

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DEL RIESGO ANTE LA RUPTURA DE LA PRESA DE
RELAVE ANTAMINA DISTRITO DE SAN MARCOS ANCASH”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADA POR

Bach. CHÁVEZ SOTO MIGUEL ÁNGEL

Bach. MATOS RIOS FRANCISCO

ASESOR: Dr. Ing. LÓPEZ SILVA, MAIQUEL

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis mi padre Alejandro Chávez y mi madre y hermanas quienes, con su apoyo incondicional en todos estos años, que me han permitido alcanzar mis metas y objetivos en mi formación profesionales. hoy solo digo un pequeño refrán que nuestra recompensa está en el esfuerzo mas no en el resultado gracias familia por ser parte de mi historia profesional.

Miguel Ángel Chávez Soto

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados, sobre todo mis padres; quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

Matos Ríos Francisco

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestros profesores asesores, López Maiquel y Carmenates, Dayma por tenernos paciencia en cada clase de asesoría pese a nuestra falta de experiencia, también por habernos brindado los conocimientos para esta presente tesis, a nuestros profesores de nuestra alma mater por inculcarnos los conocimientos aprendidos para el desarrollo de la tesis, así como también a nuestros familiares.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción y Formulación del Problema Especifico	1
1.1.1 Problema General	3
1.1.2 Problemas Específicos.....	3
1.2 Objetivo General y especifico	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivo Especifico	3
1.3 Delimitación del Estudio	4
1.3.1 Delimitación temporal	4
1.3.2 Delimitación espacial	4
1.4 Justificación e Importancia	5
1.4.1 Justificación practica	5
1.4.2 Justificación Social.....	6
1.4.3 Justificación Ambiental:.....	6
1.4.4 Importancia.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes del Estudio de Investigación	8
2.1.1 Antecedentes Internacionales	8
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	10
2.2 Bases Teóricas	13
2.2.1 Topografía	13
2.2.2 Geología	18
2.2.3 Hidrología aplicada	19
2.2.4 Precipitaciones.....	24
2.2.5 Curvas IDF (Intensidad Duración Frecuencia).....	27
2.2.6 Máximas Avenidas	28
2.2.7 Presas	34
2.2.8 Presa de Relave	40

2.2.9 Fallas de Presas	44
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	52
3.1 Hipótesis	52
3.1.1 Hipótesis Principal	52
3.1.2 Hipótesis Secundarias.....	52
3.2 Variables	52
3.2.1 Definición Conceptual de las Variables	52
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	54
4.1 Tipo y Nivel.....	54
4.1.1 Tipo	54
4.1.2 Nivel	54
4.2 Diseño de Investigación.....	54
4.3 Población y Muestra	55
4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	55
4.4.1 Tipos de Técnicas e Instrumentos	55
4.4.2 Procedimientos Para la Recolección de Datos	56
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
5.1 Características Topográficas y Geológicas en la micro cuenca de Ayash.....	58
5.1.1 Topografía	61
5.1.2 Geología	62
5.2 Parámetros Hidrológicos e Hidráulicos	64
5.2.1 Variables Hidrológicas	64
5.2.2 Análisis Estadísticos de las Precipitaciones Máximas	70
5.2.3 Variables hidráulicas	78
5.3 Análisis de la Modelación Numérica en la Presa de Relave	86
5.4 Análisis de resultados	94
5.5 Contrastación de Hipótesis	100
5.5.1 Hipótesis Principal	100
5.5.2 Hipótesis Secundarias.....	100

CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	105
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS.....	112
Anexo 1: Mapa de cuencas Hidrográfica del Perú	113
Anexo 2: Matriz de Consistencia.....	113
Anexo 3: Matriz de Operalización.....	114
Anexo 4: Ubicación altitud y longitud de la cuenca Ayash y Huancayoc.....	115
Anexo 5: Presa de relave minero tipo escollera de la compañía Antamina.....	116
Anexo 6: Volumen total y el área de la presa de relave en el civil 3D.....	116
Anexo 7: Plano topográfico de la micro cuenca Antamina, Ayash y Huancayoc	118
Anexo 8: Estación Pluviométrica Chavín de Huántar	119
Anexo 9: Estación Pluviométrica Santa María	120
Anexo 10: Estación Pluviométrica Dos de Mayo	121
Anexo 11: Estación Pluviométrica Pachacoto	122
Anexo 12: Ajuste de Bondad Estación Chavín de Huántar	124
Anexo 13: Ajuste de Bondad Estación Santa María.....	126
Anexo 14: Ajuste de Bondad Estación Dos de Maya.....	128
Anexo 15: Ajuste de Bondad Estación Pachacoto.....	130
Anexo 16: Modelamiento con software HEC RAS	131
Anexo 17: Modelamiento con software IBER.....	132
Anexo 18: Modelamiento con software Google Earth Pro.....	133

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Clasificación de la cuenca	21
Tabla: 2 Rangos aproximados del Factor de Forma	23
Tabla 3: Coeficiente de escorrentía método racional.....	33
Tabla 4: Factores de seguridad para represas	42
Tabla 5: Principales causas de falla de presas según su construcción	46
Tabla 6: Causas de Fallas cantidad y porcentaje	46
Tabla 7: Depósitos de Relaves Fallados en el Perú	47
Tabla 8: Descripción del uso de la tierra	62
Tabla 9: Unidad estratigráfica y Características Litológicas de la y Roca y Suelo	63
Tabla 10: Coordenadas Geográficas y Altitudes de las Estaciones	65
Tabla 11: Registro Histórico de las Precipitaciones en 24 horas.....	66
Tabla 12: Registro Histórico de las Precipitaciones Corregidos en 24 horas	67
Tabla 13: Determinación de los Datos Atípico.....	69
Tabla 14: Funciones de distribución de probabilidad.....	71
Tabla 15: Selección de Función de Distribución de Probabilidad más adecuada	72
Tabla 16: Datos y parámetros de la cuenca en estudio de la minera Antamina.	73
Tabla 17: Método Dick Perchke Para Hallar la Intensidades de Diseño	76
Tabla 18: Valores de la Logarítmico de la Intensidad, y Tiempo de Concentración	76
Tabla 19: Valores de los Coeficientes de m, n de la Regresión	77
Tabla 20: Método S.C.S para determinar el Caudal Diseño e Infiltración	81
Tabla 21: Intensidad de Diseño con Periodo de Retorno en Años	84
Tabla 22: Resultados de Análisis del modelamiento.....	93
Tabla 23: Unidad Estratigráfica y Características Litológicas de la cuenca Ayash	95
Tabla 24: Estaciones Pluviométricas y Precipitaciones Máximas.....	96
Tabla 25: Valores y Resultados de los Parámetros y Magnitudes.	96

ÍNDICE DE FIGURA

Figura N° 1: Representación del relave minero y la presa en Ancash.....	5
Figura N° 2: uso de la topografía en la ingeniería.	14
Figura N° 3: Coordenadas cartesianas: X, Y	14
Figura N° 4: Coordenadas polares: Distancia, Angulo horizontal.	15
Figura N° 5: modelo de registro de datos	16
Figura N° 6: Esquema de la taquimetría convencional	16
Figura N° 7: Mapa geológico del territorio peruano	18
Figura N° 8: Representación del ciclo hidrológico.....	19
Figura N° 9: Subcuencas y microcuencas	20
Figura N° 10: Parámetros geomorfológicos de las cuencas hidrográficas.	21
Figura N° 12: Efecto de la forma de la cuenca en el tiempo de concentración.	23
Figura N° 13: Polígono de Thiessen.....	26
Figura N° 14: Cuenca mostrando Isoyetas	27
Figura N° 16: Riesgo de excedencia del evento de diseño durante la vida útil.....	31
Figura N° 17: Presa de gravedad	35
Figura N° 18: Presa de arco	36
Figura N° 19: Presa aligerada.....	37
Figura N° 20: Presa de arcos múltiples.....	37
Figura N° 21: Presa homogénea	38
Figura N° 22: Esquema de cómo se forma la presa de relave	40
Figura N° 23: Esquema básico de presa de la presa de relave vista de planta	41
Figura N° 24: Presa de relave impermeabilizados.....	43
Figura N° 25: Inestabilidad del talud de una presa de relave	45
Figura N° 32: Hec ras Mapper.....	50
Figura N° 33: Grafico deslizamiento horizontal parámetro aguas arriba	51
Figura N° 36: Mapa de ubicación topográfica y Geológica de la mina Antamina.....	58
Figura N° 38: Topográfica con el Civil 3D y el ensamblaje con la represa de relave.....	60
Figura N° 39: Topográfica vaso de presa de relave.....	60
Figura N° 40: Cotas máximas y mínimas de la presa hasta la Quebrada Ayash	61
Figura N° 41: Ubicación topográfica y Geológica de la presa de relave Antamina.....	64
Figura N° 42: Gráfico Hietograma escurrimiento superficial y subterráneo.....	84
Figura N° 43: Curva IDF con Intensidad de diseño y periodo de retorno.....	86

Figura N° 44: Geometría de la presa y la micro y cuenca Ayash y Huracayoc.....	87
Figura N° 45: Ensamblaje del modelo digital de la presa y cuenca Ayash	87
Figura N° 46: Eje de Rompimiento de presa de relave	88
Figura N° 47: Malla de embalse y de la presa de relave	89
Figura N° 48: Embalse en programa IBER, presa y embalse.....	89
Figura N° 49: Escurrimiento de relave por la ruptura en la brecha	90
Figura N° 50: Escurrimiento total de relave hacia las cuencas de Ayash y Huaracayoc	91
Figura N° 51: Escurrimiento total en las micro cuencas de Ayash y Huaracayoc	92
Figura N° 52: Delimitación y Geometría del HEC RAS en la presa y cuenca.....	93
Figura: N° 53. Mapa de ubicación topográfica la cuenca Ayash y Huaracayoc	95
Figura: N° 54: Mapa de ubicación en el modelo digital de elevación Dem	97
Figura: N° 55: Diagrama de Flujo para mitigar una falla posible de la presa de relave.....	99

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar los volúmenes y áreas que ocasionara una ruptura de presa de relave para la mitigación de posibles pasivos ambientales de la cuenca Ayash y los centros poblados cercanos, con el fin de proponer un modelamiento adecuado de ruptura de presa de relave y evitar pérdidas humanas, viviendas y zonas de cultivo. Teniendo una metodología de un nivel de investigación cuantitativa, aplicada y descriptiva dirigido a una ruptura de presa de relave. Para desarrollar esta investigación se utilizó herramientas de información del SENAMHI, de la carta nacional de geología INGEMMET. Se utilizaron hojas de cálculo, normas técnicas vigentes nacionales y software profesionales.

Los principales resultados de la presente investigación obtuvieron una topografía transversal con pendiente de 84.40 % y una longitudinal de 8.5%, las máximas precipitaciones para las estaciones meteorológicas, Chavín de Huántar 24.4 mm, Santa María 19.63 mm, Dos de mayo 20.13 mm, Pachacoto 20.42 mm. Además, se obtuvo una Intensidad de diseño de 32.93 mm/h, caudal de infiltración de escorrentía de 181.10 m³/s, también se determinó el mejor ajuste de fue bondad, para cada estación fue: Chavín de Huántar con logaritmo normal 3, Santa María con Gamma 3, Dos de mayo con logaritmo de Gumbel, Pachacoto con logaritmo Gumbel 3.

A partir de la modelación en el software IBER- Dam Break se obtuvo que la velocidad con la que fluiría el relave es de 18 km/h con un volumen de relave del vaso de la presa de 221.9 hm³, el área del vaso de presa de relave fue de 4.12 km², el volumen de inundación de relave fue de 15.50, hm³.

Palabras claves: Presa de relave, pasivos ambientales, vaso de presa

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the volumes and areas that a tailings dam rupture would cause for the mitigation of possible environmental liabilities of the Ayash basin and nearby populated centers, in order to propose an adequate modeling of the dam rupture of tailings and avoid human losses, houses and cultivation areas. Having a methodology of a quantitative, applied and descriptive research level directed to a tailings dam rupture. Information tools from SENAMHI, from the INGEMMET national geology charter, were used to develop this research. Spreadsheets, current national technical standards and professional software were used.

The main results of the present investigation obtained a transversal topography with a slope of 84.40% and a longitudinal one of 8.5%, the maximum rainfall for the meteorological stations, Chavín de Huantar 24.4 mm, Santa María 19.63 mm, Dos de Mayo 20.13 mm, Pachacoto 20.42 mm. In addition, a design intensity of 32.93 mm / h was obtained, runoff infiltration flow of 181.10 m³ / s, the best fit of goodness was also determined, for each station it was: Chavín de Huantar with normal logarithm 3, Santa María with Gamma 3, Dos de Mayo with Gumbel's logarithm, Pachacoto with Gumbel's logarithm 3.

From the modeling in the IBER Dam Break software, it was obtained that the speed with which the tailings will flow is 18 km / h with a tailings volume of the dam basin of 221.9 hm³, the area of the tailings dam basin was 4.12 km², the tailings flood volume was 15.50 hm³.

Keyword: tailing's dam, environmental liabilities, dam vessel

INTRODUCCIÓN

Esta tesis presenta el análisis de la ruptura de presa de relave para las mitigaciones de inundaciones en la cuenca Ayash-San Marcos -Ancash. Tiene por finalidad proponer un modelamiento de volumen y área de relave pensando principalmente en que afectaría a los pueblos cercanos del distrito de San Marcos. Por lo tanto, se plantea planes de mitigación frente a una ruptura de presa de relave para así de solución al problema de ruptura de presa de relave que se puede presentar en la zona de estudio.

En el capítulo I Planteamiento del problema. Se analiza el problema que se presenta en la zona de estudio para ello se formuló la problemática, importancia a partir de las justificaciones y las justificaciones social, practica y ambiental de la zona de estudio y se plantean los objetivos.

En el capítulo II se presentó los antes Marco Teórico. Se presenta un recopilado de información para el desarrollo de la investigación, tales como: antecedentes de investigación internacionales y nacionales, las bases teóricas y los términos básicos.

En el capítulo III Sistema de Hipótesis. Se presenta las hipótesis y las variables de investigación.

En el capítulo IV Metodología de la Investigación. Se presenta el tipo, nivel, método, población y muestra de estudio, técnicas e instrumentos de investigación y recolección de datos.

En el capítulo V Presentación y Análisis de resultados de la investigación. Se presenta las zonas de estudio, generalidades de la zona de estudio como la geología, topografía, los caudales de diseño, de infiltración, los tiempos de retorno conforme a la norma técnica nacional, la regresión y ajuste de datos en las precipitaciones, el modelamiento mediante el programa IBER y HEC RAS Dam Break de la ruptura de presa de relave, así como también los resultados obtenidos. Finalmente, se plantean las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliografías.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y Formulación del Problema Especifico

El colapso de la represa en Brasil fue el 25 de enero del 2019 ubicada en Brumadinho una ciudad al sureste de Brasil , este colapso y libero una ola de desechos y toneladas de barro que arrollo a casas , negocios y a los residentes que se encontró en el camino ,causando la muerte de 157 personas, la estructura de propiedad de la empresa minera Vale S.A. forzaba la definición de presa a lo que más bien era un enorme depósito de desechos mineros que estaban retenidos por un poco más de paredes de arena y limo, debido a la falta de carencia de concreto o metal como material de soporte, los representantes de la empresa se confiaron en que el lago de barro iba a mantenerse lo suficientemente sólido para retener los desechos, Este tipo de construcción , conocida como presa de relaves aguas arriba , es una de las estructuras más extrañas que se conocen en el campo de ingeniería . Y, a menos que haya sido diseñada, construida y monitoreada con gran atención a los detalles, puede ser la causa de accidentes terroríficos. (Penner, 2019)

La compañía minera Lincuna S.A.C. Paraliza sus operaciones debido a los efectos del derrame de 50 mil metros cúbicos de relave minero en el distrito de Recuay , en la región Ancash.debido incidente tuvo como colapso del dique frontal de la presa de relave número dos, representantes de la empresa minera señalaron que el deslizamiento ha afectado la cuenca sipchoc y las aguas del rio Santa , por esta razón los especialistas del organismos de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA) y la autoridad nacional del agua(ANA) realizaron un monitoreo para evaluar la calidad del agua., así como también funcionarios afirmaron que las comunidades cercanas se vieron afectadas en el ámbito agrónomo , dañando sus sembríos y pastizales. (Urbina, 2018)

La actividad minera es uno de los pilares económicos más importantes en los últimos años en el Perú, Siendo quizás la más importante en materia económica en nuestro país debido a la gran cantidad de divisas y puesto de trabajo que se genera en entorno a un campamento minero (se estima que general el 10% del producto bruto interno). Así como

también la gestión ambiental y social de las empresas mineras es un tema que viene generando polémica debido al desconocimiento de la poblaciones cercanas a estas mineras ,generando conflictos entre población y minería en los últimos años , es por ello de la importancia de las presas de relaves como medida de almacenamiento de los residuos de relaves, es por esta razón que nace la importancia de estudios que permitan dar la mayor seguridad a este tipo de obras de ingeniería , es por ello que se realizan estudios cuidadoso de la hidrología y topografía , se convierte de suma importancia debido a que será la base para diseños adicionales que se tendrán que hacer. Buscando de esta manera, conocer los volúmenes a los que será sometido la presa de relaves para prever su adecuado funcionamiento. El complejo minero polimetálico de Antamina está ubicado en el distrito de San marcos, provincia de huari en la región Ancash, a 200 km de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4300 msnm, dicho complejo extrae el zinc, cobre, molibdeno, plomo/bismuto. (Boletín de Antamina, 2017)

El complejo minero Antamina ,mediante tajo abierto , extrae los minerales que luego son llevados para un proceso de perforación y voladura luego siguiendo por carguío y acarreo siguiendo el chancado del material mediante un faja transportadora para al molienda , después de la molienda para el proceso de flotación donde se busca separar los materiales sea el cobre , zinc , molibdeno , plata , y se transporta los minerales por el minero ducto , luego llegar a la planta filtradora donde el mineral llega con un 65% de solidos a un 9.5% para la exportación de los embarques , el agua que queda termina siendo purificada beneficiando a los bosques y ecosistemas cercanos . El complejo minero cuenta con 2 diques , en Antamina se encausa el agua mediante canales , lluvias y diques asegurando el flujo hídrico constante de las poblaciones aledañas todos los meses del año , el dique nescafe cuenta con 2 millones de m³ entregando a las población 150 l/s para las poblaciones cercanas, el dique polishing pond con capacidad de 580 000 m³ de capacidad abastece el consumo del campamento y poblaciones aledañas , llevando el flujo hídrico a la quebrada Ayash cumpliendo con la línea de base de 150 l/s . (Boletín de Antamina, 2017)

La represa de relave del complejo minero cuenta con una disque de embalse cuyas características del dique son: relleno de roca con cara de concreto, y está revestido con geomembranas que contiene las filtraciones, cuenta con una altura de 240 metros y el

ancho de 1300 metros, su capacidad de almacenaje de relave es de 1100 millones de toneladas m³ de relave. EL proceso de molienda exige la utilización del recurso hídrico (agua) para ello el complejo minero de Antamina utiliza el 99 % de agua de la represa de relave , vertiendo ese 99% de agua a la misma represa de relave , haciendo una reutilización del agua , generando relave minero este mismo se va asentando sobre las superficies bajas de la represa de relave, con el pasar de los años dicho relave se va acumulando generando una especie de capa la cual incrementa el volumen existente de la represa de relave . (Boletín de Antamina, 2017)

1.1.1 Problema General

Cómo analizar el riesgo ante la ruptura de la presa de relave Antamina

1.1.2 Problemas Específicos

- a) Cuáles son las características topográficas y geológicas en la micro cuenca Ayash
- b) Cuáles son los parámetros hidrológicos e hidráulicos en la micro cuenca Ayash
- c) Cómo obtener la zona afectada de la cuenca ante una posible falla de la presa relave
- d) Cuáles serán las posibles medidas de mitigación frente a una posible ruptura de presa de relave

1.2 Objetivo General y específico

1.2.1 Objetivo General

Analizar el riesgo ante la ruptura de la presa de relave Antamina San Marcos Ancash.

1.2.2 Objetivo Especifico

- a) Analizar las características topográficas y geológicas en la cuenca Ayash.
- b) Determinar los parámetros hidrológicos e hidráulicos en la cuenca Ayash.
- c) Analizar la zona afectada de la cuenca ante una posible falla de la presa de relave mediante modelos numéricos.
- d) Proponer medidas para mitigar daños ante una posible falla.

1.3 Delimitación del Estudio

1.3.1 Delimitación temporal

La presente investigación Análisis del riesgo ante la ruptura de la presa de relave Antamina distrito de San Marcos, Ancash, se comenzó el 03 de mayo del 2021 y se culminara el 30 de noviembre del 2021 sometida a la facultad de ingeniería civil de la universidad Ricardo Palma.

1.3.2 Delimitación espacial

La ubicación de la investigación se encuentra en el distrito de San marcos, provincia Huari departamento de Áncash

Coordenadas de la presa de relave

Sur: 9°32'09"S

Norte: 77°01'57"N

Coordenadas del centro poblado Ayash

Sur: 9°31'06"S

Norte: 77°01'09"N

Longitud Oeste: 77°03'40''

Latitud Sur: 9°32'14''

En la figura 1 podemos observar la represa de relave de la compañía minera Antamina y la micro cuenca de Ayash y Huancayoc que a 2.5 kilómetros de distancia está el al centro poblado de Huaripampa que cuenta con infraestructuras de viviendas terrenos de cultivo y tiene una población de 311 habitantes.

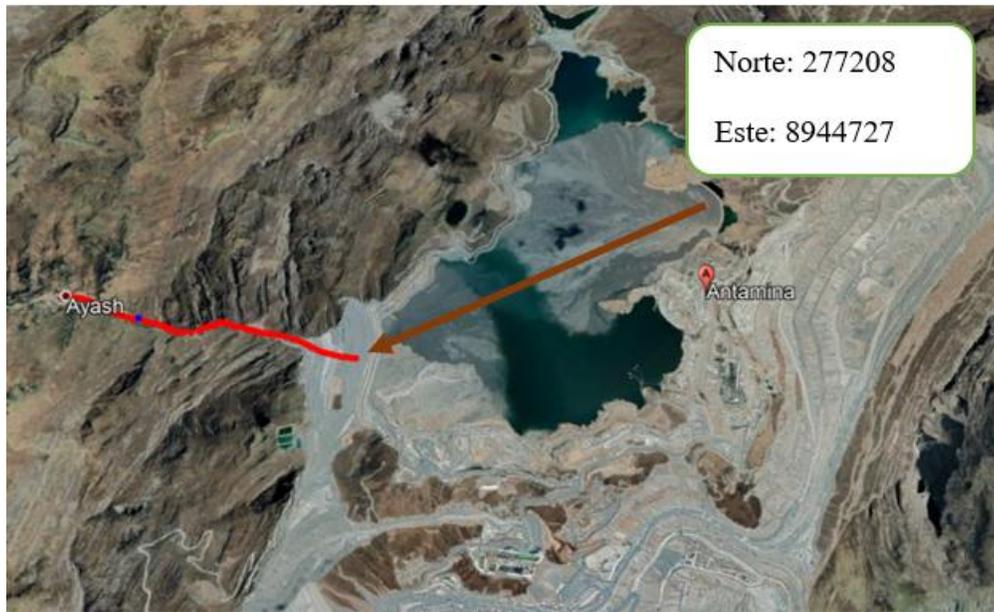


Figura N°1: Representación del relave minero y la presa en Ancash.

Fuente: Elaboración propia empleando Google Earth Pro versión 7.5.

1.4 Justificación e Importancia

1.4.1 Justificación practica

El principal aporte practico de esta investigación es informar a la población de la cuenca Ayash y a los caseríos que conviven en la zona que frente a una ruptura de la presa de relave , este mismo , causara daños en las zonas involucradas , así cabe precisar las características del dique de la presa de relave minero para informar a la población la cantidad de relave el dique almacena así como su ubicación y dimensiones, el dique se encuentra ubicada a una altitud de 4125 msnm siendo una presa de relave del tipo Escollera teniendo una cota de base de 3950 msnm, tiene una longitud de 1200 metros y ancho de 40 metros en la parte alta del dique y una altura de 165 metros, teniendo un volumen del material del dique de 22,326,032.26 m³ y un área del dique de 352,788.35 m², contiene entre agua y relave 221.86 millones de metros cúbicos de agua y relave minero, teniendo un espejo de relave y agua en la cota de 4115 msnm. Se obtuvo un caudal de diseño mediante el método de Dick perchke de 179.96 m³/s y el caudal de infiltración por el método S.C.S. De 181.10 m³/s, también se obtuvo la intensidad de diseño con la ecuación de la doble

regresión de 32.93 mm/hora para los tiempos de retornos de (10,100,380,450,500) años.

Cabe señalar que las precipitaciones se obtuvieron de la data de registros históricos de SENAMHI de cada mes y año en 24 horas. Para poder obtener las precipitaciones máximas pluviométricas se tomó la data de cuatro estaciones cercas a la zona de investigación. Donde la estación Chavín de Huántar obtuvo la precipitación máxima de 24.4 mm. la estación Chavín de Huántar, el área de la cuenca de la compañía minera Antamina se obtuvo con el programa ARCGIS es de 47.5 km² y tiene una longitud desde la parte más lejana hasta la presa de relave es de 9105 metros. En la micro cuenca de Ayash se encuentra la represa de relave minero y a una distancia de 2.5 km se encuentran los centros de poblados de Huaripampa, cochoragra, pichiu y une a la micro cuenca de Huancayoc.

1.4.2 Justificación Social

La presente investigación nos permite mantener informado a los más de 311 habitantes de los centros poblados de huaripampa, chocoragra y pichiu donde existe infraestructura de viviendas y terrenos de cultivo atreves de modelamiento del programa IBER Y HEC RAS. Ante la ruptura de la presa de relave se podrá estimar el volumen, área, longitud y altura de inundación de la micro cuenca de Ayash y de la cuenca huancayoc estas zonas están ubicado en la provincia de huari, distrito de San Marcos, región Ancash, su actividad es la producción agrícola y ganadera para su debida comercialización.

1.4.3 Justificación Ambiental:

La repercusión ambiental en caso de una ruptura de la presa de relave minero, afectaría a la flora, terrenos de cultivos y la ganadería de la zona, estos últimos forman parte de las actividades económicas diarias de la zona, así también causando daños físicos y materiales a la población, debido al grado de contaminación que generaría enfermedades en los centros poblados. Con esta investigación de estudio podemos predecir y determinar la magnitud del daño que ocasiona el escurrimiento de relave por la micro cuencas de Ayash y Huancayoc donde se podrá dar a informar a la población en caso de ruptura de presa a tener estas consideraciones.

1.4.4 Importancia

En Antamina el manejo responsable del agua es prioridad en Antamina más del 99% del agua utilizada en el procesamiento del mineral , es agua recirculada de la presa de relaves donde es decantada ,es decir pasa por un proceso de asentamiento natural de los relaves , promoviendo de esta forma el uso correcto del recurso hídrico Antamina es una de las mineras que solo usa el 0.01 m³ de agua por tonelada tratada, solo se utiliza el 0.7% de agua para la torre de enfriamiento de la planta concentradora , así como también cuenta con dos diques , la cual permite abastecer a las poblaciones cercanas obteniendo el certificado ISO 14001.

La novedad científica en la presente investigación , es que no se ha realizado un estudio de este tipo en este lugar y es muy importante dicha investigación terminar con la propuesta de un grupo de medidas con el conocimiento de la población ante una ruptura del dique de la presa de relave Antamina debido a que los complejos mineros junto con la presa de relave se encuentran cercanos a pueblos y ecosistemas, siendo un problema latente en caso de una ruptura de presa de relave afectando campos agrícolas y pérdidas humanas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Estudio de Investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Jorquera.M (2019) realizó una tesis para optar el grado de título Magister en Gestión y Planificación Ambiental en la Universidad de Chile “Pasivos Ambientales Mineros- Conflictos Ambientales y Percepción de la contaminación y de la salud de la población-Comuna de Cabildo”. El objetivo principal de la investigación es determinar si los pasivos ambientales mineros son un foco de conflicto ambiental para la población de cabildo, para ello los investigadores realizaron un estudio de 3 etapas. La primera, enfocada en la caracterización de su potencial contaminante y de riesgo para la salud, para la cual se aplicó la ficha de identificación de Sitios con Potencial Presencia de Contaminantes (SPPC); una segunda, enfocada en recopilar antecedentes y datos estadísticos del perfil epidemiológico de la población y una tercera, que evaluó a través de una encuesta de percepción los diferentes valores o significados que la población próxima le otorga al sitio “El Escorial”. El tipo de investigación tiene una metodología cuantitativa, descriptiva y experimental. Los resultados obtenidos por los investigadores posicionaron a “El Escorial” como un sitio de alta jerarquía, es decir, con un alto potencial de presencia de contaminantes; situación que difiere de los resultados de la encuesta, los que mostraron un alto grado de desconocimiento del sitio. Los autores concluyen que la población de Cabildo identifica otros tipos de conflictos ambientales como más relevantes para su población que los 3 estudios hechos por los investigadores esto debido a la desinformación que pueden dejar los pasivos ambientales mineros. Finalmente, la tesis del investigador muestra la importancia del análisis y estudio de los Pasivos ambientales mineros y como estos afectan a la población lo cual es un punto clave para la tesis presentada debido que, en caso de ruptura de presa, generaría gran contaminación en los poblados cercanos que con el pasar de los años podrían dejar secuelas en el medio ambiente y población.

Ortiz & Portilla (2014). En su tesis previo a la obtención del título de ingeniera civil de la universidad de cuenca – Ecuador. “estudio de estabilidad de los taludes de la presa del proyecto PACALORI, para los tres estados de carga, considerando la acción sísmica”. Su objetivo principal conocer y garantizar la estabilidad del talud de la presa de suelo y roca a lo largo de su vida útil. Se concluye hacer estudios de equilibrio limite en tensiones efectivas, atreves de ensayo triaxial no drenado podremos obtener sus parámetros de resistencia del suelo la cohesión y fricción con estos datos podemos hacer una simulación con el programa ELIDE podremos conocer su factor de seguridad de la presa de tierra, usando método pseudo estático sísmico. Finalmente, con estos resultados obtenido podremos conocer la estructura del talud y conocer su resistencia al esfuerzo corte, así evitar falla catastrófica de vidas humanas y medios ambiental. Con el estudio de mecánica de suelo podremos conocer el tipo de suelo que existe en la zona y saber sus parámetros resistencia y su porcentaje de compactación en el talud, donde será resistente a los empujes horizontales del agua o evento sísmicos que puede provocar una falla al esfuerzo cortante en la base o corona del talud de tierra compactada. Por lo tanto, se concluye para obtener mejor estabilidad del talud no están considerando estudios de factor de seguridad del dique con los softwares Max Srtas. en lo cual podremos obtener los valores de factor de seguridad por métodos pseudoestatico y dinámico que nos van a garantizar las fallas ante un evento sísmico. En esta investigación también faltó el uso de geomallas para obtener los suelos reforzados con mayor compactación el dique donde se tendrá mejor resistencia y rigidez que va dar mayor estabilidad y confinamiento al talud del dique donde estos suelos van a resistir esfuerzos de compresión y tensión.

De La Cruz, S. (2017) En su tesis de grado de master universitario en minería sostenible en la universidad politécnica de Madrid – España. “evaluación del fallo de presas de relave con el método del árbol de fallos”. Tuvo como objetivo principal definir una metodología con el árbol de fallos que permita determinar las causas que condicionan el fallo de las presas de relaves y su liberación catastrófica al medio ambiente. Para este trabajo se han analizado e integrado una serie de bases de datos y comisiones internacional de grandes presas que son un subconjunto de

números reales de incidentes de presas de relaves en el mundo, luego de hacer verificación actualizada de la información estudiada se identifican un total de 407 casos de falla de presa de relave dentro de esto 300 previos al 2000 y 69 eventos posteriores donde un parte significativo de los fallos reportados 38 casos fueron catastrófico el pico más alto de falla se produjo en los años 1965. El tipo de investigación tiene una metodología cuantitativa numérica aplicados a la investigación experimental. Los resultados obtenidos en la presente tesis se concluyen que las presas mineras de relave generalmente se desarrollan con muy mala ingeniería de diseño y construcción debido principalmente a los escasos de recurso y personal técnico calificados. con este resumen de resultados y datos se llegan han concluir seis mecanismos de fallos por deslizamientos del talud o inestabilidad de la pendiente, desbordamiento o sobrepeso, eventos sísmicos, filtración subterránea, erosión interna, licuación estática por estos factores o mecanismos se presenta los fallos de presa de relave. El autor concluye para poder mitigar las fallas de las presas de releve minero tengan un monitoreo y constantes capacitación al personal y estudios hidrológicos, hidráulicos y mecánica de suelos. Finalmente, esta tesis tiene un análisis de investigación exploratoria a través de estos ensayos y estudios se puede diagnosticar y conocer las fallas más frecuentes y así poder mejorar en la parte constructiva de las presas de relave. Se concluye que la falta de ingeniería en esos tiempos hace que las aguas en el vaso de presa de relave se filtran y crean erosiones internas para evitar esto no usaron geomembrana para impermeabilizar el suelo ni estudios de perforación de diamantina para poder conocer los estratos de la roca y suelo y el material de préstamo o afirmado para la elaboración de la presa no tenía un estudio de mecánica de suelo adecuado todos estos factores hacen que sea más vulnerables y fallen las presas de relave .

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Olaya & Sevillano (2019) realizó una tesis para optar el grado de título profesional de ingeniero civil en la Universidad Ricardo Palma “Análisis comparativo entre el método aguas abajo y suelo reforzado para el recrecimiento de la presa de relaves Viluyo”, Puno. El objetivo general de la investigación fue analizar comparativo de los métodos de recrecimiento de aguas abajo y suelo reforzado donde se analizó la

estabilidad física, los análisis que se hicieron fueron el estático, pseudo estático y dinámico, los investigadores el análisis de las filtraciones donde ellos obtuvieron información sobre la estabilidad interna en el recrecimiento de la presa. El tipo de investigación tiene una metodología cuantitativa, aplicada y descriptiva a los métodos decrecientes. Los resultados obtenidos de la presente tesis fueron dos, los métodos convencionales (aguas abajo) y un método no convencional (suelo reforzado), de los cuales el método de suelos reforzados proporciona resultados más favorables, garantizando la estabilidad. Los autores concluyen que la alternativa de solución para recrecimiento de presa de relaves es un método no convencional (suelo reforzado) siendo este método un ahorro económico. Finalmente, esta tesis se relaciona más con un análisis comparativo mas no de ruptura de presas, cabe señalar que para la presente tesis el método de suelos reforzados nos ayudaría a obtener resultados favorables de estabilidad de presa en caso de una ruptura de presa.

Quispe & Zúñiga (2020) realizó una tesis para optar el grado profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Huancavelica titulada “Análisis sísmico pseudo estático y pseudo dinámico de la estabilidad de la presa N°9 Acuchilla-Ccochaccasa-Angaraes-Huancavelica”. El objetivo general de la investigación fue identificar la susceptibilidad y factor de seguridad de los taludes en estudio , en la cual los investigadores utilizaron diferentes métodos de análisis cuyo método específico para emplear para este análisis es el método mora vahrsen , dando como resultado una susceptibilidad media en condiciones normales para factores internos (topografía ,geología y humedad del suelo) y una susceptibilidad mediana en la intervención con los factores externos (lluvia y sismo). El tipo de investigación tiene como metodología experimental descriptiva. Los resultados obtenidos por los investigadores fueron los métodos determinístico para el cálculo del factor de seguridad de los taludes en los subsectores de estudio basándose en especificaciones en el análisis estatuto y dinámico , por lo que este primero emplea los métodos de estático , dinámico y métodos de elementos finitos , teniendo en cuenta estos resultados mediante el análisis , estos obtenidos en campo son: condición estático es 1.66, condición Pseudo Estático es 1.49 , Condición pseudo

Dinámico 1.32, Condición Dinámicos es 1.16 . Los autores concluyen que los resultados son muy deficientes a la norma lo cual requiere realizar mejoras dentro de esta presa de relave y las medidas de mitigación de riesgo como la construcción con geomembrana, los cuales los resultados de los investigadores fueron los siguientes: condición estática es 1.85, condición Pseudo Estático es 1.75, condición Pseudo Dinámico 1.57, condición Dinámico es 1.39. Finalmente, esta tesis se basa en un análisis de taludes y los métodos comparativos para caso de contener una represa de relave, dicha investigación guarda relación con la presente tesis debido al estudio de susceptibilidad y factores de seguridad son importantes en la construcción de una represa de relave en caso de ruptura.

