre otras necesidades básicas del ser humano; esto hace que, para ofertar la demanda, se requiera la construcción de estructuras capaces de dotar de este recurso durante todas las temporadas del año.

2.2.12. Clasificación de peligros en una presa.

Según Gómez & Peralta (2021), las posibles fallas que ocurren en una presa se catalogan en función al nivel de desastre; estas fallas podrían crear lugares de alto riesgo en aguas abajo en la infraestructura hidráulica, esta evaluación permite mejorar la estructura o gestionar alternativas de solución.



Por otro lado, la ANA (2017), nos menciona que, para clasificar la peligrosidad de alguna presa, será necesario evaluar el daño potencial que esta podría causar aguas abajo en supuesto evento de rotura; y priorizar los daños que pudieran ocurrir según el siguiente orden.

- Vidas humanas.
- Daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Daños materiales o medioambientales de moderada importancia.
- Daños materiales y/o medioambientales menores.

2.2.13. Desbordes que provocan una fractura de represa de tierra.

Gómez & Peralta (2021), menciona que este tipo de eventos se presentan en cortas duraciones de ocurrencia, dándonos a conocer que pueden variar desde pocos minutos, hasta llegar a casi una hora de duración; al mismo tiempo, sugiere que se debería evitar errores en su etapa de elaboración y ejecución, realizando los mantenimientos periódicos recomendados por los profesionales, reportando las informaciones de cualquier situación a la que se le observa, al mismo tiempo, recomienda que en su etapa de estudio, se debería considerar los microsismos a los que la presa pueda exponerse.

2.2.14. Determinación de la brecha.

Gómez & Peralta (2021), afirma que, el tema en cuestión, aún se encuentra en su etapa inicial; esto se debe a la carencia de información existente; se refiere a la brecha como la abertura que se da en la estructura de la presa a la hora de fallar; la geometría, dimensiones y tiempo de formación son inciertos a la hora de

realizar el análisis de la rotura; sin embargo, estas fallas pueden ser identificables, y presentan por lo general las siguientes características.

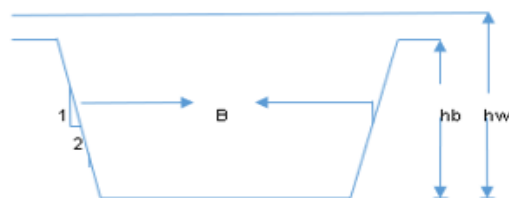
- Medidas y figura de la brecha.
- Intervalos de desarrollo.
- Profundidad y volumen de agua almacenada en la presa.
- Volumen de ingreso a la presa al momento de la rotura.

2.2.15. Parámetros de estimación de una brecha.

Para Gómez & Peralta (2021), se refiere a todas las características que definen a una brecha, como, la forma física o los definidos por el tiempo para dar inicio y evolución a la brecha.

Figura 2

Variables de una brecha de represa idealizada.



Fuente: (Gómez & Peralta, 2021).

2.2.16. Parámetros de tiempo.

Gómez & Peralta (2021), menciona que se da con la aparición de los primeros caudales, estos alertan la existencia de una rotura o falla del dique, para este momento, la descarga aun es mínima si la brecha no continua; este primer inicio, advierte a la población a tomar medidas preventivas ante un posible evento catastrófico.

2.2.17. Elementos de una brecha.

A continuación, se muestra algunos elementos de la brecha.

2.2.17.1. Amplitud de la brecha.

Según Gómez & Peralta (2021), se refiere al ancho final y que su expansión, afecta la descarga e inundación aguas abajo.

En la “**Figura 2**” se representa con la letra (B)

2.2.17.2. Profundidad de la brecha.

Gómez & Peralta (2021), nos dice que, se trata del espacio vertical el cual se obtiene midiendo desde la punta hacia abajo.

En la “**Figura 2**” la se representa con la letra (hb).

2.2.17.3. Carga sobre la brecha.g

Según Gómez & Peralta (2021), se trata de la distancia que existe entre la altura del agua, hasta el invertido de la brecha.

En la “**Figura 2**” se representa con la letra (hw).

2.2.17.4. Inclinación del talud.

De acuerdo con Gómez & Peralta (2021), las pendientes que presentan las brechas no tienen mucha influencia en los análisis.



2.2.17.5. Duración de la modelación de la brecha.

explica Gómez & Peralta (2021), que se le conoce también como duración de desarrollo, su duración se considera desde que aparece la primera brecha hasta que esta se completa.

2.2.18. Ecuaciones para estimar la formación de una brecha.

Las fórmulas o ecuaciones utilizadas para el cálculo de la formación de la brecha son variadas, varios autores proponen distintas formas de estimar estas; a continuación, se detalla algunas de estas ecuaciones.

MacDonald & Langridge-Monopolis (1984).

Sugiere que, para calcular la geometría de la brecha, se deberá considerar la siguiente fórmula.

$$V_{er} = 0.0261(V_w * h_w)^{0.769}$$

Donde:

Ver = volumen de material erosionado del terraplén (m³).

Vw = volumen del agua que ha pasado por la brecha (m³).

hw = la profundidad del agua medida desde el fondo de la brecha al finalizar este evento (m).

2.2.18.1. Ecuaciones para estimar el ancho de la brecha.

A continuación, se muestra algunas fórmulas utilizadas para determinar el ancho de la formación de la brecha.

Von Thun (1990).



$$B_{avg} = 2.5h_w + C_b$$

$$t_f = 0.015h_w$$

Donde:

B_{avg} = ancho de la brecha (m).

T_f = tiempo de falla.

C_b = coeficiente de yacimiento.

H_w = profundidad del agua sobre el fondo de la brecha (m).

Nota. El valor de C_b , se considerará en función a la siguiente tabla.

Tabla 2

Valores para C_b en función al tamaño del embalse

| Tamaño del depósito (m) | C_b (metro) |
|---------------------------------------|---------------|
| $<1.23 \times 10^6$ | 6.1 |
| $1.23 \times 10^6 - 6.17 \times 10^6$ | 18.3 |
| $6.17 \times 10^6 - 1.23 \times 10^7$ | 42.7 |
| $>1.23 \times 10^7$ | 54.9 |

Fuente: (Sawai et al., 2019)

D. Froehlich (1995).

$$B_{avg} = 0.1803k_0 V_w^{0.32} * h_b^{0.19}$$

Donde:

K_0 = coeficiente de falla.

B_{avg} = ancho de la brecha.



V_w = profundidad del agua sobre el fondo de la brecha (m).

h_b = altura de la brecha.

D. C. Froehlich (2008).

$$b = 22.46k_0 V_w^{0.32} * h_b^{0.04}$$

donde:

b = ancho medio de la brecha (m)

K_0 = coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa (1.3 para roturas por sobrevertido y 1 para el resto de las roturas)

V_w = volumen de agua almacenado (hm³)

H_b = altura de la presa sobre el encauce (m)

DGOHCA (1996).

$$b = 20V^{0.25} * H^{0.25}$$

donde:

b = ancho medio de la brecha (m)

V = volumen de embalse (hm³)

H = altura de la presa sobre el encauce (m)



2.2.18.2. Ecuaciones para estimar el caudal máximo a través de la brecha.

A continuación, se muestra algunas fórmulas utilizadas para determinar el caudal máximo o caudal pico durante la formación de la brecha.

MacDonald & Langridge-Monopolis (1984).

Sugiere que, para calcular el caudal pico, se deberá considerar la siguiente fórmula.

$$Q_p = 3.85(V_w * h_w)^{0.411}$$

Donde:

Q_p = caudal pico que pasa por brecha (m^3/s).

V_w = volumen del agua almacenado al momento de la falla (m^3).

h_w = profundidad del agua sobre el fondo de la brecha (m).

Singh & Snorrason (1984).

Sugiere que, para calcular el caudal pico, se deberá considerar la siguiente fórmula.

$$Q_p = 13.4(h_d)^{1.89}$$

Donde:

Q_p = caudal pico que pasa por brecha (m^3/s).

H_d = altura de la presa.



D. Froehlich (1995).

Sugiere que, para calcular el caudal pico, se deberá considerar la siguiente formula.

$$Qp = 0.607(Vw^{0.295} * hw^{1.24})$$

Donde:

Qp = caudal pico que pasa por brecha (m^3/s).

Vw = volumen del agua almacenado al momento de la falla (m^3).

hw = profundidad del agua sobre el fondo de la brecha (m).

2.2.18.3. Ecuaciones para estimar el intervalo del tiempo de la brecha.

A continuación, se muestra algunas fórmulas utilizadas para determinar el tiempo de formación de la brecha.

MacDonald & Langridge-Monopolis (1984).

$$t_f = 0.0179V_{er}^{0.364}$$

Donde:

V_{er} = volumen de material erosionado del terraplén (m^3).

T_f = tiempo de falla (horas)

D. Froehlich (1995).

$$t_f = 0.00254(V_w)^{0.53} * h_b^{-0.9}$$



Tf = tiempo de falla (horas).

Vw = profundidad del agua sobre el fondo de la brecha (m).

hb = altura de la brecha.

D. C. Froehlich (2008).

Sugiere que para calcular el tiempo en el que se produce la rotura, será necesario aplicar la siguiente formula.

$$t = 5.62Vw^{0.5} * hb^{-1}$$

Donde:

T= tiempo de rotura (horas)

Vw= volumen de embalse (m³)

Hb= altura de la presa sobre el cauce (m)

DGOHCA (1996).

Sugiere utilizar la siguiente fórmula para calcular el intervalo de tiempo en el que se produce la rotura del dique.

$$T = 4.8V^{0.5} * H^{-1}$$

Donde:

t= tiempo de rotura (horas)

v=volumen de embalse (hm³)

H=altura de la presa sobre el cauce (m)



2.2.19. Modelación de una brecha – guía técnica de clasificación de presas.

Según a la DGOHCA (1996), sugiere que, para la realización de las evaluaciones de riesgo de fracturas, e intervalos de valores para determinar las dimensiones y el intervalo de tiempo de la formación de la brecha, se relaciona directamente con el tipo de construcción de la presa (material y el caudal de altura del embalse).

2.2.20. El uso de software para modelamientos numéricos.

A lo largo de los años, el hombre ha tratado de optimizar cada vez más los tiempos de análisis y cálculos de diferentes grupos de ecuaciones cambiadas y complejas, continuamente, desarrollando métodos que le permitan reducir y optimizar tiempos. Es así como, en la actualidad se desarrollaron Software que ayuden a optimizar los procesos de modelamiento para eventos como la rotura de presas.

Las nuevas interfaces de los Software existentes, permiten al modelador tener un medio didáctico, que le facilite comprender mejor e interpretar los procesos presentados por el Software; de mismo modo, que este pueda en complementación con los Software necesarios, realizar trabajos que permitan que cualquiera pueda comprender los datos calculados por los Software.

2.2.20.1. Que es un Software.

El Software, también conocido como programas de computadora; se refiere a la parte lógica de los computadores, se entiende que su existencia no es tangible ni maleable físicamente. Sin embargo, su importancia para los cálculos de eventos físicos es indispensable para la



actualidad, debido a la optimización en los tiempos de procesos y la complejidad de ecuaciones simultaneas capaces de procesar.

2.2.20.2. Modelamiento con software.

Para optimizar los trabajos de cálculos, iteraciones, entre otras, y hacer eficiente el cálculo de las ecuaciones sugeridos por los diferentes autores, será necesario que nos adaptemos a las tecnologías actualizadas; por esto, el uso de los Software en el cálculo de ecuaciones largas, demorosas y complicadas se hizo indispensable; a esto deberá ir la utilización de hardware optimo que logre dotar de características necesarias y requeridas por cada software.

2.2.20.3. Modelo hidráulico IBER para rotura de presas.

Este Software, al igual que muchos otros, ofrece una interfaz amigable para este tipo de modelamientos, ofreciendo opciones de modelado en 2D, sin embargo; tenemos que considerar que los requerimientos para el óptimo funcionamiento y calculo eficaz, son normalmente más que las computadoras de mesa convencionales; en este caso, por ejemplo, mi persona hace uso de laptop “Workstation” (estaciones de trabajo).

IBER, se caracteriza por ser un modelo numérico que simula el flujo turbulento, en lámina libre, en régimen no permanente, de procesos medioambientales en hidráulica fluvial y que permite la simulación de la rotura de presas como también las zonas inundables.



2.2.20.4. Preproceso.

- Procesar los datos topográficos.
- Generación del DEM.
- Determinación de los parámetros del DEM.
- Dibujo de la estructura del dique.
- Determinación de los parámetros del dique.
- Determinación de los parámetros del embalse.

2.2.20.5. Proceso.

Este Software opera bajo un modelamiento numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre. El procesado es como sigue:

- crear o importar geometría o malla.
- definir las condiciones hidrodinámicas del modelo.
- asignar una cota inicial de agua.
- asignar el régimen de flujo de entrada.
- asignar las condiciones del flujo de salida.
- asignar el coeficiente de rugosidad.
- ingresar los criterios técnicos de la formación de la brecha.
- Procesar el modelo.



2.2.20.6. Postproceso.

- Visualizar los resultados.
- Generar los gráficos característicos (a partir de una línea).
- Extraer los gráficos a Software más amigables.

2.2.21. Hidrograma generado por la rotura de presa.

Se refiere al gráfico de caudal en “m³” vs el tiempo en s, obtenidos luego del procesamiento, estos datos nos permiten conocer la cantidad de agua que pasa por una sección definida en un determinado tiempo, el comportamiento de la rotura y el caudal pico que pasa por la sección de la rotura.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.

2.3.1. Cuenca hidrográfica.

Según la ANA (2017), se refiere a toda la superficie colectora de aguas superficiales delimitada por las cumbres divisorias donde se realiza una serie de factores económicos.

2.3.2. Vaso de la presa.

De acuerdo con la ANA (2017), es la forma ensanchada de un valle, donde resulta propicio la construcción de una estructura para almacenamiento de agua.

2.3.3. Boquilla.

Explica la ANA (2017), que es el ensanchamiento natural donde la sección transversal resulta óptima para realizar una construcción de cierre de boquilla,



para lograr consolidación el vaso de la presa apoyada generalmente a los estribos de cada lado de ensanchamiento.

2.3.4. Estribos.

ANA (2017), nos dice que se trata de las laderas de cada valle donde se planea apoyar la estructura de construcción.

2.3.5. Reservorio.

La ANA (2017), lo define como el embalse o Represamiento; se refiere a la laguna artificial formada previo al cierre de la boquilla con la construcción de una presa apoyada a los estribos, donde se almacena el agua que discurre para posteriormente ser aprovechada según lo proyectado.

2.3.6. Presa.

Según la ANA (2017), sostiene que es la barrera construida en la sección de la boquilla, con el fin de impedir el paso del agua.

2.3.7. Corona de la presa.

Teniendo en cuenta a la ANA (2017), se refiere a la parte alta del dique o presa, sin considerar la contraflecha que exigen algunas presas.

2.3.8. Pie de presa.

Empleando lo mencionado por la ANA (2017), se trata de la línea de intersección entre el cuerpo de la presa y el terreno donde esta estructura se ancla, que, se le conoce también como talón de la presa.



2.3.9. Base de la presa.

Dicho por la ANA (2017), es el área de contacto entre la presa construida y el terreno de cimentación.

2.3.10. Cimentación de presa.

Según la ANA (2017), se trata de la superficie natural rocosa debidamente limpiada y desbrozada, que está conformada por el fondo del valle y los estribos donde se apoyara toda la estructura de la presa.

2.3.11. Diques laterales.

Mencionado por la ANA (2017), en caso sea necesario, si el terreno donde se proyecta el embalse de la presa tiene desniveles que impidan su almacenamiento, se construirán estas obras teniendo como cota máxima la misma que la corona de la presa principal. En otras palabras, se trata de la construcción de diques secundarios o de confinamiento.

2.3.12. Avenida máxima probable (AMP).

afirma la ANA (2017), se trata de la más grande avenida o evento de precipitación que se supone que pueda ocurrir en una cuenca.

2.3.13. Avenida extrema.

De acuerdo con la ANA (2017), se refiere como a la avenida máxima para la que la presa ha sido diseñada.



2.3.14. Avenida de diseño.

Nos dice la ANA (2017), que es la máxima avenida a considerar al momento de diseñar la presa o cualquier estructura hidráulica.

2.3.15. Periodo de retorno.

Afirma la ANA (2017), que es el intervalo de años expresado en (5, 10, 20, hasta 10,000) años dentro de la cual se simula una avenida extrema.

2.3.16. Nivel de agua máximo ordinario (NAMO).

ANA (2017), menciona que es el nivel de aguas máximas operacional, se trata de la altura del agua llegando justo al nivel de las estructuras de aliviadero de demasías.

2.3.17. Nivel de agua máximo extraordinario (NAME).

De acuerdo con la ANA (2017), se trata del nivel máximo para la cual la presa ha sido diseñada, sin afectar su funcionamiento y teniendo a tope el funcionamiento de las estructuras de aliviaderos.

2.3.18. Nivel de agua mínimo (NAMI).

Empleando las palabras de la ANA (2017), es cuando la cota superior del agua se encuentra estancada en la presa generalmente en forma de sedimentos.

2.3.19. Nivel de agua mínimo de operación (NAMINO).

Según la ANA (2017), cuando la cota superior del agua se encuentra estancada en el fondo del vaso de la presa, sin poder ser expulsada por la estructura de toma, ya que se encuentre justo por debajo de ella.



2.3.20. Borde libre.

Según la ANA (2017), es la diferencia de cotas o altura que existe entre el NAMO y la corona de la presa.

2.3.21. Capacidad total del embalse.

En la publicación de la ANA (2017), señala que trata de la capacidad expresada en metros cúbicos (m^3) o millones de metros cúbicos (MMC), para la cual la presa ha sido diseñada.

2.3.22. Volumen útil.

Según la ANA (2017), se trata del volumen total que se pueda utilizar después del almacenamiento de la presa; esta se calcula restando al nivel máximo de aguas operacional, el nivel de agua mínimo de operación (NAMI – NAMINO).

2.3.23. Aliviadero de demasías.

De acuerdo con la ANA (2017), se trata de la estructura que comienza su nivel en el NAMO, muchas veces, hasta la altura de corona; su función es desviar las aguas de las avenidas extremas para proteger la estructura de la presa.

2.3.24. Estructura de control.

Según la ANA (2017), se trata de la válvula de control u otras estructuras pro donde se hace el aprovechamiento de las aguas almacenadas.

2.3.25. Presas de materiales sueltos.

Diaz (2016), sostiene que se trata de los diques construidos con materiales sueltos como tierra a veces acompañado de rocas sueltas; para su



impermeabilización, generalmente se hace empleo de materiales plásticos como la geomembrana, se utiliza como núcleo material arcilloso; este tipo de construcciones se realizan generalmente cuando la capacidad portante del suelo no es capaz de soportar una presa con menores espesor de cuerpo como las de concreto.

2.3.26. Flujo transitorio o no permanentes.

Según Gómez & Peralta (2021), se le conoce también como “flujo impermanente”, muestra cambios de flujo en sus parámetros hidráulicos durante el tiempo.

2.3.27. Flujo variado.

No dice Gómez & Peralta (2021), que un flujo es variado si se observa variaciones a lo largo del canal o por donde recorre el flujo, este tipo de flujo se hace útil para diseñar el flujo variado no permanente.

2.3.28. Falla o rotura de presa.

En afirmaciones de la ANA (2017), se refiere a las condiciones extremas a las que se les somete la presa y que esta llega a un límite de resistencia presentado roturas, deslizamientos, u otros eventos no deseados.