Hurtado. J,(2019) realizo una tesis para optar el grado de título profesional de ingeniero civil en la Universidad Ricardo Palma “Análisis Hidrológico y Estimación del Balance hídrico para la presa de relaves Pataz-La Libertad-2019”. El objetivo general de la investigación es el análisis de la hidrología y disponibilidad hídrica para estimar las características y requerimientos de una presa de relaves de pataz-La Libertad, los investigadores buscaron un emplazamiento adecuado para que la presa se ubique en una zona donde no represente peligro para la población, ni altere en gran medida el curso natural del agua. El tipo de investigación tiene una metodología cuantitativa, descriptiva experimental. Los resultados obtenidos por los investigadores mostraron las diferencias entre volúmenes de entrada y salida es positiva en todos los meses. Asimismo, los investigadores estudiaron escenarios de balance hídrico donde se implementa un sistema de drenaje en la cuenta aportante y donde se aumenta la capacidad de la planta de tratamiento. Los autores concluyen que se muestra un balance hídrico siempre positivo, aun con los escenarios planteados debido a las características climáticas y de impermeabilización. Finalmente, la tesis del investigador muestra el análisis hidrológico y disponibilidad hídrica para estimar para estimar las características y requerimiento de una presa de relave lo cual son puntos esenciales para la ruptura de presa, debido a que nos indica el crecimiento del volumen de la represa de relave.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Topografía

Los estudios topográficos son elementales, nos brinda el alcance para obtener planos, perfiles longitudinales y las secciones. Para así, hacer reconocimiento de los puntos vulnerables y críticos en todo el trayecto de estudio. (Maravi & Melchor, 2020)

La topografía es la técnica que permite medir directa o indirectamente la representación gráfica del terreno. Se trata del punto de partida de proyectos que requieren información sobre la dimensión, posición o forma del terreno sobre el que se va a realizar la obra. En lo que se refiere a ingeniería civil, los trabajos topográficos son fundamentales en las diferentes fases: antes, durante y después de la construcción de edificios, carreteras, puentes o canales. (Contrucciones Alzamora, 2018)

a) Los procesos que se desarrollan en la Topografía son:

1. La nivelación

La nivelación geométrica o nivelación diferencial es el procedimiento topográfico que nos permite determinar el desnivel entre dos puntos, mediante el uso del nivel y de la mira vertical, La nivelación geométrica mide la diferencia de nivel entre dos puntos a partir de la visual horizontal lanzada desde el nivel hacia las miras colocadas en dichos puntos. Cuando los puntos están separados a una distancia mayor que el límite del campo topográfico, o que el alcance de la visual, es necesario la colocación de estaciones intermedias y se dice que es una nivelación compuesta. (Holguin, 2011)

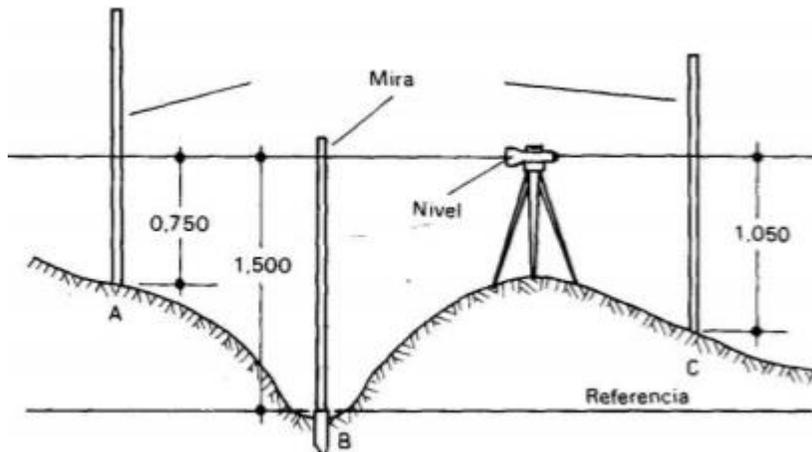


Figura N° 2: uso de la topografía en la ingeniería.

Fuente: Koolhaas (2016)

2. La Planimetría

Según Holguín (2011) define que la planimetría estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una referencia horizontal, la exacta superficie plana, posición en los puntos más importantes del terreno y construir de esta manera una figura (plano).

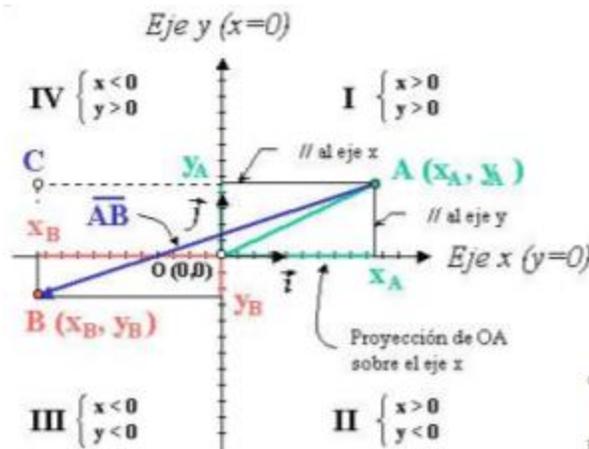


Figura N° 3: Coordenadas cartesianas: X, Y

Fuente: León (2019)

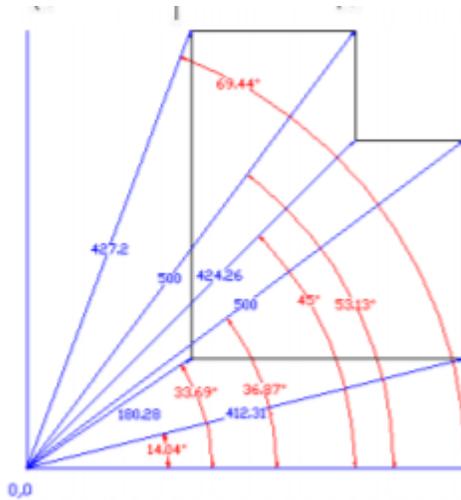


Figura N° 4: Coordenadas polares: Distancia, Angulo horizontal.

Fuente: León (2019)

3. La Altimetría

Se da el nombre de la nivelación al conjunto de operaciones por medio de las cuales se determina la elevación de uno o más puntos respecto a una superficie horizontal de referencia dada o imaginaria la cual es conocida como superficie o plano de comparación. El objetivo primordial de la nivelación es referir una serie de puntos a un mismo plano de comparación para poder deducir los desniveles entre los puntos observados. se dice que dos o más puntos están a nivel cuando se encuentran a la misma cota o elevación respecto al mismo plano de referencia, en caso contrario se dice que existe un desnivel entre estos. (Navarro, 2008)

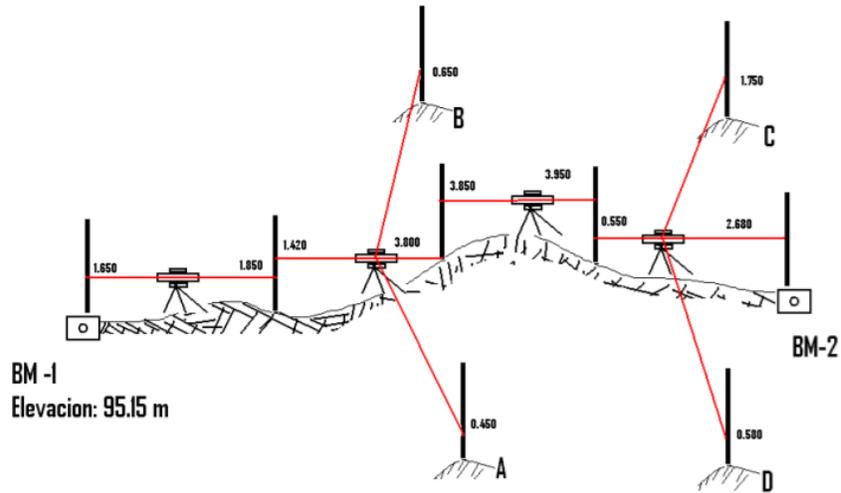


Figura N° 5: modelo de registro de datos

Fuente: Navarro (2008)

4. Taquimetría

La taquimetría posibilita la medición de distancias horizontales o verticales de forma indirecta. A partir del taquímetro, similar a un teodolito, es posible realizar tres lecturas (un hilo inferior, otro medio y un tercer hilo superior) y, tomando el valor del ángulo vertical, llegar a la medida que se pretende conocer. (Pérez & Merino, 2014)

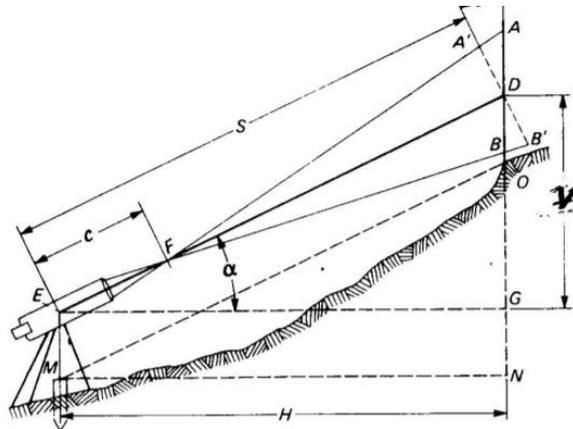


Figura N° 6: Esquema de la taquimetría convencional

Fuente: Koolhass (2016)

Pasos a seguir según León (2019), en un trabajo topográfico:

Para los trabajos de gabinete, Tener claro el objetivo que se pretende alcanzar y los datos necesarios para ello. Obtener dichos datos de campo y procesarlos; bien manualmente o con ayuda de software específico. A partir de los datos procesados obtener una solución; bien gráfica, analítica o de nuevos datos para volver a replantear en campo. Luego en los trabajos de campo tener claro el objetivo que se pretende alcanzar y los datos necesarios a obtener para su desarrollo en gabinete posteriormente. Establecer un modus operando en función al trabajo a realizar, luego elaborar un croquis en campo, evaluar las situaciones de las bases de trabajo, y sopesar los puntos necesarios a levantar, después depurar y entregar datos para el procesado en gabinete o realizar el volcado de datos de la estación total o GPS al ordenador. Para los Métodos Topográficos de Radiación ,Este método se fundamenta en lo que se denomina barrido horizontal , este método exige 3 pasos : Visibilidad a todos los puntos que constituyen la poligonal y de los puntos de relleno necesarios para la definición del relieve del terreno, terrenos despejados y claros, (sin muchos elementos que produzcan sombras visuales), Terrenos suaves, (que no sean demasiados accidentados o abruptos).la forma de actuar en campo es: Realizar un croquis de la finca y elegir el instrumento topográfico a utilizar en función al proyecto, situación de la estación o base, que puede ser dentro de la parcela o fuera de ésta misma , para después el estacionamiento, (vertical del punto, nivelación, orientación y establecimiento del sistema de referencias). En la observación de los puntos de la poligonal y puntos de relleno necesarios, en cada observación debemos de anotar: N.º del punto observado, Distancia inclinada. DI, Ángulo horizontal. Hz, Ángulo vertical. Altura de instrumento. i , Altura de prisma. Como actuar en gabinete, Desarrollar de forma organizada los cálculos analíticos, para lo cual es aconsejable la utilización de estadillos. En nuestro caso comenzaremos rellenando en el estadillo taquimétrico aquellos datos observados en campo. Una vez anotado los datos observados calculamos en primer lugar la distancia reducida, con la siguiente formula.

2.2.2 Geología

Los estudios geológicos se basan en darnos las características geomorfológicas del suelo, y así poder observar cómo está formado el tramo a estudiar. Con ayuda de los estudios topográficos podemos obtener la geología del terreno. (Maravi & Melchor, 2020)

Como primer antecedente a estudiar para la realización de un estudio geológico y geotécnico deben considerarse los estudios geológicos realizados en el área. En general, a partir de estos antecedentes, es posible deducir las unidades geológicas más destacadas tanto de rocas como de suelos y en algunos casos, ciertas características mecánicas o hidráulicas de las mismas. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones,, 2012)

El documento de mayor cobertura es el Mapa Geológico del Perú, en escala 1:1.000.000, preparado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). En dicho mapa se inserta un recuadro en el cual se muestra la cartografía utilizada para su preparación, que va desde levantamientos en escala 1:25.000 a 1:250.000. Dichos levantamientos parciales pueden ser de circulación restringida o pública. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones,, 2012)

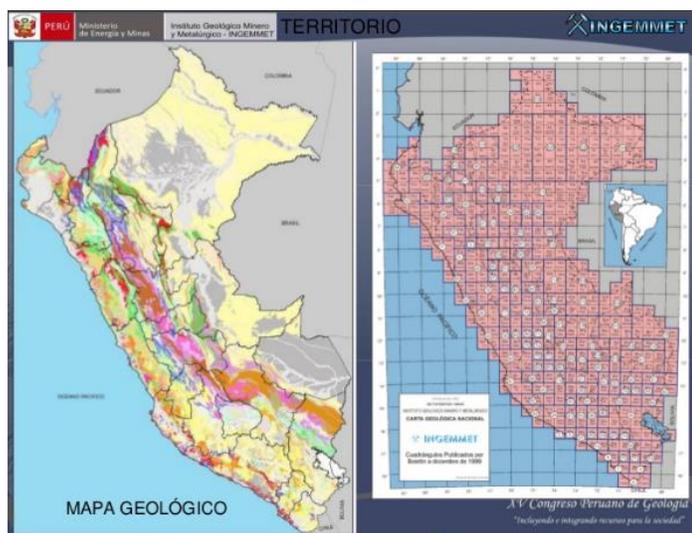


Figura N° 7: Mapa geológico del territorio peruano

Fuente: Ministerio de energía y minas, (2014)

2.2.3 Hidrología aplicada

a) Estudios Hidrológicos

Conjunto de procesos físicos, químicos y/o biológicos que actúan sobre variables de entrada para convertirlas en variables de salida. (Apacla ,2017)

El ciclo hidrológico es conocido también como el ciclo del agua y es el proceso que describe los sucesivos y diferentes cambios del estado del agua: líquida a vapor, de vapor a líquida, de movimiento y el cambio de estados del agua (líquido, vapor y sólido) en la tierra, ya sea líquido a sólido, de sólido (hielo) a líquido o de hielo a vapor (sublimación). el ciclo del agua en nuestro planeta viene ocurriendo por millones de años y las diferentes formas de vida dependen de él. (Vasquez, et al., 2016)

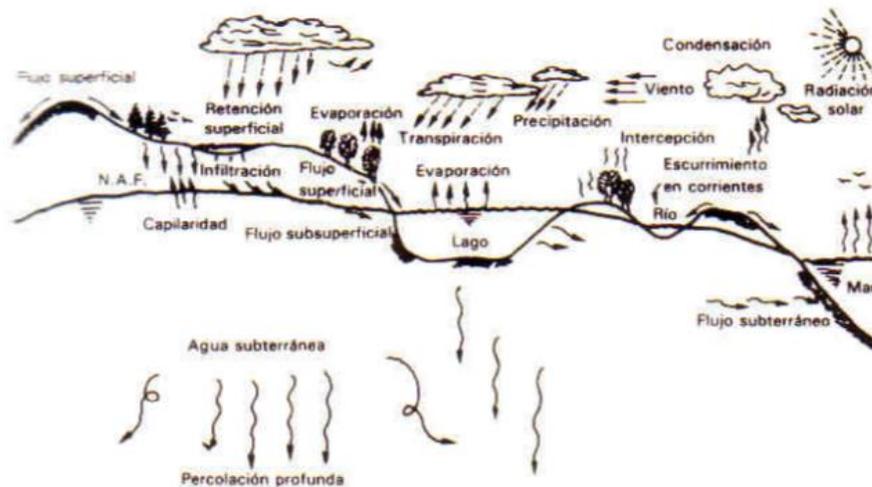


Figura N° 8: Representación del ciclo hidrológico

Fuente: Bateman (2007)

b) Estudios Hidráulicos

Es una rama de la física y la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa (fuerza) y empuje de la misma (Ministerio de Transportes y Comunicaciones,, 2012)

c) Cuenca Hidrológica

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable. Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En la primera el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en la segunda, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. (Mijares, 1989)

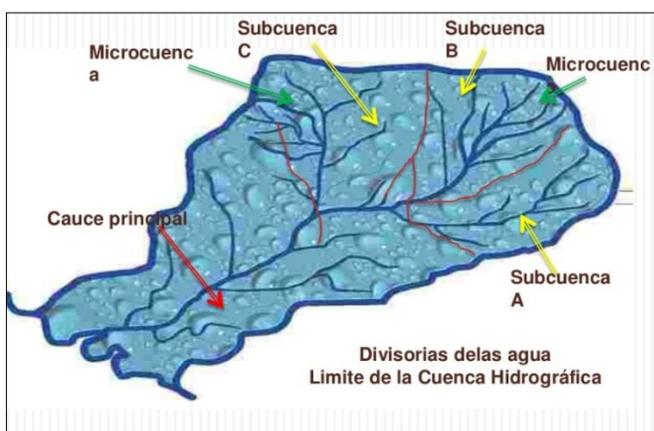


Figura N° 9: Subcuencas y microcuencas

Fuente: Avendaño, (2007)

d) Área de la cuenta y parámetros

Es la superficie del terreno en las aguas de las precipitaciones que concurren a un mismo punto de evacuación a través de cauces secundarios o quebradas que se unen a un cauce principal. Las aguas de las precipitaciones, lagunas o glaciares que no han sido infiltradas por el suelo se denominan escorrentía superficial y se desplazan desde los puntos de mayor elevación hacia los puntos de menor elevación por efecto de la gravedad. Mientras que, las aguas que han

vido infiltradas por el suelo se denominan escorrentía subterránea y discurren por su interior similarmente. Este parámetro es el más utilizado en el estudio de la escorrentía de una cuenca. La delimitación de una cuenca hidrográfica se realiza a través de una línea imaginaria, denominada divisora de agua o *divortium Aquarum*, que separa las pendientes opuestas de las cumbres, fluyendo las aguas de las precipitaciones a ambos lados de la línea imaginaria hacia los cauces de las cuencas continuas. A continuación, se muestra los componentes en una cuenca . (Córdova, 2016).

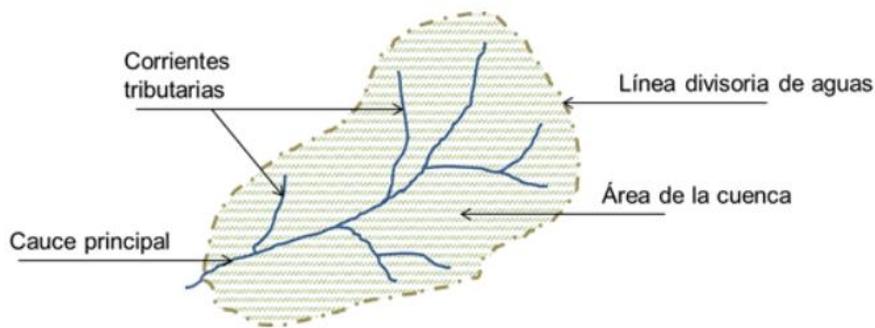


Figura N° 10: Parámetros geomorfológicos de las cuencas hidrográficas.

Fuente: Córdova, (2016)

Tabla 1: Clasificación de la cuenca

Rango de áreas (km ²)	Clasificación
menor a 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeñas
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
mayor a 5000	Muy grande

Fuente: Maravi & Melchor (2020)

Longitud del cauce principal

La longitud de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba. Al igual que la superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos. (Ibañez et al., 2010)

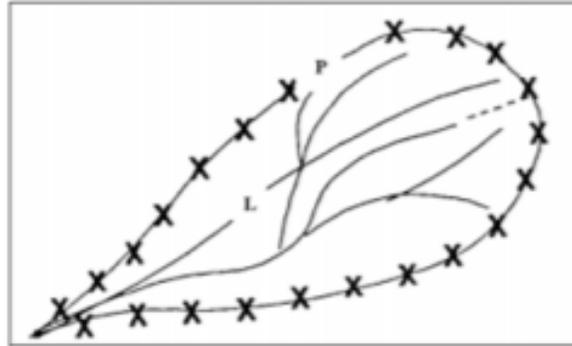


Figura N° 11: longitud y perímetro de una cuenca

Fuente: Ibañez et al., (2010)

e) Perímetro y forma de la cuenca

Según Córdova (2016) define que el perímetro es la longitud de la línea divisoria de aguas y conforma el contorno del área de la cuenca. Cuando se compara cuencas de la misma área, este parámetro es útil para diferenciar la forma de la cuenca. Es decir, si es alargada o redondeada, además el autor define que la forma de la cuenca, para identificar las características de forma se emplean varios parámetros asociados con la relación área, perímetro o la longitud del cauce de agua más largo que se define como la distancia desde el punto de la salida de desembocadura de la cuenca hasta el punto agua arriba más alejada, además indica la siguiente fórmula para su cálculo:

$$F_f = \frac{A_{area}}{(L)^2}$$

Donde:

A: área de la cuenca en km^2

L: Longitud de la cuenca en km^2

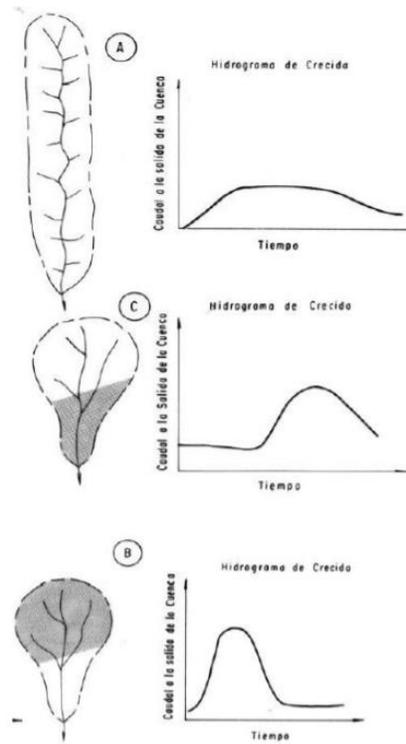


Figura N° 12: Efecto de la forma de la cuenca en el tiempo de concentración.

Fuente: Lux (2016).

Tabla: 2 Rangos aproximados del Factor de Forma

Factor de Forma (Valores)	Forma de la Cuenca
Menor a 22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	ensanchada
0.8 a 1.20	Muy ensanchada

Fuente: Córdoba, (2016)

2.2.4 Precipitaciones

La precipitación está constituida por toda el agua, que de una u otra forma, es depositada en la superficie terrestre, por la condensación del vapor de agua contenido en el aire atmosférico. la precipitación puede ser en la forma líquida (lluvia y roció), o en forma solida (nieve, granizo). La forma más común y la que mayor interés tiene en la ingeniería, es la lluvia que viene a ser la causa de los más importantes fenómenos hidrológicos y su cuantificación correcta es uno de los desafíos que el hidrólogo o el ingeniero desafían. (Vásquez, et al.,2016).

a) Análisis estadísticos de precipitaciones

La unidad de medición es el milímetro de lluvia, definido como la cantidad de precipitación correspondiente a un volumen de 1 litro por metro cuadrado de superficie, conocido como lámina de agua o altura de lluvia depositada sobre esa superficie. (Vásquez, et al.,2016).

b) Medición de la precipitación

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua (hp), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera donde cayó. Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos (Béjar, 2002).

c) Cálculo de la precipitación media sobre una zona

Según Villón (2002) en su libro Cálculos hidrológicos e hidráulicos en Cuencas Hidrográficas, nos indica que en general, la altura de precipitación que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos. Para calcular la precipitación media de una tormenta o la precipitación media anual, existen tres métodos de uso generalizado son:

1. Promedio Aritmético

Según Maravi & Melchor, (2020) define que el promedio aritmético consiste en obtener el promedio aritmético, de las alturas de precipitaciones registradas, de las estaciones localizadas dentro de la zona, la cual se expresa en la siguiente fórmula:

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

Donde:

P_{med} = precipitación media de la zona o cuenca.

P_i = precipitación de la estación i .

n = número de estaciones dentro de la cuenca.

2. Promedio Thiessen

Requiere el conocimiento de la ubicación de cada estación dentro o en la periferia de la cuenca para proceder a su aplicación, identificando el área de influencia de cada pluviómetro y/o pluviógrafo. Así se van formando triángulos entre las estaciones más cercanas uniéndolas con segmentos rectos sin que éstos se corten entre sí y tratando que los triángulos sean lo más equiláteros posibles. (Universidad Nacional del Nordeste, 2007).

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i * P_i$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media.

A_T = Área total de la cuenca.

A_i = Área de influencia parcial del polígono de Thiessen.

P_i = Precipitación de la estación i .

n = Número de estaciones tomadas en cuenta.

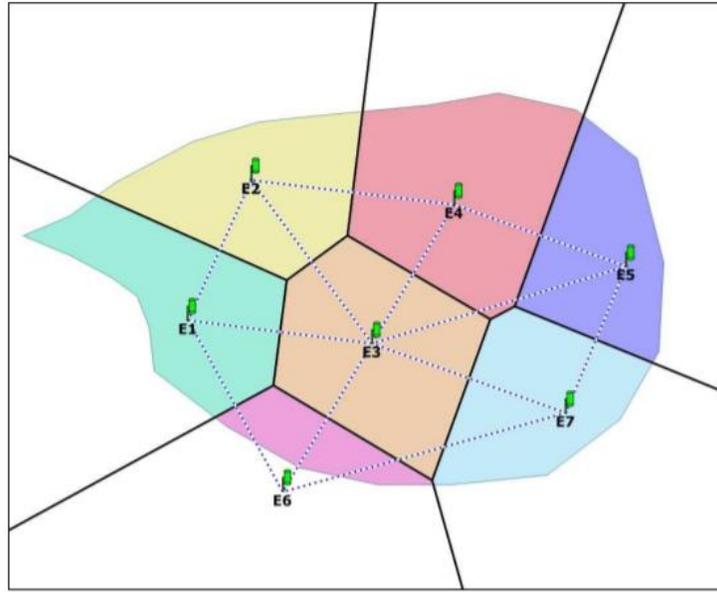


Figura N° 13: Polígono de Thiessen

Fuente: Universidad nacional del nordeste, (2007)

3. Isoyetas

Según Villón (2002) para este método, se necesita un plano de isoyetas de la precipitación registrada, en las diversas estaciones de la zona en estudio. las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. este método es el más exacto, pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de isoyetas .se puede decir que, si la precipitación es de tipo orográfico, las isoyetas tendrán a seguir una configuración parecida a las curvas de nivel. Por supuesto entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de isoyetas, la fórmula para el cálculo de isoyetas es la siguiente:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i$$

Donde:

Pmed= Precipitación media.

At = Área total de la cuenca.

A_i = Área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i .

P_i = Altura de precipitación de las isoyetas i .

n = número de áreas parciales.

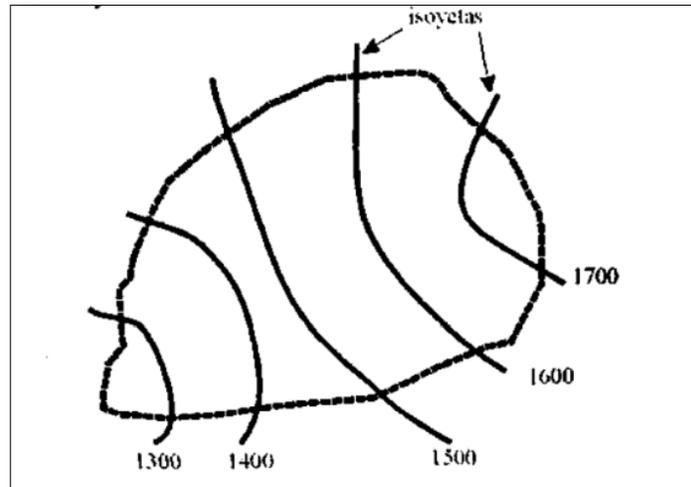


Figura N° 14: Cuenca mostrando Isoyetas

Fuente: Villón, (2002)

2.2.5 Curvas IDF (Intensidad Duración Frecuencia)

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2012). Define que la intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Para determinar estas curvas IDF se necesita contar con registros pluviométrico de lluvia en el lugar de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Es decir, se deben examinar los hietogramas de cada una de las tormentas ocurridas en un año y de estos hietogramas elegir la lluvia correspondiente a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas, a las tres horas y así sucesivamente. Con los valores seleccionados se forman series anuales para cada una de las duraciones elegidas. Estas series anuales están formadas eligiendo, en cada año del registro, el mayor valor observado correspondiente a cada duración, obteniéndose un valor para cada año y

cada duración. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{T_d}$$

Donde:

P= Profundidad de lluvia (mm).

T_d = duración (horas).

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2012). Define que, para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviométrico que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas, la expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} * \left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25}$$

Donde:

P_d: precipitación total (mm).

d: duración en minutos (min).

P_{24h}: precipitación máxima en 24 Horas (mm)

2.2.6 Máximas Avenidas

Según Linsley et al., (1977) se entiende como máxima avenida un caudal muy grande de escorrentía superficial que sobrepasan la capacidad de transporte del canal generando la inundación de tierras aledañas.

Según Mochica (2013) define máximas avenidas como el caudal mayor, adoptado a partir de los criterios técnicos y económicos exigidos por el proyecto, que una estructura hidráulica ad-hoc puede admitir, resistir o dejar pasar.

Según Villón (2002) indica que los caudales máximos nos permiten diseñar: las dimensiones de un cauce, sistemas de drenaje, muros de encauzamiento para

proteger ciudades y plantaciones, alcantarillas, vertedores de demasías, luz de puentes. Se debe calcular o estimar el caudal de diseño, que, para esos casos, son los caudales máximos.



Figura N° 15: Daños ocasionados por máximas avenidas

Fuente: Soto (2020)

a) Avenida

Según Soto (2020), define qué es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de este. Durante la avenida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo, además, menciona que las principales causas que generan los orígenes de las avenidas son las siguientes:

1. Avenidas máximas causadas por precipitaciones líquidas son las más comunes y tienen sobre todo como origen, tormentas extraordinarias por su intensidad, duración, extensión y repetición.
2. Avenidas máximas causadas por precipitaciones sólidas: su origen se debe a la fusión de la nieve y al almacenamiento y descongelación del hielo.
3. Avenida máxima mixtas, originadas por otras causas: se deben a efectos simultáneos de las avenidas antes descritas y las originadas principalmente por una ruptura de presas naturales y artificiales y por la mala operación de las compuertas de un embalse.

Según Soto (2020), los principales factores que influyen en la formación de una avenida, pueden agruparse de manera general en los siguientes grupos:

1. Factores Climáticos: sin duda el más importante es la tormenta, otros factores climáticos son la intercepción que se debe a la vegetación y que es condicionada por el viento, ya que este impide la acumulación excesiva del agua en las hojas, la infiltración que es función de los suelos y su cobertura y de la geología de la cuenca y, por último, la evaporación y la transpiración.
2. Factores geomorfológicos: en los que se incluye todas las características de la cuenca y su red de drenaje, así como son: magnitud, orientación y forma de la cuenca, longitudes y secciones de los cauces; lagos y embalses en la cuenca.
3. Factores Extra hidrológicos y obras artificiales: son aquellas como los deslizamientos de laderas, como es el caso de la presa de Vajont en Italia, formación de barreras naturales en ríos y los glaciales. Por último, las obras artificiales en la cuenca, lógicamente modifican las avenidas, pudiendo ser sus efectos positivos o negativos; dentro de las obras artificiales se tiene: cultivos y bosques, puentes, embalses, encauzamientos, etc.

b) Periodo de retorno

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2012) define que el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada T años, se denomina Periodo de retorno T . si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años. Para optar el periodo de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este ultimo de factores económicos, sociales, técnicos y otros. Si la obra tiene una vida útil de n años, la formula anterior permite calcular el periodo de retorno T , fijando el riesgo de falla admisible R , el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra

(Figura 16), El riesgo de falla admisible en función del periodo de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

Donde:

R = riesgo de falla

n = vida útil

T_r = periodo de retorno

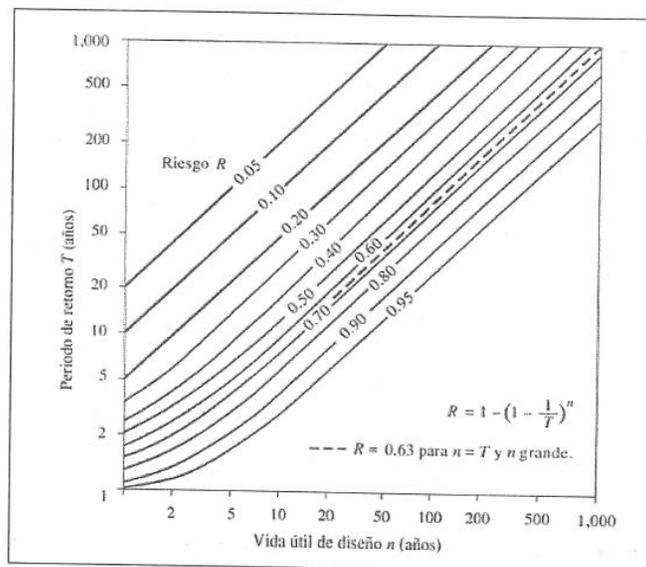


Figura N° 16: Riesgo de excedencia del evento de diseño durante la vida útil

Fuente: Ven te Chow, (1994)

c) Método Racional

Según Villón (2002) define que el método puede ser aplicado a pequeñas cuencas de drenaje agrícola, aproximadamente si no exceden a 1300 has O 13 km². en el método racional se supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia, se produce cuando la duración de esta es igual al tiempo de concentración. Cuando así ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida. Si la duración es mayor que el tiempo de concentración

contribuye asimismo toda la cuenca, pero en ese caso la intensidad de la lluvia es menor, por ser mayor su duración y, por lo tanto, también es menor el caudal. Si la duración de la lluvia es menor al tiempo de concentración la intensidad de la lluvia es mayor, pero en el momento en el que acaba la lluvia, el agua caída en los puntos más alejados aún no ha llegado a la salida; solo contribuye una parte de la cuenca a la escorrentía n, por lo que el caudal será menor, aceptando este planteamiento, el caudal máximo se calcula por medio de la siguiente fórmula.

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Donde:

Q = Caudal Máximo o Descarga Máxima (m³/s)

C = Coeficiente De Escorrentía superficial

I = Intensidad (mm/h)

A = Área De La Cuenca (km²)

Tabla 3: Coeficiente de escorrentía método racional

Cobertura Vegetación	Tipo de Suelo	Pendiente de terreno				
		Pronunciada >50%	Alta >20%	Media >5%	Sueve >1%	Despreciable <1%
Sin vegetación	Impermeable	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
	Semipermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Permeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
Cultivos	Impermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Semipermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Permeable	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2
Pastos, Vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
	Semipermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Permeable	0.35	0.3	0.35	0.2	0.15
Hierba, Gramma	Impermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Semipermeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
	Permeable	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Semipermeable	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
	Permeable	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones (2014)

d) Método racional modificado

Según el Ministerio de Transportes y comunicaciones (2014) define que es el método según la formulación propuesta por Tamez (1987,1991) adaptada para las condiciones climáticas de España. Y permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje natural con áreas menores a 770 km² y con tiempos de concentración (Tc) de entre 0.25 y 24 horas. Las fórmulas para su cálculo es la siguientes:

$$Q = 0.278 * C * I * A * K$$

Donde:

K = Coeficiente de uniformidad

Q = Caudal Máximo o Descarga Máxima (m³/s)

C = Coeficiente De Escorrentía superior

I = Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A = Área De La Cuenca (km²)

Según el Según el Ministerio de Transportes y comunicaciones (2014) define que las fórmulas que definen los factores de la formula general son los siguientes:

e) Tiempo de concentración (T_c)

$$T_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

Donde:

L = Longitud del cauce mayor (km)

S = Pendiente promedio del cauce mayor (m/m)

K = Coeficiente de Uniformidad

T_c = Tiempo de concentración (horas)

2.2.7 Presas

Según Luque (2016), define que, como es el caso para todas las grandes obras públicas o privadas, las presas se construyen para responder a objetivos bien precisos. En el pasado, las presas se construían con el único fin de suministrar agua o de regar las tierras. El desarrollo de las civilizaciones ha conllevado el aumento de necesidades para el suministro de agua, regadío, control de avenidas, navegación, calidad del agua, control de sedimentos y energía hidroeléctrica. A veces un objetivo turístico es un beneficio añadido para la población. Una presa está en el corazón del desarrollo y de la gestión del incremento de las reservas de agua de una cuenca hidrográfica. Una presa con fines múltiples es un proyecto capital para los países en desarrollo, puesto que su sola inversión origina beneficios para la vida cotidiana y económica de las poblaciones.

a) Distintos Tipos de Presas

La presa tiene dos funciones principales retener y aumentar la lámina de agua. Para ello deben ser impermeable, de manera que no dejen pasar el agua, también tiene que ser resistentes a los empujes que ejerce sobre el cuerpo de la presa. (Amador, 2016)

1. Presas de fabrica

Se tratan de presas relativamente esbeltas, construidas con hormigón (aunque antes se construían mediante mampostería). (Amador, 2016)

Este tipo de presas se clasifican en:

2. Presa de Gravedad

Típicamente consisten en una estructura de concreto sólida que mantiene su estabilidad contra las fuerzas de diseño únicamente debido a su propio peso y forma. Son consideradas las más seguras, sin embargo, debido a las grandes cantidades de material que se requiere para su construcción son también las más costosas. Debido a las enormes presiones que ejercen sobre las fundaciones su altura máxima depende principalmente de la capacidad de portante del suelo. Típicamente son construidas en un eje recto, aunque hay casos donde son arqueadas o combinadas con contrafuertes. (Rodriguez, 2018)



Figura N° 17: Presa de gravedad

Fuente: Structuralia (2020)

3. Presa de Arco

Una presa de arco transmite la mayor parte de la carga horizontal del agua hacia los apoyos laterales de la presa, en consecuencia, cuando la topografía del valle permite la construcción de una presa de arco esta resulta menos costosa que la de gravedad por depender de la resistencia del hormigón más que de su peso para contrarrestar el empuje del agua. (Rodriguez, 2018)

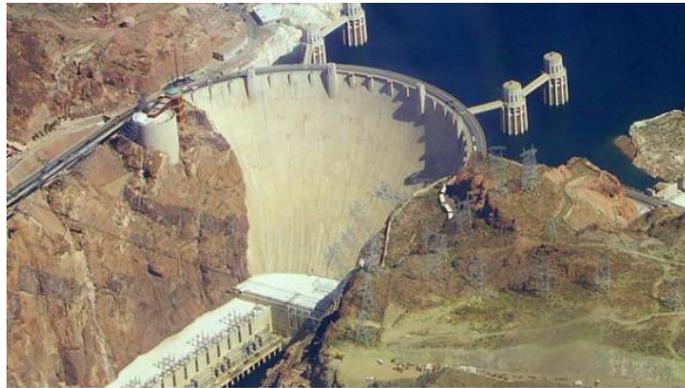


Figura N° 18: Presa de arco

Fuente: Valdivielso (2021)

4. Presas aligeradas

Este tipo de presas poseen un mecanismo resistente de naturaleza similar a las presas de gravedad, pero su sección transversal está compuesta por un paramento vertical, en forma de muro, al que se le añaden una serie de contrafuertes en el paramento de aguas abajo. De esta forma, se consigue una estabilidad frente al deslizamiento y vuelco de orden similar a una presa de gravedad, pero por medio de una cantidad menor de material. Además, esta modalidad ve disminuida ampliamente la subpresión (debido a la esbeltez del cuerpo de la presa) con respecto a una presa de gravedad. A pesar de las grandes ventajas económicas que la construcción de una presa de este tipo reporta debido al ahorro en material, éstas no son muy usuales debido a la complejidad técnica de su construcción, que las hace grandes demandas de grandes cantidades mano de obra. (Structuralia, 2020)



Figura N° 19: Presa aligerada

Fuente: Structuralia, (2020)

5. Presa de arcos múltiples

Son presas de contrafuertes en las que las losas entre tímpanos se han sustituido por losas curvas que transmiten los empujes a los muros verticales sin apenas flexiones en las bóvedas. (Florez, 2018).



Figura N° 20: Presa de arcos múltiples

Fuente: Flórez (2018)

6. Presas de materiales sueltos

Según Amador (2016). Define que las presas de materiales sueltos son presas muy versátiles que se construyen prácticamente con cualquier material, por lo que son las más abundantes en el mundo. Tienen sección trapezoidal y son mucho menos esbeltas que las presas de fábrica, siendo su principal característica la zonificación de sus materiales, es decir, cada tipo de material se coloca donde mejor ejerce su función, además, se clasifican en tres grupos según el elemento impermeable que se emplee y estos son:

7. Presas Homogéneas

Las presas homogéneas emplean el material impermeable, arcilla debidamente compactada en este caso, en la totalidad del cuerpo de la presa, de tal forma que toda la infraestructura goce de buenas condiciones de impermeabilidad. El pequeño tamaño de los granos de arcilla (inferior a los 0,002 milímetros de diámetro) le aporta a este material unas condiciones impermeables muy adecuadas para su empleo en la construcción de obras hidráulicas, dados los coeficientes de rozamiento esperables para las arcillas, oscilantes entre los 15° y 20° y su forma de triángulo isósceles, el tamaño de la base de una presa homogénea de materiales sueltos es de unas 6-8 veces la altura de esta. (Structuralia, 2018)

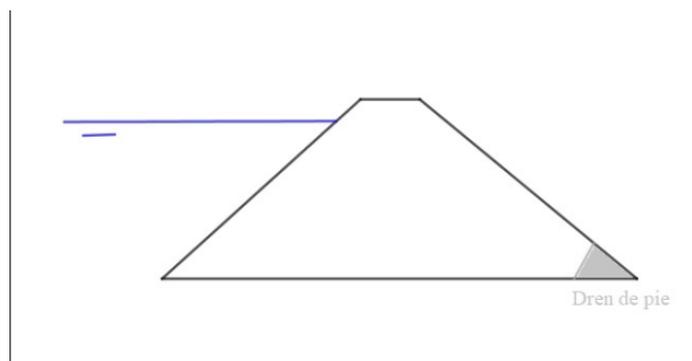


Figura N° 21: Presa homogénea

Fuente: Structuralia (2018)

8. Presas de Núcleo

Según Spada (1994) , define que existen tres tipos de presa de núcleo las cuales son:

9. Presas con núcleo ancho.

La sección de una presa zonificada con núcleo ancho representa una notable evolución para el empleo de materiales diferenciados. En ambos parámetros coloca una capa de materiales permeables (Grava o Roca) que aguas abajo protegen el núcleo como un filtro, bajando rápidamente la línea piezométrica de las filtraciones y aguas arriba forman un contrapeso Yuna zona de drenaje que reduce la presión intersticial en caso de Draw-Down o sea de un rápido descenso del nivel de agua en el reservorio.

10. Presas con núcleo delgado

Desapoyando la técnica de la compactación de la arcilla y paralelamente las maquinas pesada han obtenido mayores grados de impermeabilidad y se ha visto la posibilidad de reducir el espesor del núcleo. Este tipo de presa resulta más económico. La formación de capas de arcilla compactada es casi siempre más costosa que vaciar piedras.

11. Presas con núcleo inclinado

El núcleo impermeable inclinado descarga mejor el empuje hidrostático sobre la cimentación reduciendo la función de soporte del espolón de aguas abajo que puede tener un volumen mínimo. También agua arriba del núcleo se coloca el mínimo volumen de enrocado, no Cesario para su protección.

12. Presas de pantalla

Examinando la evolución de las presas zonificadas se observa que la tendencia es de reducir, en lo posible, la cantidad material impermeable, siempre difícil de encontrar y poner en obra. con el manto impermeable se ha eliminado el núcleo de arcilla aprovechando al máximo las ventajas de la sección con núcleo impermeable inclinado. Los materiales empleados para obtener el manto

apoyado al paramento de aguas arriba Son varios, tales como hormigón armado, concreto asfáltico, planchas metálicas, láminas plásticas, madera etc. La elección depende evidentemente del tamaño de la obra, de la disponibilidad del material, del costo y de la durabilidad, en función de las condiciones ambientales. (Spada ,1994).

2.2.8 Presa de Relave

Las actividades mineras generan grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales los más importantes, en términos de volumen, son los estériles y los relaves mineros. El mineral que alimenta la planta de beneficio posee una determinada ley de mineral útil, estando compuesto por minerales útiles y minerales de ganga. En la planta, este mineral es normalmente fragmentado para permitir la liberación del mineral útil y su separación de los minerales de ganga a través de procesos físicos, químicos o físico-químicos, es este mineral de ganga junto con algunas partículas de roca, la parte sólida que conforman los relaves mineros. (Apaza, 2019)

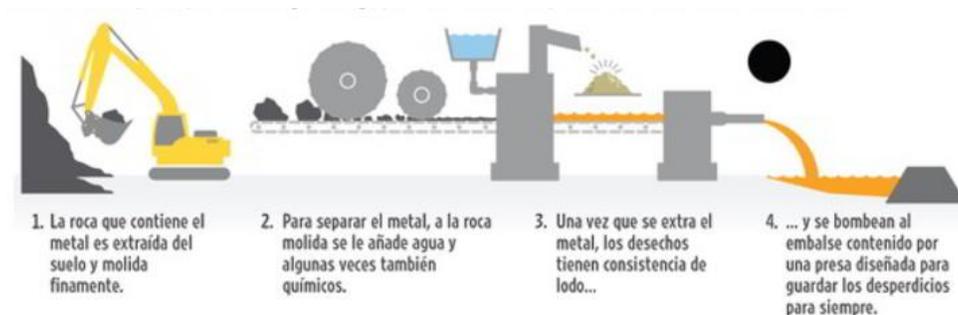


Figura N° 22: Esquema de cómo se forma la presa de relave

Fuente: Artifil (2021)

Las presas de relave son obras de infraestructura para almacenar o represar los relaves, construidos a partir de un muro inicial conformado por material de préstamo o afirmando estos materiales pasan por un proceso de estudio de mecánica de suelo o tratamiento físico. El muro y el suelo de fundación de la presa deben estar impermeabilizados con el objetivo de evitar infiltraciones que influyen en la estabilidad física o contaminen a las fuentes hídricas subterráneas. Estas estructuras

cuentan por lo general con canales perimétricos sistemas de drenaje superficiales y tuberías de descarga para minimizar la saturación de los relves, con agua del proceso, aguas superficiales y aguas de lluvia. El agua captada se conduce por lo general a sistemas de sedimentos y tratamientos, para realizar posteriormente procesos de recirculación, siendo reutilizado en la operación minera o es vertida según los parámetros estipulados por la norma vigente. Las presas de relave minero se ejecutan por etapas de acuerdo al volumen de acumulación. (Asesorías técnicas geológicas ATG Ltda, 2021)

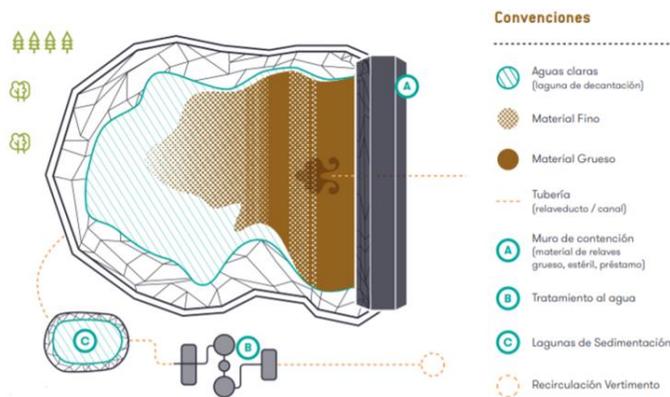


Figura N° 23: Esquema básico de presa de la presa de relave vista de planta

Fuente: Asesorías técnicas geológicas ATG Ltda (2021)

a) Estabilidad de la Presa

El análisis de estabilidad de la presa deberá ser ejecutada para diferentes escenarios y para cada etapa de sobreelevación considerada, obteniendo diferentes factores de seguridad. El análisis de la estabilidad de los taludes de la presa deberá efectuarse mediante un programa especializado, tomando como método para la determinación de su grado de estabilidad el de equilibrio límite de Bishop simplificado para fallas circulares o falla por volteo y el método de Janbu para fallas planares o falla por traslación, con los parámetros de Mohr Coulomb. El análisis deberá contemplar superficies potenciales circulares y

planares que involucran el material del talud tanto para la condición estática como pseudo estática. (Olaya & Sevillano, 2019)

Tabla 4: Factores de seguridad para represas

Condiciones	Análisis		
	Estático	Seudo-Estático	Post- Sismo
Antes del llenado de relave al deposito	1.3	-	-
Después del llenado de relave al deposito	1.5	1	1.2 - 1.3

Fuente: Olaya & Sevilla (Lesdema, 2018)no (2019).

b) Impermeabilización del Vaso

Para evitar la infiltración del agua (que ha entrado en contacto con los relaves) en el terreno natural, se colocará una geomembrana HDPE de 1.5mm de espesor en toda la extensión del vaso y el talud aguas arriba de la presa. Para evitar los punzonamientos la geomembrana se colocará sobre un geotextil no tejido de 270 gr/m². (Olaya & Sevillano, 2019)

Sistema de impermeabilización con el propósito de eliminar algún flujo del depósito de relaves hacia el dique principal y cubrir el vaso de almacenamiento y la superficie del talud del dique aguas arriba. La impermeabilización del vaso consta de colocar el geotextil a todo lo largo del dique D-2 aguas arriba, se coloca el geotextil en contacto 88 directo con el talud perfilado, luego se coloca la geomembrana a todo lo largo del dique y otra vez se coloca el geotextil, quedando de la siguiente manera, geotextil, geomembrana, geotextil, para posteriormente anclar la geomembrana en ambos estribos del dique y en la corana o cresta de la misma. (Apaza, 2019)



Figura N° 24: Presa de relave impermeabilizados

Fuente: Artifil (2021)

c) Tipos Residuos de Relaves:

Según Lesdema, (2018). Los tipos de residuos que podemos encontrar son: Residuos provenientes de pilas de lixiviación; son generados por la extracción de mineral que siendo chancados se le añade soluciones químicas mediante procesos de irrigación o infiltración. Relaves de cianuración con aglomeración y paletización; son generados a causa del retratamiento del relave rico en oro, siendo degradados es estado semi seco, comprende el tamaño de uno a dos centímetros.

d) Características Químicas.

Según Lesdema, (2018). Las características químicas de los relaves varían según el tipo de yacimiento de donde provengan, cabe mencionar que los depósitos de relaves con diferente geoquímica ocasionan modificaciones en las características químicas de éstos; de los cuales se indica los más comunes son:

1. Relaves sólidos

se refiere al efecto que produce la diferencia de la gravedad específica de las partículas minerales de metales individuales, en la distribución de éstos; este efecto genera muchas veces la sobre molienda, y en consecuencia genera concentración de metales pesados en las partículas de los relaves.

2. Efluentes líquidos de flotación

contienen partículas sólidas muy finas en suspensión, que muchas veces son descargados debido a la retención por limitación de tiempo y sedimentación en pequeños depósitos; los reactivos que son utilizados en la flotación van conjuntamente con los relaves, siendo éstos la cal, xana tos, sulfitos, nitrofosfatos, cromatos, sulfato de cobre, ácidos grasos, aceites, sulfato de zinc, alcoholes, cianuro, etc., siendo estos tóxicos para la vida humana y acuática

3. Drenaje ácido de relaves

Estos afectan globalmente a los residuos del proceso minero, agua de mina y botaderos, con la presencia de éstos se reduce el nivel del pH del agua, lo que genera disolución y luego transporte de metales tóxicos disueltos, además del aumento de la presencia de sulfatos; el drenaje de ácidos en los relaves es condicionado por la presencia de 23 pirita, pirrotina y la marcasita, con acción del aire los minerales sulfurados se oxidan y a la vez condicionados por bacterias, consecuentemente produce ácido sulfúrico.

2.2.9 Fallas de Presas

Según Oldecop & Rodriguez (2007) define que las presas, como cualquier estructura creada por el hombre, están sujetas al deterioro y con el tiempo pueden fallar. Los métodos de diseño actuales de presas deberían asegurar la estabilidad tanto de la presa como de su fundación ante todas las condiciones de operación razonablemente estimadas, incluyendo, pero no restringido a fuerzas sísmicas, niveles de infiltración, erosión producto de rebalse, asentamientos, deslizamientos, etc. En la práctica estos criterios no son completamente satisfechos, y como consecuencia, a pesar de todo el desarrollo tecnológico en la construcción y el avance en los métodos de cálculo, estas continúan fallando, con eventos importantes de fallas registrados hasta la década pasada. Esto es especialmente importante en el caso de presas antiguas, las cuales en su mayoría fueron diseñadas y construidas bajo criterios menos estrictos que los de hoy, el autor menciona las siguientes causas :

a) Causas de falla de presa

Identificación de los mecanismos de falla de las presas de residuos mineros El estudio de casos históricos permite identificar cuáles son los posibles mecanismos de falla que pueden afectar a una presa de residuos mineros. De acuerdo al autor el análisis de la información que los principales mecanismos que causan las fallas de las presas de residuos mineros son :

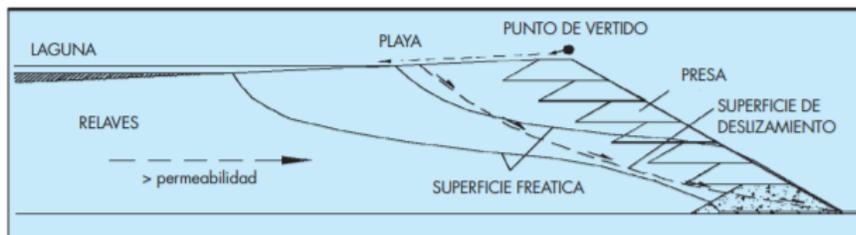


Figura N° 25: Inestabilidad del talud de una presa de relave

Fuente: Oldecop & Rodriguez (2007)

1. Terremoto

El fenómeno de licuación de materiales granulares (no plásticos) se puede entender fácilmente si se comprende primero la tendencia de estos materiales a reducir su volumen de poros cuando se los somete a deformaciones de corte cíclicas. Cuando un material granular tiene sus poros llenos de agua (condición saturada), estos cambios de volumen deben ocurrir a expensas de expulsar agua en los poros. Esta transferencia de agua puede tomar más o menos tiempo dependiendo de la permeabilidad del material. Si la permeabilidad es baja, la distancia a las fronteras drenantes es grande o las acciones (cargas o deformaciones) ocurren rápidamente, ocurrirá un incremento de la presión del agua. Este aumento de la presión del agua intersticial tiene el efecto de disminuir la resistencia al deslizamiento entre partículas, hasta el punto de hacer que el material fluya como un líquido viscoso, de alta densidad.

Tabla 5: Principales causas de falla de presas según su construcción

Tipo de Presa	Causas de Falla
Tierra	Rebalse
	Erosiones internas
	Fundación
	Oleaje
Gravedad	Deslizamiento
	Volcamiento
	Fundación
	Deslizamiento de roca
Arco	Saturación
	Carga excesiva por crecida extremas
	corte
	Rebalse erosionado

Fuente: Rodriguez (2018)

Tabla 6: Causas de Fallas cantidad y porcentaje

Causa de falla	Nº de Fallas	% Fallas
Rebalse	465	70.90%
Erosiones internas	94	15.30%
Infiltraciones		
Estructural	12	1.80%
Falla Humana	4	0.60%
Actividades de Animales	7	1.10%
Vertedero	11	1.70%
Erosión Deslizamiento	13	2.00%
Desconocida	32	4.49%
otra	18	2.70%
Número total de fallas	656	100%

Fuente: Rodriguez (2018)

Tabla 7: Depósitos de Relaves Fallados en el Perú

Deposito Empresa	Altura	Año	Causa	Consecuencias	Estado Deposito
Casapalca Centro min	60	1952	sismo	Número de muertos y contaminación río Rímac	Abandonado
Milpo volcán	60	1956	sismo	Muertos interrupción carretera Pasco - Huánuco	Abandonado
Alvimirca Quiruvilca	40	1962	sismo	Daño en la agricultura y obras de infraestructura	Abandonado
Yauli-Yacu centro min	80	1968	sismo	Interrupción carretera central y contaminación del río Rímac	Abandonado
Recuperada Buenaventura	-	1969	Se desconoce	Daños en la agricultura de huachocopa	Abandonado
Alvimirca Quiruvilca	40	1970	sismo	Contaminación del río san Felipe	Abandonado
Atacocha volcán	-	1971	Falla drenaje	Contaminación del río huallapata daños vial	Abandonado
Ticapampa Alianza	20	1971	sismo	Muertos destrucción de casas interrupción carretera	Abandonado
San Nicolas	-	1980	Se desconoce	Contaminación del río tingo y daños en la agricultura	Abandonado

Fuente: (Alva, 2016)

b) Ecuación Empírica

Según DamSat (2019). Define que basadas en el análisis de datos históricos de falla, parámetros típicos altura de presa o profundidad de brecha, volumen de desecho almacenado o de agua. Adecuadas para estimación iniciales de los riesgos asociados con la falla de presa de mayor incertidumbre Para relaveras y volumen de descarga se usó la siguiente formulas :

$$D_{max} = 1.6 \times (V_F \times H)^{0.655}$$

$$V_F = 0.3 \times V_T^{1.008}$$

Dmax = Distancia de escurrimiento de relave (km)

V_F = Volumen de descarga

H = Altura de la presa

V_T = Volumen almacenado de relave (m^3)

c) Modelo plástico

Según Bingham,(2009). Define que un flujo plástico de Bingham no fluirá hasta que el esfuerzo de corte (τ), aplicado superé cierto valor mínimo, conocidos como punto cedente(τ_y). Después de estos los cambios en esfuerzo de corte son proporcionales y la constante de proporcionalidad es la viscosidad plástica (μ_p). es un fluido no newtoniano es aquel cuya viscosidad varia con la temperatura y la tensión de corte la reología de Bingham ignora el esfuerzo inercial y asume el flujo como viscoso , así mismo, se expresa con la siguiente formula.

$$\tau = \mu_p \dot{\gamma} + \tau_y$$

Donde:

τ = Modelo plástico de Bingham

μ_p = Viscosidad de Bingham

τ_y = Esfuerzo de cedencia constante

$\dot{\gamma}$ = Punto de cedencia

d) Metodología simplificada para el cálculo de roturas de presas

Según Padrino (2018). Define que actualmente existen muchos modelos y metodologías para la estimación del comportamiento de la brecha durante la rotura y del desplazamiento del frente de carga a lo largo del valle aguas abajo de la presa. En América Latina la selección del modelo más idóneo está limitada principalmente por la disponibilidad y nivel de detalle de la información del área de estudio: el relieve y accidentes geográficos, la sinuosidad y geometría del cauce del río, las características de los suelos, la vegetación presente y la infraestructura que se encuentra aguas abajo de la presa. Uno de los modelos empíricos más sencillos de aplicar, por la

información que requiere y facilidad de operacionalización es la “Metodología Simplificada de Cálculo para la Determinación de los Parámetros de Inundación Causada por la Rotura de una Presa de Tierra”, empleada por el Instituto Nacional de Recursos Hídricos de Cuba la cual se calcula mediante la siguiente formula:

$$Q_{\text{Max}} = 0.9 \times \left[\left(\frac{b}{B} \right)^{1/4} \times b \right] \times H^{1.5}$$

Donde:

Q_{max} = Caudal máximo instantáneo. (m³/seg)

b = Parámetro que se determina del mayor valor entre la longitud. (m)

B = Longitud lineal de la cresta en el nivel de aguas normales. (m)

H = Altura de la presa. (m)

e) Modelamiento de rotura de presas con HEC-RAS

Según Padrino (2018). Define que el HEC-RAS (Hydrological Engineering Center - River Analysis System) es un programa de simulación hidráulica desarrollado por el United States Army Corps of Engineers. Es uno de los más populares y de amplia aplicación en el estudio y moldeamiento de roturas de presas, por su versatilidad y fácil manejo. Mediante extensiones como HEC-geoRAS para ArcGIS permite procesar datos georreferenciados correspondientes a la geometría del terreno incluyendo el cauce del río, las secciones transversales, las líneas de flujo, entre otras características. Estos datos son importados a HEC-RAS donde se realiza todo el cálculo hidráulico y obteniendo los resultados de la altura de inundación y velocidades. Finalmente, estos resultados se pueden llevar a ArcGIS para obtener las manchas de inundación y mapas de riesgo. Sus desventajas radican precisamente en que se requiere un modelo digital detallado del terreno potencialmente afectado, esta es una información que en muchos casos no está disponible en América Latina y solo se cuenta con cartografías a escala 1:100.000 o 1:25.000, que bien podrían ser vectorizadas con un proceso largo y tedioso. Luis Alejandro

Padrino.(Fundador y CEO de Grupo Ambing - Especialista en Seguridad Hídrica, Gestión Ambiental y Cambio Climático para América Latina)

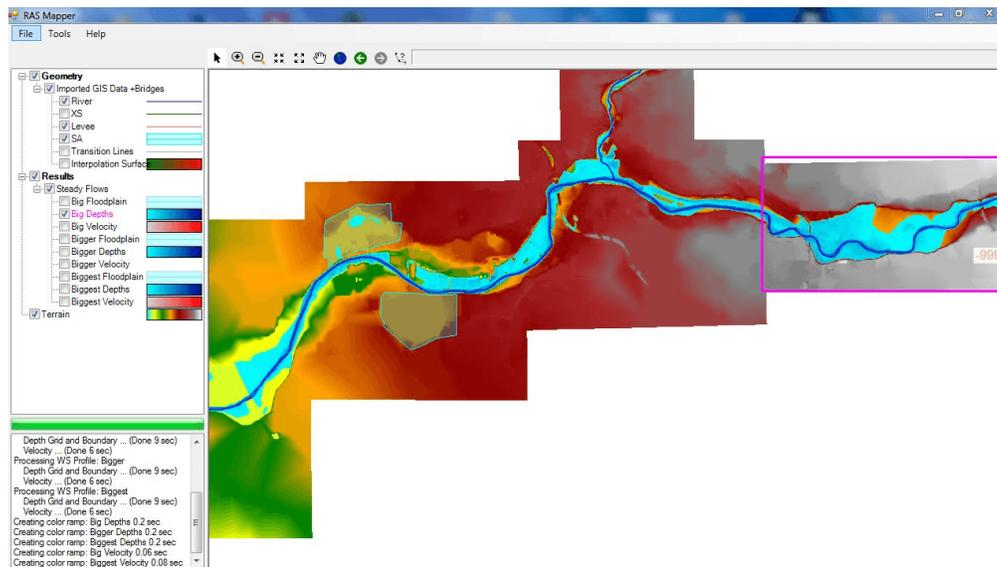


Figura N° 32: Hec ras Mapper

Fuente: Padrino (2018).

f) Análisis de estabilidad de una presa frente al deslizamiento

Según Apaza (2019). Define que la construcción de presas modifica sustancialmente los esfuerzos de compresión y tensiones en la cimentación maciza de las presas, las cargas hidrostáticas generan esfuerzos cortantes en tracción y compresión las sub presión en la base de la presa y fuerzas de infiltración producen tensiones internas en el macizo que producen fallas por infiltración. Estas Superficie de deslizamiento horizontal a favor del contacto presa terreno, parámetros aguas arriba de la presa vertical la siguiente fórmula:

$$F = \frac{CA + (W - U) \tan \phi}{H}$$

Donde:

H = Fuerza horizontal hidrostática

A = Área del plano inclinado

CA, ϕ = la cohesión y la fracción del suelo

W = Peso de la estructura

U = Fuerza debido a la presión de agua sobre la superficie del deslizamiento

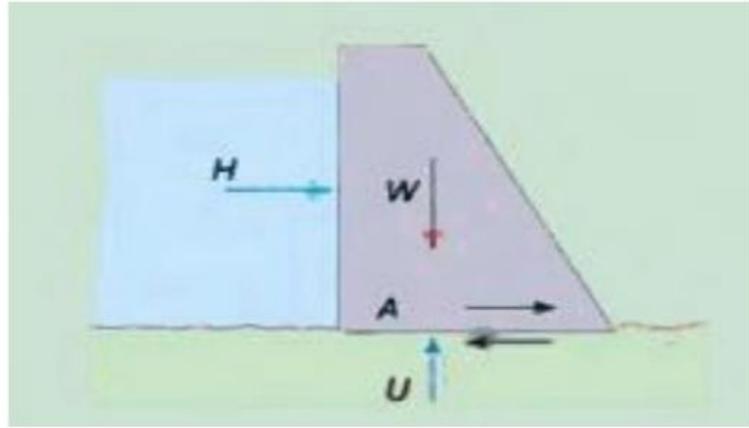


Figura N° 33: Grafico deslizamiento horizontal parámetro aguas arriba

Fuente: Apaza (2019)

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis Principal

Se analizará a partir de los características topográficas, parámetros hidrológicos y modelos numéricos en los cuales se podrá obtener los volúmenes, áreas altura afectadas frente a una ruptura de presa de relave de la compañía minera Antamina Ancash.

3.1.2 Hipótesis Secundarias

- a) El relieve de la cuenca se caracterizará por ser un relieve es accidentado, y gran parte de su geología es de depósito cuaternario aluvial del holoceno.
- b) Los parámetros hidrológicos e hidráulicos fundamentales serán los principales parámetros hidráulicos que se determinarán el caudal, velocidad y el tirante máximo.
- c) La zona afectada será identificada a partir de la modelación numérica con los softwares IBER y HEC-RAS Y DAM BREAK.
- d) Las posibles medidas para mitigar daños antes una posible falla podrían ser el uso de geomallas y geomembranas como material reforzante en la presa de relave.

3.2 Variables

3.2.1 Definición Conceptual de las Variables

a) Variable Independiente

Según Borja (2012). define como variable independiente como la que produce el efecto o es la causa de la variable dependiente. Se le representa con la letra “X”

Ruptura de presa de Relave.

b) Variable Dependiente

Según Borja (2012), define como variable dependiente al resultado o efecto producido por la acción de la variable independiente. Se le representa por la letra “Y”.

Análisis de riesgo.

Variables secundarias

Suelos

Orografía o topografía

Precipitaciones

Morfología

Geología

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y Nivel

4.1.1 Tipo

Según Borja (2012) define la investigación aplicada como algo que se busca conocer, actuar construir y modificar una realidad problemática.

Según Borja (2012) define que es cuantitativo como la forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis.

La presente investigación fue del tipo aplicada con enfoque cuantitativo.

Aplicada debido a que se da una recopilación de información de la zona de estudio, relacionados al tema de investigación, cuantitativo por que obtenemos los volúmenes y áreas y alturas de escurrimiento del relave afectadas por ruptura de presa de relave distrito de San Marcos -Ancash.

4.1.2 Nivel

Según Borja (2012) define la investigación descriptiva como la que se investigan y determinan las propiedades y características más representativas de los objetos de estudio como personas, viviendas, concreto armados o cualquier otro fenómeno que se quiera estudiar.

La investigación fue de nivel descriptiva

Descriptiva por que se busca describir la magnitud y daños que ocasionan la inundación, que afectarían en caso de ruptura de presa.

4.2 Diseño de Investigación

Según Borja (2012) define como investigación no experimental como aquella investigación en la que se basan en la obtención de información sin manipular los valores de las variables, es decir, tal y como se manifiestan las variables en la realidad.

Según Borja (2012) define la investigación longitudinal es aquellas que estudian la evolución de los fenómenos a través del tiempo. Corresponde a las investigaciones históricas.

La investigación fue no experimental con diseño longitudinal.

4.3 Población y Muestra

Según Borja (2012) define población como el conjunto de elementos que serán motivos de estudio.

Según Borja (2012) define que la muestra es el conjunto de elementos que serán motivos de estudio.

El objetivo de la investigación es la ruptura de presa de relave, la investigación que damos, es sobre presas de relaves y las fallas que podría tener, es decir que nuestra población y muestra en esta investigación coinciden entre sí.

4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

4.4.1 Tipos de Técnicas e Instrumentos

a) Tipos de Técnicas

El trabajo topográfico consta de dos actividades, puede ser la medición de puntos de un terreno y mediante trabajo de gabinete llevar los datos a un plano o por el camino inverso, desde un proyecto ubicar los puntos sobre el terreno. (GUZMAN, Topografía, 2012).

Los datos topográficos se obtuvieron del GeogpsPeru del Google Earth, luego de ello se procesarán los datos en los softwares ArcGIS v.10.8, AutoCAD civil 3D v.2020, IBER 2.1 y HEC RAS v.5.07.

Los datos Geológicos se obtuvieron mediante las cartas nacionales de geología del GEOADMIN INGEMMET (2019).

Los datos de hidráulica obtuvieron los caudales de diseño, caudal infiltración e intensidad con los tiempos de retornos en años por método DICK PERCHKE Y S.C.S. Para la Hidrología se obtuvieron datos de registro histórico de SENAMHI de cuatro estaciones pluviométricas cercanas luego se el análisis de

probabilidad de bondad de ajuste con el software Hidroesta la cual podemos calcular los datos que son necesarios para encontrar los parámetros que se necesitan para el diseño de una ruptura de presa.

b) Tipos de Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron en la investigación fueron los siguientes softwares con sus respectivos versiones y modelo.

Google Earth Pro version 7.5

ArcGIS versión 10.8

Global Mapper versión 18.0

Civil 3D versión año, (2020)

Hidroesta versión 2

Hec Ras versión 5.0.7

IBER version 2.5.2

Microsoft Office: Excel. Version, (2019)

Word version, (2019)

c) Criterios de Validez y Confiabilidad de los Instrumentos

Nuestra investigación tiene validez en los programas y resultados que se obtienen, debido a que se utilizó datos actualizados de la zona de las precipitaciones, la topografía y geología.

En la presente investigación tiene validez y confiabilidad debido a las licencias actuales con las que contamos actualmente para el procesamiento de los programas, permitiéndonos determinar con más exactitud los valores obtenidos.

4.4.2 Procedimientos Para la Recolección de Datos

Mediante el uso del Google Earth se ubicó la zona de investigación observando la topografía del terreno donde podemos conocer las cotas de elevación de la presa de relave y luego de delimita y se guarda en un formato KMZ para llevarlo al programa

de GLOBAL MAPPER donde se obtendrá las curvas de nivel del terreno luego se importa estas curvas al civil 3D para obtener las elevaciones y coordenadas UTM. Valores en (X, Y, Z). a través de las cotas que se obtuvo de dibujo y se ensambla la presa de relave con el terreno para así obtener los volúmenes de relave y área del vaso de presa de relave.

Mediante el ArcGIS podemos delimitar la micro cuenca de la minera Antamina así se pudo conocer el área, perímetro y longitud de la cuenca en estudio

Mediante el uso de la carta nacional GEOADMIN INGEMMET. Se ubicó la geología de la zona de estudio para poder conocer la simbología del suelo y la roca

Mediante el uso del hidrosta se hizo la prueba de bondad de ajuste para poder determinar la confiabilidad de las estaciones pluviométricas y los datos obtenidos de precipitación se obtuvo de SENAMHI cercanas a la zona de estudio.

Con el uso de los programas IBER, Hec-Ras y Dan Break en la presente investigación se obtuvieron volúmenes, áreas, longitud y altura de inundación que afectan las micro cuencas de Ayash y Huancayoc.

Ya obtenida la data de volúmenes, áreas, longitud y altura y posibles zonas afectadas a las poblaciones cercanas procedemos a realizar medidas de mitigación, la cual una de ellas es reforzar la presa de relave existente con geomallas o canales alternos que permitan derivar una parte del relave minero a otras zonas disminuyendo el volumen y áreas afectadas en caso de una ruptura de presa.

4.5 Técnicas Para el Procesamiento y Análisis de la Información

La presente investigación se obtuvieron diferentes tipos de datos, puntos de muestreo, se delimito la cuenca para conocer el área, perímetro y longitud y las curvas de nivel se obtuvo, con el Civil 3D. y con el modelamiento del software IBER y HEC RAS ante la ruptura de presa de relave de la compañía minera Antamina en la micro cuenca Ayash y Huancayoc se obtuvo volumen, área, tirantes, longitud y velocidad de inundación para la precipitaciones o parámetros hidrológicos se obtuve del SENAMHI de cuatro estaciones cercanas donde se tomó la precipitación máxima en 24 horas.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Características Topográficas y Geológicas en la micro cuenca de Ayash

Las características topográficas y geológicas en la cuenca de estudio de la zona minera Antamina tiene una orografía accidentada con pendientes transversales de 84.4% y pendiente longitudinal de 8.5 % y su geología está compuesto de rocas metamórficas y suelos de depósito aluvial con presencia de sedimentos de limos y arcilla. En la parte baja a 2.5 kilómetros se encuentra el centro poblado de Ayash están ubicados en la coordenada UTM zona WGS 18 SUR y geográficamente están entre las coordenadas geográficas:

Longitud Oeste: 77°03'40''

Latitud Sur: 9°32'14'

En la figura 36 podemos observar el mapa de ubicación topográfica y geológica nacional, regional, provincial y delimitación de la micro cuencas de la compañía minera Antamina del departamento de Áncash con sus respectivas coordenadas UTM.