Se define así a la fractura parcial o colapso de una parte de la estructura del dique de la presa y que ya no es capaz de retener el agua; por lo general, estas son las más frecuentes o comunes:

- Rebase de la cortina.
- Sifonamiento.



- Agrietamiento.
- Deslizamiento del talud.
- Licuefacción.
- Perdidas por infiltración.

2.3.29. Número de courant.

En afirmaciones de Gómez & Peralta (2021), significa que el modelo es dependiente del punto en la diferencia explícita del modelo y que se debe incluir el dominio dependiente de la ecuación diferencial.

2.3.30. Modelado de rotura de presa.

Se trata de realizar con el apoyo de los métodos numerosos, el análisis de un evento de rotura de una presa; esto gracias al apoyo computacional, se podrá simular lo más real posible; teniendo en cuenta que todo modelado es netamente teórico.

2.3.31. Brecha.

Según Chalco (2018), ésta se trata de una abertura en el eje del dique, que podría tener diversas formas y características.

2.3.32. Modelo digital de terreno.

Se trata de procedimientos topográficos que, con el uso de herramientas adecuadas y Software capaz de procesarlos, se realiza su obtención; los normalmente llamados DEM por sus siglas en ingles Digital Elevation Model, cuya traducción al español, vendría a ser modelo de elevación digital.



Este documento en su base de datos es capaz de almacenar los parámetros del terreno, cuyos datos son los que hemos procesado en esta investigación, ya que nos brindó el medio por donde el fluido puede moverse.

2.3.33. Modelamiento unidimensional.

Se trata de la aplicación de los métodos numéricos ocupacionales de Saint Venant u otros en una sola dimensión, estas ecuaciones, nos ayudan a comprender el comportamiento de los fluidos en el espacio y tiempo, de manera sencilla y no resultan ser muy demorosas.

2.3.34. Modelamiento bidimensional.

Se trata del uso de las ecuaciones que, muchas veces son las mismas aplicadas en las unidimensionales, sin embargo, debido a su constante variación y comportamiento en el espacio y tiempo, requieren de procesos largos y complejos; su análisis a detalle sería casi imposible de calcularlos sin tomar mucho tiempo.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La zona de estudio, presenta topografía que varía desde la plana hasta la accidentada; su acceso desde la capital del distrito “Macusani”, es únicamente por trocha, siendo esta semi dentada (terreno irregular de difícil acceso), cuyo recorrido toma desde las 3 a 4 horas; el clima presenciado se describe como frío, semi seco; a su vez, Macusani está ubicado dentro de los cuadrángulos 29v y 29X; cuya formación geológica está conformada por los Grupos Ambo, Tarma y Copacabana; para definir la ubicación, se detalla de la siguiente manera:

Geopolíticamente está ubicado en:

Comunidad : Ninahuisa

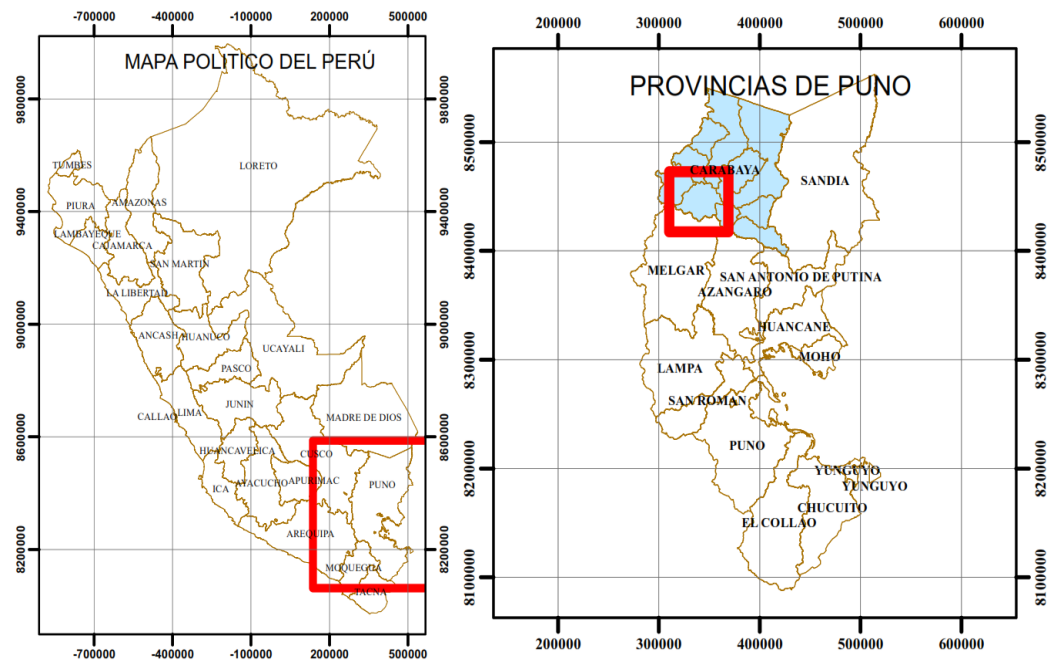
Distrito : Macusani

Provincia : Carabaya

Departamento : Puno

Figura 3

Ubicación geopolítica del distrito de Macusani



Nota: los mapas fueron elaborados en el software ArcGIS, bajo la aplicación de la data del INEI 2023.

Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas.

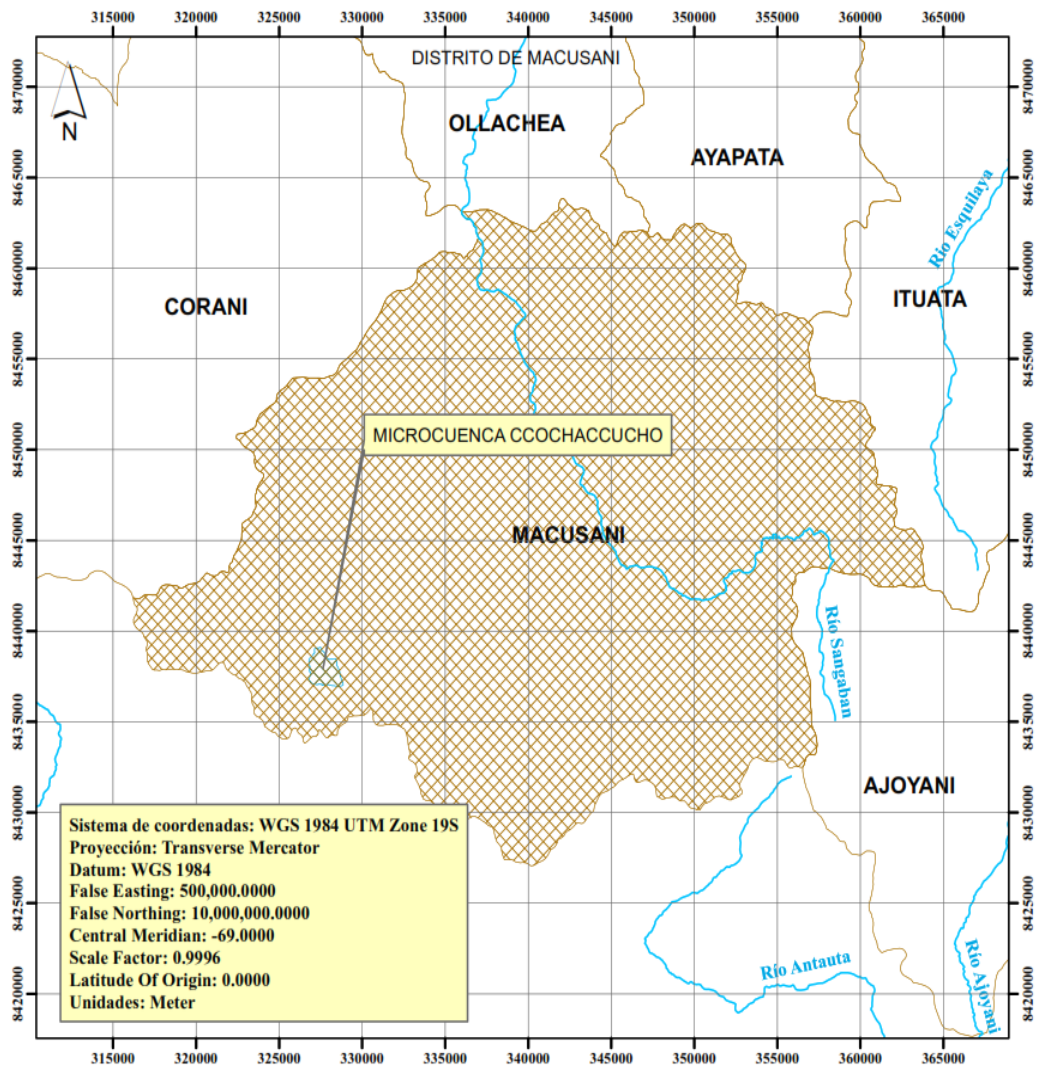
Este : 326981

Norte : 8437191

Cota : 4789

Figura 4

Ubicación geopolítica del distrito de Macusani



Nota: los mapas fueron elaborados en el software ArcGIS, bajo la aplicación de la data del INEI 2023

Hidrográficamente, su ubicación es como se detalla:

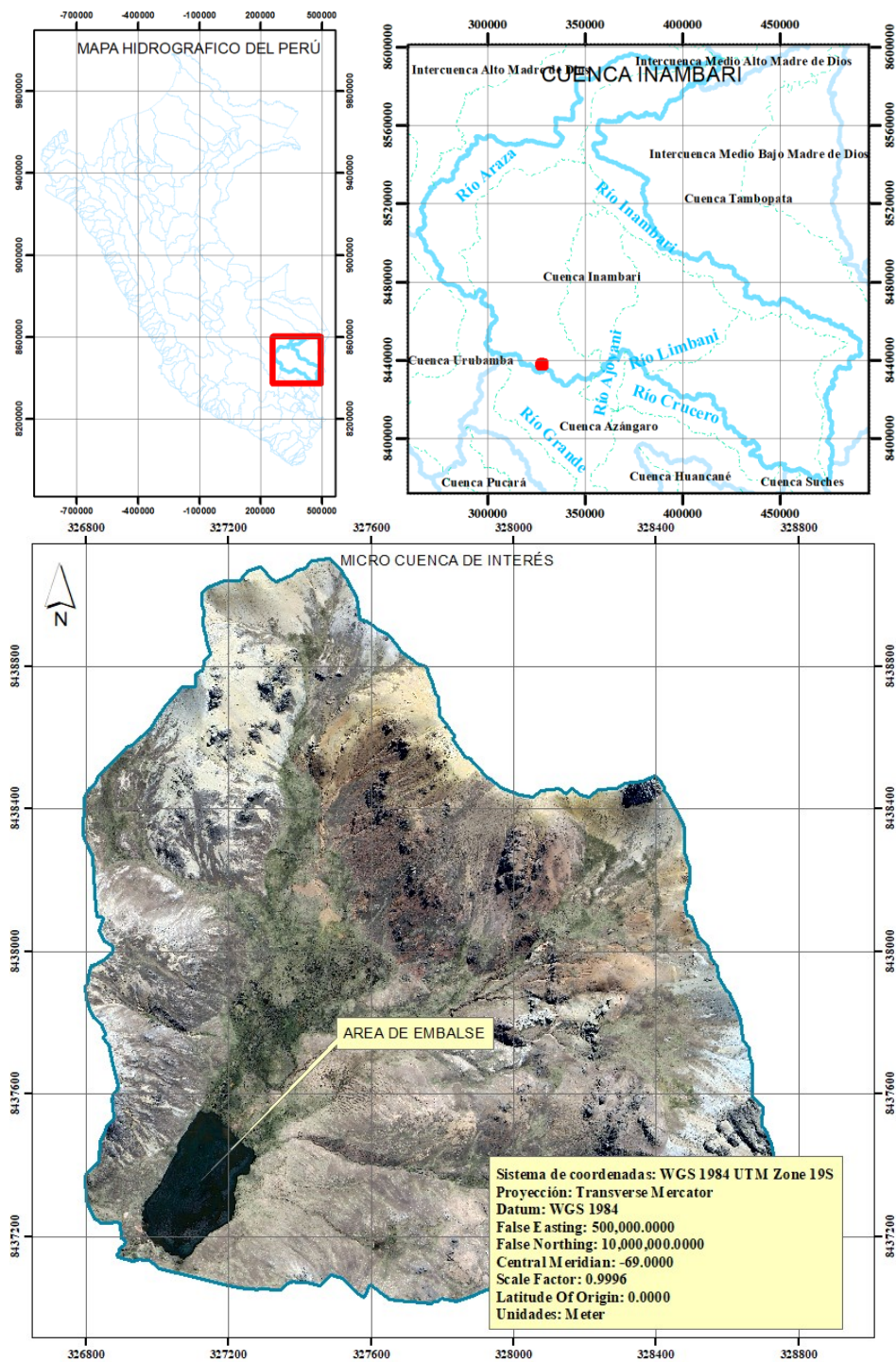
Región Hidrográfica : Puno

Cuenca : Inambari

Subcuencas : Macusani

Figura 5

Ubicación hidrográfica del dique Ccochaccucho – Ninahuisa



Nota: los mapas fueron elaborados en el software ArcGIS, basado en la data de la ANA.



3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo descriptivo, debido a que según Hernández & Mendoza (2018); la finalidad de este tipo de investigaciones es especificar las propiedades y características de los conceptos, fenómenos, variables o hechos en un contexto determinado.

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación se ha realizado bajo el diseño no experimental, debido a que según Hernández & Mendoza (2018); no se realizan manipulaciones con las variables y que, solo se observaran los fenómenos en su ambiente, entorno, zona de estudio para analizarlo.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

Teniendo en cuenta a Arias (2006), quien menciona que la población a considerar para la presente investigación debido a su comportamiento similar, su construcción en el tiempo y espacio, la técnica aplicada para su construcción, entre muchos factores que hacen que el comportamiento de estas sea similar; por lo tanto, son los 30 diques de tierra ejecutados por el gobierno local.

3.4.2. Muestra

La muestra para la presente investigación se tomó al dique de tierra Ccochaccucho, esto según Arias (2006), debido a que todos los diques de tierra contruidos tienen características similares.



3.5. MATERIALES

3.5.1. Equipos de campo

- GPS navegador marca Garmin, precisión 5m.
- Estación total marca Topcon, precisión 1" (un segundo de arco)

3.5.2. Recursos humanos

- 01 responsable de investigación (tesista)
- 02 ayudantes de campo

3.5.3. Software y equipos

En la presente investigación se ha hecho uso de los siguientes software y equipo de gabinete.

a) Software

- Alpine Quest (para celular Android)
- ArcGIS
- Global Mapper
- Google Earth Pro
- SAS Planet
- Civil 3D
- IBER
- Microsoft 365



b) Equipo de gabinete

- Laptop Dell M6800, Intel Core I7, RAM de 32 GB
- Impresora HP Laser jet CP1525
- Materiales de escritorio
- Expediente técnico denominado “mejoramiento y ampliación en la siembra y cosecha de agua en los sectores de Parina, Ccatacancha, Queracucho, Ninahuisa, Jacho Occo y Pacaje del distrito de Macusani - provincia de Carabaya – departamento de Puno”

3.6. METODOLOGÍA

3.6.1. Metodología para la características hidrológicas y geométricas del dique.

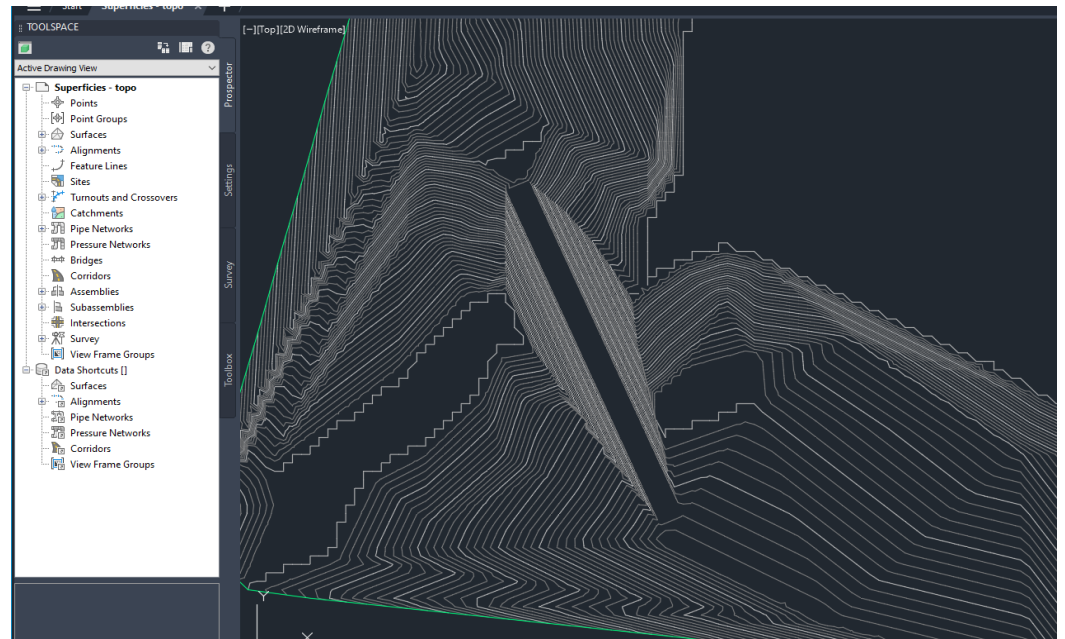
Para realizar la metodología para el objetivo específico 1, primero se procesaron los trabajos realizados en campo, luego, contrastando con la información obtenida del expediente técnico, se realizó el procedimiento en gabinete como la selección de resultados y el modelado de los datos.

3.6.1.1. Procesamiento de los datos en campo:

- Realizamos el procesamiento de los trabajos realizados en campo.
- Contrastamos la información resultante con los datos obtenidos en el expediente técnico para obtener la longitud del dique, ancho de la corona, material de construcción, cota de corona y cota de fondo
- Ingresamos estos datos al software Civil 3D, y comparamos los datos de campo con las existentes en el expediente técnico.

Figura 6

Dibujo del dique de tierra en el Software Civil 3D.



- Con los datos obtenidos, llenamos la **Tabla 3**.

Tabla 3

Tabla de llenado de características hidrológicas y geométricas del dique

| N | DESCRIPCIÓN | VALOR | UND |
|---|--------------------------|-------|-----|
| 1 | Talud | | |
| 2 | Ancho de corona | | |
| 3 | Material de la presa | | |
| 4 | Longitud del dique | | |
| 5 | Cota de dique | | |
| 6 | Cota de fondo de embalse | | |
| 7 | Capacidad | | |

El procedimiento para completar las características se basa en la información procesada en gabinete.