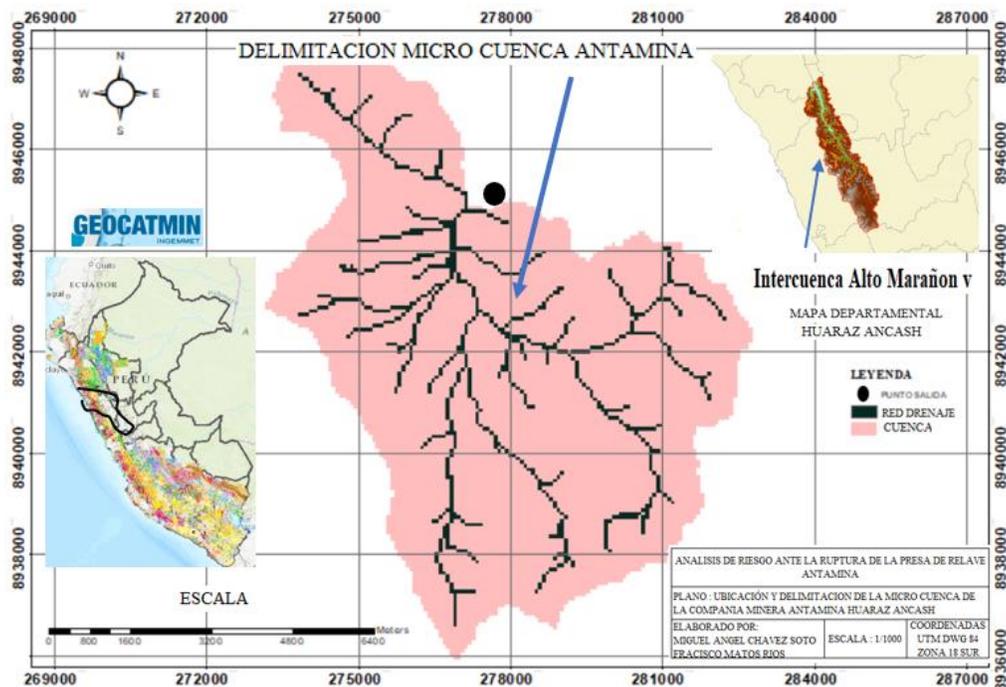


Figura N° 36: Mapa de ubicación topográfica y Geológica de la mina Antamina

Fuente: Elaboración Propia empleando ArcGIS versión 10.8.

En la figura 37 la zona de estudio esta georreferenciado en cuadrantes con sus respectivas coordenadas y las leyendas o simbologías. mostramos las curvas de nivel a cada 5 metros de distancia son de color anaranjado donde se puede observas la topografía de terreno con la orientación al norte, donde la línea de color azul es la cota o altura máxima de embalse del relave minero y las líneas de color plomo son las cotas de embalse de relave minero que están ensamblado con la represa que es de color plomo.

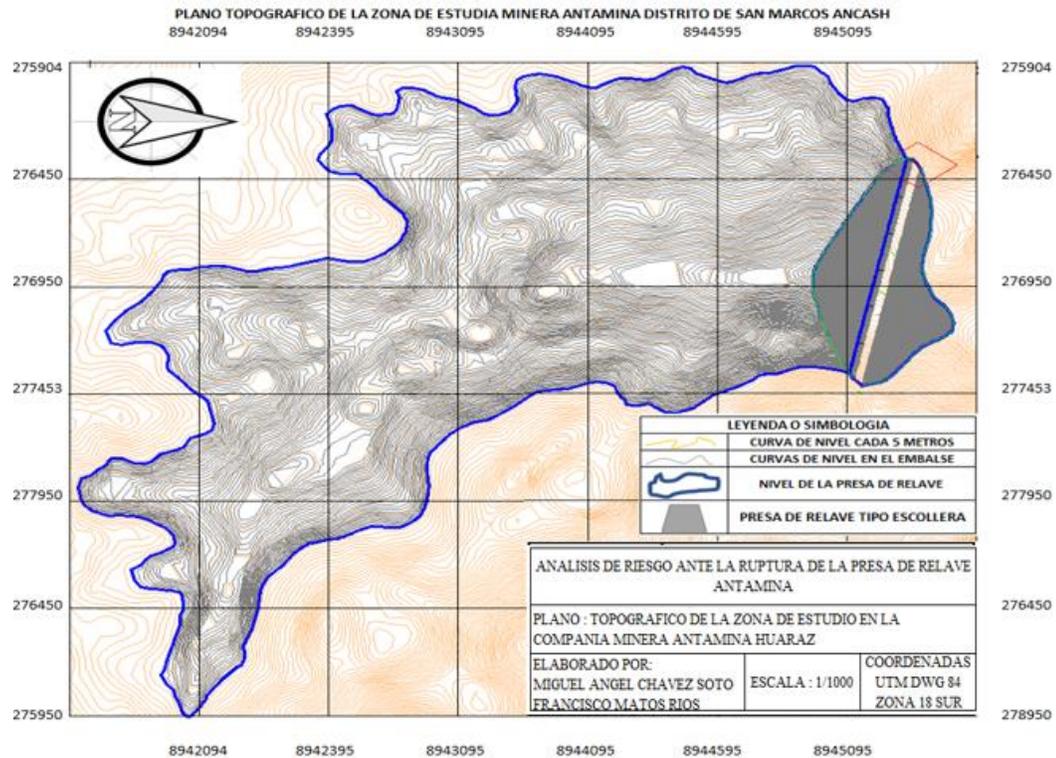


Figura N° 37: Plano topográfico de la zona de estudio

Fuente: Elaboración Propia empleando AutoCAD Civil 3D V.20.

En la figura 38 podemos observar en la imagen del civil 3D a través de la topografía accidentada de la zona de estudio y con las curvas de nivel en el terreno se obtuvo los volúmenes del vaso de presa de relave y el volumen de presa escollera y las cotas de elevación del embalse y de la presa de relave. El volumen de relave embalsado es de 221862241 m³ y el volumen de material compactado de la presa escollera es de 22326002 m³.y las cotas de elevación del espejo de relave de 4115 msnm y de la presa escollera de 4125 msnm en la corona y en la base la cota de 3950 msnm.



Figura N° 38: Topográfica con el Civil 3D y el ensamblaje con la presa de relave

Fuente: Elaboración Propia empleando AutoCAD Civil 3D V.20.

En la figura 39 también se obtuvo las Áreas con el programa civil 3D a través de las curvas de nivel y las cotas que están georreferenciado en la zona WGS 18 norte el Área del vaso de presa de relave que es de 4119687.82 m² y el Área de la presa escollera que es de 352788 m².

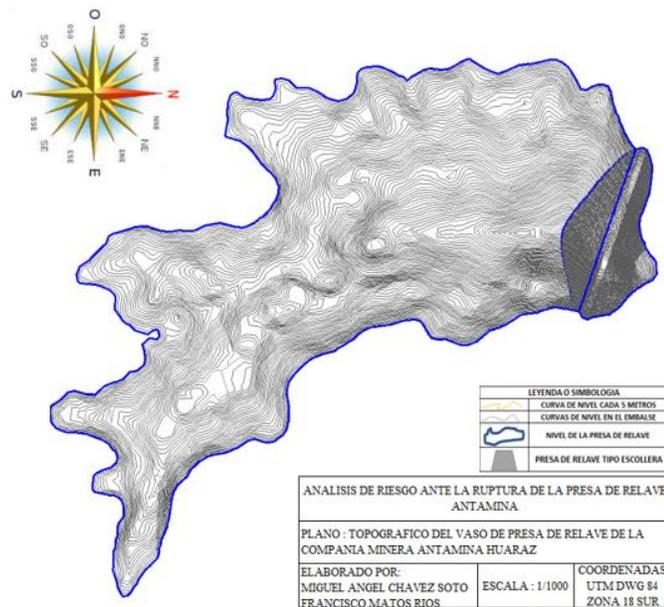


Figura N° 39: Topográfica vaso de presa de relave

Fuente: Elaboración Propia empleando AutoCAD Civil 3D V.20.

5.1.1 Topografía

La topografía de la zona en estudio tiene una superficie bien accidentada y tiene la pendiente transversal de 84.40% y el pendiente longitudinal promedio es de 8.5% tiene cotas máximas de 4525 (msnm) y la cota mínima de 3950 (msnm) y la cota de relave es de 4115(msnm). La medida de la presa tiene el largo de 1200 metros, la altura es de 165 metros y la corana está en la cota de 4125 (msnm) y tiene una anchura de 40 metros y en la dirección de la represa aguas abajo a 2.5 kilómetros está el pueblo de Ayash con una altitud de 3757 (msnm) en lo cual este poblado de Ayash es vulnerable ante una ruptura de la presa de relave. En las micro cuencas existen centro poblados de Huipampa, Chocoragra, pichiu, vichon que estas en los márgenes de dren hídrico tienes una pendiente ondulada longitudinal tiene una variación de cotas de 200 al 800 en toda la cuenca a través de modelamiento podemos estimar los tirantes de relave y poder hacer una simulación de evacuación. En la figura 40 se muestra las cotas del espejo de relave, la cota en la base de la represa y la cota del pueblo de Ayash que está en dirección de la cuenca de la represa Antamina ante un colapso de la represa este pueblo sufriría una avalancha de agua y relave por toda la quebrada afectando vidas, terrenos de cultivo e infraestructuras.

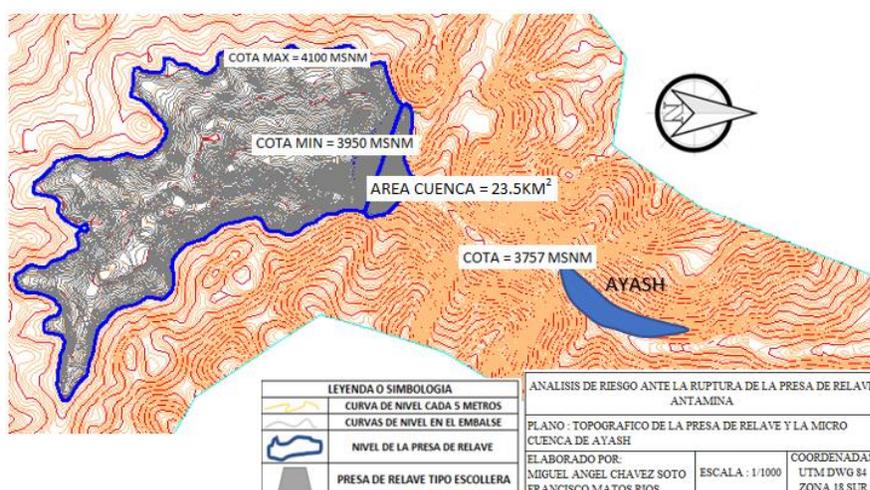


Figura N° 40: Cotas máximas y mínimas de la presa hasta la Quebrada Ayash

Fuente: Elaboración Propia empleando AutoCAD Civil 3D V.20.

5.1.2 Geología

La formación geológica de la zona de estudio de la cuenca Ayash a través de carta nacional y el Geocadmin Imgemmet podemos conocer el relieve de sus cotas máximas y mínimas de terreno con la simbología de la carta nacional podemos conocer el tipo de roca y el tipo de suelo de la zona de investigación. La formación de la roca que existe en la zona de estudio podemos conocer a través de su unidad estratigráficas simbología y su característica litológica a través de la cobertura de vegetación podremos conocer el valor de la impermeabilidad CN.

Tabla 8: Descripción del uso de la tierra

Descripción del Uso de la Tierra	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Tierras Cultivo: Sin tratamiento de conservación, con tratamiento de conservación.	72	81	88	91
	62	71	78	81
Pastizales: Con condiciones pobres y condiciones óptimas.	68	79	86	89
	39	61	74	80

Fuente: Grupo Hidrológico del Suelo

Es la tabla 8 se describe el grupo y el valor de la cobertura de vegetación en la zona de estudio en la parte superior e inferior existe presencia de pastizales en el terreno para obtener el valor de la impermeabilidad del suelo, se obtuvo la descripción hidrológica en condiciones pobres y optimas con CN = 86. Con este valor se puede usar en la fórmula del método del S.C.S para poder resolver los valores de las escorrentías y caudales el valor de CN, varias por el tipo de suelo que se encuentra en la superficie de la zona de investigación.

Tabla 9: Unidad estratigráfica y Características Litológicas de la y Roca y Suelo

Era	Sistema	Serie	Unidas Estratigráfica	Símbolo	Características litológicas
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	Dep. Colluvial	Qh-co	Fragmentos angulosos sueltos en laderas
			Dep. Aluvial holocenoicos	Qh-al	Sedimentos no consolidados con arena, gravas y limos
			Dep. morrenicos	Qh-mo.	Dep. de Origen glaciario
			Dep. fluvial glaciario	Qp-fgl	Sedimentos finos origen glaciario
		Pleistocena	Grupo Calipuy	PN-vca	Piros clásicos gruesos, tufos finos y derrames ande siticos
MESOZOICO	Cretáceo	Superior	formación Casapalca	Ksp-ca	Areniscas lodolitas, mangas y conglomerado
			formación Jumasha	Ksp-j	Caliza maciza color gris azulino con mangas
		Inferior	Formación Pariatambo	Ki-pt.	Calizas grises con lutitas bituminosas con limo arcillas
			Grupo Casma	Ki-ca	Lavas volcánicas Tipo andesitas
	Jurásico	Superior	Formación Parihuanca	Ki-pH.	Calizas meteorizadas
			formación Carhuaz	Ki-Ch.	Areniscas grises con lutitas limonitas y caliza margosas
			formación Chimú		
			formación Oyon	Ki-oy	Areniscas, limonitas y lutitas
		formación Chicama	Js-Ch.	Areniscas, cuarcitas y lutitas	

Fuente: Elaboración Propia empleando información del INGEMET.

En la tabla 9 se define la simbología del tipo de roca y suelo y Contienen rocas ígneas metamórfica tiene presencia de minerales es de la era mesozoico con simbología (ksp-j) están formado por caliza macizas color gris azulino con mangas.

Los suelos son de la era cenozoico cuaternaria con simbología (Qp-al), está formado con depósitos cuaternario Aluvial con presencia de sedimentos no consolidados con arena, grava y limo.

En la imagen 41 aquí podemos apreciar la ubicación de la compañía minera Antamina en el departamento de Huaraz Ancash a través de la carta nacional Geocadmin podremos obtener la simbología del tipo de roca y suelo que existen en la zona de estudio.

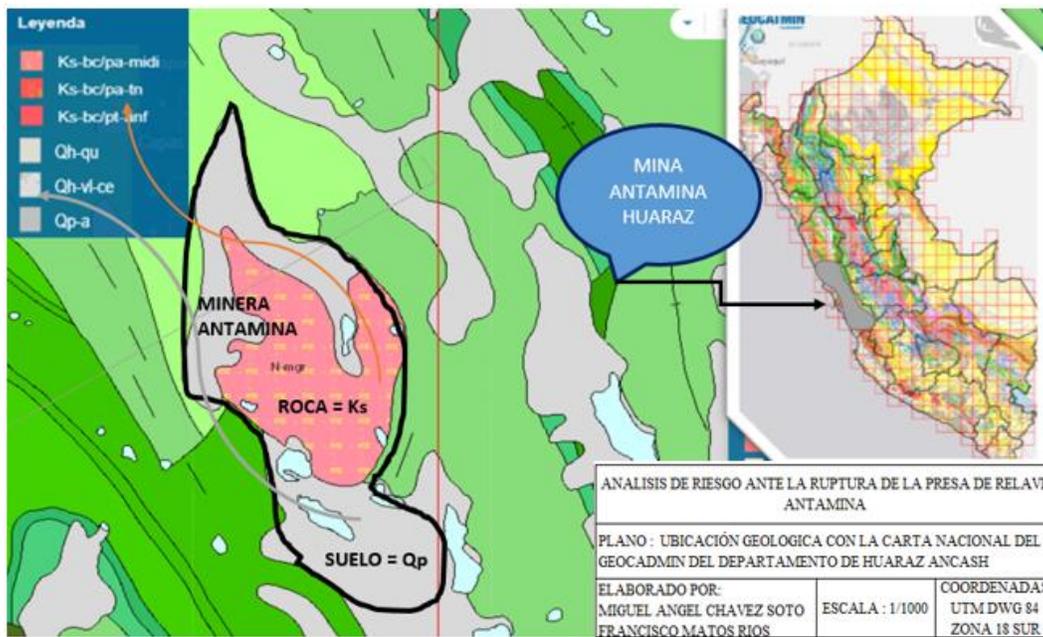


Figura N° 41: Ubicación topográfica y Geológica de la presa de relave Antamina

Fuente: Elaboración Propia empleando carta nacional Geocadmin.

5.2 Parámetros Hidrológicos e Hidráulicos

5.2.1 Variables Hidrológicas

la información de donde se recopiló los datos pluviométricos para determinar las precipitaciones o parámetros hidrológicos de la cuenca de la compañía minera Antamina obtuvimos a través del SENAMHI datos hidrometeorológicos de la estación pluviométrica la estación de Chavín se encuentra en el departamento de Huaraz, la estación de Santa Martín se encuentra en la provincia de Huamalíes en el departamento de Huánuco, la estación Dos de Mayo se encuentra en la provincia Dos de Mayo departamento de Huánuco y la estación Pacha coto se

encuentra en la provincia de Recuay en el departamento de Huaraz donde podremos conocer las precipitaciones en (mm/día) o 24 horas, la humedad relativa (%) y la temperatura (T).

De estas 4 estaciones se obtuvo las precepciones de 27 años consecutivos donde se toma el mayor registro de precipitación por día o 24 horas de cada año. Asu ves el registro histórico de las estaciones van desde 1990 hasta el 2020.

Tabla 10: Coordenadas Geográficas y Altitudes de las Estaciones

ID	Estación	Coordenadas Geográficos		
		Latitud (s)	Longitud (w)	Altitud (msnm)
1	Chavín de Huántar	9° 35.9' 54 "	77° 10.3' 94 "	3140
2	Santa María	9° 24' 13.86 "	76° 45' 53.35 "	3548
3	Dos de Mayo	9° 43' 56 "S	76° 46' 25.46 "	3414
4	Pachacoto	9° 51' 8.91 "	77° 24' 22.03 "	3733

Fuente: Elaboración Propia Microsoft Office Excel v.19.

En la tabla 10 como se observa las 4 estaciones pluviométricas que se encuentra al perímetro de la cuenca minera Antamina donde se tomar la precipitación en 24 horas de los datos hidrometeorológicos de SENAMHI. Las precipitaciones de cada estación pluviométrica respectivamente de estos registros podremos obtener la precipitación máxima de cada estación. Se tomarán los datos meteorológicos de la estación las cuatro estaciones con valor sin dato en algunos años si estos datos se pueden completar con la ecuación de la regresión lineal siempre en el siguiente cuadro.

Tabla 11: Registro Histórico de las Precipitaciones en 24 horas

Año	Chavín	Santa María	Dos de Mayo	Pachacoto
1994	14.6	12.27	S/D	15.23
1995	14.9	13.23	15.52	14.45
1996	19.15	S/D	17.5	15.3
1997	20.45	S/D	18.4	18.24
1998	22.23	S/D	17.7	20.42
1999	20.13	S/D	S/D	18.23
2000	23.42	16.25	S/D	S/D
2001	16.31	15.42	15.8	S/D
2002	14.85	13.32	14.9	S/D
2003	15.23	12.21	20.14	S/D
2004	14.6	15.36	14.14	S/D
2005	15.4	18.34	13.42	S/D
2006	15	13.4	14.54	S/D
2007	13.7	14.45	13.97	15.45
2008	13.6	17.23	14.84	13.42
2009	14.3	15.2	14.64	14.84
2010	15.2	15.31	15.26	14.55
2011	15.21	16.45	15.67	12.54
2012	15.4	14.41	14.27	18.74
2013	19	15.23	14.97	15.87
2014	14.64	15.42	14.64	13.46
2015	15.65	13.9	15.24	15.34
2016	14.65	13.5	15.56	14.55
2017	16.23	14.5	S/D	15.35
2018	18.3	18.5	S/D	19.24
2019	24.4	17.5	S/D	15.11
2020	18.45	15.6	S/D	15.85

Fuente: Elaboración propia Microsoft Office Excel v.19.

En la Tabla 11 En este cuadro obtuvimos las precipitaciones de los registros de SENAMHI desde el año 1994 al 2020 donde existen precipitaciones faltantes o sin dato con la ecuación de la regresión lineal se van a obtener las precipitaciones faltantes para poder conocer esos valores que faltan de las estaciones Santa María, Dos de mayo y pachacoto.

Tabla 12: Registro Histórico de las Precipitaciones Corregidos en 24 horas

Año	Chavín	Santa María	Dos de Mayo	Pachacoto
1994	14.6	12.27	13.6	15.23
1995	14.9	13.23	15.52	14.45
1996	19.15	16.33	17.5	15.3
1997	20.45	18.68	18.4	18.24
1998	22.23	19.63	17.7	20.42
1999	20.13	16.85	16.8	18.23
2000	23.42	16.25	16.4	15.92
2001	16.31	15.42	15.8	15.21
2002	14.85	13.32	14.9	14.82
2003	15.23	12.21	20.14	15.33
2004	14.6	15.36	14.14	14.84
2005	15.4	18.34	13.42	14.27
2006	15	13.4	14.54	15.44
2007	13.7	14.45	13.97	15.45
2008	13.6	17.23	14.84	13.42
2009	14.3	15.2	14.64	14.84
2010	15.2	15.31	15.26	14.55
2011	15.21	16.45	15.67	12.54
2013	19	15.23	14.97	15.87
2014	14.64	15.42	14.64	13.46
2015	15.65	13.9	15.24	15.34
2016	14.65	13.5	15.56	14.55
2017	16.23	14.5	16.21	15.35
2018	18.3	18.5	18.6	19.24
2019	24.4	17.5	16.5	15.11
2020	18.45	15.6	14.9	15.85
PP. Max.(24) hr	24.4	19.63	20.14	20.42

Fuente: Elaboración Propia Microsoft Office Excel v.19.

En la Tabla 12 generamos la incógnita con los valores en X, Y se eleva al cuadro los X, Y a cada valor se hace la suma total luego se remplazar en la ecuación de la aproximación de α para obtener la precipitación faltante de esta estación donde los valores se obtendrán con la fórmula de regresión lineal para estimar los valores de

las precipitaciones faltantes del S/D cuando los valores no se aproximan se toma el Para luego obtener la ecuación lineal con la que nos permita determinar las precipitaciones con rango característico de S/D, luego de ello procedemos a completar con la ecuación los valores requeridos de precipitación.

valor promedio si sale el valor cercano a la estación se pone ese dato para así completar los valores que faltan con la siguiente formula

Por el método de regresión lineal obtenemos los siguientes parámetros a utilizar.

Formula: teorema de Gauss-Márkov.

$$\beta = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum (x_i)^2 - (\sum x_i)^2} = 0.936$$

Donde:

B = Parámetros de estimación

n = Número total de valores

X_i = Valor correspondiente variable X

Y_i = Valor correspondiente variable Y

X̄ = Valor medio de la variable X

Ȳ = Valor medio de la variable Y

∑ X_i, Y_i = Sumatoria del producto

∑ X_i² = Valor de X al cuadrado y valor media de la variable al cuadrado

Formula:

$$\alpha = \frac{\tilde{y} - B\bar{x}}{n} = 2.717$$

Donde:

α = Parámetros de estimación

Ȳ = Valor medio de la variable Y

X̄ = Valor medio de la variable X

n = Numero datos

Tabla 13: Determinación de los Datos Atípico

Numero	PP. Max. 24 horas	Año	Ln, Max.	Condiciones
1	13.93	1994	2.63	Verificado
2	14.53	1995	2.68	Verificado
3	17.07	1996	2.84	Verificado
4	18.94	1997	2.94	Verificado
5	20	1998	3	Verificado
6	18	1999	2.89	Verificado
7	18	2000	2.89	Verificado
8	15.69	2001	2.75	Verificado
9	14.47	2002	2.67	Verificado
10	15.73	2003	2.76	Verificado
11	14.74	2004	2.69	Verificado
12	15.36	2005	2.73	Verificado
13	14.6	2006	2.68	Verificado
14	14.39	2007	2.67	Verificado
15	14.77	2008	2.69	Verificado
16	14.75	2009	2.69	Verificado
17	15.08	2010	2.71	Verificado
18	14.97	2011	2.71	Verificado
19	15.71	2012	2.75	Verificado
20	16.27	2013	2.79	Verificado
21	14.54	2014	2.68	Verificado
22	15.03	2015	2.71	Verificado
23	14.57	2016	2.68	Verificado
24	15.57	2017	2.75	Verificado
25	18.66	2018	2.93	Verificado
26	18.38	2019	2.91	Verificado
27	16.2	2020	2.79	Verificado
Promedio	15.92	Media Ln	2.76	
Desv. Esta.	1.67	Desvió Ln	0.1	
		K	2.519	
		Lim Superior	3.016	
		Lim Inferior	2.51	

Fuente: Elaboración Propia Microsoft Office Excel v.19.

En la tabla 13 se tiene los datos de los valores ATÍPICOS estos valores se obtienen con los promedios máximos de las 4 estaciones se saca sus desviaciones estándar, la media y luego estos valores se multiplica por el logaritmo máximo, con estos valores obtuvimos los valores de los limites superior e inferior para luego saber su condición verificada si se cumple o no se usa la siguiente formula

Fórmula de Luis-Alexander Calvo-Valverde.

$$L_s = \text{Moda} \times \text{LN} + K \times (\text{Desviacion Estandar} \times \text{LN}) = 3.016$$

Donde:

L_s = Límite superior

K = Números de datos < 30

$$L_i = \text{Moda} \times \text{LN} - K \times (\text{Desviacion Estandar} \times \text{LN}) = 2.510$$

L_i = Límite inferior

5.2.2 Análisis Estadísticos de las Precipitaciones Máximas

El software HIDROESTA 2 contiene las funciones de distribución de probabilidad las cuales se encargan de calcular el error estándar de cada muestra de precipitación ingresada; este software contiene las siguientes funciones de distribución, tales como: distribución Normal, Log Normal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros, Log Pearson Tipo III, Gumbel y Log Gumbel. En la Tabla 14 se muestra cuatro estaciones pluviométricas con sus respectivas funciones de distribución. También se muestra el error estándar que fue calculado con el software; luego

Tabla 14: Funciones de distribución de probabilidad

N°	Función de Distribución	Chavín de Huántar		Santa María		Dos de Mayo		Pachacoto	
		teórico	tabulado	teórico	tabulado	teórico	tabulado	teórico	tabulado
1	Normal	0.2253	0.2617	0.0876	0.2617	0.121	0.262	0.2228	0.2617
2	Log Normal 2 parámetros	0.2111	0.2617	0.0701	0.2617	0.1	0.262	0.1988	0.2617
3	Log Normal 3 parámetros	0.1223	0.2617	0.0763	0.2617	0.051	0.262	0.1664	0.2617
4	Gamma 2 parámetros	0.2191	0.2617	0.0714	0.2617	0.106	0.262	0.2054	0.2617
5	Gamma 3 parámetros	0.1638	0.2617	0.0681	0.2617	0.054	0.262	0.1532	0.2617
6	Log Pearson tipo III	0.16288	0.2617	No ajusta	0.2617	0.056	0.262	0.1497	0.2617
7	Gumbel	0.181	0.2617	0.1125	0.2617	0.062	0.262	0.1533	0.2617
8	Log Gumbel	0.1696	0.2617	0.1384	0.2617	0.055	0.262	0.1311	0.2617

Fuente: Elaboración Propia empleando Hidroesta 2

Tabla 15: Selección de Función de Distribución de Probabilidad más adecuada

N°	Función de Distribución	Chavín de Huántar	Santa María	Dos de Mayo	Pachacoto
1	Normal				
2	Log Normal 2 parámetros				
3	Log Normal 3 parámetros	x			
4	Gamma 2 parámetros				
5	Gamma 3 parámetros		x		
6	Log Pearson Tipo III				
7	Gumbel				
8	Log Gumbel			x	x

Fuente: Elaboración Propia empleando Hidroesta 2.

En la Tabla 15 se muestra las cuatro estaciones pluviométricas con su respectiva función de distribución de probabilidad más adecuado, debido a que esta presenta un menor error estándar donde se compara los valores del valor teórico debe ser menor al valor tabulado en el software del Hidroestá se hace la simulación para cada precipitación por los 8 métodos de función de distribución luego se toma el valor con menor error de probabilidad.

En la Tabla 16 podemos observar los datos de la cuenca en estudio de la compañía minera Antamina con sus respectivos parámetros. Según en manual de hidrología, hidráulica y drenaje de la NTP el tiempo de retorno para represas mayores a 40 metros es de 500 años de tiempo de retorno así evitar riesgos de fallas y cumpla su vida útil. Y los parámetros de diseño de vida útil de 40 años y riesgo de falla del

10% con esto valores obtuvo la precipitación máxima en la estación Chavín de 24.4 mm el periodo de retorno (Tr) 380 años y el tiempo de concentración es de 70.19 minutos y con una desviación estándar (s) de 3.01 mm. En nuestro estudio tomamos valores de tiempo de retorno de (10,100,380.450.500) años. Para poder hallar la intensidad de diseño se hizo con el método DICK PERCHKE para una precipitación e intensidad de 60 minutos y las ecuaciones usadas para los caculos de los valores requeridos según los datos de la cuenca.

Tabla 16: Datos y parámetros de la cuenca en estudio de la minera Antamina.

Parámetro	Magnitud	Unidad
Perímetro:	30663	metros
Área Cuenca:	47.5	km ²
Longitud Cuenca:	9105	metros
Cota Máxima:	4525	msnm
Cota Mínima:	4105	msnm
Riesgo Falla R:	10	%
Vida Útil n:	40	años
PP (max):	24.4	mm
S = Dev. Estándar	3.01	mm
n = # ciclos	21	mm

Fuente: Elaboración Propia

Para poder obtener los valores de tiempo de retorno se usaron los datos de la tabla 16 y se usó la fórmula de Máximo Villon Hidrología.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^n$$

$$0.1 = 1 - \left(\frac{1 - 1}{Tr}\right)^n = Tr = 380 \text{ Años}$$

Donde:

R = Riesgo de falla (%)

n = Vida útil

Tr = Tiempo de retorno

Luego para obtener el tiempo de concentración tomamos el valor del tiempo de retorno y los valores de la tabla 16, se usó la siguiente fórmula de Máximo Villon Hidrología.

$$T_c = 0.0192 \times \frac{(LONG.)^{0.77}}{(PEN. \%)^{0.385}}$$

$$T_c = 0.0192 \times \frac{(9105)^{0.77}}{(0.05)^{0.385}} = 70.20 \text{ Minutos}$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (mm)

L = Longitud de la cuenca

P = Pendiente (%)

Luego para hallar el factor de frecuencia k_T con tiempo de retorno de (10,100,380,450,500) años se usa la siguiente formula Distribución Gumbel

$$k_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \times \left[0.5772 + \text{Ln} \times \left(\text{Ln} \times \left(\frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right]$$

Donde:

K_T = Factor de frecuencia

Tr = Tiempo de retorno de (10,100,380,450,500) años

Luego para hallar las precipitaciones con tiempo de retorno $PP(Tr)$ se iguala se multiplica por la precipitación se suma el factor de frecuencia y se multiplica por la desviación estándar esta operación se hace para tiempo de retorno así completar el cuadro 17 se usó la siguiente formula Ven T. Chow, para el Análisis de Frecuencia.

$$PP(T_r) = PP(mm) + K_T \times S$$

$PP(Tr)$ = Precipitación con tiempo de retorno

$PP(mm)$ = Precipitación máxima

K_T = Factor de frecuencia

S = Desviación estándar

Después de obtener las precipitaciones máximas de cada tiempo de retorno a estos valores se castiga por 1.13 para obtener nuevas precipitaciones con factor de seguridad se usa para cada tiempo de retorno para completar la tabla 17, se usó la siguiente fórmula de Distribución de Gumbel.

$$PP(C) \times 13\% = PP(Tr) \times 1.13$$

Donde:

PP (c) 13% = precipitación corregida

PP (Tr) = precipitación con tiempo de retorno

Luego podemos resolver las intensidades de diseños para cada tiempo de retorno de (15,30,60) hasta completar el cuadro 17 se usó la siguiente fórmula de Salas, Fernández, (2006).

$$I = \frac{\Delta PP(D)}{\Delta t}$$

Donde:

I = Intensidad de diseño

$\Delta PP(D)$ = Variación de la precipitación de diseño

Δt = Variación del tiempo en horas

En la tabla 17 para hacer estos cálculos se usó el método DICK PERCHKE donde se tiene como datos los tiempos de retorno después se halla los factores de frecuencia (Kt) de cada orden periodo de retorno luego se halló los valores de las precipitaciones PP(Tr), con tiempos de retorno, después este valor de las precipitaciones se castiga por el valor de 1.13 este ensayo se hacen con el tiempo de 60 minutos para encontrar los valores de las precipitaciones de diseño e intensidad de diseño (15,30,60)mm/has.

Tabla 17: Método Dick Perchke Para Hallar la Intensidades de Diseño

Periodo Retorno	Kt	PP Tr	PPc 13%	Precipitación Diseño			Intensidad Diseño (mm/ha)		
				15	30	60	15	30	60
10	1.305	28.327	32.009	10.23	12.16	14.462	40.904	24.322	14.462
100	3.137	33.841	38.241	12.22	14.53	17.277	48.867	29.057	17.277
380	4.18	36.983	41.791	13.35	15.88	18.881	53.404	31.754	18.881
450	4.312	37.38	42.24	13.49	16.05	19.084	53.978	32.095	19.084
500	4.395	37.628	42.52	13.58	16.15	19.21	54.335	32.308	19.21

Fuente: Elaboración propia empleando Microsoft Office Excel v.19.

En la Tabla 17 este cuadro se obtuvo con el Excel en la opción de análisis de datos por regresión se tomó los valores de las precipitaciones e intensidades de diseño de la tabla 18 y también se obtuvo los coeficientes y valores para usar estos datos en la ecuación lineal de la doble regresión con la ecuación obtendremos los valores del coeficiente de variables m, n, y la intercepción para luego usar en las siguientes fórmulas de la regresión doble Microsoft Excel 2020.

Tabla 18: Valores de la Logarítmico de la Intensidad, y Tiempo de Concentración

Y(Intens.)	x ₂ (tr)	x ₁ (tc)
Log(I)	Log (Tr)	Log(t)
1.3193	1	1.1761
1.1509	1	1.4771
0.9682	1	1.7782
1.4865	2	1.1761
1.3182	2	1.4771
1.1354	2	1.7782
1.5603	2.5798	1.1761
1.392	2.5798	1.4771
1.2092	2.5798	1.7782
1.5688	2.6532	1.1761
1.4005	2.6532	1.4771
1.2178	2.6532	1.7782
1.5741	2.699	1.1761
1.4057	2.699	1.4771
1.223	2.699	1.7782

Fuente: Elaboración propia empleando Microsoft Office Excel v.19.

En la Tabla 19 obtuvimos los coeficientes y valores de m, n se obtiene con la ecuación de la doble regresión donde m = Variable $x_1 = 0.107$, n = Variable $x_2 = 0.75$, $a_0 = 2.264$. estos valores se usarán para hallar la intensidad de diseño.

Tabla 19: Valores de los Coeficientes de m, n de la Regresión

Coeficientes y Valores		
Intercepción	2.624	= a_0
Variable x_1	0.107	= m
Variable x_2	0.75	= n

Fuente: Elaboración Propia empleando Microsoft Office Excel v.19.