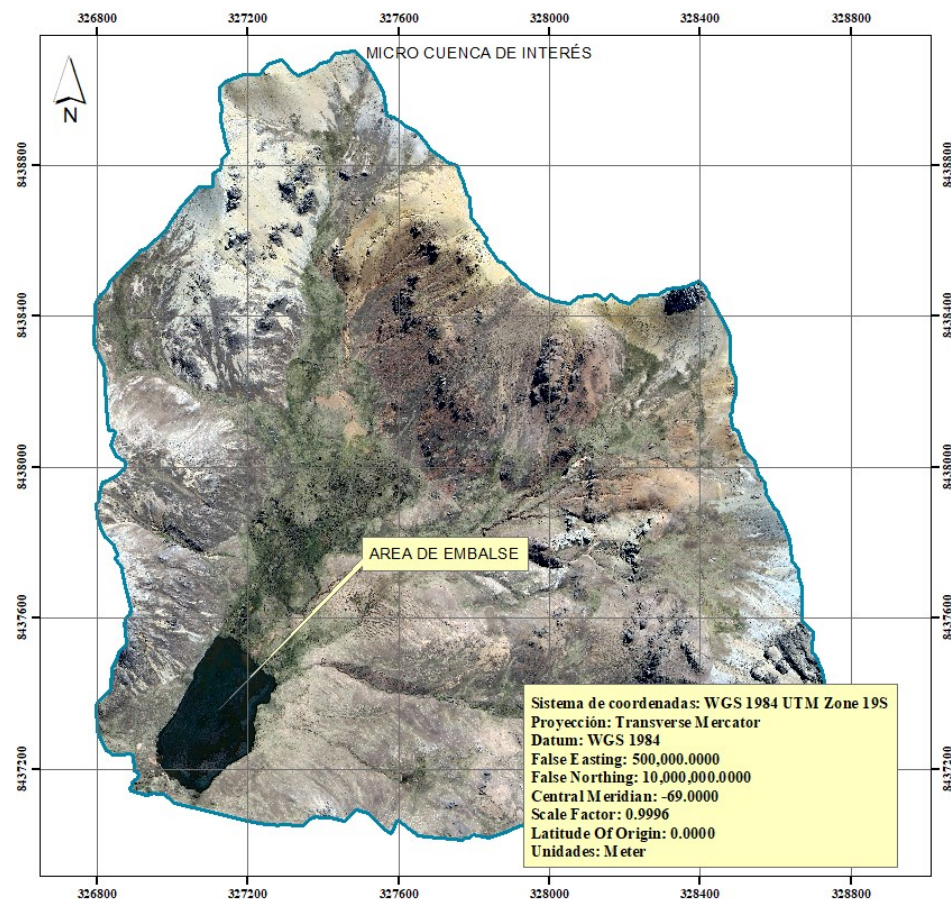
3.6.1.2. Procesamiento de los datos en gabinete:

Con el software Google Earth.

- Apoyándonos de las imágenes satelitales y la revisión del expediente técnico, se obtuvo los datos propuestos por el proyectista; a partir de estos datos, se logró identificar el área de interés, con el fin de evaluar su comportamiento.

Figura 7

Identificación del área de interés para la simulación de los caudales.



Información del expediente técnico.

- Posterior a la contrastación con la información recolectada en campo y el expediente técnico, utilizamos los valores de precipitación

propuestas en el documento mencionado, donde se realizó el análisis hidrológico; por lo tanto, en esta investigación se tomaron los valores presentados por el proyectista, para una duración de 1 hora, para diferentes periodos de retorno.

Tabla 4

Tabla de precipitación para diferentes duraciones de tiempo y periodos de retorno

| Duración D | Tr 5 años | Tr 10 años | Tr 20 años | Tr 50 años |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 10 | 471.06 | 608.59 | 786.27 | 1103.15 |
| 20 | 280.09 | 361.87 | 467.52 | 655.94 |
| 30 | 206.65 | 266.98 | 344.93 | 483.94 |
| 40 | 166.54 | 215.17 | 277.99 | 390.02 |
| 50 | 140.88 | 182.01 | 235.15 | 329.92 |
| 60 | 122.87 | 158.75 | 205.10 | 287.75 |
| 70 | 109.46 | 141.42 | 182.70 | 256.34 |
| 80 | 99.03 | 127.94 | 165.29 | 231.91 |
| 90 | 90.66 | 117.12 | 151.32 | 212.30 |
| 100 | 83.77 | 108.22 | 139.82 | 196.17 |
| 110 | 77.99 | 100.76 | 130.18 | 182.64 |
| 120 | 73.06 | 94.39 | 121.95 | 171.10 |

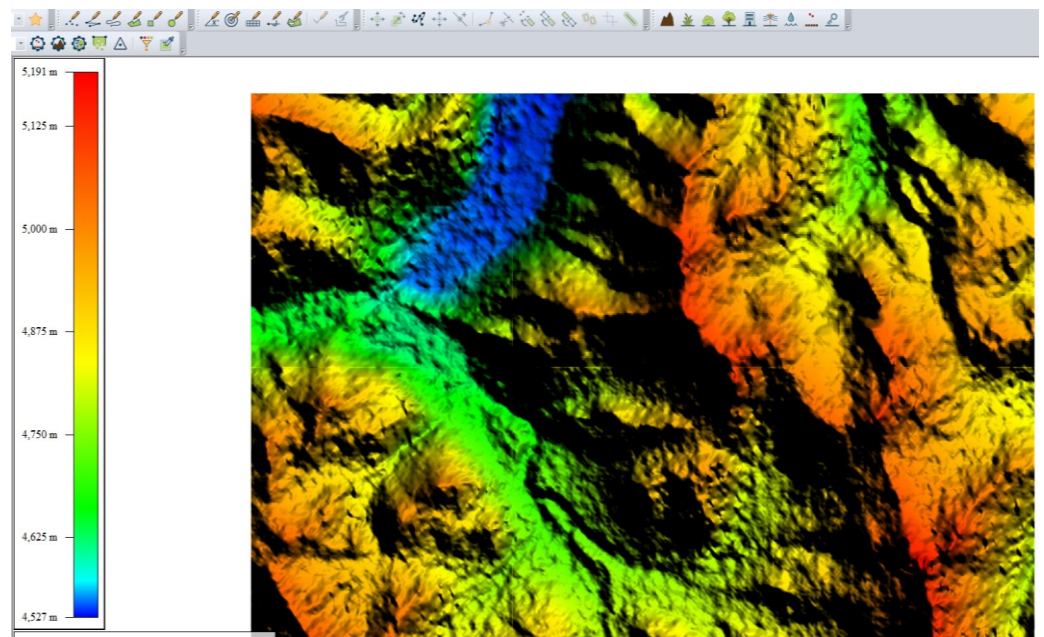
Fuente: expediente técnico.

Con el software Global Mapper.

- Las imágenes descargadas de alta resolución, los procesamos en el software “Global Mapper” debido a que este, es amigable respecto al procesamiento de imágenes satelitales; a la vez, podemos corroborar fácilmente la correcta georeferenciación de los mapas, combinarlas en un solo archivo y exportarlas en un solo DEM.

Figura 8

Procesamiento del DEM, en el software Global Mapper



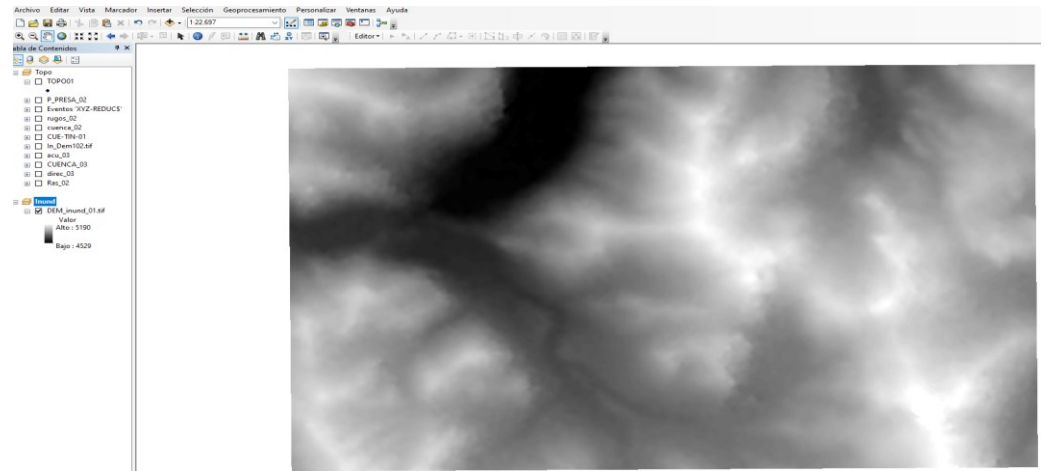
Nota: se muestra la superficie de la microcuenca y el área de inundación.

Con el software ArcGIS.

- Importamos el archivo previamente trabajado en Global Mapper, para procesarlo en el ArcGIS.
- Luego rellenaremos las imperfecciones del modelo digital de elevaciones con la herramienta “relleno”

Figura 9

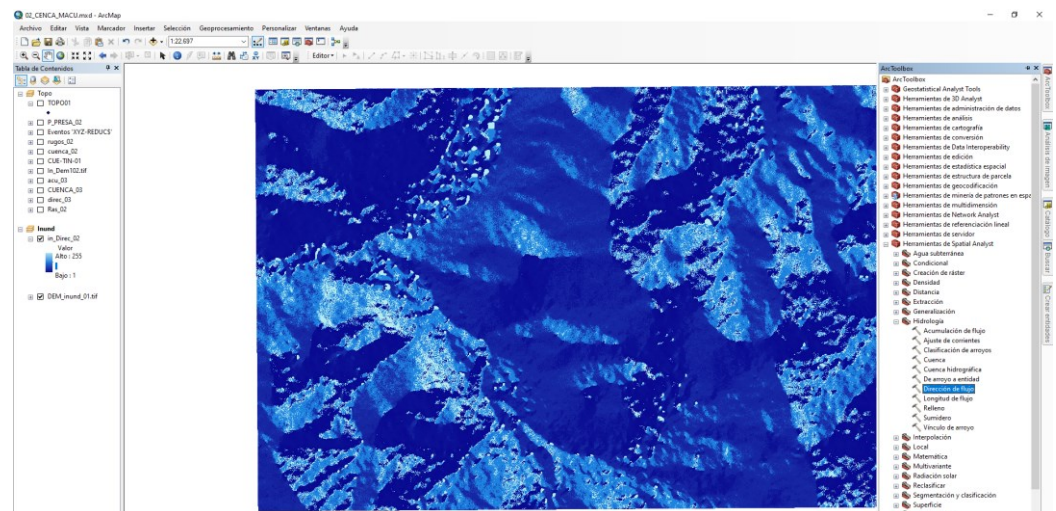
Procesamiento del DEM en el Software ArcGIS



- con la herramienta “dirección de flujo”, realizamos lo propio para determinar hacia donde fluye cada gota de agua que pudiera caer sobre cada píxel o área de la superficie

Figura 10

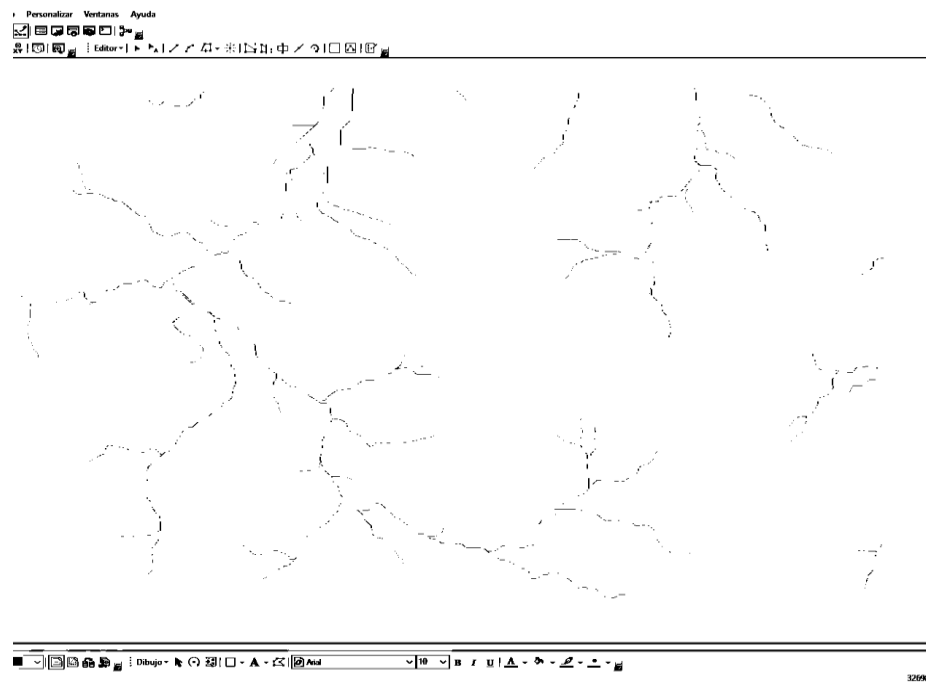
Generación del mapa de dirección de flujo



- Con la herramienta “acumulación de flujo”, obtenemos las líneas de flujo del agua delimitado por todas las celdas que fluyen hacia las celdas vecinas con pendiente descendente.

Figura 11

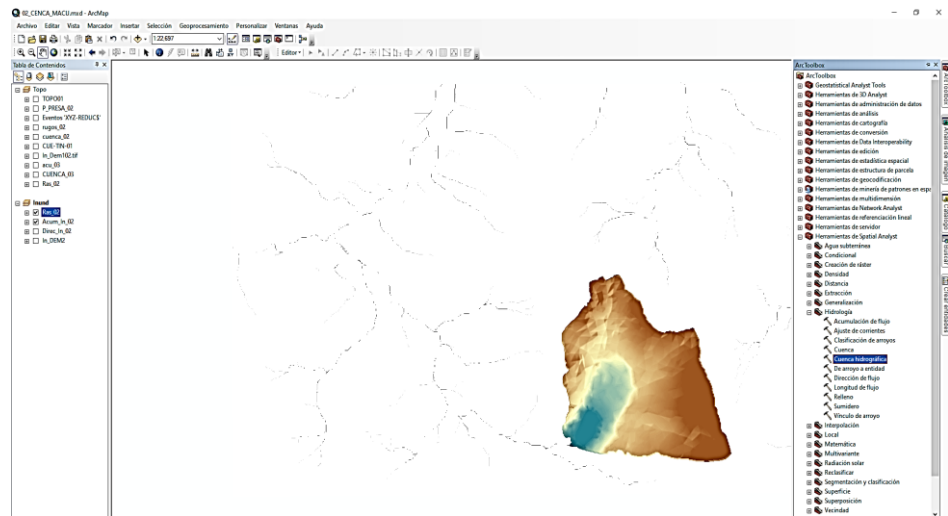
Generación del mapa de acumulación de flujo



- Luego, delimitamos el área de la microcuenca de interés, y a partir de ello, realizaremos el corte del DEM.

Figura 12

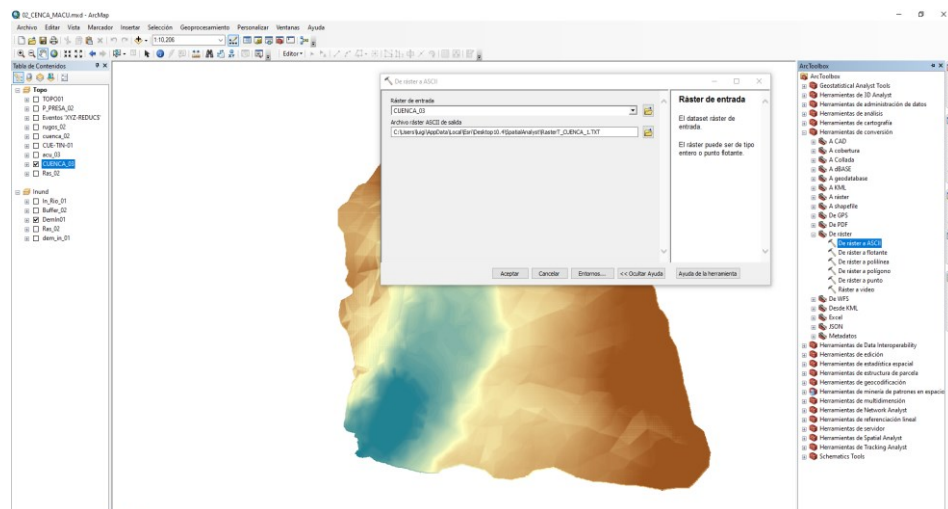
Mapa de delimitación de la microcuenca



- Luego, exportaremos la superficie de la microcuenca en formato ASCII

Figura 13

Exportación de las superficies en formato ASCII



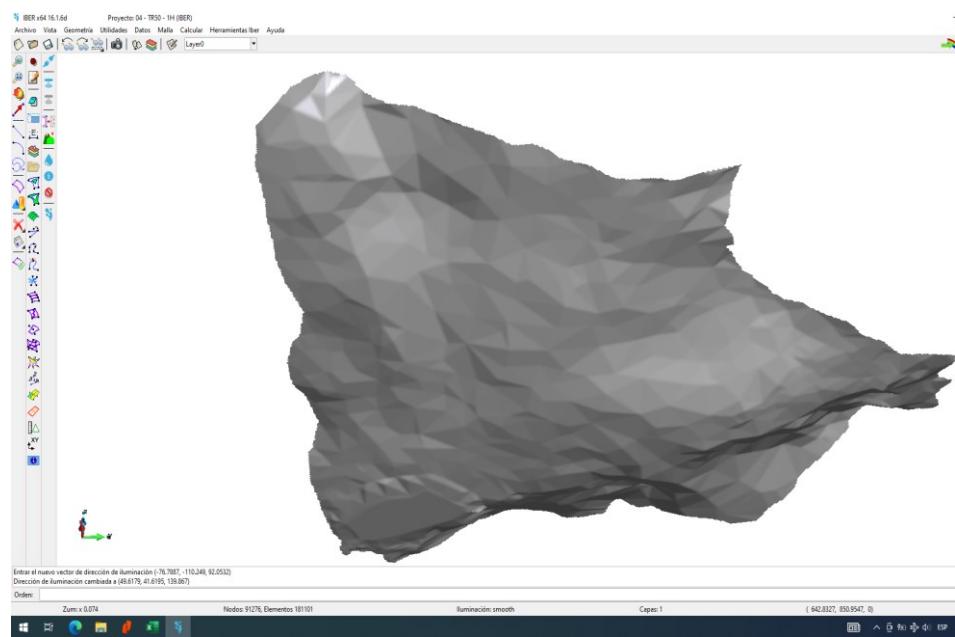
Con el software IBER

Realizamos el modelamiento en el software IBER para determinar la cantidad de agua que pasa por el punto de interés en cada periodo de retorno determinado.

- Insertamos la superficie ASCII previamente trabajado en el ArcGIS.

Figura 14

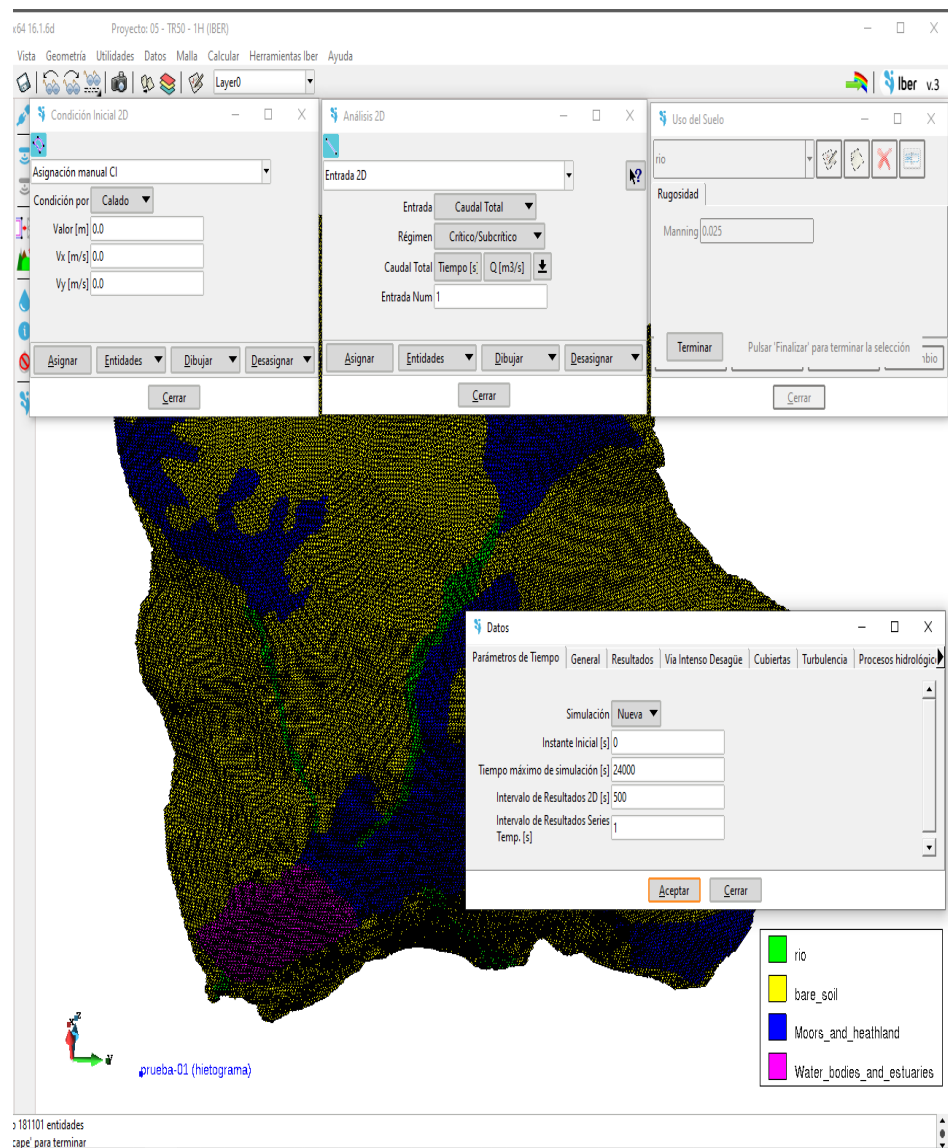
Importación de superficie al software IBER



- Luego, ingresaremos los valores obtenidos en la **Tabla 4** y definir los valores de uso de suelos en base a la información obtenida en campo, como se muestra en la **Figura 15**.

Figura 15

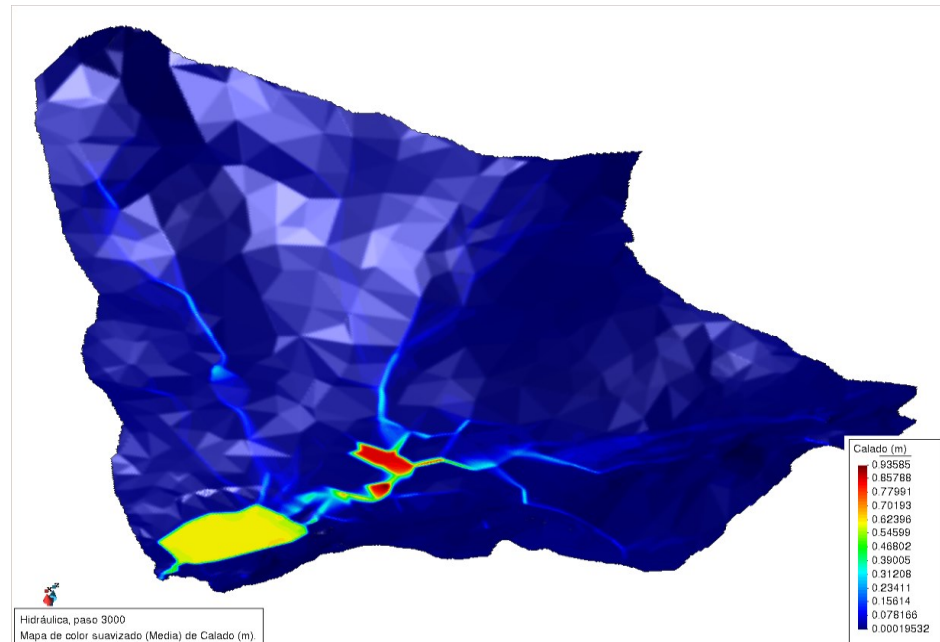
Inserción de datos al software para su procesamiento



- Luego, podremos obtener los resultados en el visor.

Figura 16

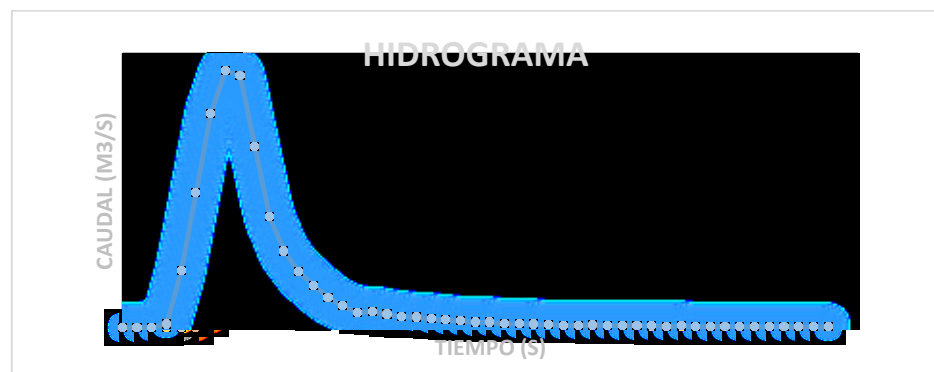
Resultados del modelamiento de precipitaciones para 60 minutos para diferentes periodos de retorno



- Para graficar el comportamiento del caudal que pasa por el eje del dique, creamos una línea que representa el eje del dique y a partir de ello, obtener los valores, así como se muestra en la **Figura 17**.

Figura 17

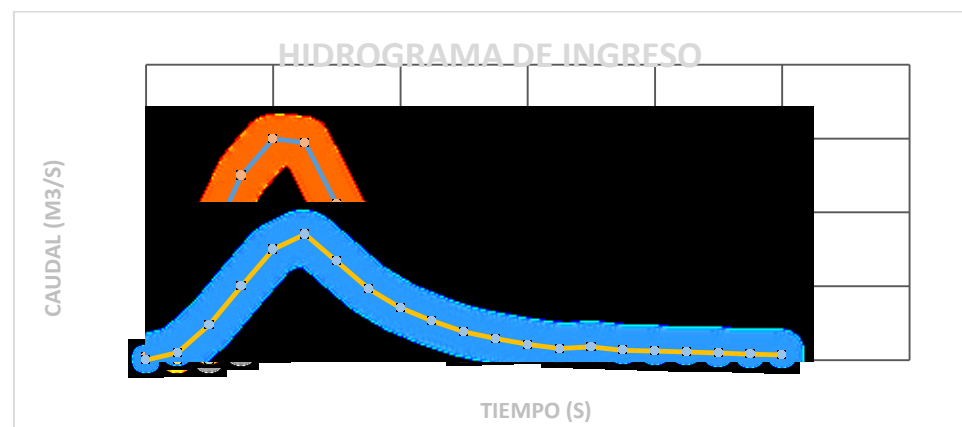
Hidrograma de caudal obtenido medido en el punto de construcción del dique



En la **Figura 17**, notemos al iniciar el modelamiento se tiene importantes diferencias de caudales y luego, son caudales mínimos; por lo tanto, para evaluar el comportamiento del dique y ahorrar recursos computacionales, se toma los caudales representativos; Obteniendo así, la **Figura 18**.

Figura 18

Determinación del hidrograma de ingreso para la rotura del dique.



Y finalmente interpretaremos los resultados, estos serán los atributos hidrológicos del dique de tierra Ccochaccucho.

3.6.2. Metodología para evaluar el riesgo de rotura de dique

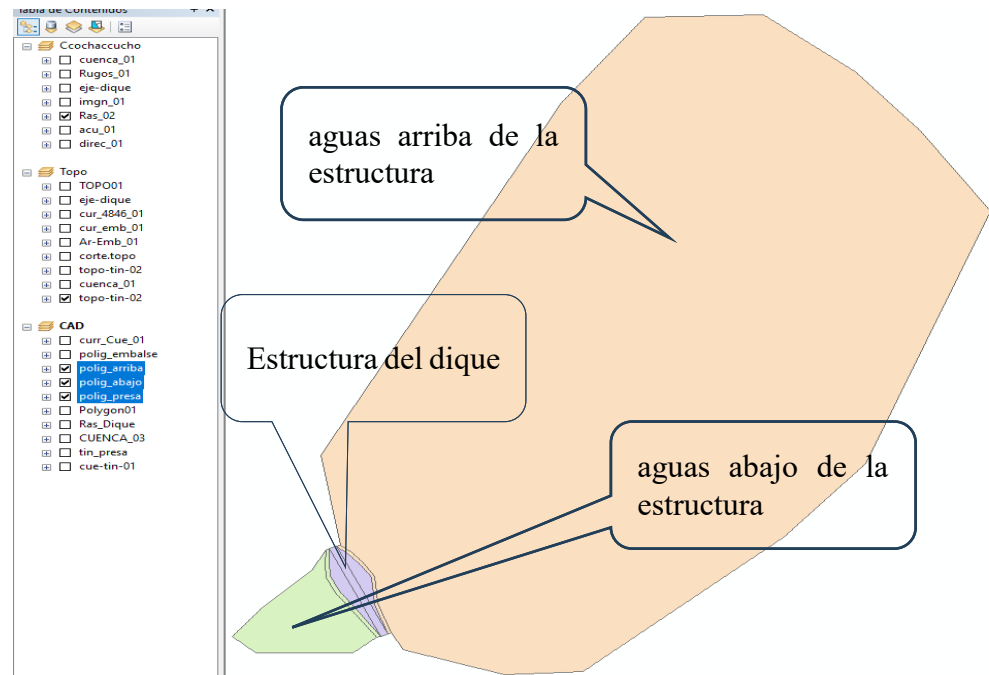
Para el objetivo específico 2, comenzamos dividiendo el trabajo en 2 partes definidas por el modelamiento de la rotura del dique y por la evaluación del riesgo de rotura.

3.6.2.1. Modelamiento de la rotura del dique.

- Los datos procesados en CAD generaron polígonos para delimitar componentes en IBER, como aguas arriba, corona del dique, cuerpo de los taludes del dique arriba y abajo, y aguas abajo. Estos polígonos, moldeables en IBER, se exportaron a ArcGIS en formato "shp" para su procesamiento; delimitamos los polígonos de modo que dos de ellos están formados por un extremo de la corona del dique, proyectando el área por encima de la cota del terreno hasta empalmar con el otro lado de la corona y formar un polígono, mientras que el otro se proyecta hacia aguas abajo. Tres polígonos adicionales se formaron por los taludes aguas arriba y aguas abajo del dique, y la plataforma de la corona del dique, como se muestra en la **Figura 19**.

Figura 19

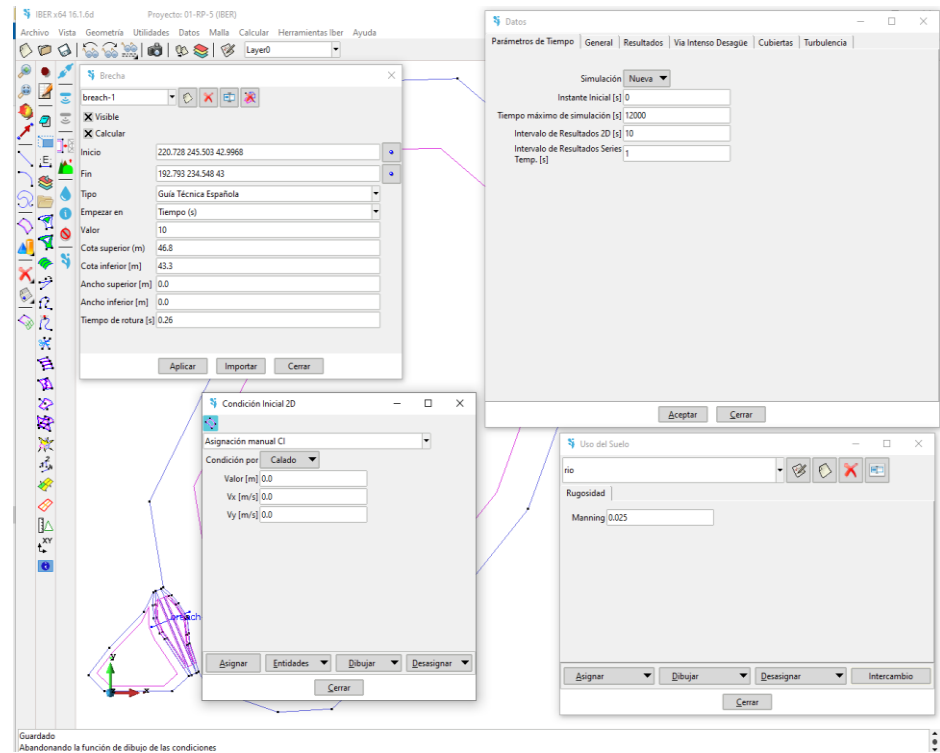
Figuras poligonales proyectadas en el ArcGIS



- Luego insertamos los archivos “SHP” al IBER.
- Introducimos datos topográficos en formato de malla, definir las condiciones hidrodinámicas, valores de uso de suelo y las condiciones de la brecha, como se muestra en la **Figura 20**.

Figura 20

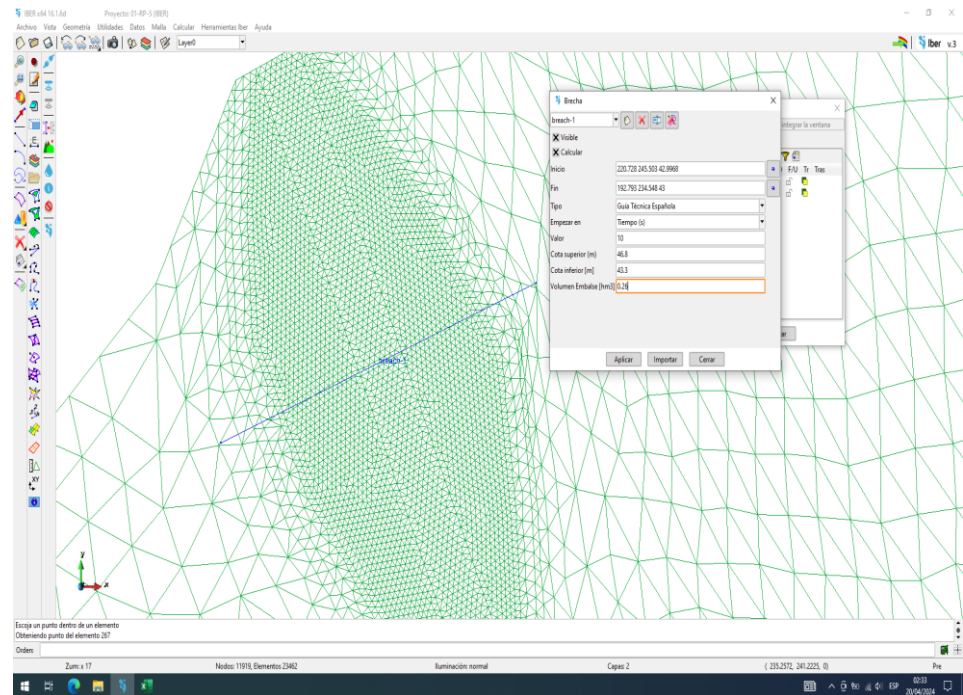
Inserción de datos en el Software IBER



- Luego definiremos los parámetros de la brecha ver **Figura 21**.

Figura 21

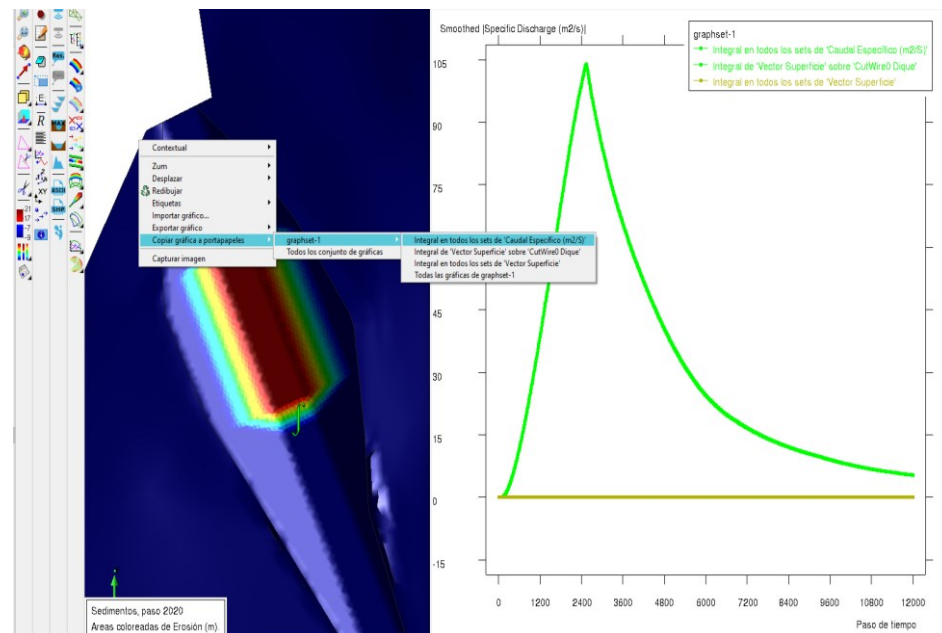
Inserción de los datos del dique de tierra al software IBER



- Para que el programa comience a procesar deberemos hacer clic en el botón “calcular” del software, y esperamos a que termine el procesamiento; esto puede tomar mucho tiempo dependiendo a la magnitud del modelamiento y los recursos de la computadora.
- Terminado el proceso, tendremos habilitada el menú de acceso a la ventana de postproceso, donde podremos generar gráficos para el tiempo de rotura, forma de la brecha y los caudales de salida; los cuales deberemos extraer, interpretar y guardar.

Figura 22

Vista de los resultados en el punto de rotura del dique.



- Luego, para garantizar el resultado realizaremos las comparativas con las fórmulas existentes en la sección Ecuaciones para estimar la formación de una brecha.