El valor de k es factor de la ecuación de la doble regresión se despeja con el logaritmo igualado a la intercepción siendo se despeja el volar de k.

$$\log \times k = a_0$$

$$10^{a_0} = K$$

$$K = 10^{2.264} = 421.29$$

Donde:

K = factor de la ecuación de la doble regresión

a_0 = intercepción

Así también se procedió al cálculo de la intensidad de diseño se toma el valor del factor de la ecuación de la doble regresión y los valores de los tiempos de retorno y concentración obteniéndose lo siguiente ecuación para un intervalo de tiempo instituto nacional de meteorología e hidráulica.

$$Id = K \times \frac{Tr^m}{Tc^n}$$

$$Id = 421.29 \times \frac{380^{2.624}}{70.20^{0.107}} = 32.93 \text{ mm/hr}$$

Donde:

Id = Intensidad de diseño

K = Factor de la ecuación de la doble regresión

Tr = Tiempo de retorno

Tc = Tiempo de concentración

m = Variable x_1

n = Variable x_2

5.2.3 Variables hidráulicas

Para determinar los caudales de diseño, infiltración de la cuenca de la compañía minera Antamina se usó el método S.C.S y con el método racional N.T.P ÁREA < 10 km² con el tiempo de retorno de 380 años con duración del aguacero de 120 minutos y el área de la cuenca de la compañía minera Antamina donde se ubica la presa de relave es de 47.5 km².

En la tabla 20 podremos observar el cuadro de orden 8 donde con tiempos de (15,30,45,60,75,90,105,120) minutos por orden y estos tiempos equivalentes en horas (0.25,0.50,0.75,1.00,1.25,1.50,1.75,2.00). luego para el valor de BA se van a usar las siguientes fórmulas para completar el cuadro y obtener el caudal en tiempo en horas luego se halla la intensidad con el acumulada, el BA (mm) es la precipitación acumulada el mayor empieza desde el orden 4 y los demás reparten de abajo arriba, el $\sum PP$ es la precipitación acumulada de BA, el S.C.S es para determinar la curva de infiltración de cada orden, el PPn es la precipitación neta redondeado a cero, la ABS. Es la resta del BA menos la PPn luego obtuvimos el caudal de cada orden.

Para hallar las intensidades (I), se multiplica por el tiempo de concentración en horas de cada orden y con los valores de tiempo de retorno y los valores de la ecuación de la regresión m, n. se usos la siguiente, ecuación para un intervalo de tiempo instituto nacional de meteorología e hidráulica.

$$Id = K \times \frac{Tr^m}{Tc^n}$$

Para obtener las precipitaciones en mm x hora PP (mm) se usó la siguiente formula
Fórmulas de Ven T. Chow, para el Análisis de Frecuencia.

$$PP_{(mm)} = I \times t_{hr}$$

Donde:

PP (mm) = Precipitaciones

I = Intensidad de diseño

t (hr) = Tiempo en horas

para obtener la variación de las precipitaciones (ΔPP), en cada orden se hace un artificio de la diferencia se toma el primer valor y luego se resta de abajo arriba con la formula. Para completar la tabla 20.

$$\Delta_{PP(mm)} = PP(mm)_i - PP(mm)_f$$

Donde:

ΔPP (mm) = Variación de la precipitación en cada tiempo

PP (mm)_i = Precipitaciones iniciales

PP (mm)_f = Precipitaciones finales

Para obtener el valor de BA, se hace un artificio de las variaciones de precipitaciones se acomoda el mayor valor al centro y luego los demás valores en forma creciente se coloca de abajo a arriba para luego tener los valores de la precipitación acumulada (ΣPP) con la siguiente formula así completar la tabla 20.

$$\Sigma_{PP} = BA_i - BA_f$$

Donde:

ΣPP = Precipitación acumulada

BA_i = Valor inicial

BA_f = Valor final

Para hallar los valores por el método de S.C.S para cada orden con valores redondeado se usan dos fórmulas con las abstracciones total la siguiente fórmula del S.C.S.

$$S.C.S_{(mm)} = \frac{[\sum PP - 0.2 \times S]^2}{[\sum PP + 0.8 \times S]}$$

$$s_{(mm)} = 25.4 \times \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right]$$

Donde:

S.C.S. (mm) = Método S.C.S.

$\sum PP$ = Precipitación acumulad

S(mm) = Abstracción total

CN = Impermeabilidad del suelo

Para obtener los valores de las peritaciones netas (PPn), se obtuvo por la de la diferencia de Los métodos S.C.S iniciales menos finales de cada orden en forma descendente de arriba bajo con la siguiente formula artificio hasta completar la tabla 20.

$$PP_n = S.C.S.(mm)_i - S.C.S.(mm)_f$$

Donde:

PPn = Precipitaciones netas

S(mm)_i = Abstracción total inicial

S(mm)_f = Abstracción total final

Para obtener los valores de las Abstracciones de cada orden se usa la diferencia del BA menos PPn, con la siguiente fórmula se hace un artificio para completar los valores en la tabla 20.

$$A_{bst} = BA - PP_n$$

Donde:

Abst. = Abstracciones (mm)

PPn = Precipitaciones netas

Para poder obtener el valor del coeficiente de escorrentía superior (C).es la división de la precipitación acumulada total entre la precipitación del total neta. Con este valor se puede hallar los caudales de cada tiempo se usó la siguiente fórmula de Máximo Villon hidrología

$$C = \frac{\sum PP(mm)Total}{PPn(mm)Total}$$

$$C = \frac{44.05}{16.60} = 0.37$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento superior

$\sum PP$ (mm) total = Precipitación acumulada total

PPn(mm) = Precipitación neta acumulada total

En la tabla 20 podemos se completó el cuadro para poder resolver el caudal diseño, infiltración y las escorrentías superficiales y subterráneas. .

Tabla 20: Método S.C.S para determinar el Caudal Diseño e Infiltración

Orden	Tiempo (minuto)	Tiempo (hora)	Intensidad (mm/ha)	PP (mm)	ΔPP (mm)	BA (mm)	$\sum PP$ (mm)	S.C.S (mm)	PPn (mm)	Abst. (mm)
1	15	0.25	104.76	26.19	26.19	1.61	1.61	0	0	1.61
2	30	0.5	62.29	31.15	4.96	2.12	3.73	0	0	2.12
3	45	0.75	45.96	34.47	3.32	3.32	7.06	0	0	3.32
4	60	1	37.04	37.04	2.57	26.19	33.25	9.41	9.41	16.78
5	75	1.25	31.33	39.16	2.12	4.96	38.2	12.57	3.16	1.8
6	90	1.5	27.33	40.99	1.83	2.57	40.77	14.31	1.74	0.83
7	105	1.75	24.34	42.6	1.61	1.83	42.6	15.57	1.26	0.57
8	120	2	22.02	44.05	1.45	1.45	44.05	16.6	1.03	0.42

Fuente: Elaboración Propia empleando Microsoft Office Excel v.19.

Para poder determinar las escorrentias superficiales y de perdida se usos la siguiente formula del metodo S.C.S.

$$S_{(mm)} = 25.4 \times \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right]$$

$$S_{(mm)} = 25.4 \times \left[\frac{1000}{86} - 10 \right] = 41.35 \text{ mm}$$

Donde:

S(mm) = Abstracción total

CN = Impermeabilidad del suelo

Con este dato de la Abstracción total, podemos obtener la Abstracciones inicial de perdida (Ia). Se uso la siguiente formula

$$I_a = 0.2 \times S_{(mm)}$$

$$I_a = 0.2 \times 41.35 = 8.27 \text{ mm}$$

Donde:

Ia = Abstraccion inicila de perdida

S(mm) = Abstracción total

Para poder obtener el caudal de diseño (Qd) se uso el metodo racional por la norma tecnica peruana ya que es la Area es mayor a 10 hectarias se usos las siguientes formulas del metodo empirico N.T.P.

$$H = 1 + \frac{Tc^{1.25}}{Tc^{1.25} + 14}$$

$$H = 1 + \frac{70.2^{1.25}}{70.2^{1.25} + 14} = 1.1$$

Donde:

H = Coeficiente de uniformidad

Tc = Tiempo de concentración

Estos valores se obtuvo el caudal de diseño por método empírico N.T.P AREA < 10 km².

$$Q_d = 0.278 \times C \times I \times A \times H$$

$$Q_d = 0.278 \times 0.4 \times 32.93 \times 47.5 \times 1.1 = 176.96 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Donde:

Q_d = Caudal de diseño

C = Coeficiente de escurrimiento superior

I_d = Intensidad mm/hr

A = Área de la cuenca

H = Coeficiente de uniformidad

Luego Para calcular el caudal de infiltracion (Q_i), se tiene que tener el valor de las Abstaciones acumulads que es de 27.45 mm este valor sale del la tabla 20 para poder reemplazar en la siguiente formula del metodo S.C.S.

$$Q_i = \frac{\sum Abstr \times Area}{Tiempo}$$

$$Q_i = \frac{27.45 \times 47.5 \times 10^3}{2 \times 3600} = 181.10 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Donde:

\sum Abstracción = Abstracción acumulada

A = Área de la cuenca

t = Tiempo en segundos

En la figura 42 vemos el grafico del hietograma de la escorrentía superficiales y subterráneas las aguas superficiales de 16.6 mm son las precipitaciones netas o efectivas son de color azul y las aguas subterráneas es de 8.7 mm de perdida son de color anaranjado con precipitación y tiempo de dos horas las abstracciones de pérdidas que van a depender del tipo suelo o cobertura de vegetación y se tomara el valor $CN = 86$ de la tabla 7 descripción del tipo de suelo.

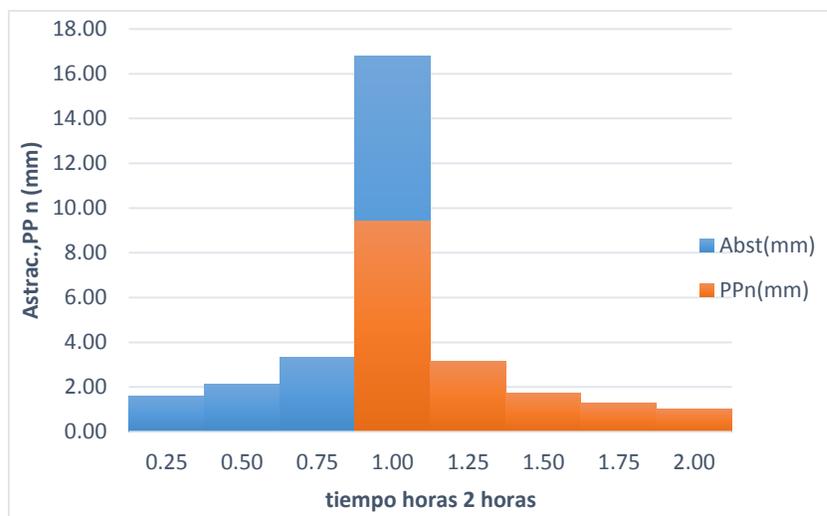


Figura N° 42: Gráfico Hietograma escurrimiento superficial y subterráneo

Fuente: Elaboración Propia empleando Microsoft Office Excel v.19.

En la Tabla 21 se puede observar las intensidades (I), con los tiempos de diseño de (15,30,60,75,90,105,120) minutos y periodos de retorno de (10,100,380,450,500) años, en este cuadro podemos observar que las intensidades aumentan de acuerdo al tiempo de diseño y al periodo de retorno.

Tabla 21: Intensidad de Diseño con Periodo de Retorno en Años

Intensidad	Intensidad Diseño (120) m	Periodo de Retorno (10,100,380,450,500)	Intensidad (mm/hr)
$\dot{i}_{(t, tr) (15,10)}$	15	10	70.819
$\dot{i}_{(t, tr) (15,100)}$	15	100	90.738
$\dot{i}_{(t, tr) (15,380)}$	15	380	104.761
$\dot{i}_{(t, tr) (15,450)}$	15	450	106.685
$\dot{i}_{(t, tr) (15,500)}$	15	500	107.902
$\dot{i}_{(t, tr) (30,10)}$	30	10	42.109
$\dot{i}_{(t, tr) (30,100)}$	30	100	53.953
$\dot{i}_{(t, tr) (30,380)}$	30	380	62.291
$\dot{i}_{(t, tr) (30,450)}$	30	450	63.435
$\dot{i}_{(t, tr) (30,500)}$	30	500	64.159
$\dot{i}_{(t, tr) (60,10)}$	60	10	25.038
$\dot{i}_{(t, tr) (60,100)}$	60	100	32.081
$\dot{i}_{(t, tr) (60,380)}$	60	380	37.039
$\dot{i}_{(t, tr) (60,450)}$	60	450	37.719

$\dot{i}_{(t, tr) (75,10)}$	60	500	38.149
$\dot{i}_{(t, tr) (75,10)}$	75	10	21.18
$\dot{i}_{(t, tr) (75,100)}$	75	100	27.137
$\dot{i}_{(t, tr) (75,380)}$	75	380	31.331
$\dot{i}_{(t, tr) (90,450)}$	75	450	31.906
$\dot{i}_{(t, tr) (75,500)}$	75	500	32.27
$\dot{i}_{(t, tr) (90,10)}$	90	10	18.473
$\dot{i}_{(t, tr) (90,100)}$	90	100	23.669
$\dot{i}_{(t, tr) (90,380)}$	90	380	27.327
$\dot{i}_{(t, tr) (90,450)}$	90	450	27.828
$\dot{i}_{(t, tr) (90,500)}$	90	500	28.146
$\dot{i}_{(t, tr) (105,10)}$	105	10	16.456
$\dot{i}_{(t, tr) (105,100)}$	105	100	21.085
$\dot{i}_{(t, tr) (105,380)}$	105	380	24.343
$\dot{i}_{(t, tr) (105,450)}$	105	450	24.79
$\dot{i}_{(t, tr) (105,500)}$	105	500	25.073
$\dot{i}_{(t, tr) (120,10)}$	120	10	14.888
$\dot{i}_{(t, tr) (120,100)}$	120	100	19.075
$\dot{i}_{(t, tr) (120,380)}$	120	380	22.023
$\dot{i}_{(t, tr) (120,450)}$	120	450	22.428
$\dot{i}_{(t, tr) (120,500)}$	120	500	22.684

Fuente: Elaboración propia Microsoft Office Excel v.19.

En la figura 43 tenemos el grafico de la curva IDF, (Intensidad, Duración y Frecuencia) observamos que los periodos de retorno varían de acuerdo a los años, la menor intensidad con el menor periodo de retorno es de ($I = 16.456$ mm/hr, $Tr = 10$ años), con tiempo de retorno de 105 minutos que son de color celeste y la mayor intensidad con el menor periodo de retorno es de ($I = 107.902$ mm/hr, $Tr = 500$ años), con tiempo de retorno de 15 minutos que son de color azul.

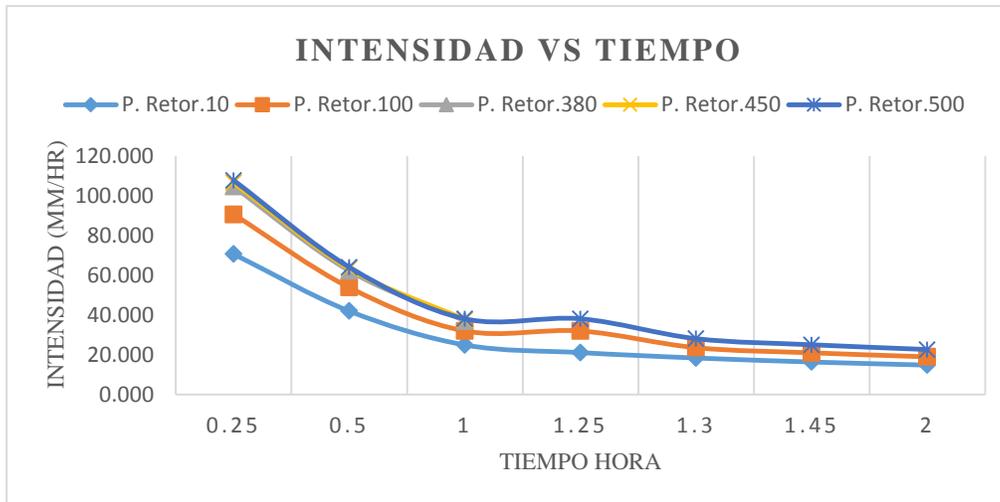


Figura N° 43: Curva IDF con Intensidad de diseño y periodo de retorno

Fuente: Elaboración Propia empleando Microsoft Office Excel v.19.

5.3 Análisis de la Modelación Numérica en la Presa de Relave

Con los datos que se obtuvo se hizo el modelamiento con software IBER DAM BRECK, es un método matemático bidimensional en 3D, que incluye un módulo hidrodinámico para la simulación de ruptura de presa y cálculos de encauzamientos de Área, volumen, tirante de relave y tiempo de inundación en las micro de cuencas Ayash y Huancayoc donde existen centros poblados de HUARIPAMPA, CHOCORAGRA, PICHU, VICHON.

Para poder laborar el modelamiento con el programa Iber se georreferencia la zona de investigación y después de toma la data del DEM de la NASA que es un modelo digital satelital donde se hace una delimitación de las micros cuencas para luego proceder al modelamiento numérico.

En la figura 44 podemos observar atreves del programa IBER, donde se delimita el vaso de presa de relve y la cuenca de escurrimiento ante la ruptura de la presa de relave en la opción rap mapper se crea la geometría que se va delimitar la zona de estudio de la presa de relave y el dren por donde va drenar el relave ante una ruptura en la micro cuenca Ayash y Huancayoc.

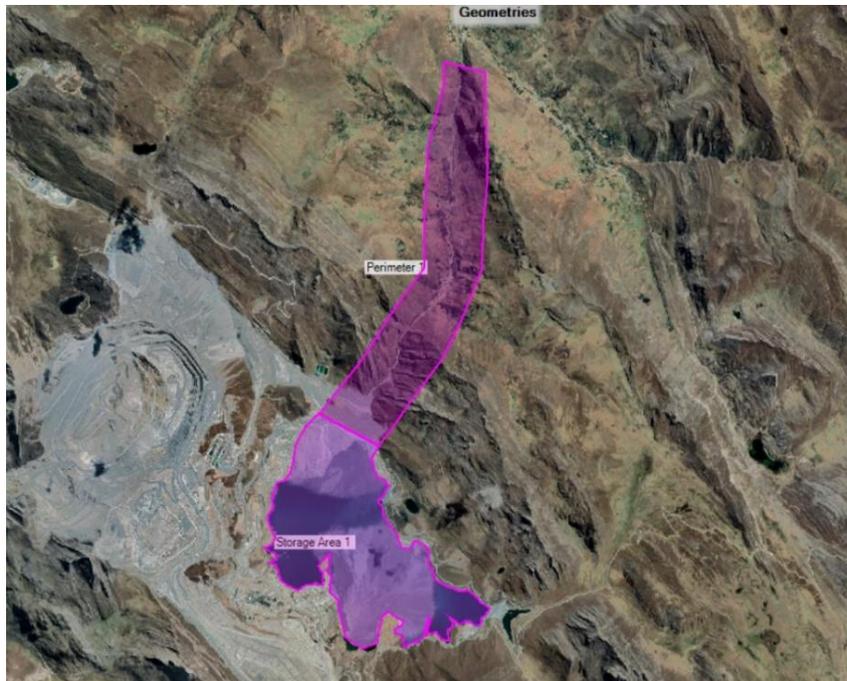


Figura N° 44: Geometría de la presa y la micro y cuenca Ayash y Huancayoc

Fuente: Elaboración propia empleando IBER versión 2.5.2.

En la figura 45 podemos observar el modelo digital satelital del ensamblaje o rap mapper se genera un TIM y el ráster en el DEM, en 3D el terreno de estudio de la presa de relave y de la micro cuenca Ayash y Huancayoc, donde existen centro poblados en los márgenes de dren hídrico de estas cuencas con el modelamiento podremos estimar los tirantes de inundación de relave minero.

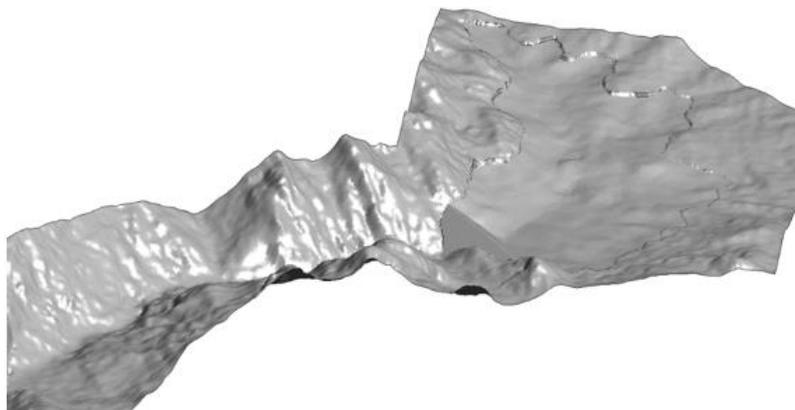


Figura N° 45: Ensamblaje del modelo digital de la presa y cuenca Ayash

Fuente: Elaboración Propia empleando IBER versión 2.5.2.

En la figura 46 se genera el enmallado en el IBER para generar el eje de rompimiento de presa de relave que es una línea de color rojo. la presa siempre va romper por el centro del eje ya que no tiene empotramiento lateral entonces se genera una brecha por el lado más débil por donde va drenar el relave.

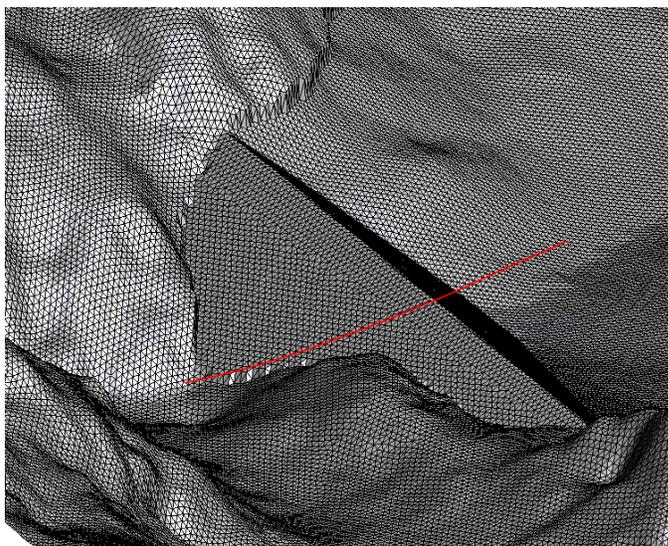


Figura N° 46: Eje de Rompimiento de presa de relave

Fuente: Elaboración Propia empleando IBER versión 2.5.2.

En la figura 47 en el programa IBER se genera la malla del embalse y de la presa de relave en la cota de la corona de la presa de 4115 msnm, donde podemos apreciar los colores que definen las elevaciones.

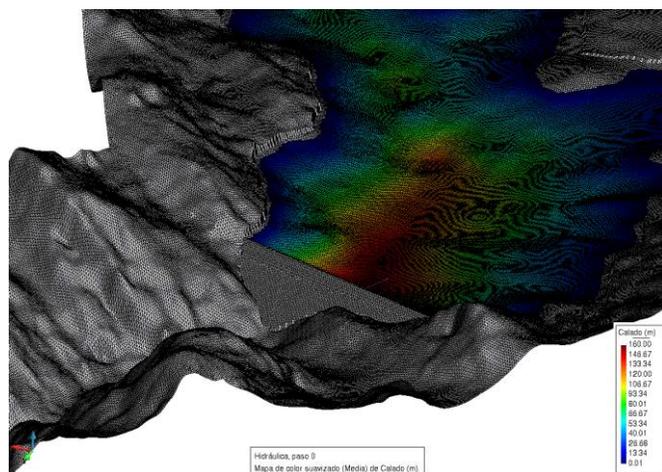


Figura N° 47: Malla de embalse y de la presa de relave

Fuente: Elaboración propia empleando IBER versión 2.5.2.

En la figura 48 se tiene en la presa y el embalse del relave donde empieza el inicio de rotura se genera una brecha al centro del eje de la presa en el programa también podemos ver los calados que son las alturas de profundidad de acuerdo a los colores y el tiempo hidráulico de cero segundos.

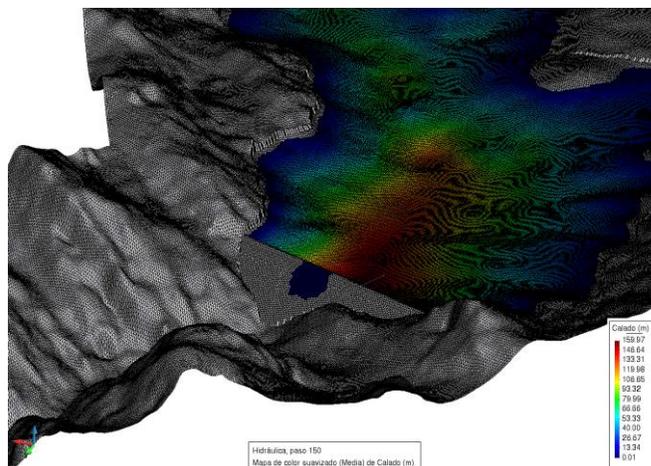


Figura N° 48: Embalse de presa

Fuente: Elaboración Propia empleando IBER versión 2.5.2.

En la figura 49 a través del modelamiento en 3D en el IBER en la presa se genera la ruptura o brecha por donde va escurrir el relave hacia la micro cuenca Ayash, Huancayoc con un tiempo de 750 segundos vemos como baja el relave hacia la cuenca y también vemos que la altura del espejo de relave disminuye y la cota es de 4115 msnm y es que es de color rojo.

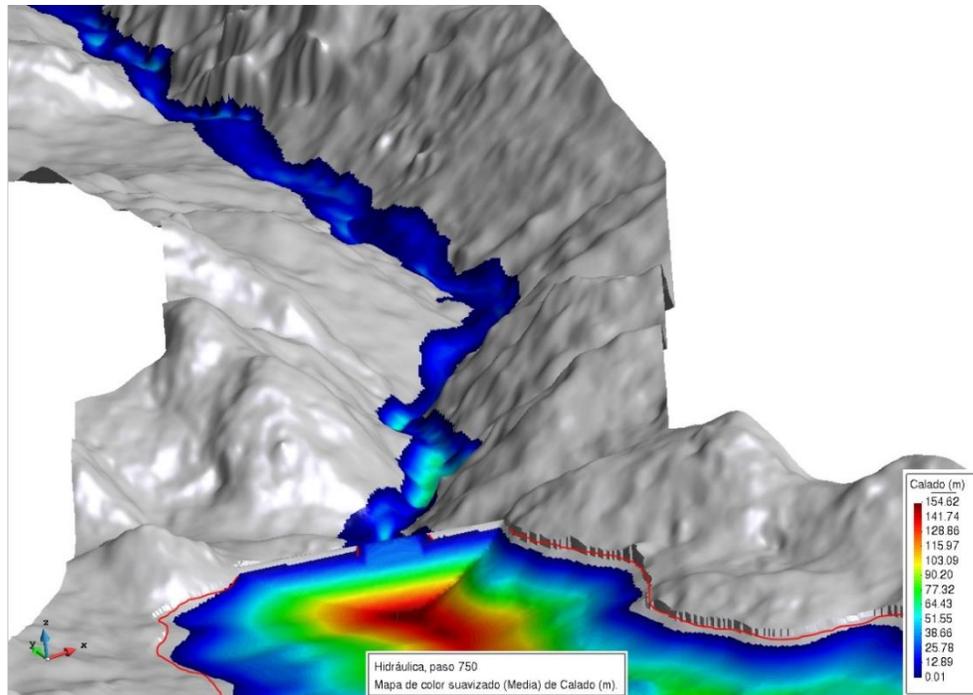


Figura N° 49: Esguerrimiento de relave por la ruptura en la brecha

Fuente: Elaboración Propia empleando IBER versión 2.5.2.

En la figura 50 en el modelamiento con el programa IBER en 3D, podemos observar el vaciado del relave total de esguerrimiento en las micro cuencas de Ayash y Huancayoc donde se pudo conocer el tiempo de descarga total en la hidráulica de paso es de 2400 segundos que es equivalente a 40 minutos, también podemos conocer el calado que es la altura de elevación del relave que es de 22 metros que es de color azul como se muestra en la imagen de barra que son cotas de elevación de acuerdo a los colores podemos estimar la altura o tirante del relave en le modelamiento en vista de 3D. también se puede observar que un porcentaje de relave se queda en la presa de relave, en la imagen podemos observar la cota del espejo de relave que es de color rojo. Atraves del modelamiento podemos observar que el esguerrimiento de relave afecta a las dos cuencas donde se interceptan en un punto entre la cuenca de Ayash y la cuenca de Huancayoc vemos que el flujo de relave ahora drena hacia la cuenca de Huancayoc inundando centro poblados.

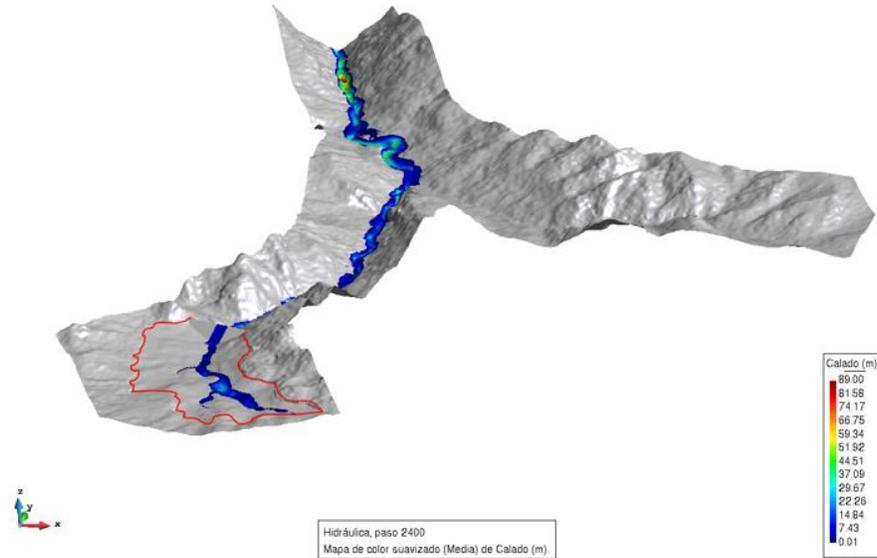


Figura N° 50: Esguerrimiento total de relave hacia las cuencas de Ayash y Huancayoc

Fuente: Elaboración Propia empleando IBER versión 2.5.2.

En la figura 51 podemos observar el modelamiento con el Google Earth el esguerrimiento total de relave desde la presa de relave que está a una cota de elevación de 4415 msnm hasta la cuenca de Huancayoc que está a una cota de hasta 3218 msnm con estos datos se puede obtener la pendiente longitudinal promedio en la micro cuenca que es de 8.5%. En la imagen se puede apreciar las líneas rojas que son para calcular el área de inundación que es de 4.27 km², tiene un perímetro de 25.7 km, y con una longitud de esguerrimiento de relave de 12.0 km con estos valores se obtuvo la velocidad de 18.0 km/hora. Cuando se genera la simulación de ruptura de la presa de relave en el programa del Google Earth del esguerrimiento total de relave vemos que cuenca de Ayash queda inundaciones completamente afectando a los centros poblados de Huaripampa, Chocoragra y esto llega afecta también a la cuenca de Huancayoc donde se encuentran los centros poblados de pichiu y vichon también quedan inundados completamente con una altura de relave minero de 22 m que afectara pérdida de vidas humanas infraestructura y daños al medio ambiente.



Figura N° 51: Esguerrimiento total en las micro cuencas de Ayash y Huancayoc.

Fuente: Elaboración Propia empleando Google Earth Pro versión 2018.

En la figura 52 se usó el software HEC RAS DAM BRECK con el archivo del DEM podemos generar un Tim ráster en el rap mapper se delimita la presa de relave y el enmallado que es de color celeste rodeado de un círculo color rojo de las micro cuencas de Ayash y Huancayoc se obtuvo un volumen de inundación de 15.508.730 m³. La topografía de la micro cuenca de Ayash es de una superficie encañado de Abras de cerros en forma tubular y está a una distancia de 2.5 km, desde la presa de relave, cuando escurre el relave podemos observamos en el modelamiento que en las partes más encañados en la micro cuenca de Ayash vemos que el relave vuelve a acumularse y después sales con una energía de potencia hacia la micro cuenca de Huancayoc inundando a los poblados de pichiu y vichon donde el relave se extiende más en su anchura de inundación y este esguerrimiento de relave sigue avanzando todo la cuenca de Huancayoc con un longitud de 12 kilómetros. Generando daños catastróficos e impactos que son lamentable donde afectan a las infraestructuras, tierras de cultivo, pérdidas de vidas humanas y daños al medio ambiente.

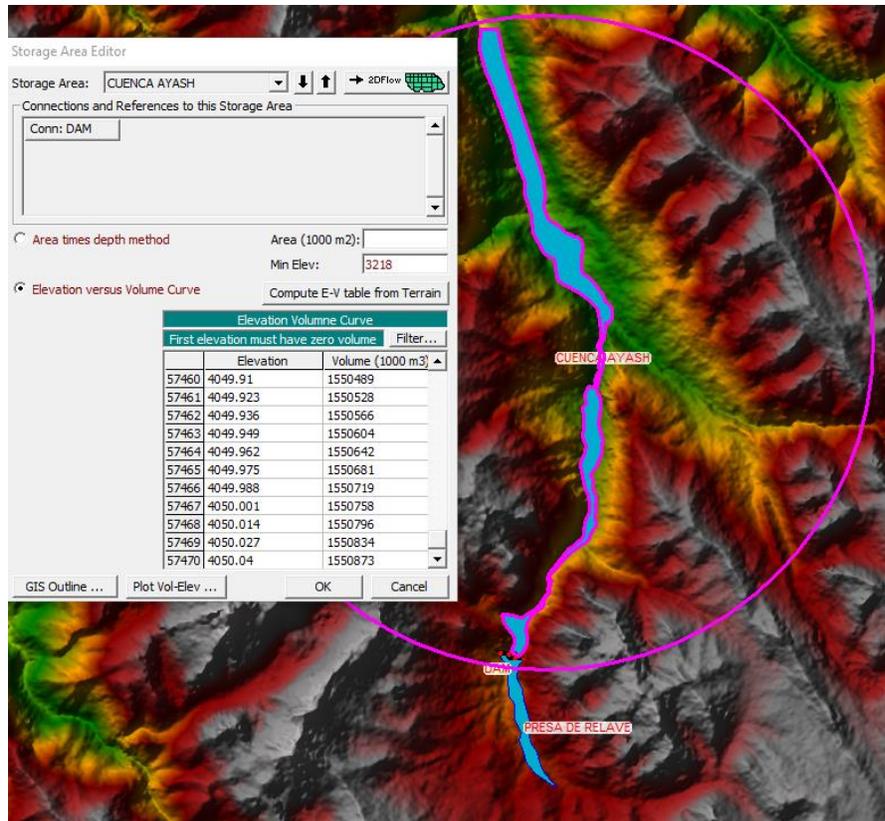


Figura N° 52: Delimitación y Geometría del HEC RAS en la presa y cuenca

Fuente: Elaboración Propia empleando Hec Ras versión 5.0.7.

En la tabla 22 a través del modelamiento en 3 D, con los softwares de IBER, HEC RAS Dambreck se obtuvo los resultados de los parámetros y magnitudes de la micro cuenca cuando rompe la presa de relave se analiza los magnitudes y daños que ocasiona el escurrimiento de relave minero en los márgenes de las quebradas de Ayash y Huancayoc los resultados se mencionan en la tabla de resultados de modelamiento.

Tabla 22: Resultados de Análisis del modelamiento.

Parámetro	Magnitud	Unidades
Área de Inundación	4.27	km ²
Volumen Inundación	15.508.730	m ³
Longitud de Inundación	12	km

perímetro de Inundación	27.5	km
Tiempo de Escurrimiento Total	40	minutos
Velocidad de Escurrimiento Pendiente Promedio Longitudinal	18	m/segundo
Tirante de Inundación	8.5	%
Cota Presa de Relave	22	metros
Cota en la Micro Cuenca Huancayoc	4115	msnm
	3218	msnm

Fuente: Elaboración Propia .

5.4 Análisis de resultados

Los análisis de la investigación se dieron en función a los objetivos siguientes:

Las características topográficas obtenidas en la cuenca Ayash tiene una orografía accidentada de acuerdo al MTC-2018, según la clasificación de orografía el terreno es accidentada con una pendiente transversal de 84.4 % y tiene una pendiente longitudinal de 8.5%, con una orografía ondulada.