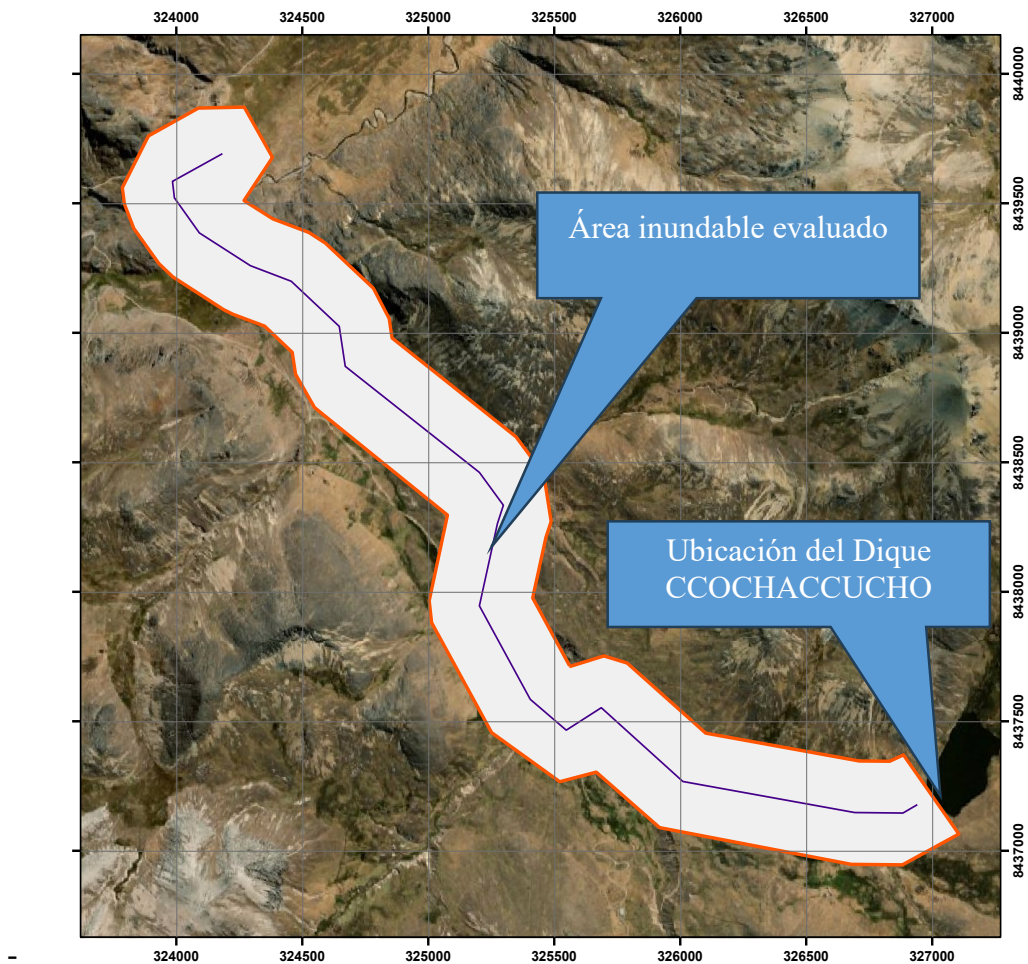
3.6.2.2. Evaluación del riesgo de rotura.

Para determinar el riesgo, realizaremos el modelado del área de inundación, para lo cual se realiza los siguientes pasos.

- Primero, con la ayuda del Software GOOGLE EARTH PRO, nos ubicamos en el área de interés que va desde el punto de la presa Ccochacuccho, hasta aguas abajo delimitado en la Figura 23.

Figura 23

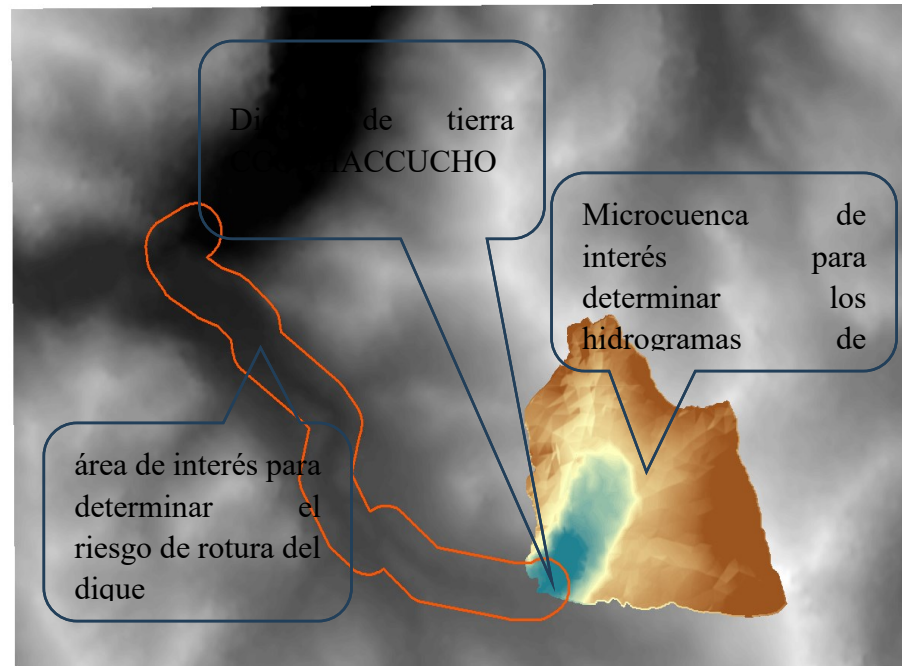
Área de interés tomada para modelar el área inundable después de la rotura



- Insertamos el DEM previamente procesado para recortar con el apoyo del área inundable.

Figura 24

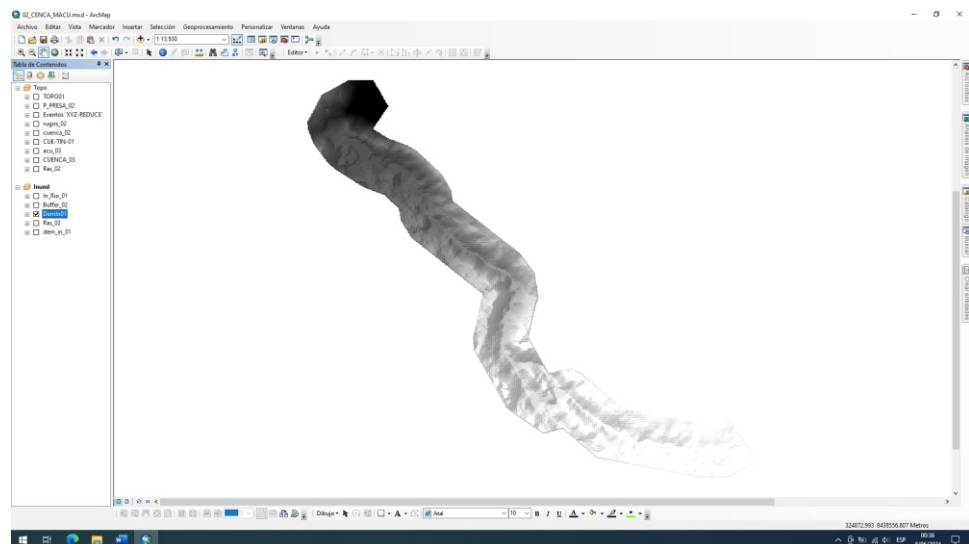
Delimitación del área de interés para el modelamiento de la inundación



- Recortamos la superficie a utilizar.

Figura 25

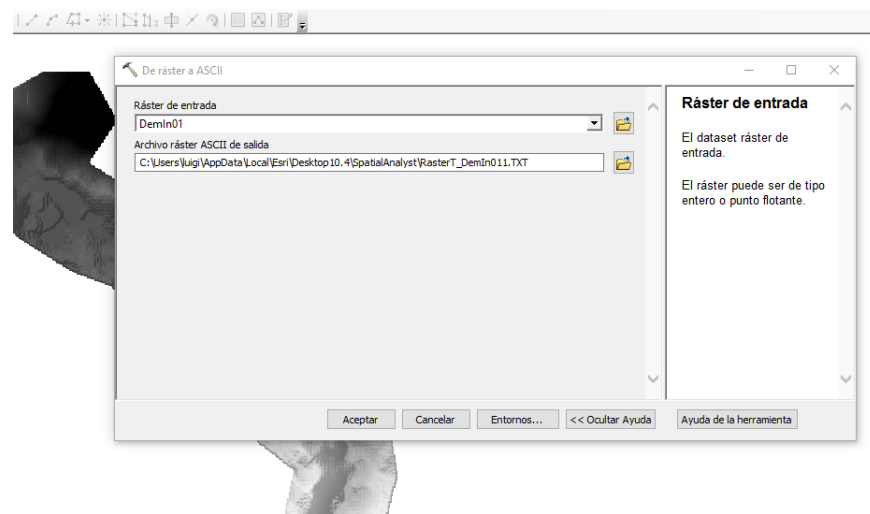
Recorte de las superficies delimitadas por el área de interés



- exportamos toda la superficie en formato ASCII, esto debido a que el software IBER reconoce solamente este formato como superficie.

Figura 26

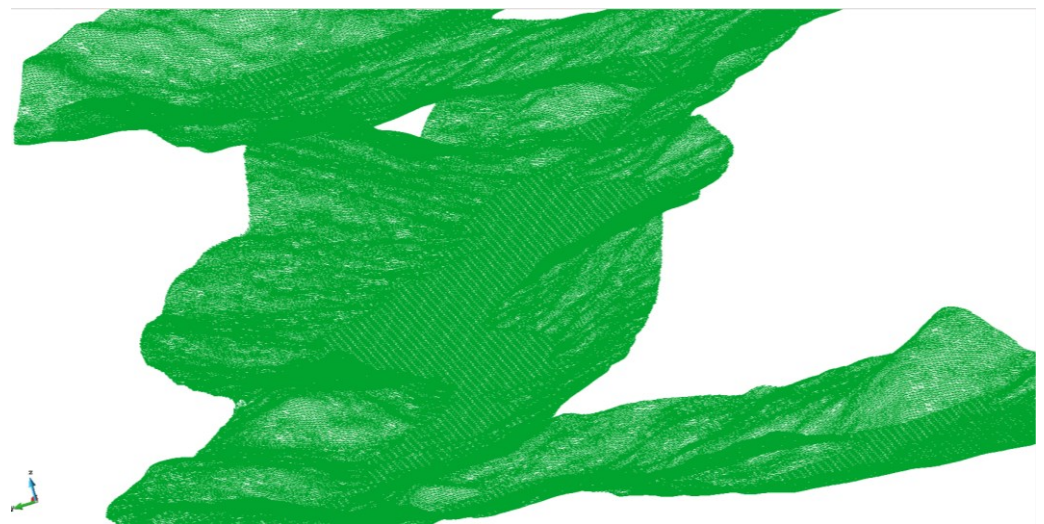
Exportación de las superficies en formato ASCII



- Importamos el área de inundación a evaluar en el software IBER.

Figura 27

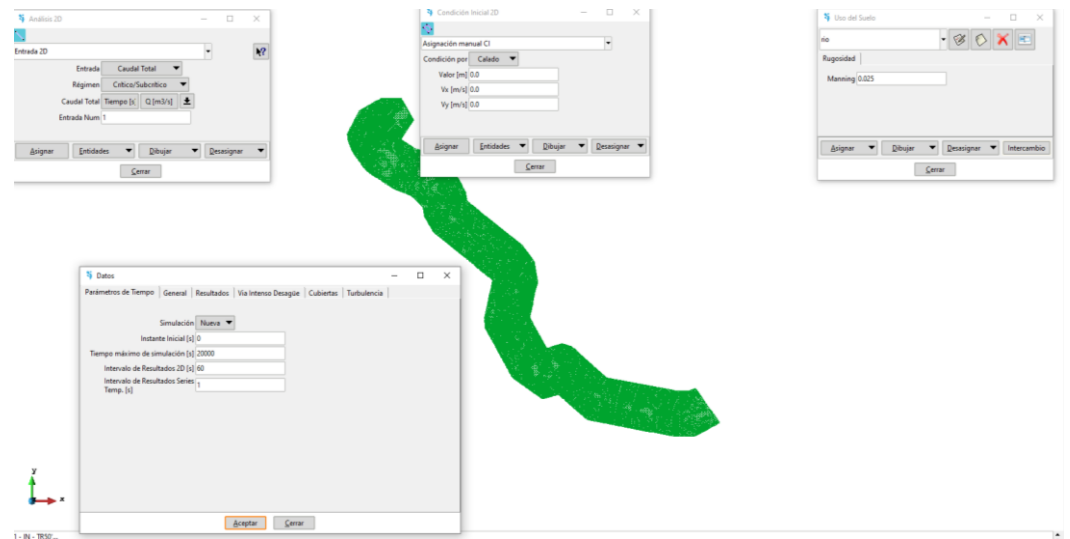
Importación de la superficie al IBER



- Asignamos los valores al modelo y luego le damos en calcular.

Figura 28

Insertamos los parámetros del área inundable a evaluar



- Y por último obtendremos el mapa de riesgo ante una potencial rotura del dique de tierra Ccochaccucho el cual, deberemos analizar utilizando la **Tabla 1** del reglamento publicado por la ANA (2019).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS HIDROLOGICAS Y GEOMETRICAS DEL DIQUE.

Según lo observado en la ejecución de los trabajos de campo, contrastando con la información contenida en el expediente técnico; se obtuvo el siguiente cuadro de características del dique, los mismos que son necesarios para su inserción en el software IBER.

Tabla 5

Características del dique en estudio

| N | DESCRIPCIÓN | VALOR | UND |
|---|--------------------------|--------|-----------------|
| 1 | Talud | 2 | m |
| 2 | Ancho de corona | 4 | m |
| 3 | Material de la presa | tierra | |
| 4 | Longitud de dique | 65 | m |
| 5 | Cota de dique | 4846.8 | msnm |
| 6 | Cota de fondo de embalse | 4843 | msnm |
| 7 | Capacidad | 0.26 | Hm ³ |

Comparando estos resultados con los obtenidos en estudios previos, se observa que Chalco (2018) reportó un talud de 2.5 m, un ancho de corona de 5 m, y una longitud de dique de 70 m. La cota del dique y la cota de fondo de embalse fueron de 4850 msnm y 4845 msnm respectivamente, con una capacidad de 0.30 Hm³.

Por otro lado, Gómez & Peralta (2021), reportaron un talud de 3 m, un ancho de corona de 6 m, y una longitud de dique de 75 m. La cota del dique y la cota de fondo de embalse fueron de 4855 msnm y 4850 msnm respectivamente, con una capacidad de 0.35 Hm³.

De tal modo que, la **Tabla 6** resulta de la comparativa entre las tres investigaciones.

Tabla 6

Tabla de comparación de características geométricas

| Aspecto | Esta investigación | Chalco (2018) | Gómez & Peralta (2021) |
|--------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| Talud | 2 m | 2.5 m | 3 m |
| Ancho de corona | 4 m | 5 m | 6 m |
| Material de la presa | Tierra | Tierra | Tierra |
| Longitud de dique | 65 m | 70 m | 75 m |
| Cota de dique | 4846.8 msnm | 4850 msnm | 4855 msnm |
| Cota de fondo de embalse | 4843 msnm | 4845 msnm | 4850 msnm |
| Capacidad | 0.26 Hm ³ | 0.30 Hm ³ | 0.35 Hm ³ |

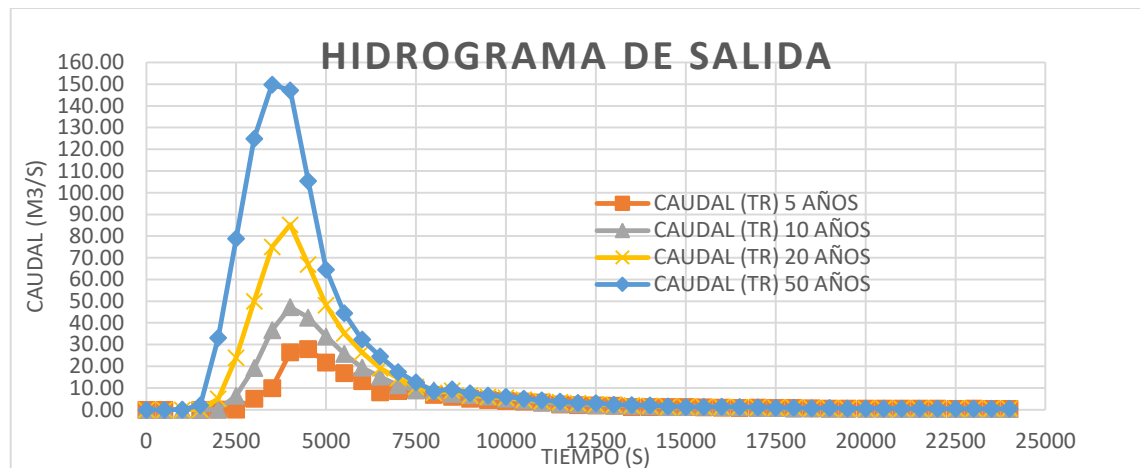
Así mismo, se realizó el modelado de precipitación en el software IBER, con el fin de obtener el caudal que fluye por el eje del dique, esto nos permitió conocer las características hidrológicas del dique de tierra.

Del procedimiento de la modelación hidrológica, bajo la aplicación de las precipitaciones para diferentes periodos de retorno obtenemos la **Figura 29** y la

Tabla 7.

Figura 29

Hidrograma de caudal en el punto de interés de la cuenca.



Del cual, analizando visualmente las curvas, notamos que el crecimiento del caudal comienza en el tiempo 1,500.00 segundos; y este culmina en el tiempo 11,500.00 segundos, por lo que, se trabajó en base a los tiempos mencionados.

Figura 30

Hidrograma de ingreso para el modelamiento de rotura del dique.

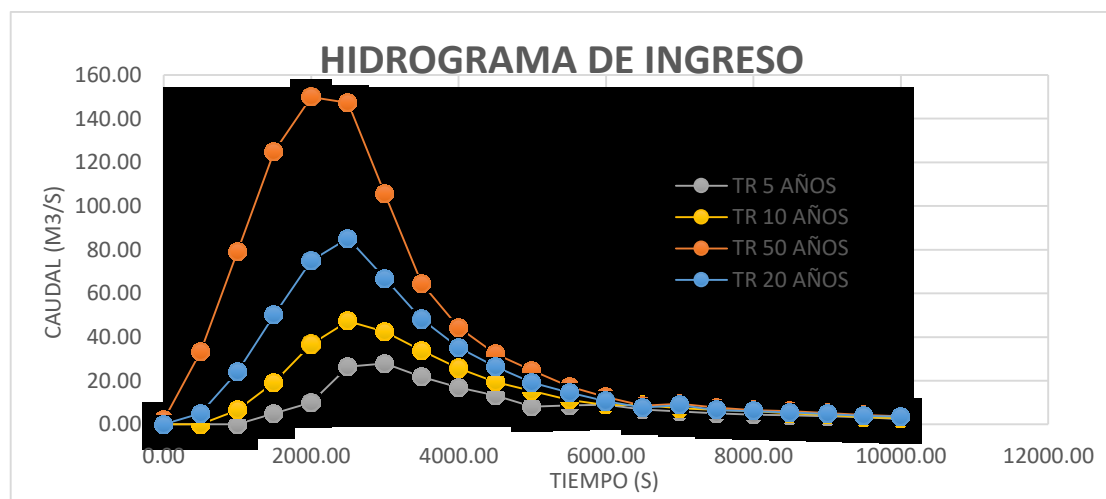


Tabla 7*Datos del hidrograma de ingreso para el modelamiento del dique.*

| TIEMPO | TR 5 AÑOS | TR 10 AÑOS | TR 20 AÑOS | TR 50 AÑOS |
|----------|-----------|------------|------------|------------|
| 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 2.01 |
| 500.00 | 0.03 | 0.05 | 5.05 | 33.19 |
| 1000.00 | 0.09 | 6.45 | 24.03 | 78.88 |
| 1500.00 | 5.10 | 19.28 | 49.98 | 124.95 |
| 2000.00 | 10.02 | 36.72 | 75.00 | 149.87 |
| 2500.00 | 26.45 | 47.25 | 85.24 | 147.17 |
| 3000.00 | 27.97 | 42.46 | 66.89 | 105.50 |
| 3500.00 | 21.74 | 33.75 | 48.12 | 64.56 |
| 4000.00 | 16.88 | 25.78 | 35.27 | 44.51 |
| 4500.00 | 13.24 | 19.38 | 26.49 | 32.33 |
| 5000.00 | 8.12 | 15.26 | 19.15 | 24.64 |
| 5500.00 | 8.66 | 11.28 | 14.53 | 17.42 |
| 6000.00 | 9.08 | 8.92 | 10.60 | 12.58 |
| 6500.00 | 6.84 | 8.90 | 7.72 | 8.55 |
| 7000.00 | 5.99 | 7.36 | 8.80 | 9.45 |
| 7500.00 | 5.08 | 6.67 | 6.58 | 7.69 |
| 8000.00 | 4.51 | 6.12 | 6.04 | 6.52 |
| 8500.00 | 4.11 | 5.07 | 5.48 | 6.02 |
| 9000.00 | 3.77 | 4.39 | 4.72 | 5.17 |
| 9500.00 | 3.29 | 3.33 | 3.92 | 4.36 |
| 10000.00 | 2.42 | 2.80 | 3.53 | 3.77 |

Comparando estos resultados con los obtenidos en estudios previos, se observa que:

Chalco (2018) presenta caudales más moderados en comparación con esta investigación. Por ejemplo, para el periodo de retorno de 50 años, el caudal máximo en el estudio de Chalco es de aproximadamente 120 m³/s, mientras que la mía es de 149.87 m³/s.

A su vez, Gómez & Peralta (2021) también muestran caudales más bajos en comparación esta investigación. Por ejemplo, para el periodo de retorno de 20 años, el caudal máximo en el estudio de Gómez y Peralta es de aproximadamente 70 m³/s, mientras que en la mía es de 85.24 m³/s.

Esto indica que el dique Ccochaccucho, presenta mayor riesgo de rotura en comparación con los de otros autores.

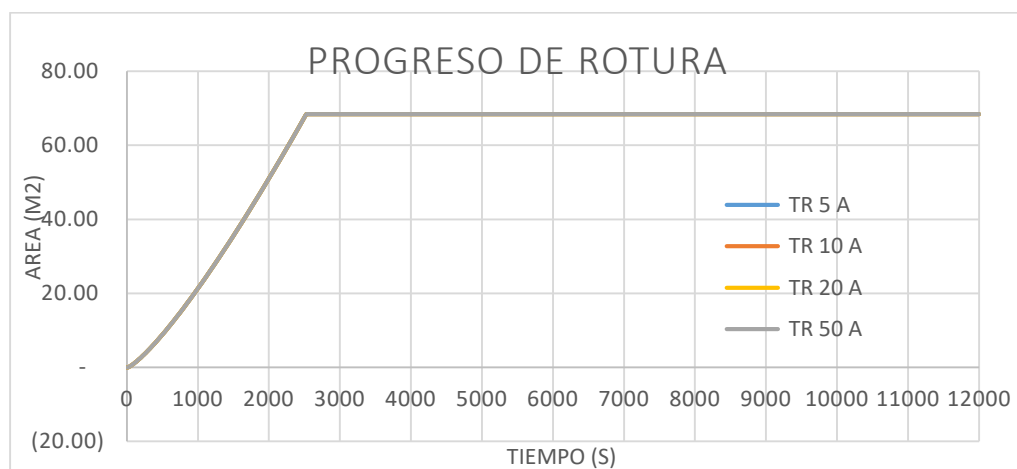
4.2. EVALUACION DEL RIESGO DE ROTURA DEL DIQUE.

Para evaluar el riesgo de rotura de presa del dique de tierra Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – Puno mediante el software: IBER, se ha simulado la rotura del dique, y obteniendo el caudal que fluye por la brecha, el modelamiento se realiza para cuatro escenarios diferentes, representados por cada periodo de retorno 5 años, 10 años, 20 años y 50 años respectivamente; las condiciones del dique al inicio de la simulación es un dique lleno, de tal modo que podremos evaluar qué sucedería con el dique en condiciones extremas de avenidas, para cada escenario evaluado, y que caudal sería el que se debe evaluar aguas abajo previo al inicio de la rotura de esta estructura.

4.2.1. Progreso de la rotura respecto al tiempo.

Figura 31

Gráfico de líneas, progreso de rotura respecto al tiempo.



El análisis de los datos de rotura de diques muestra que el comportamiento y los valores de la rotura son consistentes en cada escenario evaluado. El proceso

de rotura comienza en $t = 10$ segundos y finaliza en $t = 2530$ segundos, lo que nos da un tiempo total de rotura de 2520 segundos. Al convertir este tiempo a minutos, obtenemos un total de 42 minutos.

Este tiempo total de rotura es crucial para entender la dinámica del evento y planificar medidas de mitigación y respuesta. La consistencia en los valores de rotura a través de diferentes escenarios también sugiere que los modelos utilizados son robustos y confiables.

Tabla 8

Resultados de tiempos de rotura según las formulas

| | FORMULA | RESULTAD O (H) | RESULTAD O (MIN) |
|-------------------|------------------------------|-------------------|---------------------|
| FROELINCH 2008 | $t = 5.62Vw^{0.5} * hb^{-1}$ | 0.82 | 48.95 |
| DGOHCA | $T = 4.8V^{0.5} * H^{-1}$ | 0.70 | 41.96 |

Notemos que, aplicando la fórmula de D. C. Froehlich (2008), Proporciona un tiempo de rotura mayor (48.95 minutos) en comparación con mi investigación. Esto se relaciona con lo descrito por Altarejo (2023), quien menciona que Froehlich tiende a proporcionar tiempos mayores.

Por otro lado, aplicando la fórmula de la DGOHCA (1996): Proporciona un tiempo de rotura similar (41.96 minutos) al de esta investigación, lo que sugiere que esta fórmula es más cercana a los resultados observados en el estudio.

En el estudio de Chalco (2018), los tiempos de rotura varían dependiendo de las características geométricas y las condiciones hidrológicas de cada dique. Por ejemplo, uno de los diques evaluados tiene un tiempo de rotura de aproximadamente 2400 segundos (40 minutos).

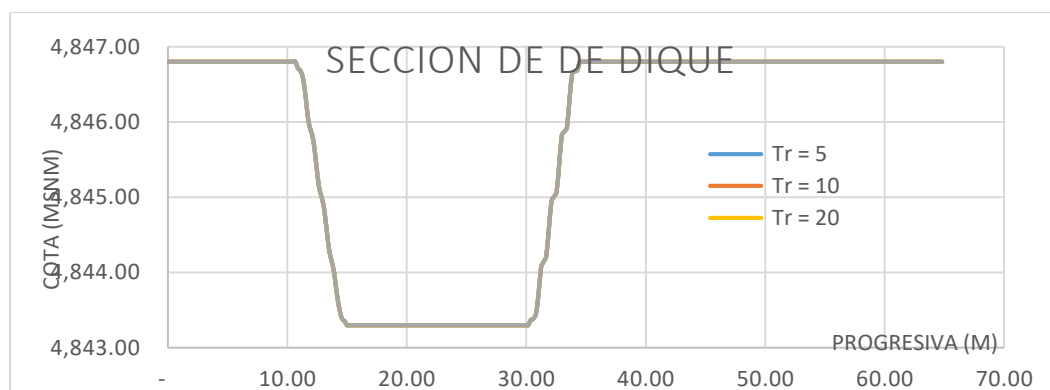
Por otro lado, en el estudio de Gómez & Peralta (2021), los tiempos de rotura también varían, pero generalmente son más cortos en comparación con esta investigación. Un dique evaluado tiene un tiempo de rotura de aproximadamente 2300 segundos (38.33 minutos).

En resumen, al comparar los resultados de las fórmulas de Froehlich y la DGOHCA con los tiempos de rotura observados en esta investigación, se puede concluir que la fórmula de la DGOHCA proporciona un tiempo de rotura más cercano a los resultados reales, mientras que la fórmula de Froehlich tiende a sobreestimar el tiempo de rotura.

4.2.2. Forma de la rotura del dique.

Figura 32

forma final de la rotura del dique, para todos los TR.



Al culminar el evento de la brecha o rotura, la sección resultante tiene igual valor para cada escenario evaluado. La brecha comienza en la base superior en la progresiva 10.69 y culmina en la progresiva 34.50, con una longitud de base mayor de 23.81 m. La sección de la base menor se dibuja por las progresivas 15.01 hasta 30.16, con una longitud menor de 15.15 m. La longitud media de la rotura

es de 19.48 m, con una diferencia de elevaciones de 3.5 m, resultando en un área de sección de 68.18 m².

Tabla 9

Características del dique en estudio

| | FORMULA | RESULTADO (M) |
|----------------|----------------------------------------|------------------|
| FROELINCH 2008 | $b = 22.46k_0 V_w^{0.32} * h_b^{0.04}$ | 15.34 |
| DGOHCA | $b = 20V^{0.25} * H^{0.25}$ | 19.53 |

La fórmula de D. C. Froehlich (2008), Proporciona un ancho de rotura menor (15.34 m) en comparación con esta investigación, lo que sugiere que esta fórmula tiende a subestimar el ancho de rotura.

En cambio, la fórmula de la DGOHCA (1996), Proporciona un ancho de rotura similar (19.53 m) al de esta investigación, lo que sugiere que esta fórmula es más cercana a los resultados observados en tu estudio.

Chalco (2018), proporciona un ancho de rotura de aproximadamente 18.5 m, lo que es ligeramente menor en comparación con esta investigación.

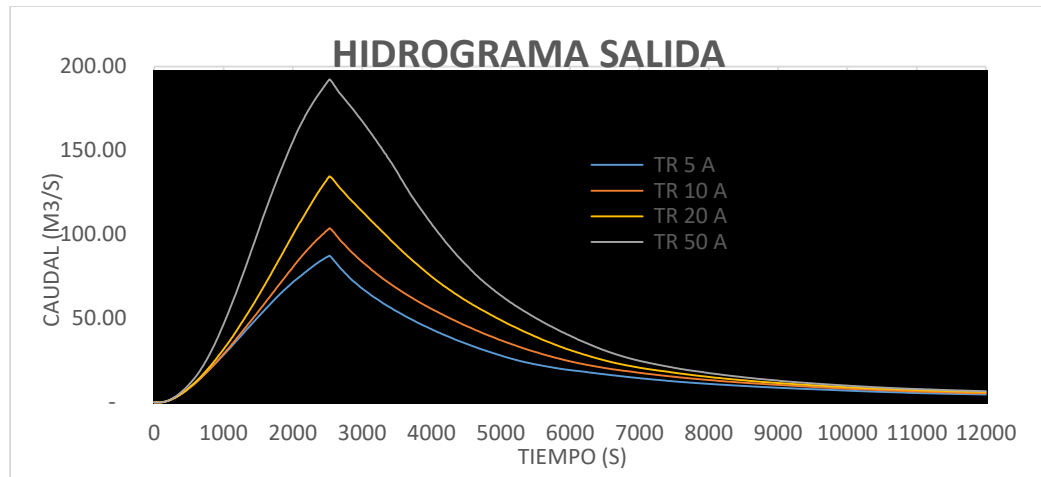
A comparación de Gómez & Peralta (2021), que proporciona un ancho de rotura de aproximadamente 17.2 m, lo que es menor en comparación con esta investigación.

En resumen, al comparar los resultados de las fórmulas de Froehlich y la DGOHCA con los anchos de rotura observados en esta investigación, se puede concluir que la fórmula de la DGOHCA proporciona un ancho de rotura más cercano a los resultados reales, mientras que la fórmula de Froehlich tiende a subestimar el ancho de rotura.

4.2.3. Hidrograma de salida.

Figura 33

Hidrograma de salida por la brecha para todos los TR.



El comportamiento del caudal de salida es similar para todos los escenarios evaluados, con picos en el tiempo 2530 segundos. Los caudales máximos para cada periodo de retorno son; TR 5 años = 83.18 m³/s, TR 10 años = 103.74 m³/s, TR 20 años = 134.61 m³/s y TR 50 años = 192.31 m³/s

Tabla 10

Características del dique en estudio

| | FORMULA | RESULT (M) |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------|
| FROELINCH 1955 | $Q_p = 0.607(V_w^{0.295} * h_w^{1.24})$ | 113.57 |
| SINGH Y SNORASSON | $Q_p = 13.4(h_d)^{1.89}$ | 143.02 |
| MacDonald & Langridge-Monopolis (1984) | $Q_p = 3.85(V_w * h_w)^{0.411}$ | 1083.00 |

Utilizando la fórmula de D. C. Froehlich (2008), El caudal máximo durante la rotura es de 113.57 m³/s, lo que es menor en comparación con los resultados de esta investigación.



En cambio, si utilizamos la fórmula de Singh & Snorrason (1984), El caudal máximo durante la rotura es de 143.02 m³/s, lo que es intermedio en comparación con los resultados de esta investigación.

Pero, al aplicar la fórmula de MacDonald & Langridge-Monopolis (1984), El caudal máximo durante la rotura es de 1083.00 m³/s, lo que es significativamente mayor en comparación con los resultados de esta investigación.

De acuerdo con Chalco (2018), los caudales máximos durante la rotura varían dependiendo de las características geométricas y las condiciones hidrológicas de cada dique. Por ejemplo, uno de los diques evaluados tiene un caudal máximo de aproximadamente 120 m³/s para un periodo de retorno de 50 años.

Por otro lado, en el estudio de Harvey et al. (2003), los caudales máximos durante la rotura también varían, pero generalmente son más bajos en comparación con esta investigación. Un dique evaluado tiene un caudal máximo de aproximadamente 110 m³/s para un periodo de retorno de 50 años.

En resumen, al comparar los resultados de las fórmulas de Froehlich, Singh y Snorrason, y MacDonald & Langridge-Monopolis (1984) con los caudales máximos observados en esta investigación, se puede concluir que la fórmula de Singh y Snorrason proporciona un caudal máximo más cercano a los resultados reales, mientras que la fórmula de Froehlich tiende a subestimar y la fórmula de MacDonald & Langridge-Monopolis (1984) tiende a sobreestimar el caudal máximo durante la rotura.

4.2.4. Clasificación del riesgo.

Para determinar el riesgo de rotura, se realizó el modelamiento del área de inundación utilizando los datos obtenidos del modelado de la rotura del dique. Posteriormente, se clasificó el riesgo según la categoría correspondiente, utilizando la guía del libro de la ANA (2017).

Tabla 11

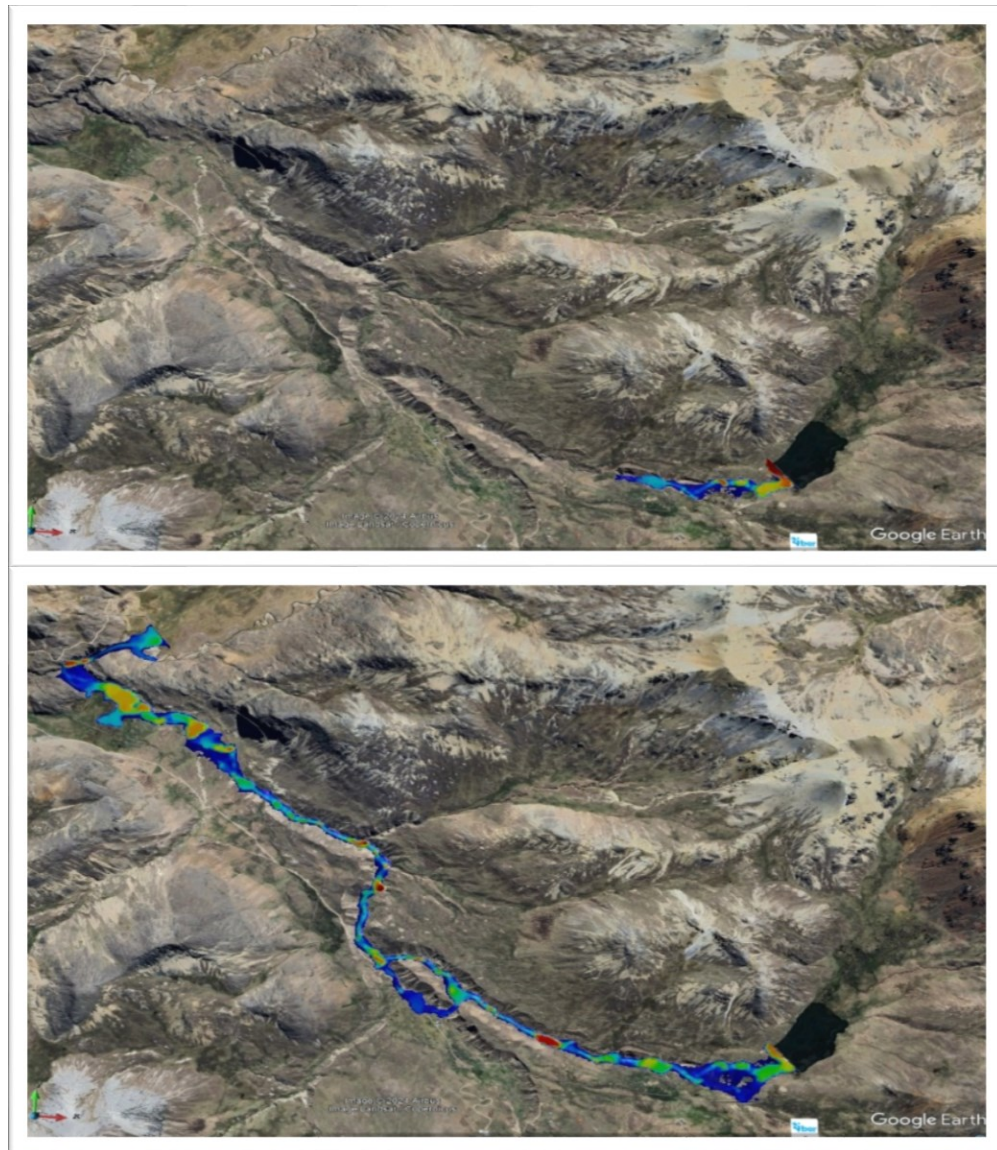
Tabla para determinar la clasificación de una presa o dique en función al riesgo potencial

| Categ | Descripción | Altura (m) | Vol (hm ³) | Consecuencias Potenciales | Uso Principal | Clasif |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| A (Alto) | Pérdida de vidas humanas, daños significativos a la propiedad y al medio ambiente | > 45 | > 10 | Pérdida de vidas humanas, daños graves | Abastecimiento de agua, riego, generación de energía, control de inundaciones | A (Alto) |
| B (Moderado) | Daños materiales importantes, daños moderados al medio ambiente | 15 - 45 | 1 - 10 | Daños materiales importantes, daños moderados | Abastecimiento de agua, riego, generación de energía, control de inundaciones | B (Moderado) |
| C (Bajo) | Daños materiales menores, daños ambientales limitados | < 15 | < 1 | Daños materiales menores, daños ambientales menores | Almacenamiento de agua | C (Bajo) |

Fuente: (ANA, 2019).

Figura 34

Imagen de inundación de aguas abajo luego de una potencial rotura del dique.



La **Figura 34** mostró el área de inundación resultante de una potencial rotura del dique de tierra Ccochaccucho, que se extendió desde el eje del dique hasta el área proyectada aguas abajo del dique; este análisis es crucial, ya que permite identificar las zonas que podrían verse afectadas y planificar medidas de mitigación adecuadas; Según Chalco (2018), el modelamiento y la simulación de



crecidas son herramientas esenciales para estimar los riesgos asociados a la rotura de los diques.