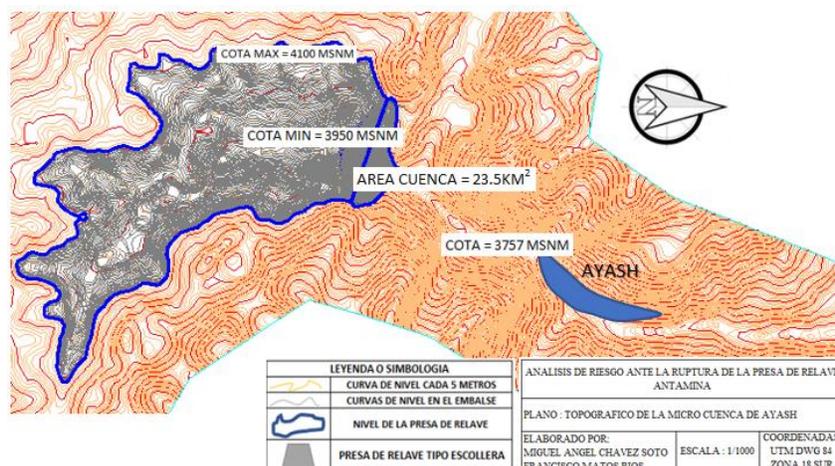


Figura: N° 53. Mapa de ubicación topográfica la cuenca Ayash y Huancayoc

Fuente: Elaboración Propia empleando AutoCAD CIVIL 3D v.20.

En la tabla 23 se obtuvo las características geológicas de la zona de estudio de la cuenca Ayash de acuerdo a la data del GEOCADMIN, son depósitos cuaternarios aluvial con denotación Qh-al tiene características litológicas de sedimentos no consolidados con arena, gravas y limos además el tipo de roca es metamórfica con de notación Ki-pt.

Tabla 23: Unidad Estratigráfica y Características Litológicas de la cuenca Ayash

Era	Sistema	Serie	Unidas Estratigráfico	Símbolo	Características litológicas
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Deposito Aluvial Holocenoico	Qh - al	Sedimentos no consolidados con arena gravas y limo
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Formación Pariatambo	Ki - pt	Calizas grises con lutitas bituminosas con limo arcilla

Fuente: Elaboración Propia empleando carta nacional Geocadmin.

En la tabla 24 para obtener los parámetros hidrológicos de precipitación máximas del terreno de estudio se obtuvieron de la base de datos de los registros históricos de SENAHMI, se obtuvieron las precipitaciones máximas de cada mes del año en 24 horas de las estaciones cuatro pluviométricas que están en funcionamiento la estación de Chavín de Huántar, Santa María, Dos de Mayo, Pachacoto, con estos datos y cálculos se podrán obtener las escorrentías superficiales y subterráneas, así como también los caudales de diseño, caudal de infiltración e intensidades de diseño de la zona de investigación.

Tabla 24: Estaciones Pluviométricas y Precipitaciones Máximas

Estación Pluviométrica y Precipitación Máxima Anual		
Estación	Año	PP. Max. (24) hr
Chavín de Huántar	2018	24.4
Santa María	1998	19.63
Dos de Mayo	2003	20.14
Pachacoto	1998	20.42

Fuente: Elaboración Propia empleando datos SENAMHI.

En la tabla 25 se obtuvo a través de cálculos los resultados del caudal de diseño de la presente investigación que es de $176.96 \text{ m}^3/\text{segundos}$, así mismo el caudal de infiltración obtenido mediante el método S.C.S fue de $181.1 \text{ m}^3/\text{segundos}$, la intensidad de diseño se obtuvo mediante doble regresión el cual fue de 32.93 mm/hora , así mismo las precipitaciones escorrentía superficial obtenida es de 16.6 mm mientras que las escorrentías de pérdida o subterráneas es de 8.27 mm así como también el coeficiente de escurrimiento obtenido fue de 0.38 .

Tabla 25: Valores y Resultados de los Parámetros y Magnitudes.

Parámetro	Magnitud	Unidades
Caudal Diseño	176.96	$\text{m}^3/\text{segundo}$
Caudal Infiltración	181.1	$\text{m}^3/\text{segundo}$
Intensidad Diseño	32.93	mm/hora
Escorrentía Superficial	16.6	mm
Escorrentía Subterránea	8.27	mm

Coefficiente de
Escorrimento 0.38 -

Fuente: Elaboración Propia de cálculos y resultados

En la figura 54 se obtuvo el modelo digital de elevación Dem se genera el Tim y luego el ráster para obtener las imágenes en el formato tif de la zona de estudio podemos ver las formas de los relieves y abras del terreno de la micro cuenca de estudio de las quebradas de Ayash y Huarcaiyoc atreves de este formato tim ráster se puede tener información de la topografía, geología y morfología.

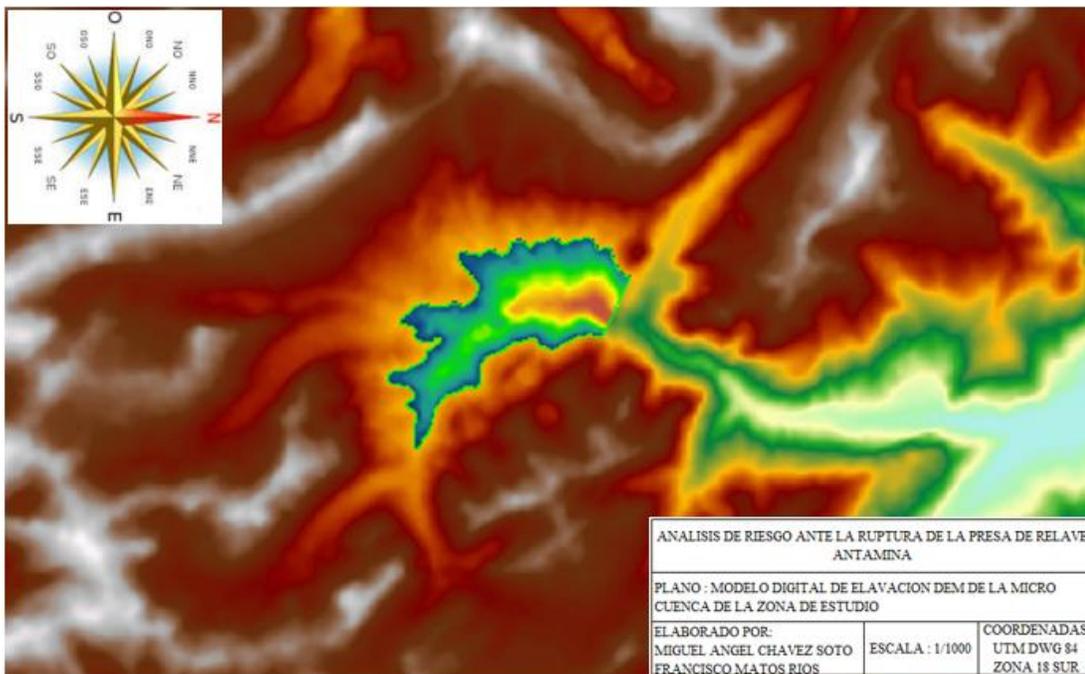


Figura: N° 54: Mapa de ubicación en el modelo digital de elevación Dem

Fuente: Elaboración Propia empleando ArcGIS versión 10.8

El análisis de la zona afectada de la cuenca Ayash mediante el uso el modelamiento del programa ArcGIS y Hec Ras opción Rap Mapper – Dam Break, nos permite saber un estimado de afectación a los poblados y caseríos cercanos a la micro cuenca de Ayash y Huancayoc, afectando vidas humanas y las infraestructuras preexistentes de la zona, así también a la agricultura y la ganadería de la zona, generando una contaminación del ecosistema existente en la zona.

La investigación presente concuerda con los resultados obtenidos por Jorquera. M, (2019) en su tesis de “Pasivos Ambientales Mineros- Conflictos Ambientales y Percepción de la contaminación y de la salud de la población-comuna de cabildo” muestra la importancia y el análisis de estudio de los pasivos ambientales mineros y como estos afectan a las poblaciones cercanas, para la investigación de ruptura de presa los pasivos ambientales se pueden dar mediante la infiltración, evaporación o por el transporte en el aire a las poblaciones cercanas, afectando a las poblaciones y a sus cultivos.

En la figura 55 se describe el diagrama de flujo para poder mitigar los daños de inundación que pueden ocasionar ante la ruptura de la presa de relave con modelamientos y factores de seguridad aceptables por análisis pseudo dinámico y estático, con los programas de SLINE y MAX STAR, también monitoriar constantemente de estudios de hidrología e hidráulica para poder controlar las máximas avenidas, el recreimiento que puede sobrecarga a la presa de relava y los caudales de infiltración que pueden generar erosiones y el colapso de la presa de relave de la compañía minera Antamina.

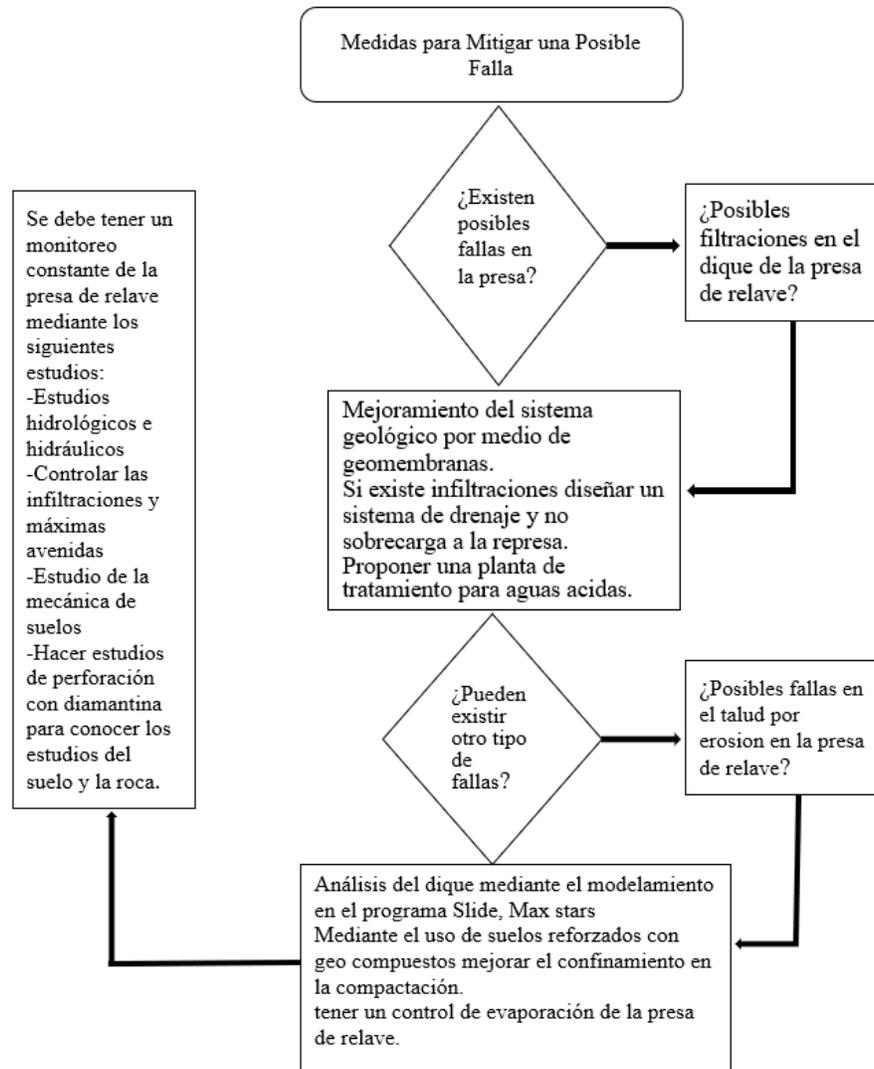


Figura: N° 55: Diagrama de Flujo para mitigar una falla posible de la presa de relave

Fuente: Elaboración Propia

La investigación presente concuerda con los resultados obtenidos por Quispe y Zúñiga (2019) en su tesis de “Análisis sísmica pseudo estático y pseudo dinámico de la estabilidad de la presa N°9 Acuchilla-Cochaccasa-Angaraes-Huancavelica” en la investigación fue identificar la susceptibilidad y factor de seguridad de los taludes de la investigación donde los investigadores concluyeron que una de las medidas de mitigación de riesgo de falla sería la el refuerzo con geomembranas , para la ruptura de presa de relave de la presente investigación se propone como medida para mitigar el uso de refuerzo de geomembrana para reforzar el talud de la presa de relave.

5.5 Contrastación de Hipótesis

5.5.1 Hipótesis Principal

Se analizará a partir de los características topográficas, parámetros hidrológicos y modelos numéricos en los cuales se podrá obtener los volúmenes y áreas, longitud y altura de inundación que afectan ante la ruptura de presa de relave Antamina Ancash.

Contrastación

En la presente investigación se obtuvieron las características topográficas que denotaron que el terreno de investigación es accidentado obtenidos mediante los software Google Earth ,ArcGIS y AutoCAD Civil 3D , obteniendo las curvas de nivel que lo demuestran , los parámetros hidrológicos se obtuvieron de las estaciones pluviométricas de las estaciones cercanas a la zona de estudio , la cual nos permitió tener las precipitaciones máximas , intensidades de diseño , caudales de diseño y caudales de infiltración , los modelos numéricos mediante los software IBER y Hec-Ras , ArcGIS, nos permite obtener para la investigación los volúmenes ,área, longitud, altura y velocidad que se genera por la inundación en la micro cuenca Ayash y Huarcaiyoc, por lo tanto, si cumple con la hipótesis Principal.

5.5.2 Hipótesis Secundarias

Hipótesis 1

El relieve de la cuenca se caracterizará por ser un relieve es accidentado y ondulado, y gran parte de su geología es de depósito cuaternario aluvial del holoceno.

Contrastación

En la presente investigación se determinó el relieve de la zona de estudio como un relieve accidentado y ondulado debido a la pendiente transversal y longitudinal que muestra las curvas de nivel de la zona de estudio, obtuvimos ello mediante el uso del software del GOOGLE EARTH, GLOBAL MAPPER y el AutoCAD Civil 3D, la geología de la presente investigación se obtuvo mediante la data de la carta nacional del GEOADMIN INGEMEMT, la cual obtuvimos un suelo de depósito

cuaternario aluvial del holocenoico y la roca están formado por caliza macizas color gris azulino con mangas de por lo tanto cumple con la hipótesis secundaria.

Hipótesis 2

Los parámetros hidrológicos e hidráulicos fundamentales serán los principales parámetros hidráulicos que se determinarán el caudal, velocidad y el tirante máximo.

Contrastación

En la presente investigación obtuvimos mediante la toma de información de las estaciones pluviómetros cercanos a la zona , información que brinda el SENHAMI, las precipitaciones , intensidades de diseño y mediante método S.C.S se obtuvo los caudales con tiempos de 15 minutos hasta 2 horas obteniéndose las escorrentías superficiales y subterráneas y coeficiente de escorrentía superior y mediante el uso del software ArcGIS , IBER, HEC RAS, DamBreak se obtuvo una velocidad de 18 km /hora y tirantes máximos de 22 metros de altura, en el momento que falle por ruptura la presa de relave, por lo tanto cumple con la hipótesis secundaria.

Hipótesis 3

La zona afectada será identificada a partir de la modelación numérica con los softwares IBER y HEC-RAS Y DAM-BREAK.

Contrastación

En la presente investigación se realizó la modelación con los softwares ArcGIS, IBER y DamBreak, en la cual permite ver las zonas afectadas partiendo del dique de presa de relave hasta las zonas de cultivos y los caseríos cercanos a la presa de relave, el poblado más cercano hasta a 2.5 km de la presa de relave y tiene de nombre de Huaripampa, Chocoragra, se encuentra ubicado en la micro cuenca y en la micro cuenca de Huarayoc esta los pueblos de Pichiu, Vichon. Se estima mediante la modelación numérica un volumen de inundación de 15.508.730 m³ y un área que abarca los 4.27 Km² y el tirante de relave de 22 metros, por lo tanto, cumple con la hipótesis secundaria.

Hipótesis 4

Las posibles medidas para mitigar daños antes una posible falla podrían ser el uso de geomallas y geomembranas como material reforzante en la presa de relave.

Contrastación

La presente investigación obtuvimos como resultado que las áreas afectadas por una posible falla de ruptura de presa llegarían a los poblados o caseríos más cercanos de la micro cuenca de Ayash y Huancayoc, debido al volumen de relave que es de 15.508.730 m³ para tales efectos una medida para mitigar los daños a la población es el reforzamiento con geomembranas o geomallas para una mayor estabilidad de la presa de relave por lo tanto cumple con la hipótesis secundaria.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo mediante el uso de softwares, Google Earth, ArcGIS y AutoCAD Civil 3D las curvas de nivel de la zona de estudio, mediante las cuales se determinó el valor de la pendiente transversal de 84.40% y pendiente longitudinal de 8.5% de la micro cuenca Ayash y Huaracayoc la que hace que la zona de estudio tenga una topografía accidentada, la geología se obtuvo con el uso de la data del INGEMENT y revelo que son depósitos cuaternarios aluviales con características litológicas de sedimentos no consolidados con arenas, gravas y limos, así mismo, el tipo de roca es metamórfica.
2. Los principales parámetros hidrológicos de la micro cuenca Ayash y Huancayoc, se determinaron a partir de la toma de datos de las precipitaciones de las estaciones cercanas a la zona de estudio las cuales fueron obtenidas por la data que brinda el SENAHMI, determinando sus precipitaciones máximas en 24 horas, chavín de Huanta con 24.4 mm, Santa María con 19.63 mm, dos de mayo 20.13 mm, Pachacoto con 20.42 mm. También se obtuvo los caudales de diseño el cual fue de 176.96 m³/s, intensidad de diseño de 32.93 mm/h, caudal de infiltración de 181.10 m³/s, tiempo de retorno de 380 años con tiempos de concentración de 70.20 min, un coeficiente de escorrentía superior de 0.38, la cuenca Ayash siendo zona de la presente investigación tiene un área de 23.5 km².
3. Las principales zonas afectadas de la cuenca Ayash se determinó mediante el uso de softwares ArcGIS, AutoCAD Civil 3D, IBER y Hec-Ras DamBreak se obtuvo el modelamiento de una ruptura de presa de relave en el cual los modelos numéricos obtenidos mediante la modelación de los softwares mencionados son la velocidad de 18 km/h y el tirante máximo de 22 metros de relave minero, así mismo el volumen de inundación es de 15.508.730 m³, este volumen será el relave de presa que fluirá por la cuenca en caso de una ruptura, con el volumen de inundación se verán afectados los poblados y caseríos cercanos siendo este el centro poblado de Huaripampa, Chocoragra. Pichiu y Vichon con 311 habitantes, así también las zonas de cultivo y ganadería de la zona de estudio las cuales son fuente de ingresos para el poblado, las estructuras precarias de la zona se verán afectadas debido en caso de una ruptura de presa de relave.

4. Las principales medidas de mitigación para los poblados de la cuenca de Ayash se determinó bajo modelamientos de software IBER Y HEC RAS, se pueden determinar los volúmenes, áreas y tirantes de inundación en una posibles falla por un ruptura de presa de relave , siendo estas las zonas de poblados más cercanos las más afectados por los pasivos ambientales que esta ruptura de presa de relave pueda ocasionar , para poder determinar el riesgo se debe tener información de la presa saber para cuantos años está diseñado o vida útil y esa información lo tiene la compañía minera de Antamina así poder evaluar y determinar los reforzamientos que pueden generar los esfuerzos hidráulicos del relave y de esta manera poder controlar y que cumpla su vida útil también se puede hacer el reforzamiento del dique de la presa con materiales y geomallas que obtendrá mayor resistencia al empuje y también se debe usa geomembrana para impermeabilizar el suelo así evitar infiltraciones que puede generar erosiones, se debe hacer una evaluación y monitoreo constante con profesionales y supervisores especialistas en hidráulica, hidrología y geotecnia. Además, se debe iniciar una campaña de concientización a la población más cercana , he informar sobre los pasivos ambientales que puede dejar una ruptura de presa de relave , así también como simulacros para evitar pérdidas de vidas humanas y desastre catastróficos al medio ambiental.

RECOMENDACIONES

1. Para tener una mejor precisión se recomienda un levantamiento topográfico de la micro cuenca de Ayash y Huancayoc, en esta investigación de estudio se tomaron las topografías a escalas regionales, donde existe un margen de error mayor a un levantamiento topográfico en las coordenadas y elevaciones.
2. Poner estaciones pluviométricas en lugares cercanos a la presa de relave con facilidad de obtener registro de sus precipitaciones para una data segura de los parámetros hidrológicos, así poder determinar con más exactitud las máximas avenidas y escorrentías de las estaciones pluviométricas.
3. Se recomienda a las autoridades de la región Áncash, distrito de San Marcos, tener el área de investigación bajo una supervisión constante frente a un caso de ruptura de presa de relave, debido a que puede generar pasivos ambientales y así evitar pérdidas humanas y materiales.
4. Se propone el uso del software Flow 3D como modelamiento para ruptura de presas debido a que dicho software es más preciso en algunas datas del modelamiento de ruptura de presa de relave.
5. Como recomendación académica se sugiere partir de la presente investigación otra con mayor énfasis al análisis de la presa de relave, para obtener las fallas posibles de talud por análisis dinámico, estático y psicodinámico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- Amador, A. (febrero de 2016). *Mas que ingenieria*. Recuperado de Principales tipos de presas: <https://masqueingenieria.com/blog/tipos-de-presas-y-su-clasificacion/>
- Apaza, S. (2019). Diseño de recrecimiento de la presa de relaves de la unidad de producción untuca-minera cori puno sac. (*tesis de pregrado*). Universidad nacional del altiplano, Puno, Peru. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10713/Apaza_Quispe_Sixto_Ciriaco.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Asesorías técnicas geológicas ATG Ltda. (2021). Propuesta de Lineamientos Técnicos de Política de Buenas Prácticas para Estandarizar los procesos relacionados con Presas de Relaves. *La nueva Energía*. Recuperado de https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24281330/Cartilla_Lineamientos_Presas+Relaves+%281%29.pdf
- Avendaño, R. (14 de abril de 2016). *Subcuencas y microcuencas Hidrográficas*. Recuperado de Slideshare: <https://es.slideshare.net/kimberlynveronica/subcuencas-y-microcuencas>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada*. Recuperado de archivo pdf: <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Béjar, M. V. (2002). *HIDROLOGÍA*. Lima-Perú: Villón.
- Boletín de Antamina. (2017). Reporte de sostenibilidad. *Avanza Sostenible*. Recuperado de <http://www.antamina.com/wp-content/uploads/2018/10/reporte-de-sostenibilidad-2017.pdf>
- Contrucciones Alzamora. (18 de Julio de 2018). *La importancia de la topografía en la ingeniería civil*. Recuperado de Contrucciones Alzamora: <https://www.almozara2000.es/la-importancia-la-topografia-obra-civil/#:~:text=La%20topografía%20es%20la%20técnica,va%20a%20realizar%20la%20obra.>

- Córdova, M. (30 de Abril de 2016). *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*. Recuperado de PRONTUBEAM: https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26
- DamSat. (4 de setiembre de 2019). *Sistema de monitoreo de presas basado en informacion geoespacial*. Recuperado de archivo pdf: https://damsat.com/wp-content/uploads/2019/09/08_Modelos-de-rotura-de-presas-consecuencias-y-evacuaci%C3%B3n.pdf
- De la Cruz, S. (2017). Evaluacion del fallo de presas de relaves con el metodo del arbol de fallos. (*Tesis de maestria*). Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, España. Recuperado de https://oa.upm.es/46944/1/TFM_Sonny_Cruz_Fernandez.pdf
- Florez, V. (13 de noviembre de 2018). *Presas de Arco. Tipologia y sistema estructural*. Recuperado de eadic: <https://www.eadic.com/presas-arco-tipologias-y-esquema-resistente/>
- GUZMAN, J. E. (2012). *Topografía* (Vol. Primera edición). Estado de México: Red Tercer Milenio. Recuperado de <http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/ingenieria/Topografia.pdf>
- Holguin, J. (30 de abril de 2011). *Procesos que se desarrollan en la topografia*. Recuperado de topografia: <http://jhonatopografia.blogspot.com/2011/04/procesos-que-se-desarrollan-en-la.html>
- Hurtado, J. (2019). Analisis hidrológico y estimacion del balance hidrico para la presa de relaves Pataz-La Libertad. (*Tesis de pregrado*). Universidad Ricardo Palma, Lima, Peru. Recuperado de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2926/CIV_T030_46674905_T%20%20%20HURTADO%20ASTO%20JENNYFER%20JESUS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2010). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Recuperado de archivo pdf:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfología%20de%20una%20cuenca.pdf>

Jorquera, M. (2019). Pasivos Ambientales mineros -conflicto ambientales y percepcion de la contaminacion y de la salud de la poblacion. (*Tesis de Maestria*). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Recuperado de <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Jorquera%20Mauricio.pdf>

Koolhaas, M. (31 de julio de 2016). *Nivelacion Geometrica*. Recuperado de Archivo pdf: <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Cap.3.nivelacion%20geometrica.pdf>

León, M. (30 de setiembre de 2019). *Fundamentos de planimetria y taquimetria*. Recuperado de Archivo pdf: <https://personal.us.es/leonbo/teoria/Tema12.pdf>

Linsley, R., Kohler, M., & Paulus, J. (1977). *Hidrologia para ingenieros*. Cali-Colombia: McGraw-Hill.

Luque, A. (2016). Propuesta tecnica de la contruccion de una minipresa con fines de mitigar la escasez de agua en la comunidad de cachipascana,del distrito de San Antonio de Esquilache,Puno. (*Tesis de pregrado*). Universidad nacional del altiplano, Puno, Peru. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4623/Luque_Gomez_Arlet_Johana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lux, B. (mayo de 2016). *Conceptos basicos de morfometria de cuencas hidrograficas*. Recuperado de archivo pdf: <https://core.ac.uk/download/pdf/35294551.pdf>

Maravi, F., & Melchor, L. (2020). Analisis comparativo de defensas ribereñas para las mitigacion de inundaciones del rio Ica. (*Tesis de pregrado*). Universidad Ricardo Palma, Lima, Peru. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3827>

Mijares, F. J. (1989). *FUUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE* . México: GRUPO NORIEGA EDITORES .

Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2014). *Manual de hidrologia y drenaje*. Lima: El peruano.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones,. (2012). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*. Lima: El Peruano.

Mochica, E. (2013). Analisis de maximas avenidas con fines de diseño de defensa del rio chinchanco de la ciudad de sandia. (*tesis de pregrado*). Universidad nacional del altiplano, Puno, Peru. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5449/Mochica_Mamani_Elmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Navarro, S. (2008). *Manual de topografía*. Recuperado de archivo pdf: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/modulo-i-introduccion-a-altimetria1.pdf>

Olaya, E., & Sevillano, B. (2019). Análisis comparativo entre el método aguas abajo y suelo reforzado para el recrecimiento de la presa de relaves. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Ricardo Palma, Lima, Peru. Recuperado de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2720>

Oldecop, L., & Rodriguez, R. (19 de diciembre de 2007). *mecanismos de fallas de las presas de residuos mineros*. Recuperado de fallas de presas: https://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/2007_148_181.pdf

Ortiz y Portilla. (2014). Estudio de estabilidad de los taludes de las presas del Proyecto Pacalori, teniendo en cuenta la acción sísmica. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Cuenca, Azuay, Ecuador. Recuperado de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1128307>

Penner, A. (13 de febrero de 2019). El colapso de la represa en Brasil, una tragedia anunciada. *The new york times*. Recuperado de <https://www.nytimes.com/es/2019/02/13/espanol/america-latina/brasil-represa-vale.html>

Pérez, J., & Merino, M. (2014). *Definicion de Taquimetria*. Recuperado de <https://definicion.de/taquimetria/#:~:text=La%20taquimetría%20posibilita%20la%2>

0medición,0%20verticales%20de%20forma%20indirecta.&text=Básicamente%20s
e%20tomarán%20mediante%20la,el%20medio%20como%20los%20extremos.

Quispe, D., & Zuñiga, Á. (2020). ANÁLISIS SÍSMICO PSEUDO ESTÁTICO Y PSEUDO DINÁMICO DE LA ESTABILIDAD DE LA PRESA N° 9 ACCHILLA - CCOCHACCASA -. ANGARAES - HUANCVELICA. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Peru. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3089>

Rodriguez, F. (Chile). Analisis de rompimiento de presas aplicadas al embalse el quillay,Rio Combarbala. (*tesis de pregrado*). Universidad Tecnica Federico Santa Maria, Valparaiso. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/42594>

Soto, A. (Octubre de 2020). *Maximas Avenidas,Hidrologia Superficial*. Recuperado de Comunidad Geopersa: <https://comunidad.geopersa.com/maximas-avenidas-hidrologia-superficial/>

Spada, A. (1994). Las presas en material suelto.consideraciones sobre derrumbes ocurridos y sus causas. *Dialnet*, 19(2), 175-200. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7469148>

Structuralia. (17 de abril de 2018). *tipos de presa II: Presas de materiales sueltos*. Recuperado de Structuralia: <https://blog.structuralia.com/tipologia-de-presas-ii-presas-de-materiales-sueltos>

Structuralia. (10 de abril de 2020). *Tipos de presas de fabrica segun materiales*. Recuperado de Structuralia: <https://blog.structuralia.com/tipos-de-presas>

Universidad Nacional del Nordeste. (marzo de 2007). *Procesamiento de los dattos de precipitacion*. Recuperado de archivo pdf: <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidrologia/hidro-tp2.pdf>

Urbina, L. (5 de marzo de 2018). Ancash: mineria paraliza operaciones por derrame de relaves en Recuay. *El comercio*. Recuperado de

<https://elcomercio.pe/peru/ancash/ancash-minera-paraliza-operaciones-derrame-relaves-recuay-noticia-502200-noticia/>

Valdivielso, A. (2021). *¿Qué tipos de presas hay?* Recuperado de iagua: <https://www.iagua.es/respuestas/que-tipos-presas-hay>

Vasquez, A., Meja, A., Faustino, J., Teran, R., Vasquez, I., Diaz, J., . . . Alcantara, J. (2016). *Manejo y gestion de cuencas hidrograficas*. Lima: UNALM.

Ven Te Chow, D. R. (1994). *HIDROLOGIA APLICADA*. Santafé de Bogotá, Colombia.: McGRAW-HILL.

VEN TE CHOW, D. R. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.

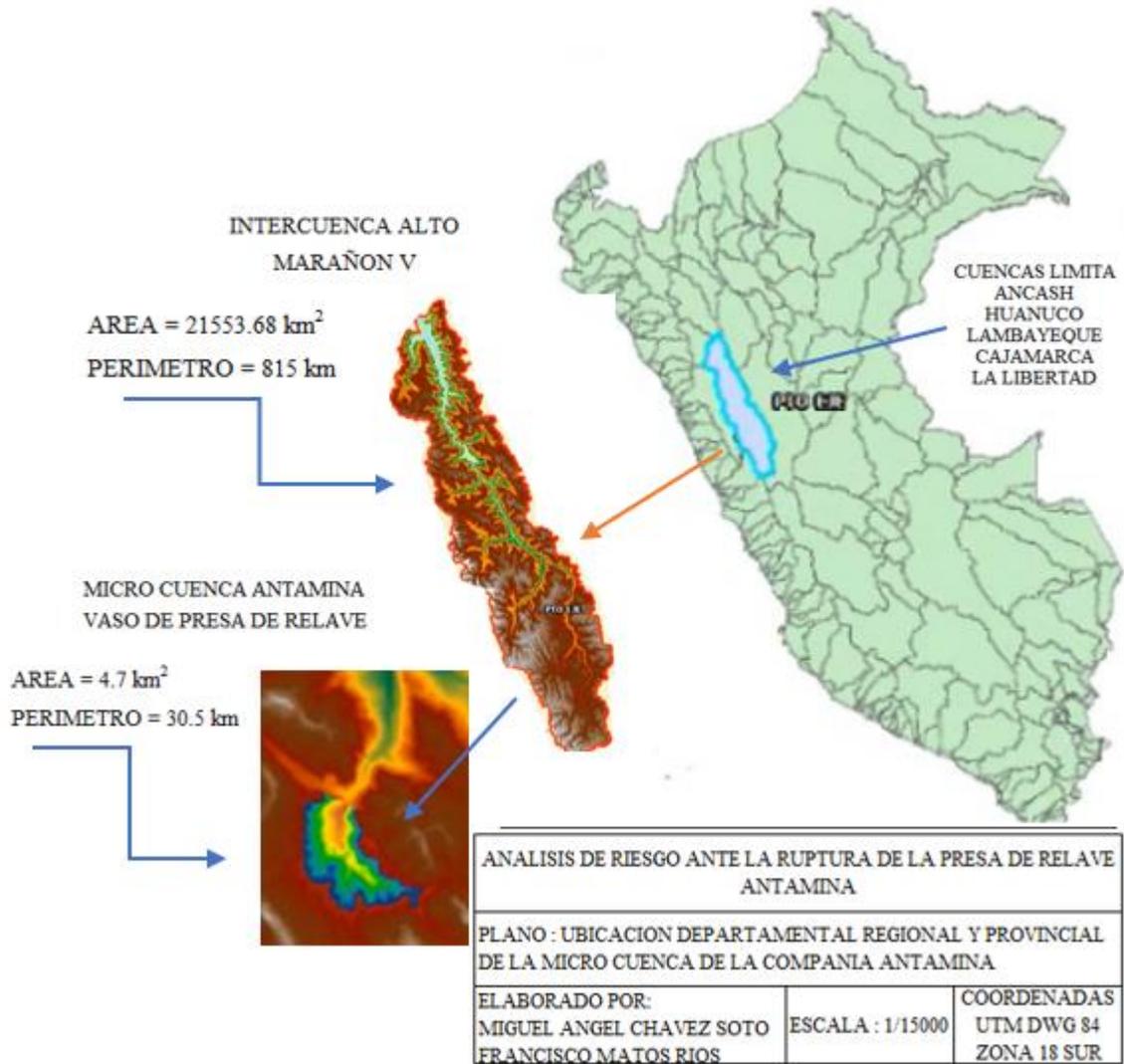
Villón, B. M. (2005). *Hidrología*. Editorial Tecnología de Costa Rica. Recuperado de <https://es.slideshare.net/erickmainar/hidrologa-ingmximo-villn-53473898>

ANEXOS

Anexo 1: Mapa de cuencas Hidrográfica del Perú	113
Anexo 2: Matriz de Consistencia.....	113
Anexo 3: Matriz de Operalización.....	114
Anexo 4: Ubicación altitud y longitud de la cuenca Ayash y Huancayoc.....	115
Anexo 5: Presa de relave minero tipo escollera de la compañía Antamina.....	116
Anexo 6: Volumen total y el área de la presa de relave en el civil 3D.....	116
Anexo 7: Plano topográfico de la micro cuenca Antamina, Ayash y Huancayoc	118
Anexo 8: Estación Pluviométrica Chavín de Huántar	119
Anexo 9: Estación Pluviométrica Santa María	120
Anexo 10: Estación Pluviométrica Dos de Mayo	121
Anexo 11: Estación Pluviométrica Pachacoto	122
Anexo 12: Ajuste de Bondad Estación Chavín de Huántar	124
Anexo 13: Ajuste de Bondad Estación Santa María.....	126
Anexo 14: Ajuste de Bondad Estación Dos de Maya.....	128
Anexo 15: Ajuste de Bondad Estación Pachacoto.....	130
Anexo 16: Modelamiento con software HEC RAS	131
Anexo 17: Modelamiento con software IBER.....	132
Anexo 18: Modelamiento con software Google Earth Pro.....	133

Anexo 1: Mapa de cuencas Hidrográficas del Perú

MAPA DE CUENCAS HIDROGRAFICAS DEL PERU



Anexo 2: Matriz de Consistencia

Problemas Generales	Objetivos Principal	Hipotesis Principal	Variable Dependiente	Variable Independiente	Instrumentos	Metodo	Muestras
¿Cómo analizar el riesgo ante la ruptura de la presa de relave Antamina?	Analizar el riesgo ante la ruptura de la presa de relave antamina -San Marcos-	Se analizará a partir de los características topográficas, parámetros hidrológicos y modelos numéricos en los cuales se podrá obtener los volúmenes, áreas altura afectadas Se analizará a partir de los características topográficas, parámetros hidrológicos y modelos numéricos en los cuales se podrá obtener los volúmenes, áreas altura afectadas frente a una ruptura de presa de relave de la compañía minera Antamina Ancash.				TIPO DE INVESTIGACION : la orientación de la investigación es aplicada con enfoque cuantitativo debido a que se da una recopilacion de informacion de la zona de estudio ,relacionados al tema de la investigacion , para luego tener volúmenes y areas afectadas por ruptura de presa distrito de San Marcos -Ancash.	
Problemas Especificos	Objetivos Especificos	Hipotesis Secundarias					
a) ¿Cuáles son las características topográficas y geológicas en la cuenta ayash?	a) Analizar las características topográficas y geológicas en la cuenta ayash.	a) El relieve de la cuenca se caracterizará por ser un relieve es accidentado, y gran parte de su geología es de depósito cuaternario aluvial del holoceno. b) Los parámetros hidrológicos e hidráulicos fundamentales serán los principales parámetros hidráulicos que se determinarán el caudal, velocidad y el tirante máximo..	1. Análisis de riesgo. 2.Suelos 3.Orografía o topografía 4.Precipitaciones	Ruptura de presa de Relave.	1. Expediente tecnico 2.manuales tecnicos 3.informes tecnicos 4.Softwares	NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Descriptiva: debido a que se busca describir las características que afectarían en caso de una ruptura de presa.papers hidráulicas, investigaciones publicadas en la web. DISEÑO DE INVESTIGACION: No experimental : debido a que nuestra investigacion se se basa en la obetencion de informacion sin alterar las variables , la investigacion sera no experimental con diseño longitudinal.	7a muestra en la presente investigación será la presa de relave, (tiene un área de 4.7 km2),la muestra se selecciono mediante un muestreo probabilistico
b) ¿Cuáles son los parámetros hidráulicos e hidrológicos en la cuenta ayash?	b) Determinar los parámetros hidráulicos e hidrológicos en la cuenta ayash.	c) La zona afectada será identificada a partir de la modelación numérica con los softwares IBER y HEC-RAS Y DAM BREAK. . d) Las posibles medidas para mitigar daños antes una posible falla podrían ser el uso de geomallas y geomembranas como material reforzante en la presa de relave.					
c) ¿Cómo obtener la zona afectada de la cuenca ante una posible falla de la presa relave?	c) Analizar la zona afectada de la cuenca ante una posible falla de la presa de relave mediante modelos numéricos.						
d) ¿Cuáles serán las posibles medidas de mitigación frente a una posible ruptura de presa de relave?	d) Proponer medidas para mitigar daños ante una posible falla.						