Según la ANA (2019), Para delimitar el riesgo potencial de los incidentes que pudieran surgir de la rotura de las presas, se clasificaron en Categorías de Riesgo A, B y C, las cuales se determinaron según el grado de atención que se debía tomar ante la rotura de las estructuras. Esta clasificación es fundamental para priorizar las acciones de emergencia y los recursos necesarios para la respuesta y recuperación. Gómez & Peralta (2021) también destacan la importancia de una clasificación precisa del riesgo para la gestión efectiva de desastres y la protección de las comunidades; la ANA (2019) establece que la clasificación en estas categorías permite una mejor planificación y asignación de recursos para la gestión de riesgos y la implementación de medidas preventivas.

De la **Figura 34**, se concluyó que el área afectada ante una potencial rotura del dique ocasionaría daños materiales y/o medioambientales menores. Por lo tanto, el riesgo que representaba la potencial rotura de la estructura evaluada se clasificó en la **Categoría de Riesgo C**. Esta clasificación implica que, aunque los daños podrían ser menores, es esencial mantener un monitoreo constante y realizar evaluaciones periódicas para asegurar la integridad del dique y la seguridad de las áreas circundantes. La ANA (2019) subraya que incluso las estructuras clasificadas en la Categoría de Riesgo C deben ser objeto de revisiones regulares para prevenir cualquier deterioro que pudiera aumentar el riesgo.

4.3. DISCUSIÓN.

Para determinar la prueba de hipótesis, se discute los resultados en función a investigaciones similares realizadas similares a mi investigación,

Determinando las características técnicas y evaluando el riesgo de rotura del dique de Ccochaccucho en la comunidad de Ninahuisa, Macusani – Carabaya – Puno, nos permitirá conocer el nivel riesgo de rotura realizando con los modelamientos 2d con el software IBER.

En su investigación, Chalco (2018) utilizó modelos como Iber y Hec Ras para simular el flujo no permanente y estimar los riesgos asociados a la falla de una o dos represas en diferentes escenarios. Los resultados mostraron que los caudales máximos obtenidos variaban entre $100 \text{ m}^3/\text{s}$ y $150 \text{ m}^3/\text{s}$, dependiendo del escenario simulado.

Comparando estos resultados con los obtenidos en mi investigación, se observa que los caudales máximos durante la rotura del dique de tierra Ccochaccucho son ligeramente menores, con valores de $83.18 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 5 años y $192.31 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 50 años. Esta diferencia puede atribuirse a las características específicas del dique y la cuenca estudiada, así como a las condiciones hidrológicas y geométricas particulares de cada caso.

Gómez & Peralta (2021), utilizaron el software Iber para simular la rotura de la presa y evaluar el comportamiento hidráulico. Los resultados mostraron que los tiempos de rotura variaban entre 30 y 45 minutos, dependiendo del escenario simulado.

En comparación, los resultados de mi investigación muestran que el tiempo total de rotura del dique de tierra Ccochaccucho es de 42 minutos, lo cual es consistente con los valores reportados por Gómez y Peralta. Esto sugiere que los tiempos de rotura



obtenidos en ambos estudios son comparables y refuerza la validez de los resultados obtenidos en mi investigación.

Guarniz (2014) en el análisis de rotura en presas de materiales sueltos obtiene que el ancho de la brecha resultante después de la rotura variaba entre 15 m y 20 m, dependiendo del modelo utilizado y las condiciones específicas del escenario simulado.

En mi investigación, el ancho medio de la rotura del dique de tierra Ccochaccucho es de 19.48 m, lo cual es consistente con los valores reportados por Guarniz. Esto sugiere que los resultados obtenidos en mi estudio son comparables a los de Guarniz y refuerza la validez de los modelos utilizados.

Los hallazgos de este estudio tienen importantes implicaciones para la gestión de riesgos y la seguridad de presas en la región. La clasificación del riesgo en la Categoría C en base al documento de la ANA (2019) sugiere que, aunque los daños materiales y medioambientales serían menores, es crucial implementar medidas de mitigación y monitoreo continuo para prevenir incidentes mayores. Además, los resultados obtenidos pueden servir como referencia para futuras investigaciones y estudios de caso en otras regiones con características similares.



V. CONCLUSIONES

- El dique de tierra Ccochaccucho, tiene un ancho de corona de 4m, talud 2 su composición es de material compactado, protegido con roca; tiene capacidad de embalse de 0.26 hm^3 , y se realizaron los modelamientos para 4 escenarios representados por 4 periodos de tiempo, teniendo como resultados el caudal máximo que pasa por la sección del área de la rotura TR 5 años $83.18 \text{ m}^3/\text{s}$; TR 10 años $103.74 \text{ m}^3/\text{s}$; TR 20 años $134.61 \text{ m}^3/\text{s}$ y para TR 50 años $192.31 \text{ m}^3/\text{s}$.
- El tiempo en el que se produciría la rotura para todos los escenarios desde que su inicio hasta su forma final tomaría el valor de 2520 segundos; que, expresado en minutos, el valor es de 42 minutos cuya la forma de la rotura es trapezoidal de área 19.48 m^2 ; el riesgo que produce la rotura se clasifica como CATEGORIA DE RIESGO C debido a que los daños ocasionados serán materiales y/o medio ambientales menores.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la comunidad científica investigadora, realizar estudios adicionales de este tipo de investigaciones aplicando métodos distintos debido a que el comportamiento de embalses menores es distinto a los de embalses de gran capacidad.
- Se recomienda a la municipalidad de Carabaya, realice los estudios y modelamientos de inundaciones aguas abajo con los datos obtenidos en esta investigación; al mismo tiempo, que se debe realizar la evaluación de rotura para cada dique construido.
- Para evitar la erosión de los diques de tierra, se recomienda que estas construcciones sean protegidas con Geomembranas o materiales similares.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, W. (2006). *Análisis técnico-económico comparativo entre dique construido en material granular compactado y dique en gaviones en el embalse del (P.H. Cariblanco)*. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
- Altarejo, L. (2023). *Consideraciones sobre la estimación de hidrogramas de rotura de presas* (Universitat d'Alacan).
- ANA. (2017). Normas y reglamentos de seguridad de presas en el Perú. *AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA*.
- ANA. (2019). *Reglamento de seguridad de presas públicas de embalse de agua*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12543/3902>
- Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación, Introducción a la metodología científica* (Editorial Episteme, Ed.; 6a ed.).
https://drive.google.com/file/d/0B0GG8H7NoaXTcFZrQVhQRTZBRF9JYWR2VnF2azB4cEs3Nzc0/view?resourcekey=0-cZgWuRm_CDyn_pHmyFsMgw
- Arroyo, M., & Gens, A. (2022). *La rotura de la presa de relaves de Brumadinho: la montaña de cristal*. <https://www.researchgate.net/publication/360901513>
- Atencio, E., Alfaro, R., & Mamani, W. (2022). Sostenibilidad de la cosecha de agua pluvial como alternativa de abrevadero para ganado en zona rural del distrito de Ilave - Perú. *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, 1(Vol. 4, Num. 1), 57–65.
<https://doi.org/10.47190/nric.v4i1.6>
- Berrocal, C. (2021). *Elaboración del estudio de diseño técnico de preinversión proyecto “cosecha de agua” para riego familiar en la comunidad Crucero municipio Santiago de Callapa*.
- Burga, F., & Gonzales, K. (2023). *Comparación de los métodos empírico y numérico en la determinación del área afectada mediante la evaluación de riesgo de rotura de*



- presa de un depósito de relaves ubicado en Yauli, Junín.* UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCAIS APLICADAS.
- Cáceres Coello, J. (2018). *Localización óptima de zonas potenciales para cosecha de agua lluvia mediante criterio booleano en la zona sur de Honduras, año 2017* (Vol. 11).
- Canales, J. (2022). *Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en la presa Tullpacancha, Locroja, Churcampa, Huancavelica.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA.
- Castillo, L., & Castillo, I. (2019). *Generación de mapas de peligro producido por la simulación del vertido de relaves de la rotura de la presa N° 4 en el distrito de Carmen de Atrato en el departamento de Chocó – Colombia.* UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.
- Chalco, A. J. (2018). *Análisis comparativo de simulación de crecidas para estimar los riesgos por la rotura de represas – Microcuenca Palermo, El Carmen, Churcampa – Huancavelica.* UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU.
- Cuadros, B., & Mercado, M. (2021). *Práctica ancestral de cosecha de agua, para el aprovechamiento y almacenamiento.*
- De La Torre, M. (2020). *La seguridad de presas en el Perú.*
- DGA; ESPAÑA. (2021). *Guía técnica para la clasificación de presas.*
- DGOHCA. (1996). *Clasificación de presas en función del riesgo potencial.*
- Díaz, J. S. (2016). *Presas de tierra. 1.* <https://www.erosion.com.co/investigacion/49-presas-de-tierra/143-presas-de-tierra.html>
- El Comercio. (2024). *Sucesos/ Noticias.* <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/empresa-cwe-peru-se-pronuncia-tras-rotura-de-dique-en-huaycoloro-el-origen-de-este-evento-anomalo-viene-siendo-investigado-ultimas-noticia/>



- Espinoza, R., & Oyola, M. (2019). *Diseño de un sistema de Captación y almacenamiento - caso cosecha agua para su aprovechamiento – Garbanzal – Tumbes – 2018.*
- Froehlich, D. (1995). *Embankment Dam Breach Parameters Revisited.*
- Froehlich, D. C. (2008). Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(12), 1708–1721.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9429\(2008\)134:12\(1708\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9429(2008)134:12(1708))
- Gómez, J., & Peralta, K. (2021). *Modelamiento hidráulico bidimensional para el análisis de la potencial rotura de la presa las Delicias ubicado en el distrito de Oyotún – Chiclayo –Lambayeque.* UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO.
- Guarniz, C. (2014). *Comparación de los modelos Hidráulicos Unidimensional (HEC-RAS) y Bidimensional (IBER) en el Análisis de Rotura en Presas de Materiales Suelos; y Aplicación a la Presa Palo Redondo.* UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORRREGO.
- Guerrero, D., & Gutarra, C. (2021). *Propuesta de un programa de cosecha de agua frente a la escasez del recurso hídrico en la microcuenca Yanama, en el distrito de Yauli, provincia de Yauli - La Oroya 2021.*
- Harvey, C. A., Villanueva, C., Villacis, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M., Ibrahim, M., Gomez, R., Taylor, R., Martínez, J., Navas, A., Sáenz, J., Sánchez, D., Medina, A., Vilchez, S., Hernández, B., Pérez, A., Ruiz, F., López, F., ... Sinclair, F. L. (2003). *Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central.*
- Hernández, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (Vol. 1).*
- Herrera-Franco, G., Martos-Rosillo, S., Carrión-Mero, P., Morante-Carballo, F., Briones-Bitar, J., Durán, A., Upegui, J. V., Lucic, M. C., Mateos, L., Bardales, J. D., Peña,



- F., & Gutiérrez-Ojeda, C. (2020). Water Sowing and Harvesting (SyCA), ancestral techniques that solve problems of the XXI century. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.299>
- IGME. (2018). *Careos: siembra y cosecha de agua en la cuenca del río Cérchales (Sierra Nevada, Granada)* (Instituto Geológico y Minero de España, Ed.).
<http://publicacionesoficiales.boe.es>. <http://publicacionesoficiales.boe.es>
- IMFIA, & DINAGUA. (2011). *Manual de diseño y construcción de pequeñas presas* (segunda edición, Vol. 1). MVOTMA.
<http://www.mvotma.gub.uy/dinagua/manualdepequenaspresas>
- Ircañaua, A. (2015). *Modelo numérico orientado a la simulación de crecidas a partir de una rotura de presa*. UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA.
- MacDonald, T. C., & Langridge-Monopolis, J. (1984). Breaching Characteristics of Dam Failures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110, 567–586.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:111051589>
- Nicodemos, R. (2021). *Simulación de niveles de operación en qocha para la siembra y cosecha de agua en la cuenca del río Vilca*.
- Padrino, L. A. (2018). Riesgo por Rotura de Presa (Dam break) Consideraciones para América Latina. *Iagua*.
- Peña, T., Chirinos-Escobar, M., Almendares, K., & García-Santos, S. (2022). Cosechas de agua lluvia para recarga de acuíferos locales en Honduras. *Revista de la Escuela de Física*, 10(1), 96–107. <https://doi.org/10.5377/ref.v10i1.14886>
- Picón, J. (2020). *Clima, agua y producción sostenible: aportes desde la acción académica*. www.jadecr.com,



- Rimachi, E. (2016). *Aplicación del método gin para la pantalla de impermeabilización de la presa Pumamayo-distrito de Macusani-provincia de Carabaya-departamento de Puno*". UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA.
- Sánchez, K. (2020). *Presas de tierra*.
- Sawai, A., Singh Shyamal, D., & Kumar, L. (2019). Dam Break Analysis-Review of Literature. *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*, 04(12), 2454–9150. <https://doi.org/10.18231/2454-9150.2019.0183>
- Singh, K. P., & Snorrason, A. (1984). Sensitivity of outflow peaks and flood stages to the selection of dam breach parameters and simulation models. *Journal of Hydrology*, 68(1–4), 295–310. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(84\)90217-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(84)90217-8)
- Solis, A. (2019). *cosecha de agua*.
- Toapaxi, J., & Acero, A. (2021). Dam-break flooding analysis using HEC-RAS 2D model: Case study of the mulacorral dam, Tungurahua province, Ecuador. *Revista Politecnica*, 48(1), 51–64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n1.05>
- Von Thun. (1990). *Guidance on Breach Parameters*.
<http://worldcat.org/oclc/52803235/viewonline>



ANEXOS



ANEXO 3: *Sección del dique, después de la rotura para un TR = 5 años.*

| Prog | Tr = 5 | Prog | Tr = 5 | Prog | Tr = 5 | Prog | Tr = 5 | Prog | Tr = 5 | Prog | Tr = 5 |
|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| 0 | 4,846.8 | 11 | 4,846.7 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.4 | 44 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 |
| 0 | 4,846.8 | 11 | 4,846.6 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.8 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,846.3 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.9 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,846.0 | 23 | 4,843.3 | 33 | 4,845.9 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,845.9 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.3 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,845.7 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.6 | 45 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 12 | 4,845.5 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.7 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,845.2 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.7 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,845.0 | 24 | 4,843.3 | 34 | 4,846.8 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,844.9 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,844.6 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 13 | 4,844.3 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,844.2 | 25 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,844.0 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,843.7 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 14 | 4,843.5 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.4 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.4 | 26 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 30 | 4,843.4 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.4 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.4 | 42 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.7 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,844.1 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 31 | 4,844.1 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.2 | 43 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.6 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.9 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 65 | 4,846.8 |
| 11 | 4,846.8 | 22 | 4,843.3 | 32 | 4,845.0 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 65 | 4,846.8 |
| 11 | 4,846.7 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.1 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | | |



ANEXO 6: *Sección del dique, después de la rotura para un TR = 10 años.*

| Prog | Tr = 10 | Prog | Tr = 10 | Prog | Tr = 10 | Prog | Tr = 10 | Prog | Tr = 10 | Prog | Tr = 10 |
|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| 0 | 4,846.8 | 11 | 4,846.7 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.4 | 44 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 |
| 0 | 4,846.8 | 11 | 4,846.6 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.8 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,846.3 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.9 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,846.0 | 23 | 4,843.3 | 33 | 4,845.9 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,845.9 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.3 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,845.7 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.6 | 45 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 12 | 4,845.5 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.7 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,845.2 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.7 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,845.0 | 24 | 4,843.3 | 34 | 4,846.8 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,844.9 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,844.6 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 13 | 4,844.3 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,844.2 | 25 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,844.0 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,843.7 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 14 | 4,843.5 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.4 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.4 | 26 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 30 | 4,843.4 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.4 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.4 | 42 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.7 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,844.1 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 31 | 4,844.1 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.2 | 43 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.6 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.9 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 65 | 4,846.8 |
| 11 | 4,846.8 | 22 | 4,843.3 | 32 | 4,845.0 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 65 | 4,846.8 |
| 11 | 4,846.7 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.1 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | | |



ANEXO 9: *Sección del dique, después de la rotura para un TR = 20 años.*

| Prog | Tr = 20 | Prog | Tr = 20 | Prog | Tr = 20 | Prog | Tr = 20 | Prog | Tr = 20 | Prog | Tr = 20 |
|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| 0 | 4,846.8 | 11 | 4,846.7 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.4 | 44 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 |
| 0 | 4,846.8 | 11 | 4,846.6 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.8 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,846.3 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.9 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,846.0 | 23 | 4,843.3 | 33 | 4,845.9 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,845.9 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.3 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,845.7 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.6 | 45 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 12 | 4,845.5 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.7 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,845.2 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.7 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,845.0 | 24 | 4,843.3 | 34 | 4,846.8 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,844.9 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,844.6 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 13 | 4,844.3 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,844.2 | 25 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,844.0 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,843.7 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 14 | 4,843.5 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.4 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.4 | 26 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 30 | 4,843.4 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.4 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.4 | 42 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.7 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,844.1 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 31 | 4,844.1 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.2 | 43 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.6 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.9 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 65 | 4,846.8 |
| 11 | 4,846.8 | 22 | 4,843.3 | 32 | 4,845.0 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 65 | 4,846.8 |
| 11 | 4,846.7 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.1 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | | |



ANEXO 10: Hidrograma de salida que pasa por la brecha para un TR = 50 años.