Anexo 3: Matriz de Operalización

Variable Independiente	Definicion	Dimensiones	Indicadores	Metodos
Ruptura de presa de relave	las fallas de las presas de relaves se han manifestado como una inestabilidad o deslizamiento de talud(Hernández & guardado 2010)	Ruptura de la presa	zona critica de inundacion de relave	ARCGIS CIVIL 3D
Variable Dependiente	definicion	dimensiones	indicadores	Metodos
Analisis de Riesgo	mediante un analisis de la informacion disponible y/o visita de campo se logra identificar y definir las causas de los problemas peligrosos que pueden dañar los entornos naturales o ambientales , humanos y eonomicos.(Guia de evaluacion de riesgos ambientales 2010)	Micro cuenta de Ayash y Huaracayoc	Centros pueblos Huaripampa, chocoragra, pichiu	IBER Hec RAS y DamBreck
Variable Secundarias	Definicion	dimensiones	indicadores	Metodos
Suelos	las particulas de suelo son solidad y no se pueden mover con la misma facilidad que los elementos de un fluido .asi pues el suelo es intrinsecamente un sistema de particulas(lambe & whitman 2016)	Parametros geotecnicos	capacidad especifica del suelo	datos tomados del ingemet
Orografia o topografia	el trabajo elaborado por un topografo es previo al inicio de un proyecto,contar con un buen levantamiento planimetrico previo al terreno y de hechos ya existentes de elementos fijos o moviles al suelo , en el replanteo se ubica los limites de la obra.(MEF , 2006)	Parametros topograficos	el relieve de la zona de investigacion	uso del Google Earth
Precipitaciones	Conjunto de procesos fisicos ,quimicos y/o biologicos que actuan sobre variables de entrada para convertilas en variables de salida(Apaella 2017)	Parametros hidraulicos e hidrologicos	la escorrentia superficial	toma de datos dada por senahmi

Anexo 4: Ubicación altitud y longitud de la cuenca Ayash y Huancayoc



Figura: Distancia de la presa al poblado Ayash

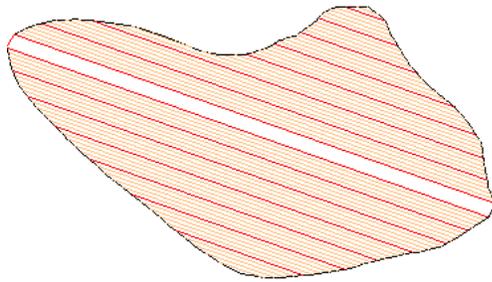
Fuente: Elaboración propia Google Earth Pro versión 2018



Figura: Cota de elevación de la cuenca Ayash

Fuente: Elaboración propia Google Earth Pro versión 2018

Anexo 5: Presa de relave minero tipo escollera de la compañía Antamina



Fuente: Elaboración propia civil 3D

Tabla: Dimensiones de la presa de relave

Presa tipo Escollera		
Dimensiones	Medidas	Unidades
Ancho base	100	metros
Ancho corona	40	metros
Cota base	3950	msnm
Cota corona	4125	msnm
Largo	1200	metros
Alto	165	metros
Inclinación	45°	grados



Figura: Vista de la presa de relave

Fuente : Elaboración propia Google Earth Pro versión 2018

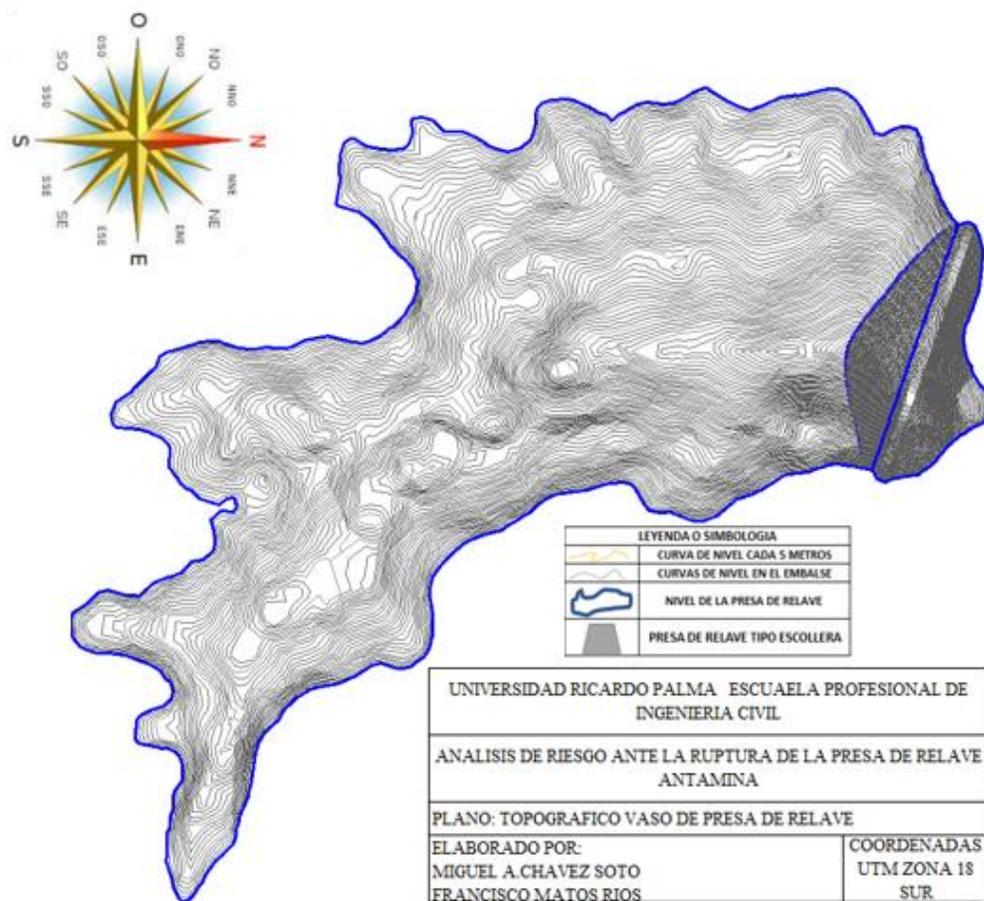
Anexo 6: Volumen total y el área de la presa de relave en el civil 3D

Cut/Fill Report							
Generated:		2021-06-12 17:00:50					
By user:		USER					
Drawing:		C:\Users\USER\Desktop\presa antamina\C:\Users\USER\Desktop\presa antamina\PRESA ANTMINA CON PRESA Y AGUA RELAVE ENSAMBRADO.dwg					
Volume Summary							
Name	Type	Cut Factor	Fill Factor	2d Area (sq.m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
VOLUMEN DE MATERIAL DE DIQUE	full	1.000	1.000	352788.35	30.17	22326032.26	22326002.09<Fill>
Totals							
				2d Area (sq.m)	Cut (Cu. M.)	Fill (Cu. M.)	Net (Cu. M.)
Total				352788.35	30.17	22326032.26	22326002.09<Fill>

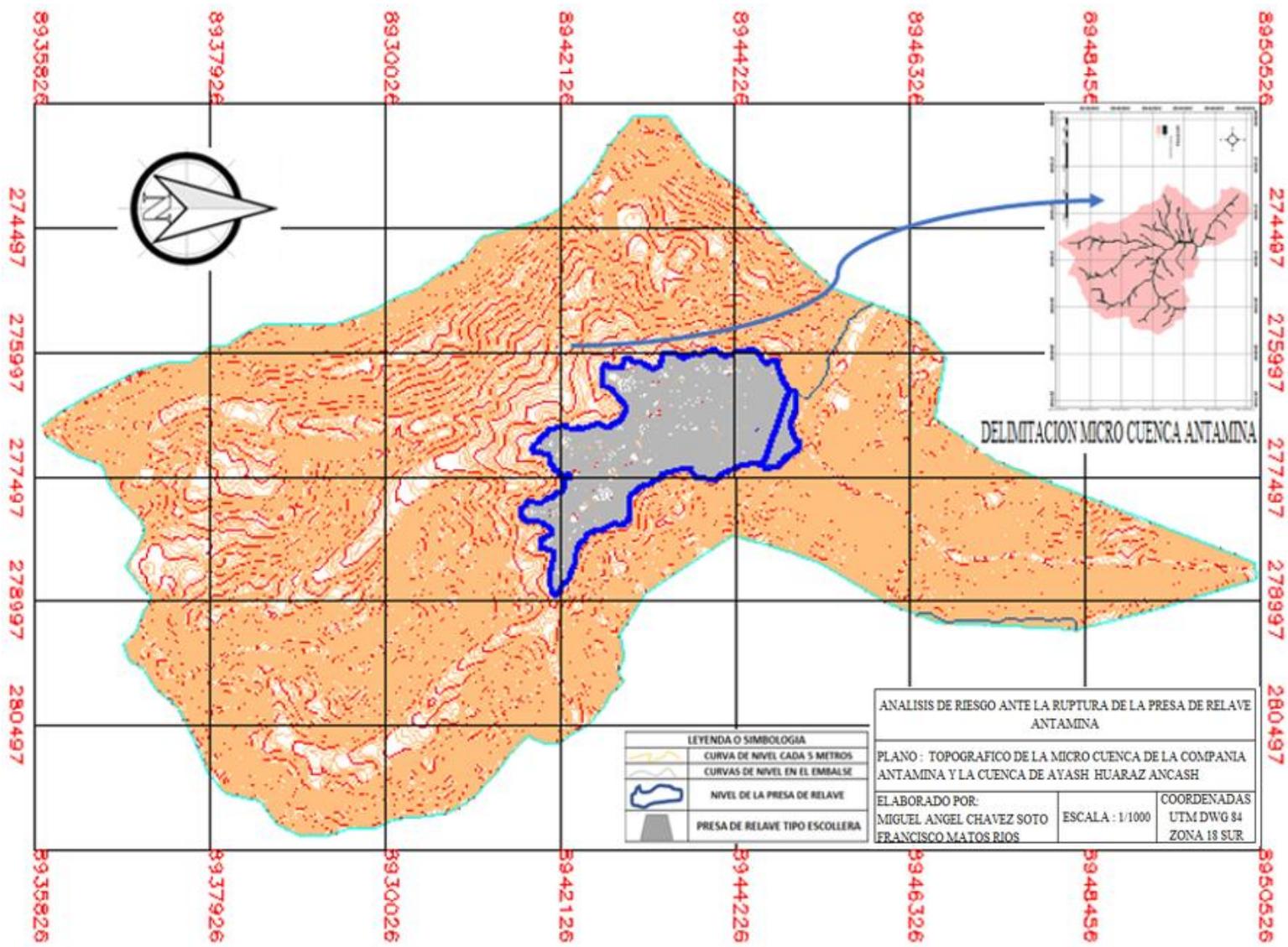
* Value adjusted by cut or fill factor other than 1.0

Figura: tabla de resultados del volumen y presa de la presa de relave

Fuente : Elaboración propia AutoCAD civil 3D v.20.



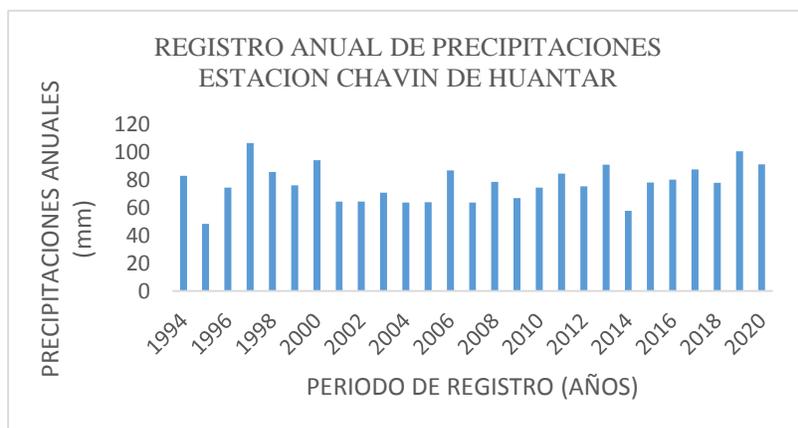
Anexo 7: Plano topográfico de la micro cuenca Antamina, Ayash y Huancayo



Anexo 8: Estación Pluviométrica Chavín de Huántar

Precipitación Total Mensual Historica (mm)

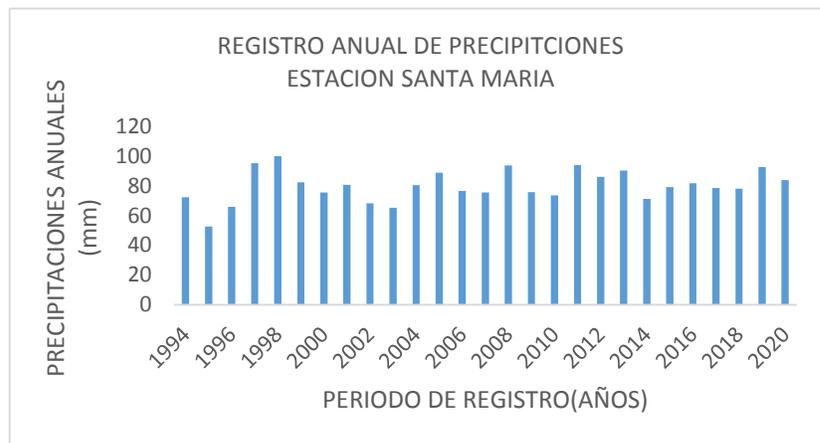
AÑOS	Periodo Años : 1994 - 2020												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1994	14.1	13.5	14.6	13.2	0	0	0	0	0	7.9	10.2	9.7	83.2
1995	12.5	14.9	13.3	0	0	2.4	0	0	0	0	0	5.3	48.4
1996	16.8	18.2	19.15	17.5	0	0	0	0	0	0	0	2.9	74.55
1997	20.7	22.23	21.6	22.5	0	0	0	0	0	5.2	6.5	7.9	106.63
1998	14.8	15.2	16.31	16.4	9.5	0	0	0	0	0	3.1	10.6	85.91
1999	19.7	18.7	20.13	0	0	0	0	0	2.5	0	0	15.2	76.23
2000	20.4	23.42	22.6	17	0	0	0	0	0	0	0	10.9	94.32
2001	13.4	16.1	16.31	12.9	0	0	0	0	0	0	0	5.7	64.41
2002	13.7	14.85	14.5	0	0	0	0	0	0	10.7	0	10.7	64.45
2003	12.1	14.8	15.23	0	0	2.7	0	0	0	0	11.5	14.6	70.93
2004	12.8	13.1	13.8	12.5	0	0	0	0	0	0	3.9	7.8	63.9
2005	14.9	13.5	15.4	11.5	0	0	0	0	0	0	0	8.7	64
2006	14.1	13.6	14.5	15	7.3	0	0	0	0	0	12.1	10.3	86.9
2007	11.7	12.5	13.7	10.9	0	0	0	0	0	0	5.1	9.8	63.7
2008	12.6	13.6	13	10.1	10	0	0	5.1	0	4.4	0	9.9	78.7
2009	12.8	13.7	14.3	9.8	0	0	5.6	0	0	0	3.9	6.9	67
2010	13.1	15.2	14.8	12.4	9.5	0	0	0	0	0	0	9.7	74.7
2011	14.1	15.21	14.9	13.2	0	0	0	0	0	11.3	5.3	10.8	84.81
2012	13.4	12.2	15.4	12.1	0	3.1	0	0	0	0	9.7	9.7	75.6
2013	16.2	17.8	19	13.4	0	0	0	0	3.7	10.8	4.9	5.4	91.2
2014	12.7	13.3	14.64	10.5	0	0	0	0	0	0	0	6.8	57.94
2015	11.5	13.5	14.8	12.1	0	0	0	0	0	0	10.8	15.65	78.35
2016	12.9	15.3	16.23	11.4	0	0	0	0	0	0	15.5	8.9	80.23
2017	14.7	15.9	16.23	12.1	0	0	0	0	0	9.7	9.4	9.7	87.73
2018	16.8	18.3	16.7	10.4	0	0	0	0	0	0	3.5	12.3	78
2019	17.7	21.4	24.4	9.9	0	0	3.5	0	10.3	0	2.9	10.7	100.8
2020	16.5	17.2	18.45	11.1	0	0	0	0	0	0	14.4	13.7	91.35
PROMEDIO	14.69	15.82	16.44	11.03	1.34	0.30	0.34	0.19	0.61	2.22	4.91	9.64	
MÍNIMA	11.5	12.2	13	0	0	0	0	0	0	0	0	2.9	
MÁXIMA	20.7	23.42	24.4	22.5	10	3.1	5.6	5.1	10.3	11.3	15.5	15.65	



Anexo 9: Estación Pluviométrica Santa María

Precipitación Total Mensual Historica (mm)

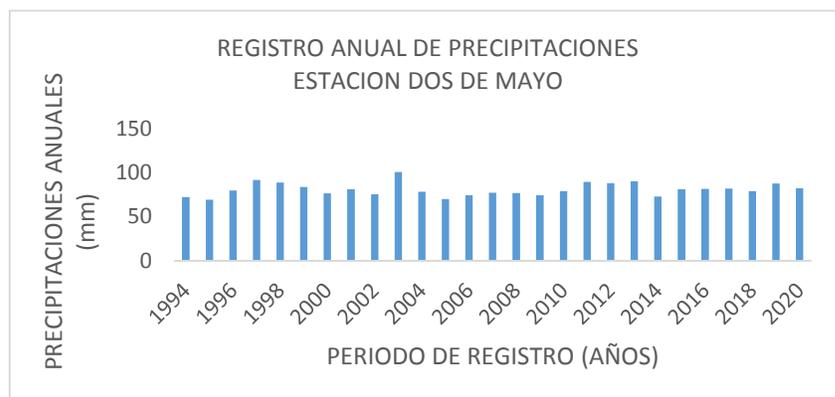
AÑOS	Periodo Años : 1994 - 2020												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1994	10.3	11.9	12.27	9.7	0	0	0	0	0	7.9	8.9	11.2	72.17
1995	11.8	13.23	12.9	0	0	2.4	0	0	0	0	3.5	8.7	52.53
1996	11.8	13.4	15.6	8.7	0	0	0	0	0	0	0	16.33	65.83
1997	18.68	17.9	18.1	15.3	0	0	0	0	0	8.7	5.9	10.5	95.08
1998	17.3	16.7	19.63	16.4	3.6	0	0	0	3.5	0	8.9	13.7	99.73
1999	15.4	16.85	16.1	11.7	0	0	0	0	3.7	5.4	0	13.2	82.35
2000	11.2	14.9	16.25	9.4	0	0	0	5.3	0	0	7.5	10.9	75.45
2001	15.42	14.9	15.1	10.7	0	0	0	0	8.1	0	6.7	9.7	80.62
2002	11.8	10.6	13.32	8.5	0	0	2.6	0	0	10.7	0	10.7	68.22
2003	12.1	10.6	9.8	6.5	0	0	0	2.5	0	0	11.5	12.21	65.21
2004	13.6	12.5	15.36	11.3	0	0	0	0	0	3.8	9.8	14.1	80.46
2005	16.3	18.45	17.1	9.8	0	0	0	0	0	2.9	8.7	15.4	88.65
2006	12.7	13.4	12.7	11.2	6.4	0	0	0	0	0	10.4	9.8	76.6
2007	13.5	14.1	14.45	11.8	0	0	0	0	0	3.8	6.2	11.6	75.45
2008	15.6	17.23	17.1	12.3	10	0	0	6.4	0	4.2	0	10.8	93.63
2009	12.8	13.7	14.3	9.8	0	0	3.6	0	0	0	6.2	15.2	75.6
2010	13.2	15.31	14.8	12.3	8.9	0	0	0	0	0	0	8.9	73.41
2011	14.8	15.34	16.45	13.2	0	0	0	0	3.8	8.4	9.2	12.7	93.89
2012	13.7	12.8	13.8	14.1	0	2.3	0	0	0	5.1	9.7	14.41	85.91
2013	14.1	15.1	15.23	13.6	0	0	0	0	4.8	8.7	6.9	11.8	90.23
2014	11.6	15.42	14.2	11.3	0	0	3.2	0	0	5.6	0	9.8	71.12
2015	12.3	11.9	13.1	9.7	0	0	0	5.3	0	3.1	9.8	13.9	79.1
2016	12.9	15.3	16.23	11.4	0	0	0	0	5.9	0	10.2	9.8	81.73
2017	14.5	13.9	12.3	8.9	0	0	0	0	0	9.7	9.4	9.7	78.4
2018	16.8	18.3	16.7	10.4	0	0	0	0	0	0	3.5	12.3	78
2019	17.1	17.5	16.2	11.3	0	0	6.5	3.2	0	0	6.9	13.9	92.6
2020	13.8	14.5	15.6	12.5	0	0	0	0	6.9	0	10.2	10.2	83.7
PROMEDIO	13.89	14.66	14.99	10.81	1.07	0.17	0.59	0.84	1.36	3.26	6.30	11.91	
MÍNIMA	10.3	10.6	9.8	0	0	0	0	0	0	0	0	8.7	
MÁXIMA	18.68	18.45	19.63	16.4	10	2.4	6.5	6.4	8.1	10.7	11.5	16.33	



Anexo 10: Estación Pluviométrica Dos de Mayo

Precipitación Total Mensual Historica (mm)

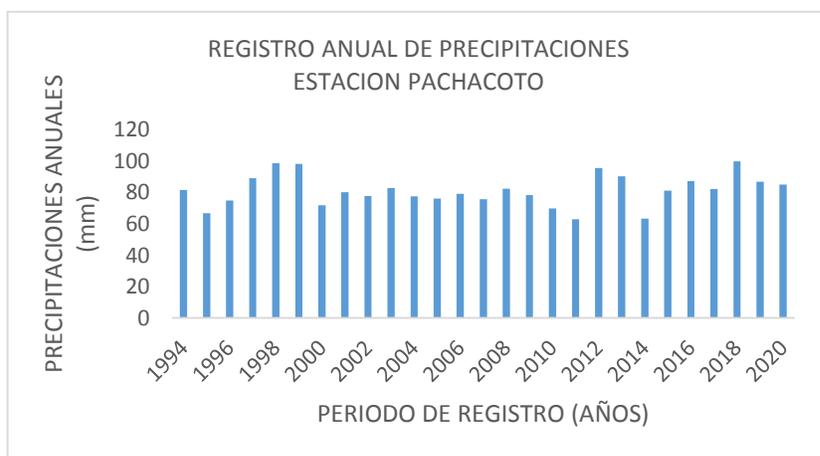
AÑOS	Periodo Años : 1994 - 2020												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1994	13.6	12.4	11.9	9.7	0	0	0	0	S/D	8.4	5.4	10.8	72.2
1995	12.8	13.7	15.52	6.5	0	0	0	0	5.4	0	5.4	9.8	69.12
1996	15.4	16.8	17.5	10.2	0	0	0	0	0	5.4	0	14.3	79.6
1997	17.1	17.9	18.4	12.4	0	0	0	0	0.5	8.7	5.9	10.5	91.4
1998	17.3	17.7	16.4	11.2	0	0	0	0	3.5	0	8.9	13.7	88.7
1999	15.4	16.8	16.1	11.7	0	0	0	0	3.7	5.4	0	14.5	83.6
2000	12.3	14.9	16.4	9.4	0	0	0	5.3	0	0	6.5	11.7	76.5
2001	15.42	14.6	15.8	10.7	0	0	0	0	8.1	0	6.7	9.7	81.02
2002	13.5	14.1	14.9	12.3	0	0	4.5	0	0	4.8	0	11.3	75.4
2003	18.5	20.14	19.4	12.1	0	0	0	3.5	0	0	11.5	15.4	100.54
2004	14.1	12.5	13.2	10.5	0	0	0	0	0	3.8	9.8	14.14	78.04
2005	14.54	13.42	12.7	7.8	0	0	0	0	0	6.4	3.5	11.6	69.96
2006	13.9	13.4	14.54	10.1	3.5	0	0	0	0	0	8.5	10.3	74.24
2007	13.2	13.97	12.9	9.5	0	0	0	0	3.5	4.5	8.4	11.1	77.07
2008	12.7	13.8	14.84	8.7	6.5	0	0	3.5	0	4.8	0	11.9	76.74
2009	13.1	14.1	14.64	9.8	0	0	2.5	0	0	0	5.4	14.64	74.18
2010	13.9	15.26	14.8	11.8	8.9	0	0	0	0	0	3.5	10.7	78.86
2011	14.3	15.67	15.26	11.2	0	0	0	0	5.4	7.4	9.2	11.1	89.53
2012	14.2	12.8	13.8	14.97	0	0	0	0	4.6	5.1	9.7	12.6	87.77
2013	14.1	15.1	15.23	13.6	0	0	0	0	4.8	8.7	6.9	11.8	90.23
2014	13.2	14.64	14.2	10.1	0	0	0	4.5	0	5.6	0	10.5	72.74
2015	12.3	15.24	13.1	9.7	0	0	0	5.3	0	3.1	9.8	12.7	81.24
2016	14.2	15.3	15.56	9.6	0	0	0	0	4.1	0	10.2	12.4	81.36
2017	16.21	13.9	12.3	8.9	0	0	0	0	0	9.7	9.4	11.4	81.81
2018	17.5	18.6	16.7	10.4	0	0	S/D	0	0	0	3.5	12.3	79
2019	15.4	16.1	16.5	8.4	0	S/D	6.5	3.2	0	0	6.9	14.5	87.5
2020	13.9	14.2	14.9	12.5	0	0	0	S/D	5.4	0	9.7	11.5	82.1
PROMEDIO	14.52	15.08	15.09	10.51	0.70	0.00	0.52	0.97	1.88	3.40	6.10	12.11	
MÍNIMA	12.3	12.4	11.9	6.5	0	0	0	0	0	0	0	9.7	
MÁXIMA	18.5	20.14	19.4	14.97	8.9	0	6.5	5.3	8.1	9.7	11.5	15.4	



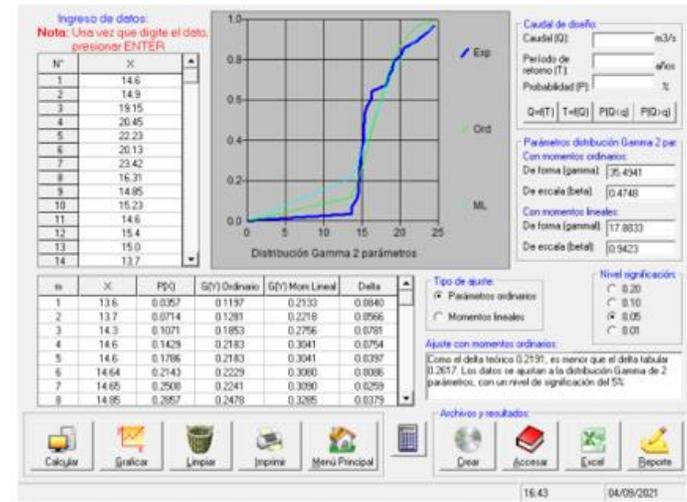
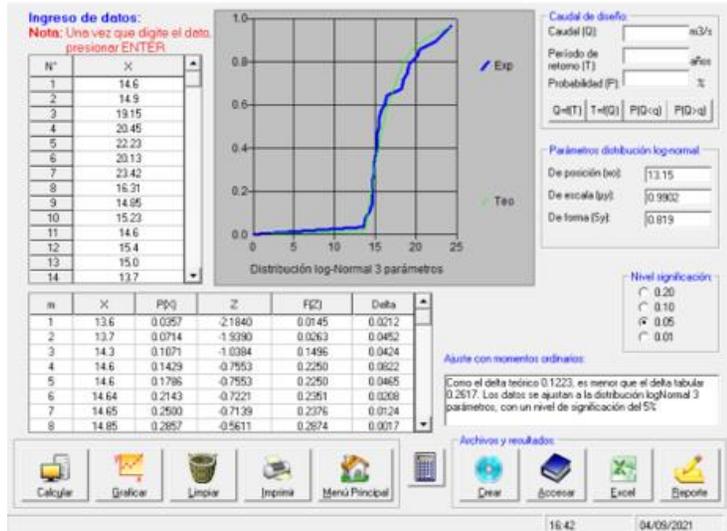
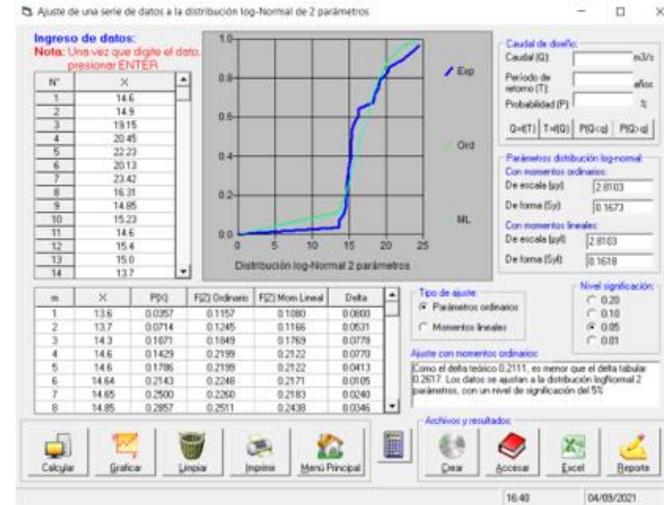
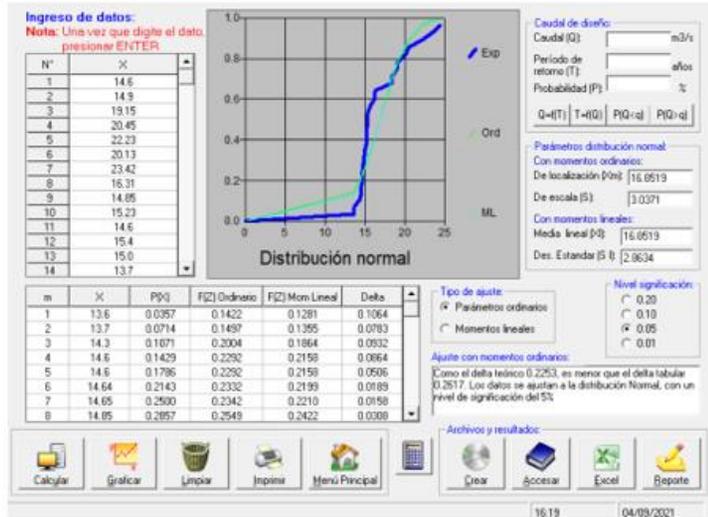
Anexo 11: Estación Pluviométrica Pachacoto

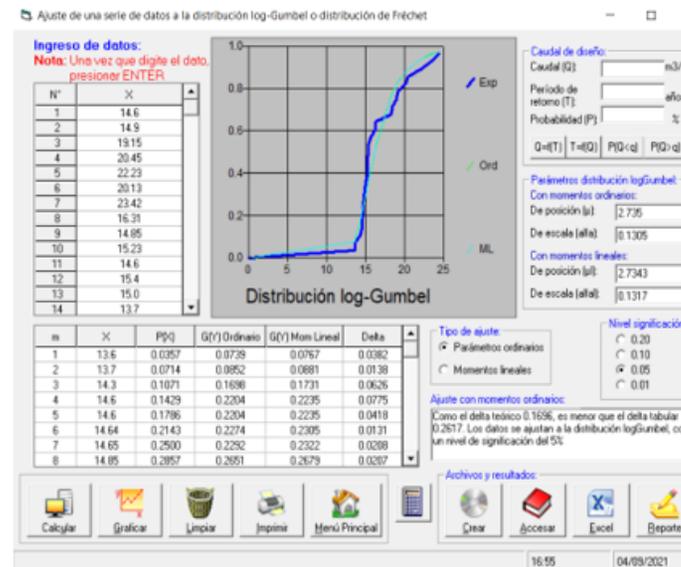
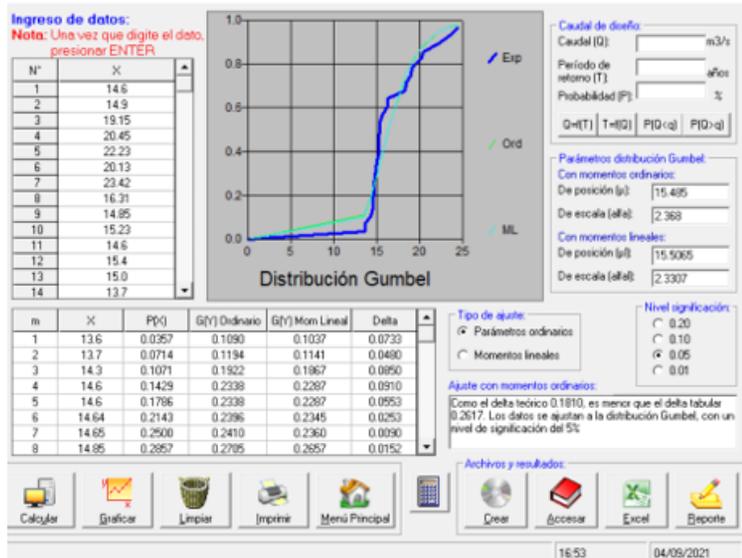
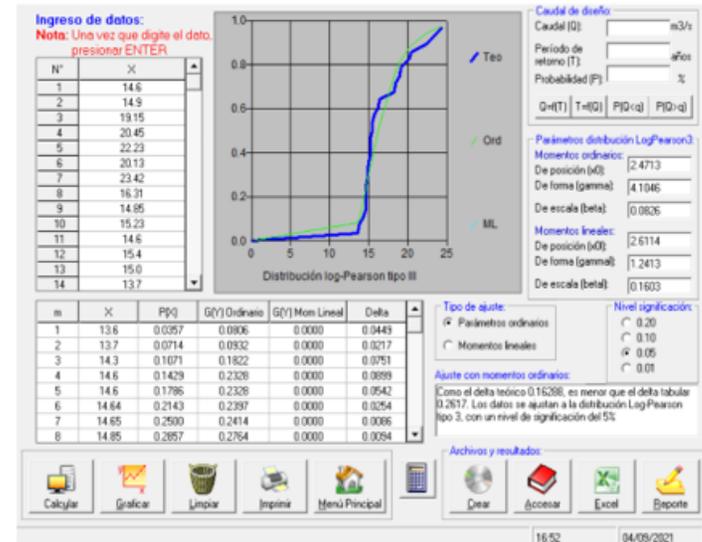
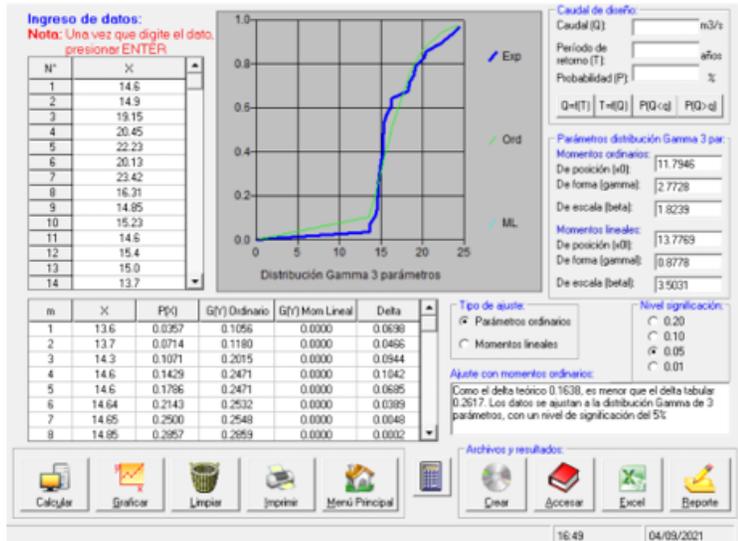
Precipitación Total Mensual Historica (mm)

AÑOS	Periodo Años : 1994 - 2020												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1994	15.23	13.2	14.8	10.8	0	0	0	0	S/D	6.4	9.5	11.5	81.43
1995	12.5	14.45	14.2	8.5	0	0	0	0	3.7	3.6	0	9.7	66.65
1996	13.7	14.8	15.1	11.5	0	0	0	S/D	4.5	0	0	15.3	74.9
1997	16.5	17.4	18.24	8.9	0	0	S/D	0	3.5	6.7	4.5	13.2	88.94
1998	17.4	19.4	20.42	16.4	6	0		0	S/D	0	3.5	15.4	98.52
1999	18.1	18.23	17.8	10.4	4	0	0	2.8	4.5	S/D	5.8	16.5	98.13
2000	15.1	13.7	14.2	9.4	0	0	0	S/D	0	3.5	0	15.92	71.82
2001	14.7	15.1	15.21	11.5	0	0	S/D	0	0	5.2	5.6	12.7	80.01
2002	13.7	14.5	14.82	5.6	0	S/D	0	0	5.4	8.4	3.8	11.4	77.62
2003	13.9	14.8	15.1	13.1	0	0	0	S/D	0	0	10.4	15.33	82.63
2004	13.5	14.1	14.84	11.2	0	0	S/D	0	5.3	0	5.7	12.8	77.44
2005	13.2	14.27	14.2	12.1	0	0	0	0	S/D	3.8	6.7	11.7	75.97
2006	13.5	14.8	15.44	10.8	5.2	0	0	0	3.8	S/D	5.7	9.8	79.04
2007	13.4	15.45	14.8	9.4	0	0	0	0	4.2	0	7.8	10.6	75.65
2008	11.7	12.4	13.1	11.1	8.7	0	0	0	5.4	6.5	0	13.42	82.32
2009	12.6	14.84	14.64	9.9	0	0	0	4.4	0	3.5	8.7	9.7	78.28
2010	13.8	14.1	14.55	10.4	6.5	0	0	0	0	0	0	10.4	69.75
2011	12.5	11.5	11.9	8.7	4.5	0	0	0	0	8.4	5.4	12.54	62.94
2012	16.1	18.1	18.74	12.3	0	0	0	0	8.5	0	10.2	11.5	95.44
2013	14.9	15.87	14.5	10.7	0	0	0	0	6.7	8.7	5.4	13.4	90.17
2014	12.5	13.1	13.46	9.5	0	0	0	0	0	3.5	0	11.2	63.26
2015	14.2	13.8	15.3	11.2	0	0	0	0	0	4.5	6.8	15.34	81.14
2016	13.9	14.1	14.55	8.5	0	0	0	0	3.4	8.5	11.2	13.1	87.25
2017	13.9	15.1	15.35	10.7	0	0	0	0	0	7.8	6.7	12.6	82.15
2018	17.8	19.24	18.4	12.4	0	0	0	0	6.5	0	10.1	15.2	99.64
2019	14.6	15	15.11	11.5	0	0	0	3.5	7.4	0	6.5	13.2	86.81
2020	13.9	15.85	15.2	10.5	0	0	0	0	6.8	0	10.2	12.4	84.85
PROMEDIO	14.40	15.08	15.33	10.63	1.29	0.00	0.00	0.45	3.32	3.56	5.56	12.81	
MÍNIMA	11.7	11.5	11.9	5.6	0	0	0	0	0	0	0	9.7	
MÁXIMA	18.1	19.4	20.42	16.4	8.7	0	0	4.4	8.5	8.7	11.2	16.5	

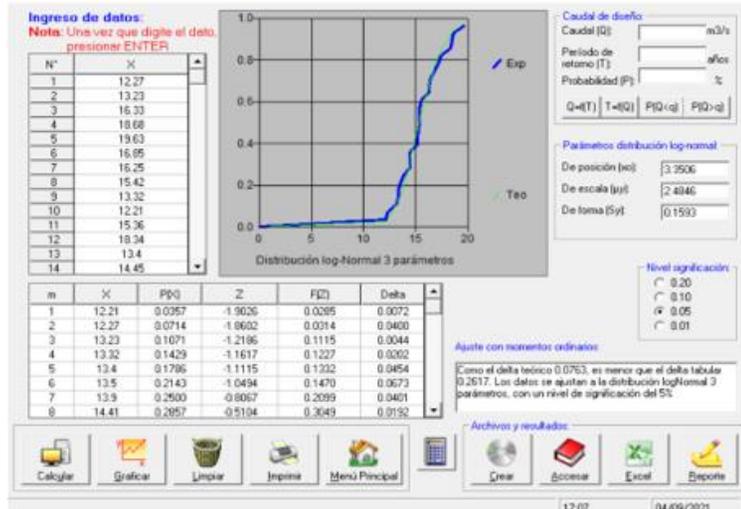
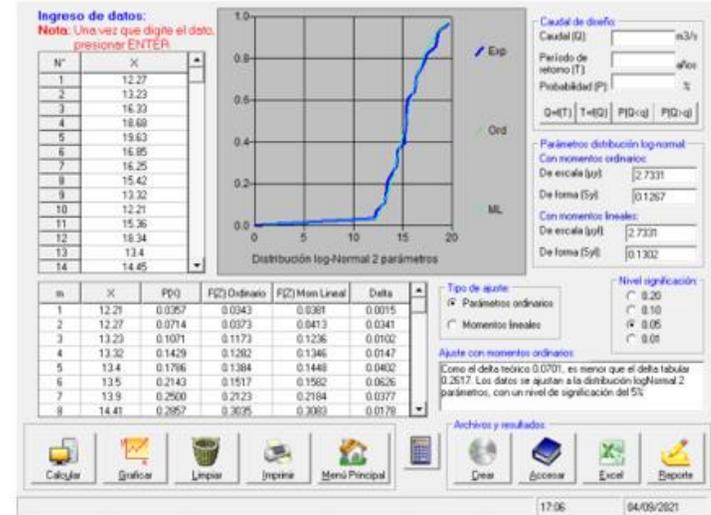
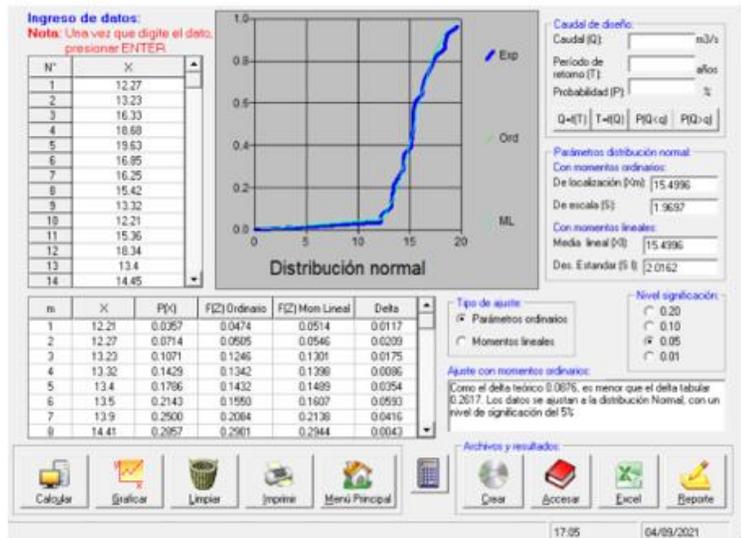


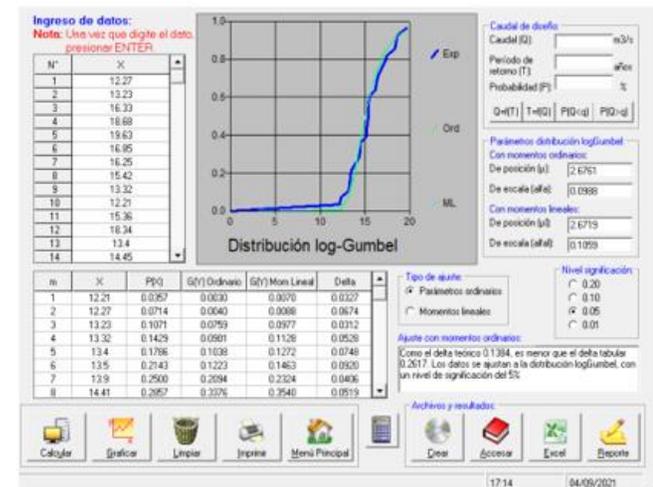
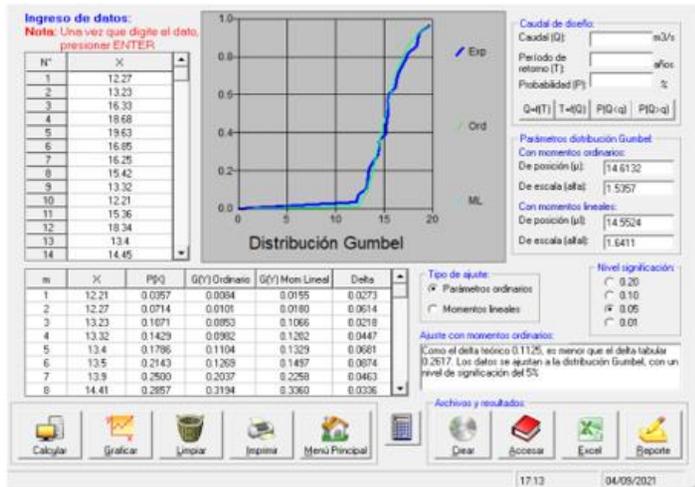
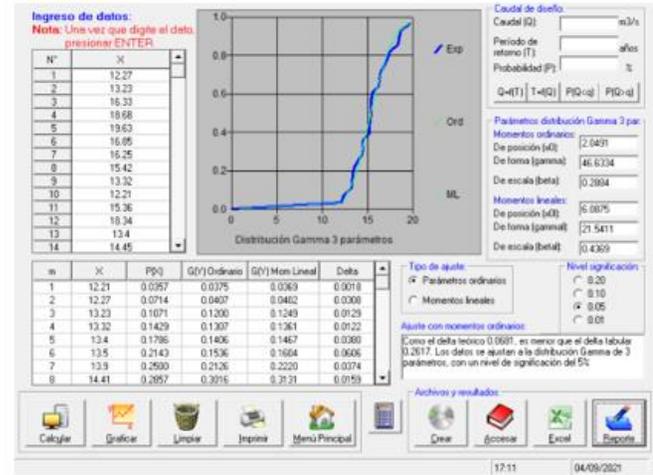
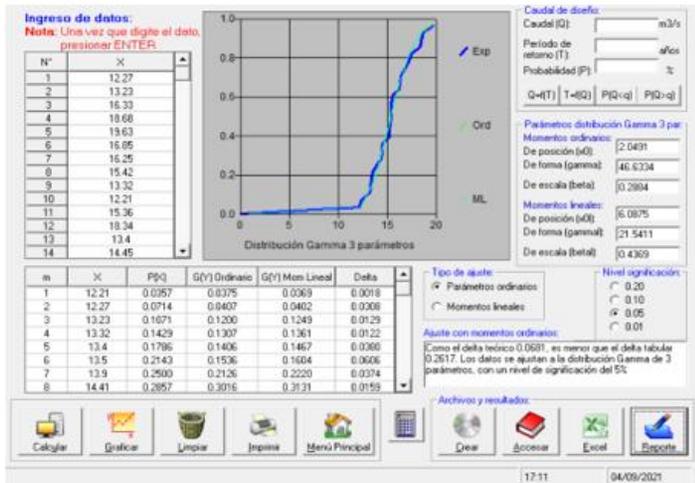
Anexo 12: Ajuste de Bondad Estación Chavín de Huántar



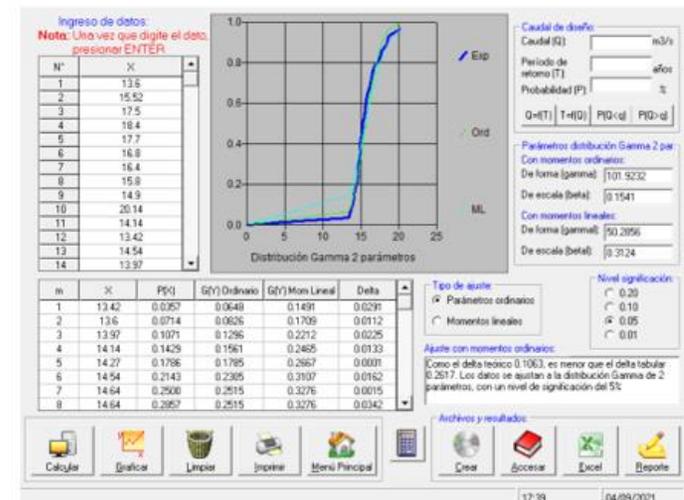
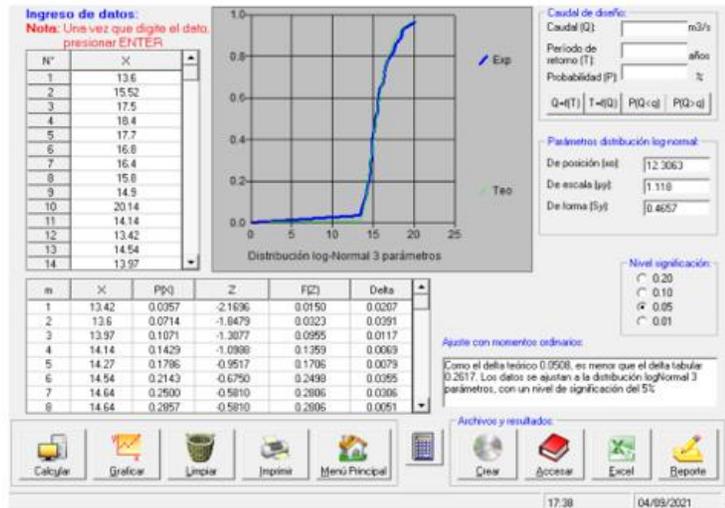
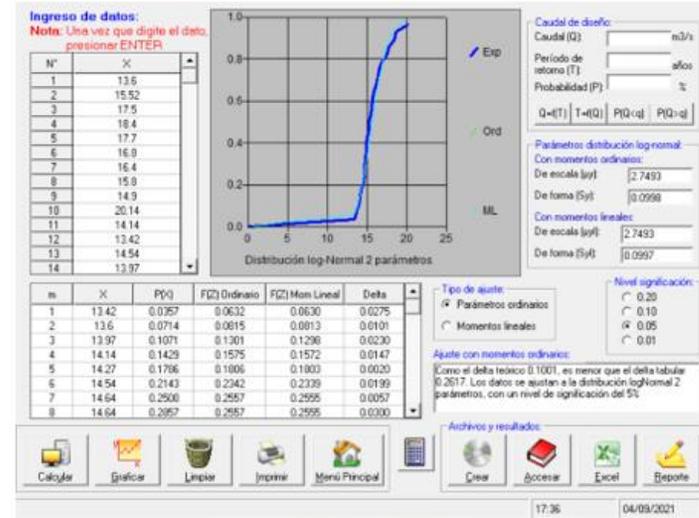
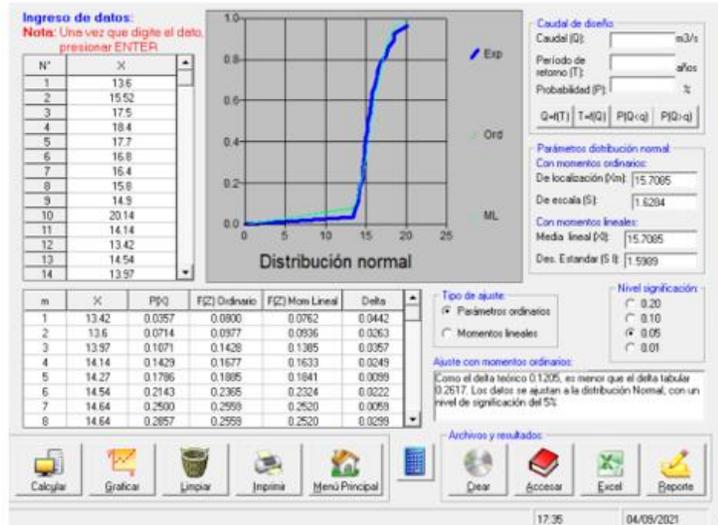


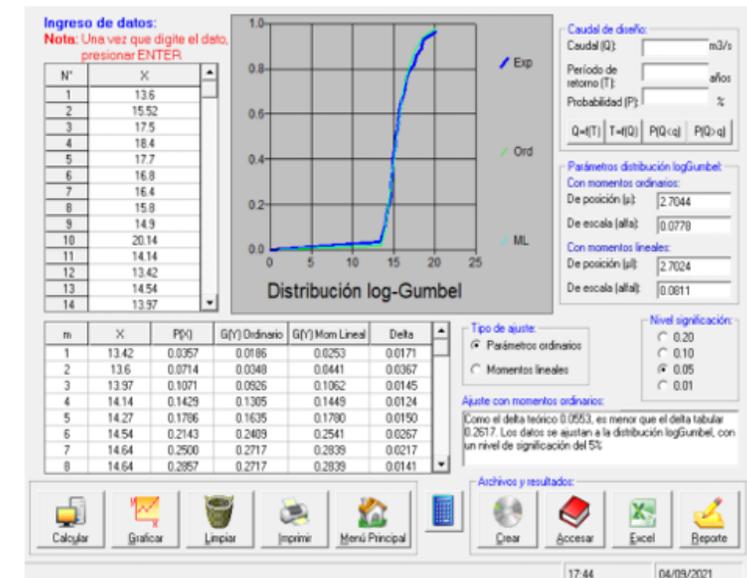
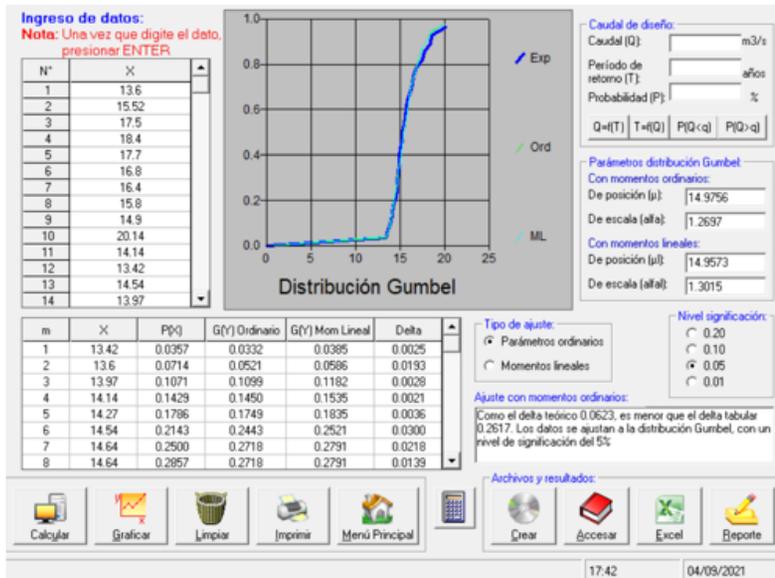
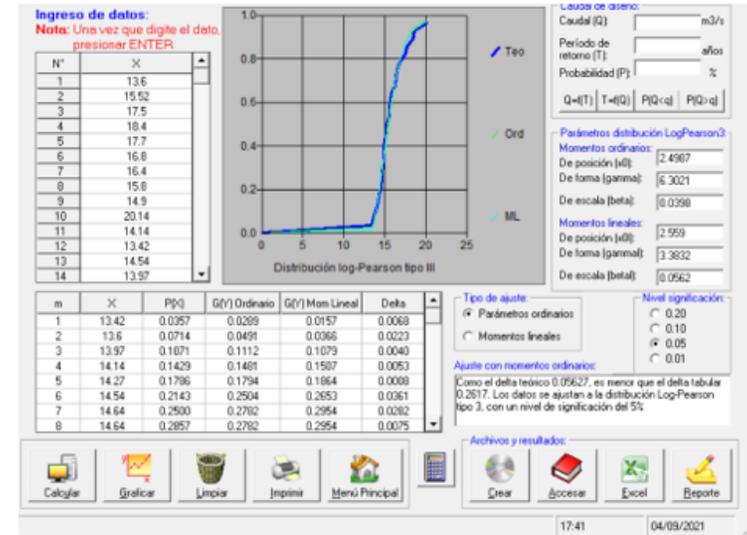
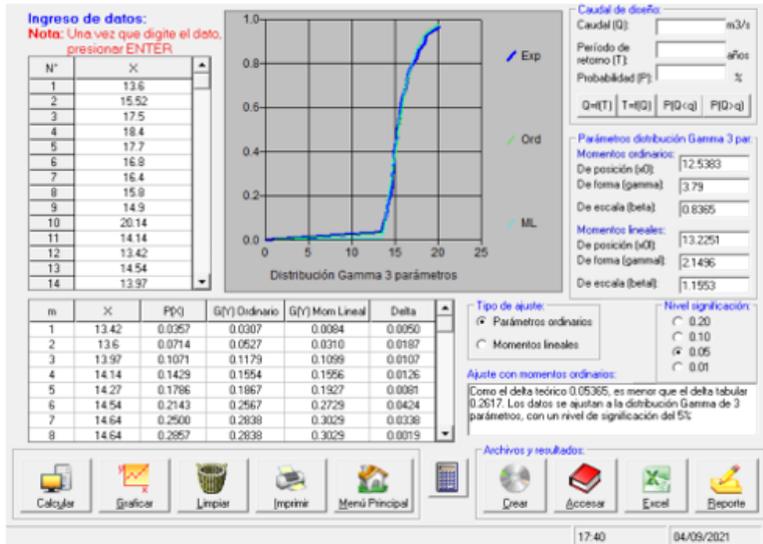
Anexo 13: Ajuste de Bondad Estación Santa María



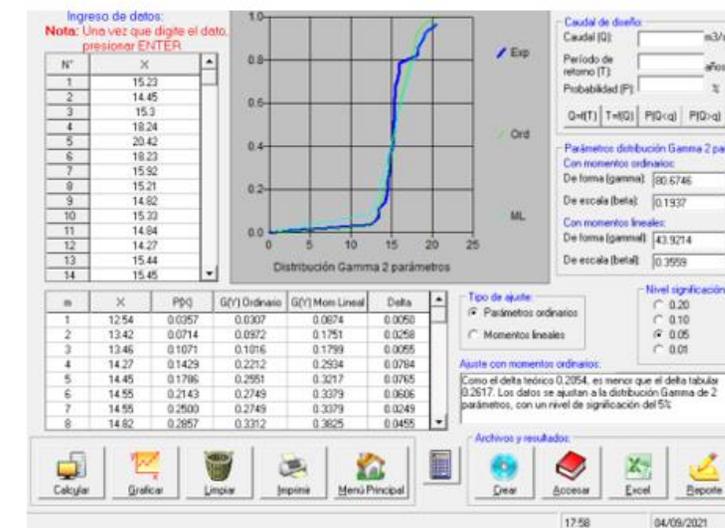
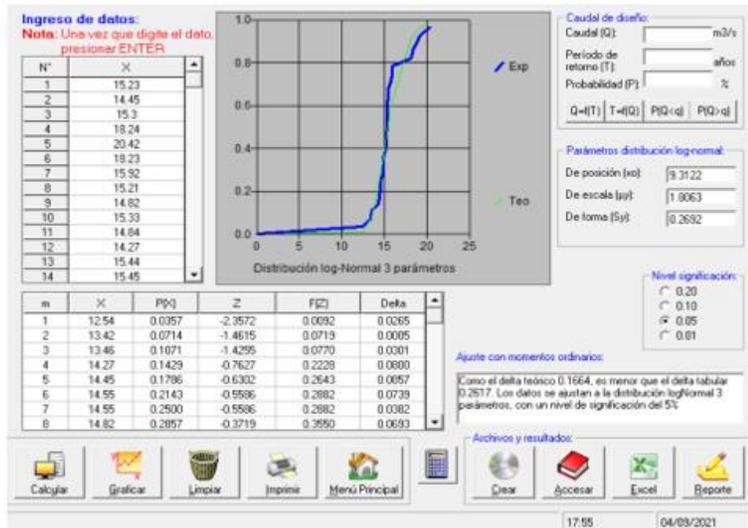
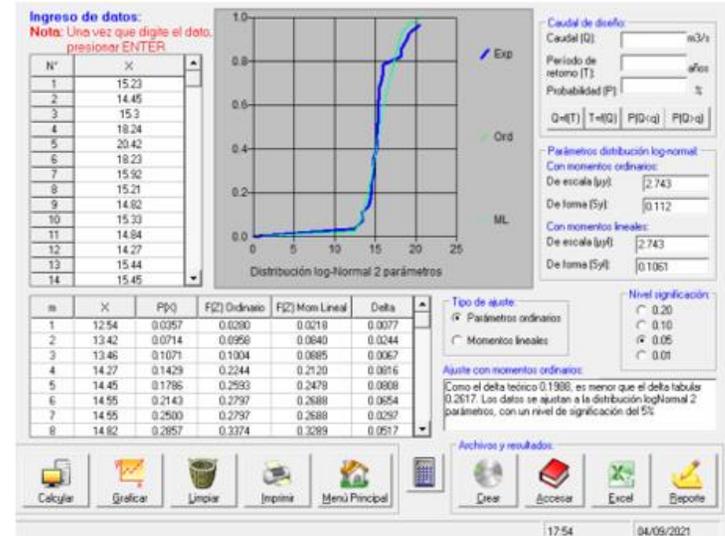
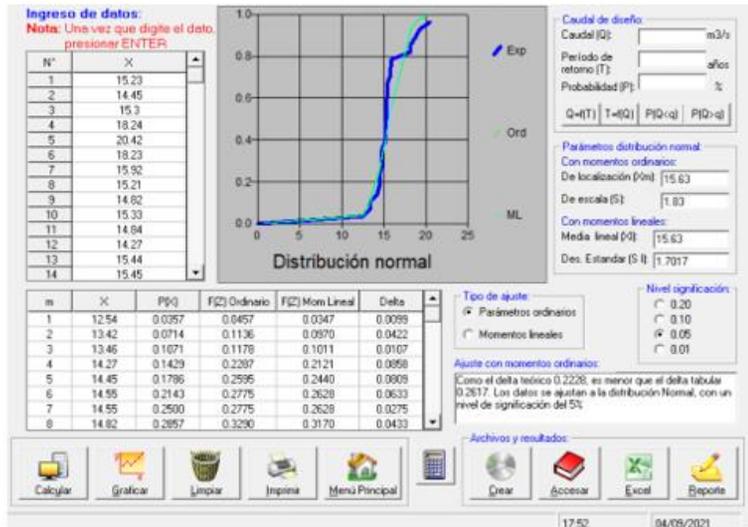


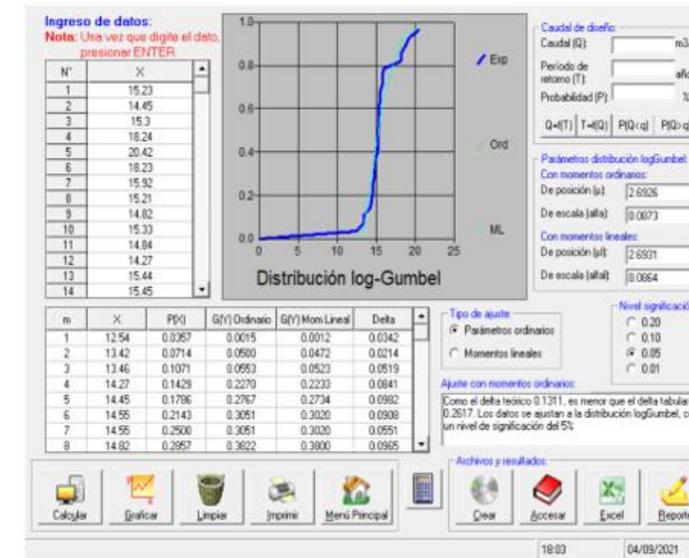
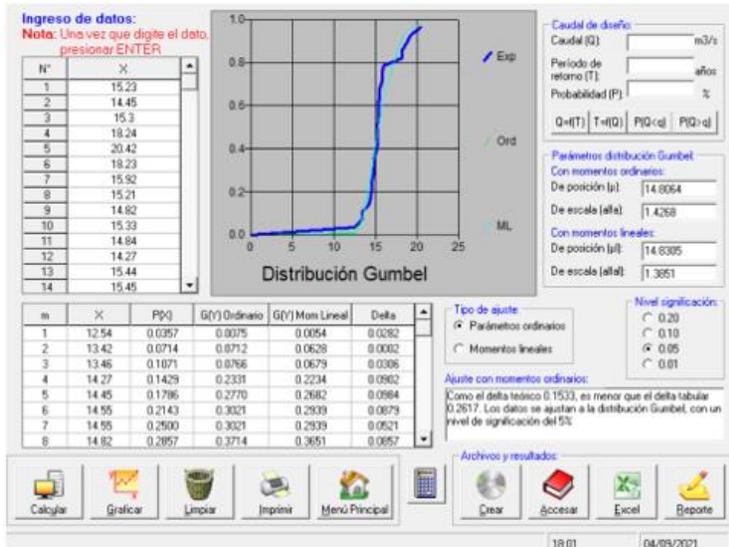
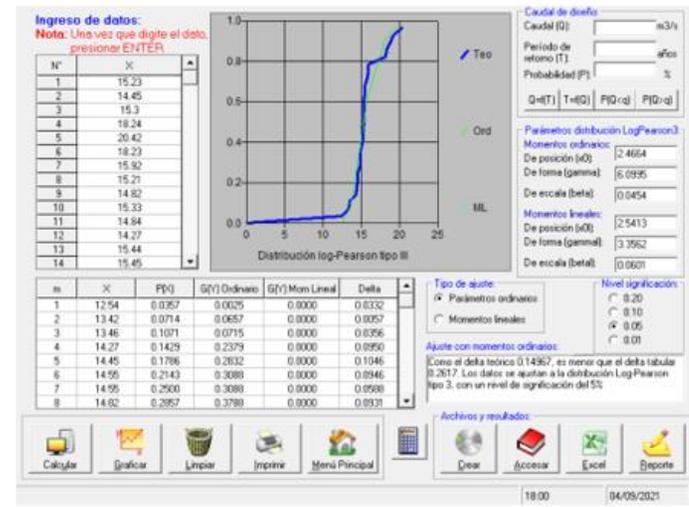
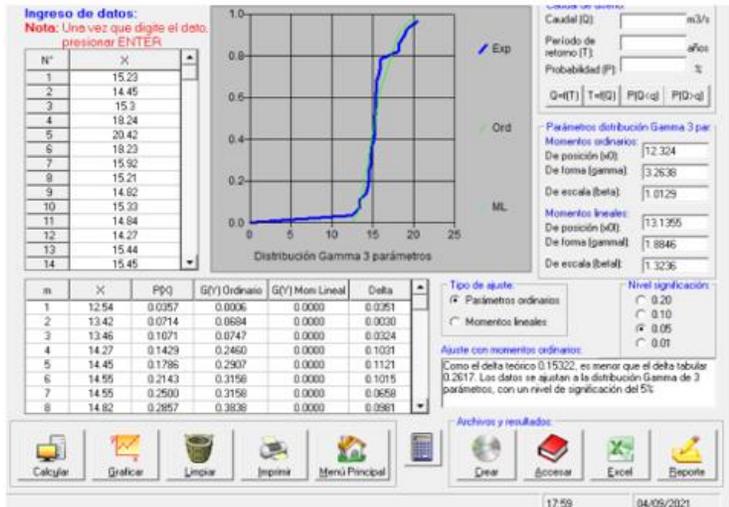
Anexo 14: Ajuste de Bondad Estación Dos de Maya





Anexo 15: Ajuste de Bondad Estación Pachacoto

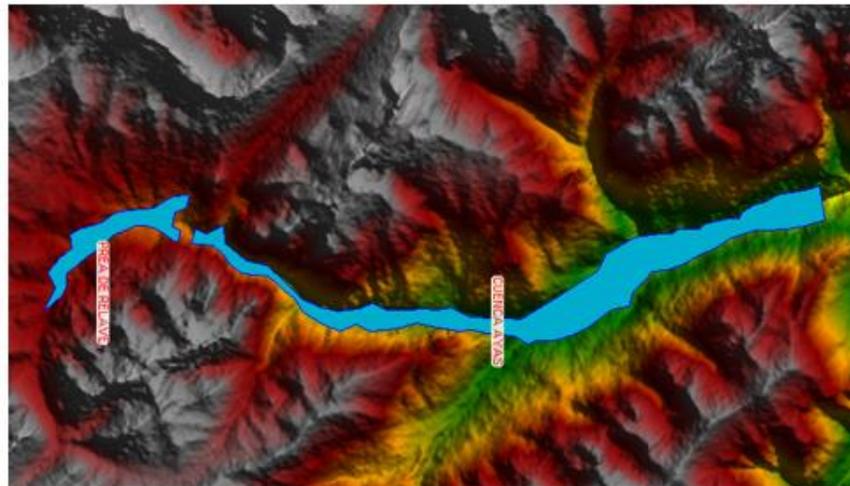




Anexo 16: Modelamiento con software HEC RAS



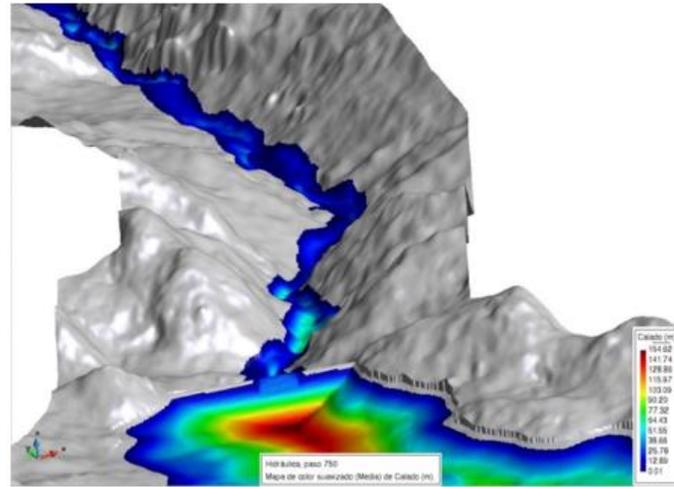
Volumen de Escurrimiento de relve por la cuenca



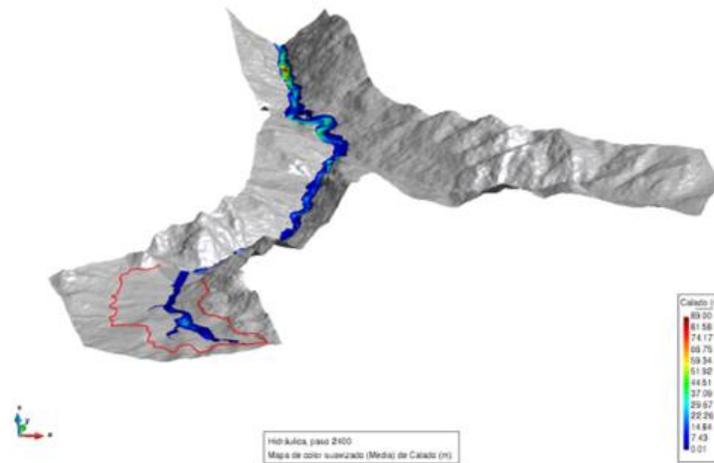
Anexo 17: Modelamiento con software IBER

Escorrentamiento de relevo

Tirantes y tiempo



Escorrentamiento total de relevo



Anexo 18: Modelamiento con software Google Earth Pro

Escurrimiento de relave por la micro cuenca