| T | TR 50 A | T | TR 50 A | T | TR 50 A | T | TR 50 A | T | TR 50 A | T | TR 50 A | T | TR 50 A | T | TR 50 A | T | TR 50 A | T | TR 50 A | | |
|-----|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|--------|---------|--------|-----|
| 10 | - | 1,010 | 47.3 | 2,010 | 156.1 | 4,010 | 105.8 | 5,010 | 63.4 | 6,010 | 39.5 | 7,010 | 24.7 | 8,010 | 17.4 | 9,010 | 12.9 | 10,010 | 9.9 | 11,010 | 7.9 |
| 20 | - | 1,020 | 48.3 | 2,020 | 157.1 | 4,020 | 105.2 | 5,020 | 63.2 | 6,020 | 39.3 | 7,020 | 24.6 | 8,020 | 17.3 | 9,020 | 12.9 | 10,020 | 9.9 | 11,020 | 7.9 |
| 30 | - | 1,030 | 49.4 | 2,030 | 158.1 | 4,030 | 104.7 | 5,030 | 62.9 | 6,030 | 39.1 | 7,030 | 24.4 | 8,030 | 17.3 | 9,030 | 12.8 | 10,030 | 9.9 | 11,030 | 7.9 |
| 40 | - | 1,040 | 50.4 | 2,040 | 159.0 | 4,040 | 104.2 | 5,040 | 62.5 | 6,040 | 38.8 | 7,040 | 24.4 | 8,040 | 17.2 | 9,040 | 12.8 | 10,040 | 9.9 | 11,040 | 7.9 |
| 50 | - | 1,050 | 51.4 | 2,050 | 159.9 | 4,050 | 103.7 | 5,050 | 62.2 | 6,050 | 38.8 | 7,050 | 24.3 | 8,050 | 17.2 | 9,050 | 12.7 | 10,050 | 9.8 | 11,050 | 7.9 |
| 60 | - | 1,060 | 52.4 | 2,060 | 160.9 | 4,060 | 103.2 | 5,060 | 61.8 | 6,060 | 38.6 | 7,060 | 24.2 | 8,060 | 17.1 | 9,060 | 12.7 | 10,060 | 9.8 | 11,060 | 7.9 |
| 70 | - | 1,070 | 53.4 | 2,070 | 161.7 | 4,070 | 102.6 | 5,070 | 61.6 | 6,070 | 38.4 | 7,070 | 24.1 | 8,070 | 17.1 | 9,070 | 12.7 | 10,070 | 9.8 | 11,070 | 7.9 |
| 80 | - | 1,080 | 54.4 | 2,080 | 162.6 | 4,080 | 102.0 | 5,080 | 61.3 | 6,080 | 38.1 | 7,080 | 24.0 | 8,080 | 17.0 | 9,080 | 12.6 | 10,080 | 9.8 | 11,080 | 7.8 |
| 90 | - | 1,090 | 55.5 | 2,090 | 163.4 | 4,090 | 101.5 | 5,090 | 61.0 | 6,090 | 38.0 | 7,090 | 23.9 | 8,090 | 17.0 | 9,090 | 12.5 | 10,090 | 9.7 | 11,090 | 7.8 |
| 100 | 0.0 | 1,100 | 56.6 | 2,100 | 164.2 | 4,100 | 100.9 | 5,100 | 60.7 | 6,100 | 37.7 | 7,100 | 23.8 | 8,100 | 16.9 | 9,100 | 12.5 | 10,100 | 9.7 | 11,100 | 7.8 |
| 110 | 0.1 | 1,110 | 57.6 | 2,110 | 165.1 | 4,110 | 100.5 | 5,110 | 60.5 | 6,110 | 37.5 | 7,110 | 23.8 | 8,110 | 16.9 | 9,110 | 12.5 | 10,110 | 9.7 | 11,110 | 7.8 |
| 120 | 0.1 | 1,120 | 58.6 | 2,120 | 165.8 | 4,120 | 100.2 | 5,120 | 60.1 | 6,120 | 37.3 | 7,120 | 23.7 | 8,120 | 16.8 | 9,120 | 12.5 | 10,120 | 9.7 | 11,120 | 7.8 |
| 130 | 0.2 | 1,130 | 59.7 | 2,130 | 166.6 | 4,130 | 99.5 | 5,130 | 59.8 | 6,130 | 37.2 | 7,130 | 23.6 | 8,130 | 16.8 | 9,130 | 12.5 | 10,130 | 9.6 | 11,130 | 7.8 |
| 140 | 0.3 | 1,140 | 60.7 | 2,140 | 167.4 | 4,140 | 99.0 | 5,140 | 59.5 | 6,140 | 37.0 | 7,140 | 23.5 | 8,140 | 16.7 | 9,140 | 12.4 | 10,140 | 9.6 | 11,140 | 7.7 |
| 150 | 0.4 | 1,150 | 61.8 | 2,150 | 168.2 | 4,150 | 98.4 | 5,150 | 59.3 | 6,150 | 36.8 | 7,150 | 23.4 | 8,150 | 16.7 | 9,150 | 12.4 | 10,150 | 9.6 | 11,150 | 7.7 |
| 160 | 0.5 | 1,160 | 62.8 | 2,160 | 168.9 | 4,160 | 97.8 | 5,160 | 59.1 | 6,160 | 36.6 | 7,160 | 23.3 | 8,160 | 16.6 | 9,160 | 12.3 | 10,160 | 9.6 | 11,160 | 7.7 |
| 170 | 0.6 | 1,170 | 63.8 | 2,170 | 169.7 | 4,170 | 97.3 | 5,170 | 58.8 | 6,170 | 36.5 | 7,170 | 23.2 | 8,170 | 16.5 | 9,170 | 12.3 | 10,170 | 9.6 | 11,170 | 7.7 |
| 180 | 0.8 | 1,180 | 64.8 | 2,180 | 170.7 | 4,180 | 96.9 | 5,180 | 58.5 | 6,180 | 36.3 | 7,180 | 23.1 | 8,180 | 16.5 | 9,180 | 12.2 | 10,180 | 9.5 | 11,180 | 7.7 |
| 190 | 0.9 | 1,190 | 66.0 | 2,190 | 171.3 | 4,190 | 96.2 | 5,190 | 58.2 | 6,190 | 36.1 | 7,190 | 23.1 | 8,190 | 16.5 | 9,190 | 12.2 | 10,190 | 9.5 | 11,190 | 7.7 |
| 200 | 1.1 | 1,200 | 67.1 | 2,200 | 172.1 | 4,200 | 95.8 | 5,200 | 57.9 | 6,200 | 35.9 | 7,200 | 23.0 | 8,200 | 16.4 | 9,200 | 12.2 | 10,200 | 9.5 | 11,200 | 7.6 |
| 210 | 1.2 | 1,210 | 68.3 | 2,210 | 172.9 | 4,210 | 95.2 | 5,210 | 57.6 | 6,210 | 35.7 | 7,210 | 22.9 | 8,210 | 16.4 | 9,210 | 12.2 | 10,210 | 9.4 | 11,210 | 7.6 |
| 220 | 1.4 | 1,220 | 69.4 | 2,220 | 173.6 | 4,220 | 94.7 | 5,220 | 57.4 | 6,220 | 35.6 | 7,220 | 22.8 | 8,220 | 16.3 | 9,220 | 12.1 | 10,220 | 9.4 | 11,220 | 7.7 |
| 230 | 1.6 | 1,230 | 70.5 | 2,230 | 174.2 | 4,230 | 94.3 | 5,230 | 57.2 | 6,230 | 35.3 | 7,230 | 22.7 | 8,230 | 16.2 | 9,230 | 12.1 | 10,230 | 9.4 | 11,230 | 7.6 |
| 240 | 1.9 | 1,240 | 71.6 | 2,240 | 174.9 | 4,240 | 93.7 | 5,240 | 56.9 | 6,240 | 35.2 | 7,240 | 22.6 | 8,240 | 16.2 | 9,240 | 12.1 | 10,240 | 9.4 | 11,240 | 7.6 |
| 250 | 2.1 | 1,250 | 72.7 | 2,250 | 175.6 | 4,250 | 93.3 | 5,250 | 56.6 | 6,250 | 35.1 | 7,250 | 22.6 | 8,250 | 16.2 | 9,250 | 12.0 | 10,250 | 9.4 | 11,250 | 7.6 |
| 260 | 2.3 | 1,260 | 73.9 | 2,260 | 176.3 | 4,260 | 92.9 | 5,260 | 56.3 | 6,260 | 34.9 | 7,260 | 22.5 | 8,260 | 16.1 | 9,260 | 12.0 | 10,260 | 9.3 | 11,260 | 7.6 |
| 270 | 2.5 | 1,270 | 75.0 | 2,270 | 176.9 | 4,270 | 92.3 | 5,270 | 56.1 | 6,270 | 34.7 | 7,270 | 22.4 | 8,270 | 16.1 | 9,270 | 12.0 | 10,270 | 9.3 | 11,270 | 7.6 |
| 280 | 2.8 | 1,280 | 76.1 | 2,280 | 177.6 | 4,280 | 91.8 | 5,280 | 55.8 | 6,280 | 34.5 | 7,280 | 22.3 | 8,280 | 16.0 | 9,280 | 12.0 | 10,280 | 9.3 | 11,280 | 7.5 |
| 290 | 3.0 | 1,290 | 77.2 | 2,290 | 178.3 | 4,290 | 91.3 | 5,290 | 55.6 | 6,290 | 34.3 | 7,290 | 22.2 | 8,290 | 15.9 | 9,290 | 11.9 | 10,290 | 9.3 | 11,290 | 7.5 |
| 300 | 3.2 | 1,300 | 78.3 | 2,300 | 178.9 | 4,300 | 90.9 | 5,300 | 55.3 | 6,300 | 34.2 | 7,300 | 22.1 | 8,300 | 15.9 | 9,300 | 11.9 | 10,300 | 9.2 | 11,300 | 7.5 |
| 310 | 3.5 | 1,310 | 79.5 | 2,310 | 179.6 | 4,310 | 90.3 | 5,310 | 55.1 | 6,310 | 34.0 | 7,310 | 22.1 | 8,310 | 15.9 | 9,310 | 11.9 | 10,310 | 9.2 | 11,310 | 7.5 |
| 320 | 3.8 | 1,320 | 80.6 | 2,320 | 180.2 | 4,320 | 89.9 | 5,320 | 54.8 | 6,320 | 33.9 | 7,320 | 22.0 | 8,320 | 15.8 | 9,320 | 11.8 | 10,320 | 9.2 | 11,320 | 7.5 |
| 330 | 4.1 | 1,330 | 81.7 | 2,330 | 180.9 | 4,330 | 89.5 | 5,330 | 54.5 | 6,330 | 33.7 | 7,330 | 21.9 | 8,330 | 15.7 | 9,330 | 11.8 | 10,330 | 9.2 | 11,330 | 7.5 |
| 340 | 4.4 | 1,340 | 82.9 | 2,340 | 181.5 | 4,340 | 89.0 | 5,340 | 54.3 | 6,340 | 33.5 | 7,340 | 21.8 | 8,340 | 15.7 | 9,340 | 11.8 | 10,340 | 9.2 | 11,340 | 7.5 |
| 350 | 4.7 | 1,350 | 84.1 | 2,350 | 182.1 | 4,350 | 88.5 | 5,350 | 54.0 | 6,350 | 33.3 | 7,350 | 21.8 | 8,350 | 15.7 | 9,350 | 11.8 | 10,350 | 9.1 | 11,350 | 7.4 |
| 360 | 5.0 | 1,360 | 85.3 | 2,360 | 182.7 | 4,360 | 88.0 | 5,360 | 53.8 | 6,360 | 33.2 | 7,360 | 21.7 | 8,360 | 15.6 | 9,360 | 11.7 | 10,360 | 9.1 | 11,360 | 7.4 |
| 370 | 5.4 | 1,370 | 86.4 | 2,370 | 183.3 | 4,370 | 87.5 | 5,370 | 53.6 | 6,370 | 33.0 | 7,370 | 21.6 | 8,370 | 15.5 | 9,370 | 11.7 | 10,370 | 9.1 | 11,370 | 7.4 |
| 380 | 5.8 | 1,380 | 87.6 | 2,380 | 183.8 | 4,380 | 87.0 | 5,380 | 53.3 | 6,380 | 32.9 | 7,380 | 21.5 | 8,380 | 15.5 | 9,380 | 11.7 | 10,380 | 9.1 | 11,380 | 7.4 |
| 390 | 6.1 | 1,390 | 88.9 | 2,390 | 184.5 | 4,390 | 86.6 | 5,390 | 53.1 | 6,390 | 32.7 | 7,390 | 21.5 | 8,390 | 15.5 | 9,390 | 11.6 | 10,390 | 9.1 | 11,390 | 7.4 |
| 400 | 6.4 | 1,400 | 90.1 | 2,400 | 185.0 | 4,400 | 86.2 | 5,400 | 52.8 | 6,400 | 32.4 | 7,400 | 21.4 | 8,400 | 15.4 | 9,400 | 11.6 | 10,400 | 9.0 | 11,400 | 7.4 |
| 410 | 6.8 | 1,410 | 91.2 | 2,410 | 185.6 | 4,410 | 85.8 | 5,410 | 52.6 | 6,410 | 32.4 | 7,410 | 21.3 | 8,410 | 15.4 | 9,410 | 11.5 | 10,410 | 9.0 | 11,410 | 7.4 |
| 420 | 7.2 | 1,420 | 92.3 | 2,420 | 186.2 | 4,420 | 85.4 | 5,420 | 52.3 | 6,420 | 32.2 | 7,420 | 21.2 | 8,420 | 15.3 | 9,420 | 11.5 | 10,420 | 9.0 | 11,420 | 7.3 |
| 430 | 7.5 | 1,430 | 93.5 | 2,430 | 186.8 | 4,430 | 84.8 | 5,430 | 52.0 | 6,430 | 32.0 | 7,430 | 21.1 | 8,430 | 15.3 | 9,430 | 11.5 | 10,430 | 9.0 | 11,430 | 7.3 |
| 440 | 7.9 | 1,440 | 94.6 | 2,440 | 187.4 | 4,440 | 84.4 | 5,440 | 51.8 | 6,440 | 31.8 | 7,440 | 21.1 | 8,440 | 15.2 | 9,440 | 11.4 | 10,440 | 9.0 | 11,440 | 7.3 |
| 450 | 8.3 | 1,450 | 95.7 | 2,450 | 188.0 | 4,450 | 84.0 | 5,450 | 51.6 | 6,450 | 31.7 | 7,450 | 21.0 | 8,450 | 15.2 | 9,450 | 11.4 | 10,450 | 8.9 | 11,450 | 7.3 |
| 460 | 8.7 | 1,460 | 96.9 | 2,460 | 188.5 | 4,460 | 83.6 | 5,460 | 51.3 | 6,460 | 31.5 | 7,460 | 20.9 | 8,460 | 15.2 | 9,460 | 11.4 | 10,460 | 8.9 | 11,460 | 7.3 |
| 470 | 9.2 | 1,470 | 98.2 | 2,470 | 189.1 | 4,470 | 83.2 | 5,470 | 51.1 | 6,470 | 31.3 | 7,470 | 20.9 | 8,470 | 15.1 | 9,470 | 11.4 | 10,470 | 8.9 | 11,470 | 7.3 |
| 480 | 9.6 | 1,480 | 99.3 | 2,480 | 189.7 | 4,480 | 82.7 | 5,480 | 50.8 | 6,480 | 31.2 | 7,480 | 20.8 | 8,480 | 15.0 | 9,480 | 11.4 | 10,480 | 8.9 | 11,480 | 7.3 |
| 490 | 10.0 | 1,490 | 100.5 | 2,490 | 190.3 | 4,490 | 82.3 | 5,490 | 50.6 | 6,490 | 31.1 | 7,490 | 20.7 | 8,490 | 15.0 | 9,490 | 11.3 | 10,490 | 8.9 | 11,490 | 7.2 |
| 500 | 10.5 | 1,500 | 101.7 | 2,500 | 190.8 | 4,500 | 81.9 | 5,500 | 50.4 | 6,500 | 30.9 | 7,500 | 20.6 | 8,500 | 15.0 | 9,500 | 11.3 | 10,500 | 8.8 | 11,500 | 7.2 |
| 510 | 11.0 | 1,510 | 102.8 | 2,510 | 191.4 | 4,510 | 81.5 | 5,510 | 50.1 | 6,510 | 30.8 | 7,510 | 20.5 | 8,510 | 14.9 | 9,510 | 11.3 | 10,510 | 8.8 | 11,510 | 7.2 |
| 520 | 11.4 | 1,520 | 104.0 | 2,520 | 191.9 | 4,520 | 81.1 | 5,520 | 49.9 | 6,520 | 30.6 | 7,520 | 20.4 | 8,520 | 14.8 | 9,520 | 11.2 | 10,520 | 8.8 | 11,520 | 7.2 |
| 530 | 11.8 | 1,530 | 105.3 | 2,530 | 192.3 | 4,530 | 80.7 | 5,530 | 49.6 | 6,530 | 30.5 | 7,530 | 20.4 | 8,530 | 14.8 | 9,530 | 11.2 | 10,530 | 8.8 | 11,530 | 7.2 |
| 540 | 12.3 | 1,540 | 106.5 | 2,540 | 192.0 | 4,540 | 80.3 | 5,540 | 49.4 | 6,540 | 30.3 | 7,540 | 20.3 | 8,540 | 14.8 | 9,540 | 11.2 | 10,540 | 8.7 | 11,540 | 7.2 |
| 550 | 12.8 | 1,550 | 107.6 | 2,550 | 191.6 | 4,550 | 79.8 | 5,550 | 49.2 | 6,550 | 30.2 | 7,550 | 20.2 | 8,550 | 14.8 | 9,550 | 11.1 | 10,550 | 8.7 | 11,550 | 7.2 |
| 560 | 13.3 | 1,560 | 108.8 | 2,560 | 191.0 | 4,560 | 79.3 | 5,560 | 49.0 | 6,560 | 30.0 | 7,560 | 20.2 | 8,560 | 14.7 | 9,560 | 11.1 | 10,560 | 8.7 | 11,560 | 7.2 |
| 570 | 13.7 | 1,570 | 110.1 | 2,570 | 190.6 | 4,570 | 78.9 | 5,570 | 48.8 | 6,570 | 29.9 | 7,570 | 20.1 | 8 | | | | | | | |



ANEXO 12: *Sección del dique, después de la rotura para un TR = 50 años.*

| Prog | Tr = 50 | Prog | Tr = 50 | Prog | Tr = 50 | Prog | Tr = 50 | Prog | Tr = 50 | Prog | Tr = 50 |
|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| 0 | 4,846.8 | 11 | 4,846.7 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.4 | 44 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 |
| 0 | 4,846.8 | 11 | 4,846.6 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.8 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,846.3 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.9 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,846.0 | 23 | 4,843.3 | 33 | 4,845.9 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,845.9 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.3 | 44 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 1 | 4,846.8 | 12 | 4,845.7 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.6 | 45 | 4,846.8 | 55 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 12 | 4,845.5 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.7 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,845.2 | 23 | 4,843.3 | 34 | 4,846.7 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,845.0 | 24 | 4,843.3 | 34 | 4,846.8 | 45 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,844.9 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 56 | 4,846.8 |
| 2 | 4,846.8 | 13 | 4,844.6 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 13 | 4,844.3 | 24 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,844.2 | 25 | 4,843.3 | 35 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,844.0 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 46 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 3 | 4,846.8 | 14 | 4,843.7 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 57 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 14 | 4,843.5 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.4 | 25 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.4 | 26 | 4,843.3 | 36 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 47 | 4,846.8 | 58 | 4,846.8 |
| 4 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 15 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 26 | 4,843.3 | 37 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 48 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 59 | 4,846.8 |
| 5 | 4,846.8 | 16 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 27 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 38 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 49 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 6 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 60 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 17 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 28 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 39 | 4,846.8 | 50 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 61 | 4,846.8 |
| 7 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 18 | 4,843.3 | 29 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 40 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 51 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 8 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 62 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 19 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 30 | 4,843.3 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.4 | 41 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.4 | 42 | 4,846.8 | 52 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 9 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,843.7 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 63 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 20 | 4,843.3 | 31 | 4,844.1 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 31 | 4,844.1 | 42 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.2 | 43 | 4,846.8 | 53 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.6 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 64 | 4,846.8 |
| 10 | 4,846.8 | 21 | 4,843.3 | 32 | 4,844.9 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 65 | 4,846.8 |
| 11 | 4,846.8 | 22 | 4,843.3 | 32 | 4,845.0 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | 65 | 4,846.8 |
| 11 | 4,846.7 | 22 | 4,843.3 | 33 | 4,845.1 | 43 | 4,846.8 | 54 | 4,846.8 | | |



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Luisi Rafael Quispe Yanava
identificado con DNI 70312154 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agrícola

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Caracterización técnica y evaluación del riesgo de rotura
del dique de tierra Cochaeccho en la comunidad de
Minahuisa, Macusani - Carabaya - Puno ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 13 de diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Luigi Rafael Quispe Yanapaca,
identificado con DNI 70312154 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agrícola

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ Caracterización técnica y evaluación del riesgo de rotura del dique de tierra Cochaccucho en la comunidad de Ninkhuisea, Macusani - Arequipa - Puno ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de diciembre del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella