

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Riesgo por inundación y obras longitudinales en el
río Hatunmayo, jurisdicción del distrito de
Cachimayo, Anta - Cusco, 2021**

Ruminit Fano Bustamante
Ladislao Quispe Choque

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Cusco, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a nuestro asesor Dr. Juan José Bullón Rosas, quien con sus conocimientos y apoyo nos guió a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscábamos.

También queremos agradecer a la Universidad Continental por brindarnos todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. No hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda.

Por último, queremos agradecer a todos nuestras familiares y amigos por apoyarnos aun cuando nuestros ánimos se decaían. En especial, queremos hacer mención de nuestros padres, que siempre estuvieron ahí para darnos sus palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

Muchas gracias a todos.

Los autores.

DEDICATORIA

A mis padres Aurelio y Escolástica, quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos.

A mis hermanos Bernardina, Eva, Elizabeth, Benjamín, Sabulon y Cesar, por sus apoyos incondicionales.

A mi esposa Sonia y mis queridas hijas Rocío Soledad, Milagros y Luz Ángela, por ser más que el motivo e inspiración para cumplir con todo lo que me proponga.

Ladislao

A Dios por darme la oportunidad de realizarme profesionalmente en esta etapa de mi vida.

A mi familia, mi esposa Zenayda, mis Hija Avril Rafaella, mi Hijo Santiago Ruminit, por la invaluable comprensión, amor y aceptación de reducir el tiempo en familia con el fin de lograr este objetivo que nos demuestra que todo es posible.

A mis padres Ernesto y María Lucrecia por darme la vida y las enseñanzas para ser un hombre de bien para la sociedad.

A mis hermanos Lidia Delix y Mirko Ernesto por ser unas personas que siempre están al pendiente de mi persona y mi familia.

Ruminit

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO I	12
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. Planteamiento y formulación del problema	12
1.1.1. Planteamiento del problema	12
1.1.2. Formulación del problema	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivo específico	15
1.3. Justificación e importancia.....	16
1.3.1. Justificación social.....	16
1.3.2. Justificación teórica	16
1.3.3. Justificación metodológica.....	16
1.3.4. Importancia.....	17
1.4. Delimitación	17
1.4.1. Delimitación conceptual.....	17
1.4.2. Delimitación espacial	17
1.4.3. Delimitación temporal	17
1.5. Hipótesis y descripción de variables	17
1.5.1. Hipótesis.....	17
1.5.2. Descripción de variables.....	18

CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes del problema	20
2.1.1. Antecedente internacional.....	20
2.1.2. Antecedente nacional.....	22
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Riesgo	24
2.2.2. Consideraciones de obra longitudinal	36
2.2.2. Obras longitudinales	46
2.2.3. Aplicación del modelo de simulación HEC – RAS	62
2.3. Definición de términos básicos	63
CAPÍTULO III	65
METODOLOGÍA	65
3.1. Métodos y alcance de la investigación	65
3.1.1. Método de investigación	65
3.1.2. Alcance de investigación.....	65
3.1.3. Tipo de investigación	66
3.2. Diseño de la investigación	66
3.3. Población y muestra	66
3.3.1. Población	66
3.3.2. Muestra.....	67
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	68
3.4.1. Observación directa	68
3.4.2. Análisis de documentos	68
3.4.3. Trabajo de gabinete	68
3.4.4. Análisis de confiabilidad y validez	69
3.5. Procedimiento	70
3.6. Método de análisis de datos.....	70

CAPÍTULO IV	71
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	71
4.1.1. Análisis del caudal del río Hatunmayo	71
4.1.2. Riesgo por inundación en el río Hatunmayo.....	75
4.1.3. Diseño de dique enrocado en el río Hatunmayo.....	77
4.1.4. Diseño de gaviones en el río Hatunmayo.....	85
4.1.5. Diseño de dique de tierra en el río Hatunmayo	89
4.2. Prueba de hipótesis.....	94
4.2.1. Riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo	94
4.3. Discusión de resultados	101
4.3.1. Análisis del caudal del río Hatunmayo	101
4.3.2. Riesgo por inundación en el río Hatunmayo.....	102
4.3.3. Diseño de dique enrocado en el río Hatunmayo.....	103
4.3.4. Diseño de gaviones en el río Hatunmayo.....	104
4.3.5. Diseño de dique de tierra en el río Hatunmayo	105
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Operacionalización de variables</i>	19
Tabla 2. Estratificación de peligros.....	25
Tabla 3. Estratificación de niveles de peligro por inundación	26
Tabla 4. Umbrales de precipitación y caracterización	27
Tabla 5. Estratificación de vulnerabilidad	31
Tabla 6. Estratificación de niveles de vulnerabilidad por inundación.....	32
Tabla 7. Niveles de riesgo.....	35
Tabla 8. Matriz de peligro y vulnerabilidad.....	35
Tabla 9. Números de curva de escurrimiento para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (AMC II)	41
Tabla 10. Periodo de retorno según tipo de estructura	45
Tabla 11. Valores de F_s	49
Tabla 12. Valores de K_1	50
Tabla 13. Valores de K_s	51
Tabla 14. Tabla de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n	51
Tabla 15. Valores de B	52
Tabla 16. Valores de x y $1/x+1$	53
Tabla 17. Valores de ϕ	54
Tabla 18. Peso específico y ángulo de fricción de suelos	55
Tabla 19. Gaviones caja.....	57
Tabla 20. Colchones reno	57
Tabla 21. Rangos de validez	69
Tabla 22. Rangos de confiabilidad	70
Tabla 23. Cálculo del caudal del río Hatunmayo.....	74
Tabla 24. Caudal para diferentes periodos de retorno	75
Tabla 25. Factores del peligro de inundación	76
Tabla 26. Dimensiones de la vulnerabilidad	76
Tabla 27. Tirante y velocidad del agua con dique enrocado	95
Tabla 28. Estadística de regresión – dique enrocado	95
Tabla 29. Análisis de varianza – dique enrocado.....	96
Tabla 30. Tirante y velocidad del agua con gaviones.....	97
Tabla 31. Estadística de regresión – gaviones.....	97
Tabla 32. Análisis de varianza – gaviones	98
Tabla 33. Tirante y velocidad del agua con dique de tierra	99
Tabla 34. Estadística de regresión – dique de tierra	100
Tabla 35. Análisis de varianza – dique de tierra.....	100
Tabla 36. Valores de Q^2 y $\sum Q^2$	127
Tabla 37. Valores de YN y σN	128
Tabla 38. Valores de $N\alpha\sigma m$	130
Tabla 39. Valores de Q^2 , T , $T/(T-1)$, X , QxX y X^2	132

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Viviendas damnificadas por inundación, Perú	13
Figura 2. Verificamos la reducción del cauce del río Hatunmayo.....	14
Figura 3. Clasificación de los principales peligros.....	25
Figura 4. Distribución Gumbel.....	38
Figura 5. Trazado de curvas de precipitación.....	44
Figura 6. Enrocado en puntos críticos del río Cañete, Lima – Perú.....	48
Figura 7. Protección de orilla con gaviones	56
Figura 8. Dique en ríos	60
Figura 9. Ventana de inicio del HEC – RAS.....	63
Figura 10. Bloqueo del cauce del río sin delimitación de faja marginal- Sector de recreo pampa.....	67
Figura 11. Bloqueo del cauce del río – sector de Cajamarca	68
Figura 12. Sección transversal de enrocado.....	84
Figura 13. Sección transversal de gaviones	86
Figura 14. Sección transversal de dique de tierra.....	90
Figura 15. Curva de regresión ajustada, función lineal – dique enrocado	96
Figura 16. Curva de regresión ajustada, función polinómica– gaviones	98
Figura 17. Curva de regresión ajustada, función polinómica– dique de tierra.....	100
Figura 18. Tirante de agua – obras longitudinales.....	101

RESUMEN

Las inundaciones ocurren por la presencia de una máxima avenida o un evento hidrometeorológico extraordinario, originando la elevación del nivel del agua por sobre el nivel normal del cauce de un río (ROCHA, 1998). De ahí que radica la importancia de las obras de protección ribereña o también conocidas como obras longitudinales (TERÁN, 1998). En ese sentido el objetivo de la investigación fue determinar la relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo dentro de la Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta, Cusco. El método de la investigación fue científico, tipo aplicado, con nivel descriptivo - correlacional y diseño no experimental ya que no se manipularon las variables; la población estuvo compuesta desde la frontera del distrito de Pucyura Km 0+000 hasta la frontera con el distrito de Poroy Km 6+460 dentro de la jurisdicción el distrito de Cachimayo; y la muestra estuvo delimitada por el tramo de 1 Km del río Hatunmayo entre las progresiva 4+000 Km y 5+000 Km. Los resultados reflejaron que, al análisis del caudal corresponde a la estimación del caudal para un periodo de retorno de 100 años, el riesgo por inundación fue alto y las obras longitudinales responden al diseño hidráulico y cálculo estructural.

Se llega a la conclusión de que, el riesgo por inundación se reduce con la implementación de obras longitudinales, ya que estas permiten evitar el desbordamiento del río Hatunmayo en el tramo de estudio. Siendo el dique de tierra que mejor se desempeña y resulta más económica su implementación.

Palabras clave: Caudal, obras longitudinales, periodo de retorno, riesgo por inundación.

ABSTRACT

Floods occur due to the presence of a maximum flood or an extraordinary hydrometeorological event, causing the water level to rise above the normal level of a riverbed (ROCHA, 1998). Hence the importance of riparian protection works, also known as longitudinal works (TERÁN, 1998). In this sense, the objective of the research was to determine the relationship between flood risk and longitudinal works in the Hatunmayo river within the jurisdiction of the district of Cachimayo, Anta, Cusco. The research method was scientific, applied type, with descriptive-correlational level and non-experimental design since the variables were not manipulated; the population was composed from the border of the district of Pucyura Km 0+000 to the border with the district of Poroy Km 6+460 within the jurisdiction of the district of Cachimayo; and the sample was delimited by the section of 1 Km of the Hatunmayo river between the progressive 4+000 Km and 5+000 Km. The results showed that the flow analysis corresponds to the estimated flow for a return period of 100 years, the flood risk was high and the longitudinal works correspond to the hydraulic design and structural calculation.

It is concluded that the flood risk is reduced with the implementation of longitudinal works, since they prevent the overflowing of the Hatunmayo river in the study section. The earth dike performs better and is more economical to implement.

Keywords: Flow, longitudinal works, return period, flood risk.

INTRODUCCIÓN

Según menciona (ROCHA, 1998) las inundaciones ocurren por la presencia de una máxima avenida o un evento hidrometeorológico extraordinario, originando la elevación del nivel del agua por sobre el nivel normal del cauce de un río. De ahí que radica la importancia de las obras de protección ribereña o también conocidas como obras longitudinales.

El objetivo de la investigación es determinar la relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta, Cusco. Para el logro del objetivo, en primer lugar se recolectó la información de campo como la topografía del río para poder obtener las secciones del río, posteriormente se recolectó la información hidrometeorológica de la zona de estudio que estuvo compuesta por tres de las estaciones pluviométricas más cercanas a la zona del estudio de las cuales se usó la información de la máxima precipitación en 24 horas de la estación de Anta – Ancachuro por encontrarse más próxima al río Hatunmayo; con dicha información se procedió a calcular el caudal del río por el método racional, para posteriormente obtener los caudales de diseño para los periodos de retorno de 0; 50 y 100 años. La siguiente parte, comprendió el desarrollo del diseño de las obras longitudinales como dique enrocado, gaviones y dique de tierra; y simulación en el programa HEC-RAS para un periodo de retorno de 100 años. De la simulación realizada se pudo obtener el perfil del río del tramo de 1 000 m o 1 Km sin obras longitudinales y con obras longitudinales, también se pudo obtener la tabla de resultados de salida correspondiente a la simulación.

En ese sentido, en el capítulo I se presenta el planteamiento del estudio que contiene el planteamiento y formulación del problema, objetivos, justificación, hipótesis y descripción de variables. En el capítulo II se presenta el marco teórico que contiene antecedentes del problema, bases teóricas y definición de términos básicos. El capítulo III presenta la metodología el cual contiene métodos y alcance, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y el procedimiento de la investigación. En el capítulo IV se presentan los resultados y la discusión de los mismos. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Según (People in harm's way: Flood exposure and poverty in 189 countries, 2020), las inundaciones son desastres naturales peligrosos, graves y comunes, que afectan el desarrollo de la vía y la forma de subsistencia, ya que generalmente ocasiona daños a toda una población ya sea de altos, medios y bajos ingresos donde las estructuras de drenaje y protección contra inundaciones no se encuentran bien desarrolladas. De acuerdo con los mapas de riesgos de inundación, población y estimación de pobreza extraída de la base de datos de seguimiento mundial del Banco mundial, se estima que 1470 millones de personas se encuentran directamente expuestas al riesgo de inundación de las cuales un tercio de ellas, es decir casi 6 millones de personas, son pobres. La investigación desarrollada en el artículo de investigación (People in harm's way: Flood exposure and poverty in 189 countries, 2020), demostró que la exposición al riesgo de inundación es significativo ya que, al menos 1470 millones de personas se enfrentan a un riesgo moderado de inundación; también demostró que los países de Asia oriental y Asia meridional pueden llevar la peor parte ante un evento extraordinario de inundación, debido a la extensa población y las áreas costeras y llanuras fluviales (como los ríos Mekong, Brahmaputra e Irawadi) del continente Asiático. Por lo cual se reconoce que, el riesgo de inundación está en constante evolución, ya que las evidencias señalan que el proceso de urbanización costera acelera la ocurrencia de inundaciones, donde las infraestructuras del sistema de drenaje no van al ritmo de la urbanización y el riesgo de inundación se acumula.

(GARCÍA, 2019), menciona que las inundaciones son desbordamientos de agua en diferentes tipos de suelo; cuyas causas pueden ser fuertes lluvias, marejada, cuando la nieve se derrite rápido, o por la rotura de presas y diques; que pueden durar minutos horas o extenderse hasta semanas y más, razón por la cual las inundaciones son desastres naturales más comunes y se asocian a diferentes fenómenos atmosféricos. Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial) las inundaciones han causado millones de muertes a nivel mundial, ya que el 79% de los desastres naturales se deben a los fenómenos meteorológicos e hidrológicos extremos. La llanura aluvial que cuenta con cauces fluviales es una zona atractiva para el desarrollo urbano, tiene mayor riesgo

de inundación debido a los edificios, autopistas y calzadas que aumentan el escurrimiento al reducir la absorción de agua lluvia directamente por el suelo, por lo que la escorrentía aumenta el potencial de inundación. Por otro lado, colinas y montañas empinadas incrementan la escorrentía, haciendo que ríos y arroyos crezcan rápidamente cuando la tormenta persiste en un área durante un periodo prolongado.

Las inundaciones en el Perú, ocurren en determinadas épocas del año y se deben al cambio climático y precipitaciones en la región andina, las regiones más afectadas son la costa norte y la totalidad de la región amazónica, ya que la dinámica de los ríos tienen una tasa anual de inundación y cambios de curso; así mismo, la sierra no queda fuera de este fenómeno natural, pues la vertiente del Titicaca sufre inundaciones por el desborde de los ríos Coata y Ramis. En los años 2003 a 2012, las inundaciones y fuertes precipitaciones afectaron al 4.3% de la población nacional, y el INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil) reportó que 687.820 personas resultaron damnificadas y 66.943 viviendas fueron destruidas (Infoinundaciones, 2019). La figura muestra las viviendas damnificadas por la inundación en Perú.



Figura 1. Viviendas damnificadas por inundación, Perú
Fuente: (Infoinundaciones, 2019)

En el Perú, el crecimiento poblacional ha ocasionado una expansión en la ocupación del espacio urbano y rural en lugares expuestos a peligros. Este proceso se ha dado sin ninguna planificación, de tal forma que un alto porcentaje de pobladores carecen de los servicios básicos y sus viviendas están construidas en zonas de riesgo y en muchos casos cercanos a los ríos, lo que les hace altamente vulnerables a peligros por desbordes e inundaciones ocasionadas por los fenómenos meteorológicos extremos.

De igual manera, en las áreas aledañas al río Hatunmayo, la población va incrementándose y las prácticas individuales son inadecuadas debido a que los pobladores ocupan y utilizan las áreas correspondientes a la faja marginal consideradas zonas de peligro por la vulnerabilidad a desbordes e inundaciones durante los meses de intensas precipitaciones pluviales. A esto se suman las inadecuadas prácticas institucionales y la inexistencia de estudios de zonificación de áreas de riesgo por inundaciones; que traen como consecuencia el deterioro y pérdida de las infraestructuras hidráulicas de protección, vías de comunicación, servicios básicos, viviendas, ganados (vacuno, ovino y otros), y extensas áreas de cultivos como papa, maíz, habas y forrajes, que representa el sustento económico familiar de la población que es afectada por estos fenómenos extremos que ocurre periódicamente cada año durante los meses de enero a marzo.

Debido a la variación de las descargas del río Hatunmayo sobre todo en épocas de lluvias, cada año la población de la cuenca se encuentra preocupada debido a que en cualquier momento puede producirse desbordamientos del río en zonas críticas y como consecuencia la pérdida de áreas agrícolas como ocurridas en los últimos años 2010 y 2013. Como la siguiente figura, en la que se puede apreciar la reducción de un tramo del cauce del río Hatunmayo que es vulnerable a desbordamiento ante altas precipitaciones y máximas avenidas.



Figura 2. Verificamos la reducción del cauce del río Hatunmayo
Fuente: Propia.

Por tanto, con el presente estudio de investigación se pretende determinar la relación entre el riesgo de inundación y obras longitudinales en el río Hatunmayo en la jurisdicción del distrito de Cachimayo, provincia de Anta – Cusco. Para identificar y zonificar las áreas con riesgo a inundaciones por caudales de avenida para diferentes períodos de retorno con fines de delimitar la faja marginal, instrumento con el que se planteará restringir el desarrollo urbano y las actividades agrícolas y pecuarias en las áreas que correspondan a la faja marginal.

1.1.2. Formulación del problema

Problema general

¿Cuál es la relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021?

Problemas específicos

- ¿Cómo es el análisis del caudal del río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021?
- ¿Cuánto es el riesgo por inundación en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021?
- ¿Cómo es el diseño del dique enrocado en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021?
- ¿De qué forma se realiza el diseño de gaviones en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021?
- ¿Cómo se desarrolla el diseño del dique de tierra en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.

1.2.2. Objetivo específico

- Realizar el análisis del caudal del río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.
- Calcular el riesgo por inundación en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.
- Describir el diseño del dique enrocado en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.

- Realizar el diseño de gaviones en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.
- Detallar el diseño del dique de tierra en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación social

Según (BERNAL, 2010), la justificación social o práctica existe cuando el desarrollo de la investigación propone estrategias que al aplicarse pretenden contribuir al problema. En ese sentido, por medio de la investigación se pretende realizar la estimación del caudal del río Hatunmayo con el empleo de tres tipos de obras longitudinales, y de este modo poder prevenir inundaciones ocasionadas por el posible desbordamiento del río, que afecta a las familias que se dedican a diferentes actividades y que habitan las zonas aledañas del río Hatunmayo en la jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta - Cusco.

1.3.2. Justificación teórica

Según (CASTRO, 2016), la justificación teórica señala la importancia que tiene la investigación de un problema en el desarrollo de una teoría científica; el cual implica indicar si el estudio permitirá realizar una innovación científica. La estimación y/o predicción del caudal del río Hatunmayo, se realizó con diferentes métodos y se empleó un programa de apoyo, con el propósito de prevenir de inundaciones a los habitantes de las zonas pobladas aledañas al río Hatunmayo. En cuanto al riesgo por inundación, este se determinó con las matrices de estratificación propuestas por el INDECI.

1.3.3. Justificación metodológica

Según (BERNAL, 2010), la justificación metodológica se describe cuando el proyecto de investigación propone una nueva estrategia para la generación de conocimiento válido y confiable.

Razón por la cual, la investigación propone la estimación y/o predicción del caudal del río Hatunmayo con tres tipos de obras longitudinales (dique enrocado, gaviones y dique de tierra) y su relación entre ellos, para poder determinar si el caudal estimado ocasionará inundación de la zona aledaña al río en los periodos de retorno de 50 y 100 años. Así mismo se debe mencionar la estimación del caudal del río Hatunmayo se hará sobre una longitud de 1+000 Km.

1.3.4. Importancia

La importancia de la investigación, es contribuir en el diseño de obras longitudinales como; dique enrocado, gaviones y dique de tierra; para prevenir la ocurrencia de inundaciones a los pobladores que habitan en las zonas aledañas al curso del río Hatunmayo. Además de poder determinar qué obra longitudinal tiene un mejor comportamiento ante una máxima avenida o máximo caudal que pueda presentar el río en estudio para el periodo de retorno de 100 años.

1.4. Delimitación

1.4.1. Delimitación conceptual

En la investigación, se propone el diseño de obras longitudinales (dique enrocado, gaviones y dique de tierra) para la prevención de inundaciones a las poblaciones aledañas al curso del río Hatunmayo en Cusco.

1.4.2. Delimitación espacial

La investigación se realizó en la provincia de Anta, departamento de Cusco. Se debe mencionar que el tramo del río Hatunmayo en estudio, se encuentra en la jurisdicción del distrito de Cachimayo, provincia de Anta, Cusco. Para el cual se tomó en cuenta la información hidrometeorológica de la estación más cercana, correspondiente a la estación meteorológica Anta Ancachuro.

1.4.3. Delimitación temporal

La investigación se realizó durante los meses de Enero a Julio del presente año 2021, en los cuales se recopiló toda la información para el desarrollo del presente informe de investigación.

1.5. Hipótesis y descripción de variables

1.5.1. Hipótesis

Hipótesis general

La relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales es directamente proporcional, en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.

Hipótesis específicas

- El análisis del caudal del río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021, comprende diferentes periodos de retorno.
- El riesgo por inundación en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021; es moderado.
- El diseño del dique enrocado en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021; es eficiente.
- El diseño de gaviones en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021; es adecuado.
- El diseño del dique de tierra en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021; es eficiente.

1.5.2. Descripción de variables

Variable 1

Riesgo de inundación

El fenómeno por inundación, se refiere a un cuerpo de agua que ocupa una porción de terreno, a diferencia de las condiciones normales donde el terreno permanece sobre el nivel de los cuerpos de agua (ROBAYO, 2014). El riesgo, se estima por medio de acciones y procedimientos de un área geográfica, para identificar el peligro y la vulnerabilidad; y así calcular el riesgo (INDECI, 2006).

Variable 2

Obras longitudinales

Obras localizadas en las laderas de los cauces del río, con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente de agua, existen revestimientos de hormigón o asfalto, mantas de hormigón, sacos de arena o cemento, escollera cogida con mortero y revestimiento flexible con escollera o rip rap, bloques de hormigón prefabricados y vegetación (BUITRAGO, y otros, 2013).

En la siguiente tabla, se muestra la operacionalización de variables.

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	FUENTE
Variable 1: Riesgo por inundación	El fenómeno por inundación, se refiere a un cuerpo de agua que ocupa una porción de terreno, a diferencia de las condiciones normales donde el terreno permanece sobre el nivel de los cuerpos de agua (ROBAYO, 2014). El riesgo, se estima por medio de acciones y procedimientos de un área geográfica, para identificar el peligro y la vulnerabilidad; y así calcular el riesgo (INDECI, 2006).	Análisis del caudal del río	Caudal de diseño	Registro histórico de precipitación	SENAMHI
			Periodo de retorno		SENAMHI
		Riesgo	Peligro	Matriz de estratificación	INDECI
			Vulnerabilidad	Matriz de estratificación	INDECI
Variable 2: Obras longitudinales	Obras localizadas en las laderas de los cauces del río, con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente de agua, existen revestimientos de hormigón o asfalto, mantas de hormigón, sacos de arena o cemento, escollera cogida con mortero y revestimiento flexible con escollera o rip rap, bloques de hormigón prefabricados y vegetación (BUIRAGO, y otros, 2013).	Dique enrocado	Diseño hidráulico	Parámetros de diseño	Diseño y construcción de defensas ribereñas (TERÁN , 1998)
			Cálculo estructural		
			Estabilidad		
		Gaviones	Diseño hidráulico	Parámetros de diseño	Diseño y construcción de defensas ribereñas (TERÁN , 1998)
			Cálculo estructural		
			Estabilidad		
		Dique de tierra	Diseño hidráulico	Parámetros de diseño	Diseño y construcción de defensas ribereñas (TERÁN , 1998)
			Cálculo estructural		
			Estabilidad		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedente internacional

Según (HERNÁNDEZ, y otros, 2017), en el artículo de investigación, realizado en Monterrey, México “Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca de Atemajac”. Con el objetivo de desarrollar y aplicar una metodología de análisis de riesgos por inundaciones en una cuenca urbanizada para ayudar en la toma de decisiones de generar proyectos que minimicen los daños causados por las inundaciones. Para ello, consideraron el enfoque determinista o cuantitativo basado en modelaciones numéricas e integración de los resultados en mapas de riesgo por medio de sistemas de información geográfica; y el siguiente enfoque paramétrico o cualitativo basado en la estimación de la vulnerabilidad por medio de índices con diferentes escalas. Llegaron a la conclusión de que tras el desarrollo de ambos enfoques se logró generar mapas de riesgo donde se ilustran los posibles daños asociados con las inundaciones por zonas y por periodo de retorno de 50 y 100 años donde se encuentran áreas considerables propensas a inundaciones.

Según (ROBAYO, 2014), para optar el grado académico de Ingeniera Civil, desarrolló la tesis titulada “Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito desarrollado a través de sistemas de información geográfica”, con el objetivo de desarrollar un sistema de información geográfica. El método de investigación fue científico, con diseño no experimental. Para lograr el objetivo planteado, recopiló la información de la localidad de Tunjuelito, posteriormente realizó la caracterización de la localidad el cual incluyó aspectos demográficos, condiciones socioeconómicas y los problemas de inundación por desbordamiento del río Tunjuelo; también caracterizó la cuenca del río Tunjuelo; también consideró los criterios de análisis de la amenaza por inundación; luego de dichas caracterizaciones y criterios, obtuvo las llanuras de inundación equivalente al nivel de agua máxima del río Tunjuelo, caracterizando el cauce del río y finalmente pudo obtener la digitalización del nivel de aguas para los periodos de retorno de 10; 100 y 500 años. Como resultado de la investigación desarrolló un mapa de amenaza por inundación de la localidad de Tunjuelito, el cual lo obtuvo empleando la herramienta QGIS, en el cual se pudo obtener que un área de 7.8km² de la localidad afectada en algún grado de amenaza por inundación. Llegó a la conclusión de que las

variables con mayor influencia ante la amenaza de inundación son las características climatológicas y físicas de la cuenca, siendo la precipitación y escorrentía relacionadas directamente con el caudal y la elevación del nivel de aguas.

Según (BUITRAGO, y otros, 2013), para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos en la tesis titulada “Recomendación para la implementación de obras de protección y control de cauces”. Con el objetivo de formular recomendaciones que permitan a una determinada comunidad el planteamiento de soluciones sencillas y técnicamente correctas desde el punto de vista de la ingeniería para la implementación de obras de protección y control de cauces. El método de la investigación fue científico con diseño no experimental. Desarrolló la investigación, en primer lugar con el análisis de la información de la cuenca; posterior a ello desarrolla las características básicas de una cuenca hidrográfica; seguidamente detalla las obras en corrientes naturales la cual comprende obras transversales para el control de inundaciones y obras longitudinales de protección del cauce de un río; y finalmente muestra los materiales que se deben usar en obras de protección. Llegaron a la conclusión de que para una correcta implementación de obras de protección y control de cauces, se debe tener en cuenta las características geomorfológicas de la corriente con el propósito de implementar la obra más favorable para las condiciones del sitio en estudio.

Según (LÓPEZ, 2017), en la tesis titulada “Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección contra inundaciones del río Chinautla, Aldea Santa Cruz, Chinautla, Guatemala” para optar el título profesional de Ingeniera Civil. Con el objetivo de proponer y diseñar una adecuada obra de protección para los pobladores de la Aldea de Santa Cruz Chinautla que ubicaron sus viviendas en las riberas del río y poniendo en riesgo sus vidas y la de sus familias. El método de la investigación fue científico, con diseño no experimental. Se desarrolló la investigación considerando parámetros hidrológicos de la cuenca del río Chinautla, también realizó una simulación hidráulica del área de estudio y para ello utilizó datos topográficos y características del caudal para determinar las velocidades alcanzadas por el río, así como también la llanura de inundación y el nivel máximo de crecida para caudales calculados con varios periodos de retorno. Como resultado de la investigación obtuvo, resultados hidráulicos como de los niveles de crecidas para los cuales diseñó la geometría de los bordos (obras de protección) y finalmente realizó la simulación hidráulica ubicando los bordos propuestos con los caudales utilizados en la simulación inicial, del cual obtuvo resultados positivos y evitando la inundación de las áreas que se eligieron proteger. Llegó a la conclusión de que en

función a los datos obtenidos del programa HEC-RAS, se propone el diseño de la borda en ambos márgenes del río Chinautla, el cual tiene una longitud de 170m, 2.60m de altura y una protección de roca de 0.75m de ancho; diseño que evita la inundación del área estudiada. Del mismo modo, también recomienda evaluar el diseño del puente peatonal que se encuentra en el río Chinautla, considerando los caudales máximos del río.

Según (ARCOS, y otros, 2018) en el artículo de investigación realizado en la ciudad de Guerrero – México, con el título de “Obras de protección contra inundaciones”. Con el objetivo de describir las diferentes estructuras de protección como su concepto básico de funcionamiento, principales normas y consideraciones para el diseño de dichas obras. En el artículo detallan los tipos de obras de protección emergente, tipos de obras de protección especiales y finalmente detalla aspectos importantes a tener en cuenta en un proyecto, sobre los periodos de retorno de las avenidas en el diseño de diferentes obras de protección. Llegaron a la conclusión de que cuando se presentan inundaciones en zonas aledañas a un río que cuenta con obras de protección y en dicha zona existen asentamientos humanos, la mayor parte de la responsabilidad por las pérdidas humanas y destrucción de las viviendas, es de las autoridades por permitir dichos asentamientos; por otro lado mencionan que a pesar de las grandes inversiones en medidas estructurales (es decir, obras de protección contra inundaciones) para disminuir los daños por avenidas en alguna zona, según la experiencia de otros países se demostró que el producto de los daños potenciales y su probabilidad de ocurrencia se incrementa a medida que la población se sienta más segura, por lo que las acciones no estructurales cobran mayor relevancia. Siendo así los investigadores mencionan que no se podrá eliminar totalmente el riesgo de sufrir una inundación, razón por la que aún con la construcción de una obra física se debe aprender a convivir con el río y sus crecidas.

2.1.2. Antecedente nacional

Según (LOYOLA, 2019), para optar el grado de académico de Maestro en Ingeniería Civil, en la tesis titulada “Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada del cauce del río Grande, tramo desde el puente Candopata hasta el puente Cumbicus de la ciudad de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión - La Libertad”. Con el objetivo de evaluar el riesgo por inundación en la zona mencionada y proponer medidas estructurales y no estructurales que reduzcan el riesgo por inundación. El método de la investigación fue científico y con diseño de investigación no experimental. Realizó una investigación descriptiva, evaluando la vulnerabilidad de una muestra de 31 familias aledañas a la faja

marginal del río Grande. Llegó a la conclusión de que el riesgo por inundación es alto, así como también el peligro que corre la población aledaña al cauce del río, es alto.

Según (GONZÁLEZ, 2016), para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola en la tesis titulada “Análisis de riesgo por inundaciones en la cuenca del río Yucaes sector Muyurina - Ayacucho, 2014”. Con el objetivo de caracterizar el riesgo por inundaciones en la cuenca del río Yucaes sector de Muyurina, para contribuir en la reducción de los efectos de desastres. Para lograr el objetivo de investigación planteado, realizó el estudio hidrológico de la cuenca de Yucaes empleando las herramientas ArcGIS y Hec-GeoHMS; del mismo modo realizó el análisis de frecuencia para diferentes periodos de retorno mediante la aplicación de los modelos probabilísticos: Log Pearson tipo III, Gumbel y Log Gumbel; también construyó las curvas I-D-F para determinar las intensidades máximas, también el caudal creciente o avenida mediante métodos directos y finalmente identificó el riesgo por inundación de los tramos en estudio. Obtuvo como resultado tras la aplicación del modelo Hec-HMS, los caudales de diseño de 332.50; 401.52; 473.28 y 606.53m³/s para periodos de retorno de 25; 50; 100 y 500 años respectivamente. Llegó a la conclusión de que el caudal máximo para el análisis de riesgo por inundaciones fue el caudal del periodo de retorno de 100 años con 473.28m³/s para zonas urbanas y el caudal del periodo de retorno de 50 años con 401.52m³/s para zonas de cultivo; y de acuerdo con la matriz de peligro y vulnerabilidad se determinó que la zona de estudio presenta una vulnerabilidad y peligro del 50% de riesgo.

Según (CCONISLLA, 2017) para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola, en la tesis titulada “Protección contra inundaciones en el sector del Centro Poblado de Gorgor, Distrito de Gorgor, Provincia de Cajatambo, Lima”. Con el objetivo de realizar un planteamiento de un diseño físico de enrocado como defensa ribereña. Realizó la investigación con el apoyo de software como el RIVER y HEC-RAS, para el dimensionamiento del enrocado se trabajó con un caudal máximo de 69.95m³/s para un tiempo de retorno de 50 años. Como resultado del caudal empleado para el periodo de retorno de 50 años mencionado líneas arriba, se obtuvo un dique de 4.30m de altura para los tramos vulnerables que son las márgenes izquierda y derecha. Llegó a la conclusión de que con el dique enrocado se logrará la protección de 1235 personas aproximadamente y además permitirá la disminución de la erosión de laderas en ambas márgenes del río Gorgor reduciendo el ensanchamiento del ancho del cauce y la pérdida de vegetación del río.

Según (NARRO, 2019), para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola en la tesis titulada “Instalación de protección contra inundaciones en el Centro Poblado José Carlos Mariátegui, sector 21 de Enero, en la margen derecha del río Huaura, Distrito de Huaura, Provincia de Huaura, Región Lima”. Con el objetivo de plantear una posible solución al problema de la falta de protección de la ribera del río Huaura protegiendo a la población, áreas de cultivo e infraestructura vial y de riego. Desarrolló la investigación considerando la metodología aplicada, explicativa y cuantitativa mediante los estudios de topografía, geotecnia, geología, hidrología, hidráulica y evaluación de impacto ambiental. Obtuvo como resultado que para el diseño de la defensa ribereña la altura promedio del dique es de 2.50m, altura promedio del enrocado es de 2.50m, ancho de corona de 5m, pendiente de talud $H=1.72$ y $V=1.00$ para un periodo de retorno de 50 años y un caudal de diseño de $393.00\text{m}^3/\text{s}$. Llegó a la conclusión de que según las posibles alternativas de solución para la protección de defensas ribereñas el enrocado de dique seco presentó mejores condiciones, además de emplear para su construcción materiales propios de la zona con un tiempo de vida útil mayor a lo esperado.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Riesgo

La gestión del riesgo de desastre, “es el conjunto de conocimientos, medidas, acciones y procedimientos que, conjuntamente con el uso racional de recursos humanos y materiales, se orientan hacia la planificación de programas y actividades para evitar o reducir los efectos de los desastres”. La gestión de riesgo de desastres también se entiende como, prevención y atención de desastres la cual proporciona el procedimiento necesario para que la población afectada recupere el nivel de funcionamiento, después de la ocurrencia de un desastre.

Generalmente, se estima el riesgo antes de que ocurra el desastre. Es así que se plantea un peligro hipotético basado en el periodo de recurrencia. Razón por la cual, se puede evaluar el riesgo (R) cuando un escenario se ha evaluado en función al peligro (P) y vulnerabilidad (V), que se puede expresar con la siguiente función.

$$R = (P * V)$$

Cabe resaltar que, la estimación del riesgo se considera en casos relacionados a la elaboración de proyectos y así poder proporcionar un factor de seguridad a la inversión de un proyecto. Así mismo, el riesgo también se puede evaluar después de que se

produzca el desastre; donde la evaluación de daños, pérdidas y víctimas se realiza de forma directa y sin emplear la ecuación antes mencionada (INDECI, 2006).

2.2.1.1. Peligro

Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la acción del hombre. Potencialmente dañino, de una determinada magnitud en una zona o localidad que puede afectar a un área poblada, medio ambiente e infraestructura. En la figura, se muestra la clasificación de los principales peligros (INDECI, 2006).

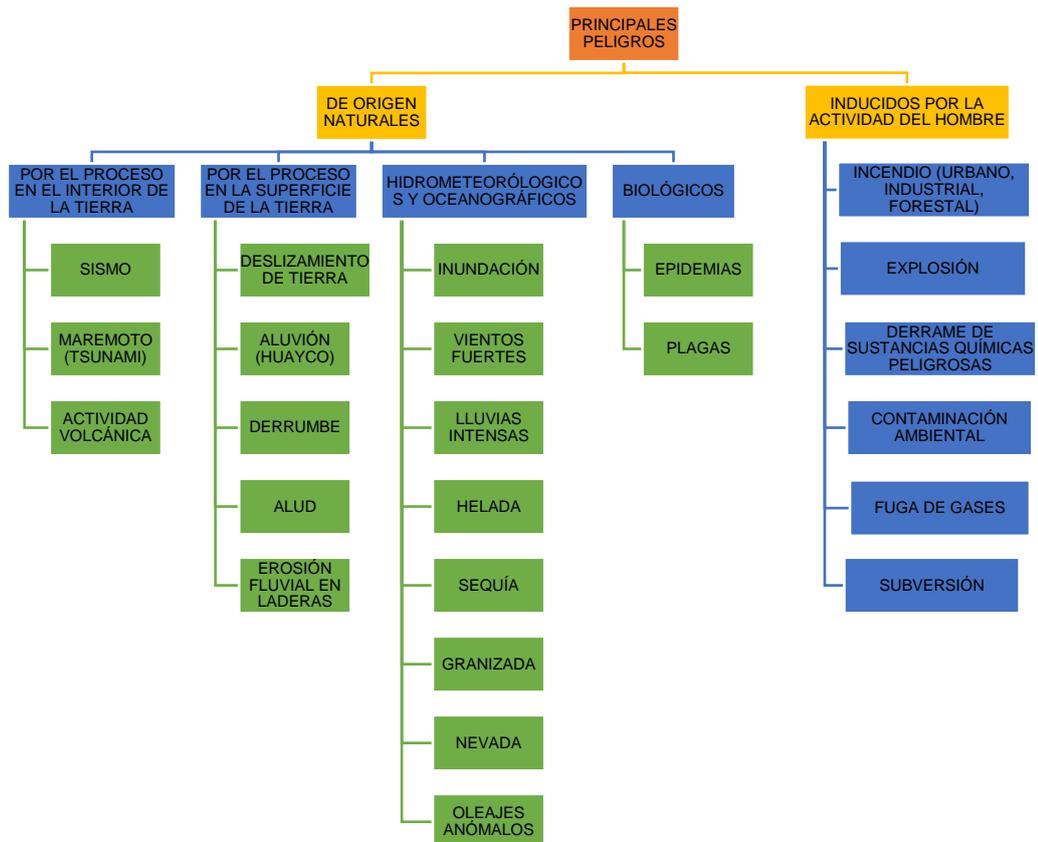


Figura 3. Clasificación de los principales peligros
Fuente: (INDECI, 2006)

La tabla siguiente, muestra la estratificación de peligros.

Tabla 2. Estratificación de peligros

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCIÓN O CARACTERÍSTICAS	VALOR
PB (Peligro bajo)	Terrenos planos con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco con alta capacidad portante. Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznable. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc.	1 (< 25%)

PM (Peligro medio)	Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. De 300 a 500 m, desde el lugar del peligro tecnológico	2 (26% a 50%)
PA (Peligro alto)	Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos. De 150 a 300 m desde el lugar del peligro tecnológico	3 (51% a 75%)
PMA (Peligro muy alto)	Sectores amenazados por alud - avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo (lloclla). Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava. Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo. Sectores amenazados por otros peligros: maremotos, heladas, etc. Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones. Menos de 150 m, desde el lugar del peligro tecnológico	4 (76% a 100%)

Fuente: (INDECI, 2006)

Por otro lado, según el informe de evaluación del riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco realizado en Setiembre del año 2019; presentó la estratificación de niveles de peligro por inundación, la cual se muestra a continuación.

Tabla 3. Estratificación de niveles de peligro por inundación

NIVEL DE PELIGRO	DESCRIPCION	RANGO
Peligro Muy Alto	Precipitación Acumulada trimestral ≥ 870.3 mm en relación a precipitaciones que superan los 600.00 mm en el trimestre DEF - percentil 99. Con una morfología de RC - rsColina de roca sedimentaria; presenta una geología de Q-sa Fm San Sebastián, con pendientes menores de 5°; y con frecuencia de por lo menos 1 vez al año cada evento el Niño y/o Superior a 5 eventos al año en promedio.	$0.258 \leq P < 0.453$
Peligro Alto	Precipitación acumulada trimestral de $602.7 \text{ mm} < a \leq 870.3$ mm, en relación a precipitaciones que superan 600.00 mm en el trimestre DEF- percentil 99. Con una geomorfología de Rio Cauce del rio aluvio-fluvial, presenta una geología Kis-ma Fm Maras; con pendientes de 5° a 15°; y con una frecuencia de 3 a 4 eventos por año en promedio	$0.153 \leq P < 0.258$
Peligro Medio	Precipitación acumulada trimestral de $501.2 \text{ mm} < a \leq 602.7$ mm, en relación a precipitaciones que superan 600.00 mm en el trimestre DEF- percentil 99. Con una geomorfología de V-cd Vertiente o pie de monte coluvio-deluvial. Presenta una geología de NQ-chi fm Chincheros, con pendientes de 15° a 30° y una frecuencia de 2 a 3 eventos por año en promedio.	$0.086 \leq P < 0.153$
Peligro Bajo	Precipitación acumulada trimestral de $385.0 \text{ mm} < a \leq 501.2$ mm, en relación a precipitaciones que superan 600.00 mm en el trimestre DEF- percentil 99. Predominan las unidades geomorfológicas de RCL-rs Colina y Loma en roca sedimentaria, RM-rs Montaña en roca	$0.151 \leq P < 0.086$

sedimentaria, con una geología de Ksp-au Fm Auzangate y ks-vi Fm Vilquechico; predominan pendientes mayores a 30° y con una frecuencia de 1 a 2 eventos por año en promedio y de 1 evento por año en promedio o inferior.

Fuente: (Municipalidad Distrital de Cachimayo, 2019)

La estratificación de peligros por inundación, se basa en determinar los factores desencadenantes como los umbrales de precipitación y factores condicionantes como la geomorfología, pendiente y geología.

- **Factores desencadenantes**

- **Umbrales de precipitaciones**

El umbral de precipitación, se refiere a la precipitación acumulada trimestral. La tabla siguiente muestra los umbrales de precipitación y su respectiva caracterización.

Tabla 4. *Umbrales de precipitación y caracterización*

Umbrales de precipitación	Caracterización de lluvias extremas
Precipitación acumulada trimestral > 870.3 mm	Extremadamente lluvioso
602.7 mm < Precipitación acumulada trimestral ≤ 870.3 mm	Muy lluvioso
501.2 mm < Precipitación acumulada trimestral ≤ 602.7 mm	Lluvioso
385.0 mm < Precipitación acumulada trimestral ≤ 501.2 mm	Moderadamente lluvioso
Precipitación acumulada trimestral ≤ 385.0 mm	Lluvia usual

Fuente: (Municipalidad Distrital de Cachimayo, 2019)

- **Factores condicionantes**

- **Geomorfología**

La geomorfología del departamento del Cusco tiene contraste con el cambio de pendiente de los depósitos cuaternarios o planicies y el relieve de montañas y colinas. Donde las cadenas de montañas NE a SE constituyen una parte de la Cordillera de Los Andes oriental. A continuación, se describen las unidades geomorfológicas reconocidas en el departamento del Cusco.

- Colina de roca sedimentaria (RC-rs), son elevaciones de macizo rocoso de origen sedimentario e intrusivo producto de la disección policuaternaria, cuya forma alargada se puede observar en la sub cuenca en forma de cerros aislados de hasta 150 m de altura. Entre los cuales destaca la colina Chaupiorqo que se encuentra al pie de la quebrada Llamakanca, esta elevación sirvió de dique natural ya que moderó la velocidad del aluvión,

desviándolo hacia el flanco izquierdo de la quebrada Unurakina. La pendiente en esta unidad geomorfológica oscila entre 30° y 39°.

- Colina y loma en roca sedimentaria (RCL-rs), estas elevaciones tienen alineamiento y forman parte de la cordillera. Se encuentra constituida por rocas del Paleógeno y Neógeno, y en algunos casos por el cretáceo inferior (rocas intrusivas y sedimentarias) donde su deformación morfológica se debe a los últimos procesos del Pleistoceno.
- Montaña en roca sedimentaria (RM-rs), geoformas erosivas del relieve constituida por montañas, laderas, lomeríos y colinas. Presentan pendientes que oscilan entre 30° y 45°, con drenaje paralelo a sub paralelo que está controlado por el tipo de roca. En su mayoría, se encuentran conformados por afloramientos de roca sedimentaria.
- Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs), formas erosivas del relieve que representan las elevaciones más conspicuas del terreno, dominan la mayor parte de la zona de estudio (departamento del Cusco). Esa morfología representa los relieves con laderas de moderada a fuerte pendiente (40° a 45°), que equivale a decir desniveles pronunciados del terreno.
- Vertiente o pie de monte coluvio – deluvial (V-cd), geomorfología correspondiente a espacios geográficos que ocupan la parte baja de las montañas, que fueron modeladas por la acumulación continua de sedimentos de todo tamaño, que descienden de laderas de montaña por el efecto de la gravedad y se encuentra conformado principalmente por coluvios (soliflucción) conformando así el pie de monte de ladera, algunos bajo la influencia de flujos acuosos formaron localmente conos con matriz lutáceo – arcillosa y fragmentos de roca de granulometría diversa proveniente de rocas de ladera situadas a mayor elevación de formación Muñani. La pendiente de esta unidad geomorfológica oscila entre 12° y 20°.
- Cauce del río, el cauce promedio del río tiene 8.00 con una pendiente de 0.2%. Según el informe de evaluación del riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, los pobladores vienen reduciendo el cauce del río en diferentes tramos del río, ocasionando la variación de su dinámica fluvial. Donde la erosión afecta las riveras naturales y artificiales.

- **Pendiente**

De acuerdo con el informe de evaluación del riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco, las pendientes se clasifican en.

- Pendiente menor a 5°, característico de terrenos llanos y/o inclinados con pendiente suave. En la cual se encuentra el centro poblado de Cachimayo.
- Pendiente entre 5° a 15° - pendiente moderada. En la región del Cusco, las lomadas rojizas presentan este tipo de pendiente y con más notoriedad sobre la formación Auzangate.
- Pendiente entre 15° a 30° - pendiente fuerte. Característico de laderas con depósitos coluvio – aluviales.
- Pendiente entre 30° a 45° - pendiente muy fuerte, que se puede observar el laderas y valles sobre depósitos fluviales.
- Pendiente mayor a 45° - pendiente muy escarpada. Característico de zonas escarpadas conformadas por montañas y afloramientos, que se pueden encontrar en las formaciones de San Sebastián y Chincheros.

○ **Geología**

A continuación, se describen las unidades litológicas identificadas en el informe de evaluación del riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco.

- Formación San Sebastián (Q-sa), conformada por rocas de fuerte meteorización, donde también se encuentran áreas con erosión y socavación por parte del río Chocco, en la que existen zonas con posible ruptura de roca que puedan ocasionar caídas de bloques. Esta formación se caracteriza por dos secuencias de granos; la primera muestra granos decrecientes la cual se encuentra constituida por secuencias de areniscas fluviales de canales entrelazados deltaicos y lutitas lacustres o palustres; la segunda secuencia muestra granos crecientes conformados por conglomerados y areniscas de cono – terrazas fluvio – torrenciales que señalan el cierre de la cuenca. En este sector también se encuentran numerosas cárcavas, son zonas conformadas por estratos potentes de arena fina limpia y ligeramente cementada cubierta por una costra calcárea en las zonas que han sido rotas o erosionadas por el agua, presentando grandes y profundas cárcavas con flancos verticales, constituido por lavas de andesita porfirítica color verdoso con presencia de pirita diseminada.

- Formación Maras (Kis-ma), que aflora al NE de la región del Cusco entre el Valle Sagrado de los Incas y Sacsayhuaman, y al Norte de Limatambo. Se encuentra sobreyaciendo a la formación Paucarbamba. Conformada por yesos con intercalación de lutitas rojas, verdes y algunos niveles delgados de calizas. El espesor de esta formación es difícil de calcular, por lo que se estimó un espesor entre 100 y 200m aunque en algunos lugares sobrepasa los 400 m debido a las repeticiones tectónicas o diapirismo.
- Formación Chincheros (NQ-chi), también conocida como formación Pumamarca. Se encuentra conformada por secuencias fluvio torrenciales, en las que se puede distinguir afloramientos al Norte y NO del valle de Cusco, sobreyaciendo a las formaciones Maras y Ayabacas. Su composición litológica es similar a la formación Maras. Se encuentra constituida por brechas que poseen una matriz arcillo arenosa, los elementos clásticos provienen de erosión sobre las formaciones Maras y Ayabacas; principalmente son calizas, yesos y lutitas de diferentes colores. Compuesta por secuencia de grano decreciente y estratos decrecientes de segundo orden. La evolución vertical indica un paso de facies fluvio – torrenciales con elementos ligeramente redondeados en la parte superior.
- Formación Muñani (P-mu), conformada por una alternancia de areniscas, lutitas rojas, verdes y grises con abundantes conglomerados en la parte inferior de la serie. Sobreyace a la formación Ayabacas. Las areniscas son de grano fino, medio y grueso, las areniscas arcólicas feldespáticas se encuentran en bancos de 0.10 a 2.00 m de espesor, las cuales presentan estratificación cruzada expuestas en la quebrada Unuraquina, en el sector de Qhanqaropampa y el cerro Minasniyoq. El macizo rocoso se encuentra medianamente fracturado, en la que se puede apreciar antiguas escarpas estables. En taludes elevados se producen algunos deslizamientos de material morrénico de poco volumen con pequeños flujos de lodo. El material de deslizamientos antiguos están depositados a los largo del cauce de la quebrada Unuraquina y en su cono de deyección. La edad de esta formación es del Eoceno medio – Oligoceno inferior.
- Formación Vilquechico (Ks-Vi), constituida por lutitas, limolitas y fangolitas con estratos de areniscas cuarzosas de grano fino a grueso de color naranja, rosado y gris. Las lutitas varían de marrón rojizo a beige, gris a verdoso, púrpura a negro, a pesar de que los colores no constituyen indicadores

estratigráficos seguros, los colores verde y rojo de los sedimentos afloran en zona sur del proyecto dentro de un área inferior a 0.5 Km² en contacto con la formación Tacaza.

- Formación Auzangate (KsP-au), constituida por una secuencia fina pelítica de color rojizo que se encuentra sobre la formación Vilquechico al Sur y al SO se encuentra en contacto con la formación Tacaza. Es una intercalación aparentemente monótona de limo arcillitas y areniscas arcósicas. Aflora al So de Zurite y forma lomadas en tres proporciones cuyas áreas acumuladas no superan el Km².

2.2.1.2. Vulnerabilidad

Grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una determinada magnitud. Facilidad de un elemento como; infraestructura, actividad productiva, grado de organización, sistemas de alerta entre otros; para sufrir daños humanos y materiales, que se expresa en términos de probabilidad en porcentaje de 0 a 100.

Condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se han realizado acciones de prevención y mitigación; y se ha aceptado un riesgo demasiado alto. Según el manual básico para la estimación del riesgo, los tipos de vulnerabilidad que se evalúan son ocho, los cuales son; vulnerabilidad ambiental y ecológica, física, económica, social, educativa, cultural e ideológica, científica y tecnológica.

En la tabla, se puede apreciar la estratificación de la vulnerabilidad.

Tabla 5. Estratificación de vulnerabilidad

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCIÓN O CARACTERÍSTICAS	VALOR
VB (Vulnerabilidad baja)	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con material noble o sismo resistente, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de los servicios básicos, con buen nivel de organización, participación total y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes	1 (< 25%)
VM (Vulnerabilidad media)	Viviendas asentadas en suelos de capacidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas, inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. Con material noble, en regular y buen estado de conservación. Población con un nivel de ingreso económico de medio, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura parcial de los servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes	2 (26% a 50%)

VA (Vulnerabilidad alta)	Viviendas asentadas en zonas donde esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas, con material precario, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización en marcha. Población con escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial de servicios básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencia; así como con una escasa organización, mínima participación, débil relación y una baja integración entre las instituciones y organizaciones existentes.	3 (51% a 75%)
VMA (Vulnerabilidad muy alta)	Viviendas asentadas en zonas de suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones, de materiales precarios en mal estado de construcción, con procesos acelerados de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, inexistencia de servicios básicos y accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como una nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes	4 (76% a 100%)

Fuente: (INDECI, 2006)

Según el informe de evaluación del riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco realizado en Setiembre del año 2019; presentó la estratificación de niveles de vulnerabilidad por inundación, la cual se muestra a continuación.

Tabla 6. Estratificación de niveles de vulnerabilidad por inundación

Nivel de Vulnerabilidad	Descripción	Rangos
Vulnerabilidad Muy Alta	De más de 10 personas que habitan en el lote; con personas menores de 1 año, y 65 y más; con dificultad o limitación permanente de oír, aun usando audifono, ver, aun usando anteojos; con afiliación a ningún tipo de seguro salud y con personas con ningún nivel y las personas con nivel inicial. Con viviendas muy cercanas a la zona afectada; con material de construcción predominante en las paredes exteriores de madera, triplay, calamina, estera y otro; con techos de otro material como madera, tejas, triplay, estera/carrizo; con tipo de vivienda de choza o cabaña; con tipo de procedencia del agua hacia la vivienda a través de pilón o pileta de uso público.	$0.259 \leq V \leq 0.447$
Vulnerabilidad Alta	De 7 a 10 personas que habitan en el lote; con personas menores de 1 a 14 años; con dificultad o limitación permanente de hablar o comunicarse, aun usando el lenguaje de señas u otro. Afiliado a algún tipo de seguro de salud de ESSALUD y seguro integral de salud (SIS); con nivel de educación básica especial. Con vivienda cercanas a la zona afectada; con material de construcción predominante en las paredes exteriores de la vivienda de quincha (caña con barro), piedra con barro; paja, hoja de palmera y similares; con techos de material de caña o estera con torta de	$0.162 \leq V < 0.259$

	barro; con tipo de vivienda de local no destinada para habitación humana; tipo de procedencia del agua hacia la vivienda a través de pozo	
Vulnerabilidad Media	De 4 a 6 personas que habitan en lote; con personas menores de 45 a 64 años; con dificultad o limitación permanente de moverse o caminar para usar brazos y/o piernas; afiliado a algún tipo de seguro de salud seguro de fuerzas armadas o policiales; con nivel educativo alcanzado de primaria y secundaria. Con vivienda medio cerca de la zona afectada; con vivienda con material de construcción en las paredes de quincha (caña con barro); piedra con barro; con material de construcción predominantes en los techos de la vivienda de paja, hojas de palmera y similares; con tipo de vivienda de quinta; con tipo de procedencia del agua hacia la vivienda a través de río, acequia, manantial o puquio.	$0.084 \leq V < 0.162$
Vulnerabilidad Baja	Menor de 3 personas que habitan en el lote; con personas menores de 15 a 29 años, de 30 a 44 años de edad; con dificultad o limitación permanente de entender o aprender (concentrarse y recordar), y relacionarse con los demás por sus pensamientos, sentimientos, emociones o conductas; afiliado a algún tipo de seguro de salud privado y otro; y con nivel educativo alcanzado de personas con superior no universitaria incompleta y completa, así como las personas con superior universitaria completa e incompleta, así como las personas que tienen maestría y doctorado. Con vivienda alejadas y muy alejadas a la zona afectada; con vivienda con material de construcción en las paredes de piedra o sillar con cal o cemento, y el material de ladrillo o bloque de cemento; con material de construcción predominantes en los techos de la vivienda de planchas de calamina, fibra de cemento o similares, y concreto; con tipo de vivienda de departamento en edificio, y casa independiente, y finalmente con tipo de procedencia del agua hacia la vivienda de la red pública fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación, y la red pública dentro de la vivienda	$0.048 \leq V < 0.084$

Fuente: (Municipalidad Distrital de Cachimayo, 2019)

La estratificación de vulnerabilidad por inundación, se basa en la evaluación de la vulnerabilidad de las dimensiones sociales y económicas, en las cuales se analiza la exposición, fragilidad y vulnerabilidad.

- **Dimensión social**

- **Exposición**

Contempla la cantidad de personas que habitan en un lote. Se puede estimar según intervalos de; 1 persona, 2 a 3 personas, 4 a 6 personas, 7 a 10 personas y más de 10 personas.

- **Fragilidad**

Describe el grupo etario, dificultad o limitación permanente. El grupo etario se clasifica en intervalos de; menores de 1 años y 65 años a más, 1 a 14 años, 15 a 29 años, 30 a 44 años, 45 a 64 años. Así mismo, las dificultades o limitación permanente que se consideran son; la dificultad de escuchar aún con el uso de audífonos, ver aún con el uso de anteojos, hablar o comunicarse aún utilizando el lenguaje de señas u otro, movilizarse o caminar, entender o aprender, inter relacionarse con los demás debido a los pensamientos, sentimientos, emociones, conductas e ideologías.
- **Resiliencia**

Describe la afiliación a un tipo de seguro de salud y el nivel educativo alcanzado. El tipo de seguro se puede clasificar por; ninguno, ESSALUD, SIS, seguro de fuerzas armadas o policiales, seguro privado de salud y otros seguros. El nivel educativo se puede clasificar y/o estratificar en; sin estudios, nivel inicial, básico especial, primario, secundario, superior no universitario incompleto y completo, superior universitario incompleto y completo, maestría, doctorado.
- **Dimensión económica**
 - **Exposición**

Describe la cercanía de la vivienda a la zona afectada. Dicha cercanía se puede clasificar en; muy cerca de la zona afectada, cerca, medio cerca, alejada y muy alejada de la zona afectada.
 - **Fragilidad**

Contempla el material de construcción predominante en paredes y techos de las viviendas y otras infraestructuras. Como materiales predominantes en las paredes se consideran; madera, triplay, calamina, estera, quincha (caña con barro), piedra con barro, adobe, tapia, piedra, sillar con cal o cemento, ladrillo, bloque de cemento. Entre el material predominante de los techos se puede considerar; madera, triplay, estera, carrizo, caña o estera con barro, paja, hoja de palmera, planchas de calamina, fibra de cemento, concreto armado.
 - **Resiliencia**

Contempla el tipo de vivienda y el tipo de procedencia del agua. El tipo de vivienda se puede clasificar en; choza, cabaña, local no destinado para hábitat humano, vivienda en quinta, departamento en edificio, casa independiente. En

cuanto al tipo de procedencia del agua hacia la vivienda se consideran; pilón o pileta de uso público, pozo, rio, acequia, manantial o puquio, red pública fuera de la vivienda, red pública dentro de la vivienda.

2.2.1.3. Cálculo del riesgo

Luego de haber identificado el peligro (P) y la vulnerabilidad (V) del centro poblado, se procede a calcular el riesgo; que en otras palabras es la estimación de la probabilidad de pérdidas y daños esperados. Así mismo, se debe mencionar que existen dos métodos para el cálculo del riesgo, uno de ellos es el método analítico o matemático y el segundo es el método descriptivo.

El método analítico, consiste en la aplicación de la ecuación $R = P * V$. Donde los valores del producto tienen un nivel de riesgo, como se muestra en la tabla.

Tabla 7. Niveles de riesgo

Nivel del Riesgo	Rango
Riesgo Muy Alto	$0.067 \leq R \leq 0.202$
Riesgo Alto	$0.025 \leq R < 0.067$
Riesgo Medio	$0.007 \leq R < 0.025$
Riesgo Bajo	$0.002 \leq R < 0.007$

Fuente: (Municipalidad Distrital de Cachimayo, 2019)

El método descriptivo, consiste en el uso de la matriz de doble entrada, misma que se muestra en la tabla 4. Para el uso de la matriz, previamente se debe de haber determinado la probabilidad de peligro y vulnerabilidad.

Tabla 8. Matriz de peligro y vulnerabilidad

Peligro Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

LEYENDA:

- Riesgo Bajo (< de 25%)
- Riesgo Medio (26% al 50%)
- Riesgo Alto (51% al 75%)
- Riesgo Muy Alto (76% al 100%)

Fuente: (INDECI, 2006)

Para estimar el nivel de riesgo, se debe interrelacionar la parte vertical correspondiente al nivel de peligro con la parte horizontal correspondiente al nivel vulnerabilidad, identificados previamente.

2.2.2. Consideraciones de obra longitudinal

Parte esencial de la hidráulica general, donde se estudian los componentes de los ríos como; movimiento del agua, sedimentos, influencia de la vegetación y deformación del cauce, obviando la influencia de la vegetación y vida acuática dentro del cauce (OCHOA, 2011).

2.2.2.1. Clasificación morfológica de los ríos

(APACLLA, 2014), menciona que los ríos se clasifican de tres formas según la geometría los cuales pueden ser: rectos, trenzados y meandros; tal como se describirá en las siguientes líneas.

- **Ríos rectos:** Presentan una alineación recta. Se observan con mayor frecuencia en planicies que son inadecuadas para permitir velocidades erosivas o en pendientes pronunciadas donde se pueden alcanzar altas velocidades (APACLLA, 2014).
- **Ríos trenzados:** Son ríos que generalmente se encuentran conectados aleatoriamente por diversos canales, se hallan en sectores donde la pendiente es relativamente fuerte. Este tipo de ríos generan barras formadas por los depósitos de sedimentos los cuales se producen por vegetación (APACLLA, 2014).
- **Ríos con meandros:** Un río con meandros, es aquel que presenta diversas curvas consecutivas, que pueden surgir por los diversos cambios que presenta durante el paso del tiempo, dicho tipo de cambios generalmente se produce por el tipo de material que se encuentra en los márgenes del río (APACLLA, 2014).

2.2.2.2. Erosión

La forma de la corteza terrestre, se debe a la erosión que se desarrolla progresivamente desde los tiempos geológicos; es necesario conocer que la erosión de las cuencas dan lugar a la formación de sedimentos fluviales (ROCHA, 1998).

(MARTÍN, 2001), menciona que el descenso del fondo o retroceso de las orillas en un cauce de río es la consecuencia de la erosión.

- **Transporte de sedimentos**

(OCHOA, 2011), menciona que el volumen de los sedimentos transportados por el flujo de un cauce es importante, ya que tiene altas posibilidades de influir en el comportamiento de las diversas estructuras hidráulicas. Además de tener la capacidad de hacer variar el cauce de un río e influir en la optimización de la navegabilidad.

- **Socavación**

De acuerdo con (APACLLA, 2014), los tramos de un río se encuentran sujetos a los procesos de erosión y sedimentación; los mismos que se pueden producir mediante un proceso natural o la mano del hombre llegando a reducir el ancho del cauce en el fondo y a la vez generando erosión. Debido a lo mencionado, se puede incrementar la pendiente, como en consecuencia de esto se producirá una socavación local y en caso de producirse algún cambio en diferentes tramos es posible que el cauce se acelere en otros tramos del recorrido del río.

2.2.2.3. Avenida

Las condiciones hidrometeorológicas, producen avenidas y entre las que más destaca es el proceso de precipitación dentro del ciclo hidrológico, en las cuencas (ROCHA, 1998).

- **Avenida máxima:** Más conocidos como caudales extraordinarios, los cuales tienen una recurrencia interanual y se mide por el periodo de retorno de dicha avenida (MARTÍN, 2001).

De acuerdo con (PIZARRO, y otros, 1993), se denomina caudal o gasto al volumen de agua que fluye por medio de una sección transversal por unidad de tiempo, siendo la unidad de medida más común y empleada el m^3/s . Siendo así para el Ingeniero Hidrólogo, el caudal una variable dependiente en la mayoría de los estudios, ya que la ingeniería hidrológica se dedica a estimar volúmenes de flujo o los cambios de estos valores debido a la acción del hombre (LINSLEY, y otros, 1988).

- **Método de determinación de avenida máxima**

Para (TERÁN, 1998), los métodos para determinar la avenida máxima son; método empírico, histórico, correlación hidrológica, directo o hidráulico, estadístico probabilístico, hidrológico.

- **Métodos probabilísticos**

La estimación de avenidas máximas, es posible realizar con los registros históricos de las máximas avenidas en un periodo de retorno de todas las máximas avenidas para un determinado periodo de retorno. Se presentan dos casos. Registro aceptable de 50 años, ya que en este periodo se han ocurrido avenidas de moderadas a bajas; y al extrapolar un periodo de retorno lo más probable es que de un valor bajo. El siguiente registro es para las mismas condiciones de 50 años, pero con avenidas extraordinarias. La excesiva extrapolación puede traer consigo errores de apreciación en ambos extremos. (TERÁN, 1998).

- **Método Gumbel**

Según (APARICIO, 1997), si se tienen N muestras cada una de las cuales contienen n eventos y si selecciona el máximo de x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que a medida que n aumenta la función de distribución de probabilidad de x tiende a la siguiente función:

$$F(x) = e^{-e^{-d(x-\mu)}} \quad \text{Para: } -\infty \leq x \leq \infty$$

Donde; X representa el valor a asumir por la variable aleatoria y e la constante de Neper. Los parámetros de la distribución de una muestra de tamaño finito tienden a los siguientes valores, basados en la media aritmética y la desviación estándar de la muestra:

$$d = \frac{1}{0.779696 * S}; \quad \mu = \bar{x} - 0.450047 * S$$

En la siguiente figura, se puede observar la tendencia de la función Gumbel.

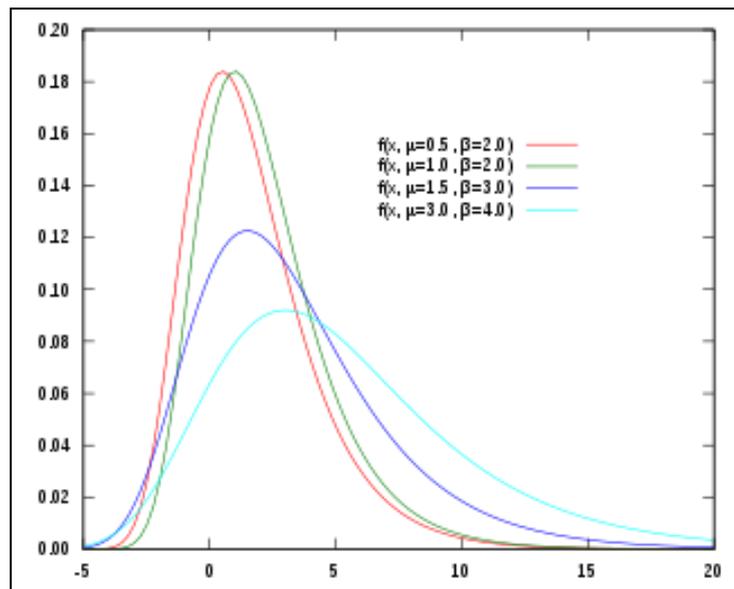


Figura 4. Distribución Gumbel

Fuente: (Wikipedia, 2020)

- **Método Log Pearson tipo III**

(CHOW, y otros, 1994), señala que esta distribución tiene gran flexibilidad y diversidad de forma, dependiendo de los valores de sus parámetros y asimilando su utilización para precipitaciones o caudales máximos anuales. La función de densidad de probabilidad Pearson tipo III se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x-\delta}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}}$$

Donde α, β, δ son los parámetros de la función y $\Gamma(\beta)$ es la función de Gamma. Los parámetros α, β, δ se evalúan a partir de n datos medios. Así mismo los parámetros de la distribución pueden ser estimados en función del promedio (\bar{x}) y la desviación estándar (S) de la muestra, por medio de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{s}{\sqrt{\beta}}; \beta = \left(\frac{2}{\gamma}\right)^2; \delta = \bar{x} - \alpha\beta$$

Donde:

γ es el coeficiente de sesgo y e constante de Neper.

En la siguiente línea se muestra como se define el coeficiente de sesgo:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^3 / n}{s^3}}$$

Y la distribución de este modelo es:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta}{\delta}\right)} \left(\frac{x-\delta}{\delta}\right)^{\beta-1} dx \quad (\text{Ecuación 8})$$

Del modo que sustituyendo se logra la siguiente función:

$$y = \frac{x - \delta_1}{\alpha_1}$$

Y finalmente la ecuación queda como:

$$F(y) = F(X^2|v) = F_{x^2}(2y|2\beta_1)$$

Los resultados de los estudios realizados anteriormente determinan que la función de Pearson tipo III, es la que mejor representa a las series de caudales mínimos intermitentes, donde se presentan descargas con valores cero. Así mismo las series de caudales mínimos permanentes se ven reflejadas en la función Logarítmica – Normal de tres parámetros.

Para ajustar distribuciones de tres parámetros, se necesita estimar el coeficiente de asimetría de la distribución y para ello es necesario disponer de una serie con longitud de registros larga, mayor de 50 años (KITE, 1988).

Mientras que las distribuciones con dos parámetros, son usualmente preferidas cuando se dispone de pocos datos ya que reducen la varianza de la muestra (ASHAKAR, y otros, 1993).

- **Método racional**

El cálculo del caudal por el método racional, depende del área de la cuenca, tal como se describe en las siguientes líneas.

- **Área de 50 a 400 ha (0.5 km² a 4 km²)**

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía

I: intensidad de precipitación en mm/h

A: área de la cuenca.

- **Área < 10 km²**

$$Q = 0.278 * CIA$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía.

I: intensidad de precipitación en mm/h

A: área de la cuenca

- **Área ≤ 770 km²**

$$Q = 0.278 * CIA * k$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía

I: intensidad de precipitación en mm/h

A: área de la cuenca

k: coeficiente de uniformidad

Una vez que se haya determinado el área y la fórmula para calcular el caudal del río, se continúa con el cálculo de los siguientes parámetros.

- **Tiempo de concentración (Tc)**

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

Donde:

L: Longitud del cauce en Km

S: Pendiente del cauce en m/m

- **Coeficiente de uniformidad (k)**

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

- **Coefficiente de simultaneidad (K_A)**

$$K_A = 1 - \log_{10} \frac{A}{15}$$

Donde:

A: Área de la cuenca en Km²

- **Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)**

$$P = k_A * P_d$$

Donde:

K_A: Coeficiente de simultaneidad

P_d: Precipitación máxima diaria del año

- **Intensidad de precipitación (I)**

$$I = \frac{P}{24} * 11^{\frac{28^{0.1} - Tc^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

- **Coefficiente de escorrentía (C)**

$$C = \frac{(Pd - Po)(Pd + 23Po)}{(Pd + 11Po)^2}$$

$$Po = \frac{5000}{CN} - 50$$

Donde:

CN: Número de curva

Po: Umbral de escorrentía

Tabla 9. *Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (AMC II)*

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas cubiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50% al 75%	49	69	79	84

Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc		98	98	98	98
Calles y carreteras:	pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	grava	76	85	89	91
	tierra	72	82	87	89

Fuente: (CHOW, y otros, 1994)

Los grupos de suelos, se describen a continuación (ARISTIZÁBAL, y otros, 2014),

Grupo A: En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas), están excesivamente drenados.

Grupo B: Cuando están muy húmedos tienen la capacidad de infiltración moderada. La profundidad del suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, franco-arcillosa o franco-limosa. Están bien o moderadamente drenados.

Grupo C: Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, franco arcillo-limosa o arcillo-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.

Grupo D: Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos).

- **Métodos para el cálculo de la precipitación media de una cuenca**

Para el cálculo de la avenida máxima, es necesario tener información de la precipitación de la cuenca donde se realizará la investigación, en el caso de utilizar el método racional para el cálculo del caudal.

La precipitación media anual, es la lámina de agua que en promedio cae al año, que se puede calcular con tres métodos, que se describen a continuación.

- **Método aritmético**

Provee buenos resultados de estimación si las estaciones pluviométricas se encuentran distribuidas uniformemente dentro de la cuenca, el área de la cuenca es plana y la variación de las medias pluviométricas entre las estaciones es pequeña (Al día - Tutoriales, 2013). Para el cual se utiliza la siguiente ecuación.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

Pi: es la precipitación puntual en la estación i.

n: número de estaciones dentro de los límites de la cuenca en estudio.

- **Método de los polígonos de Thiessen**

Se puede utilizar para una distribución no uniforme de estaciones pluviométricas, brinda mejores resultados en una cuenca plana ya que no considera influencias orográficas. (Al día - Tutoriales, 2013). Se utiliza la siguiente ecuación.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * A_i}{\sum A_i}$$

Donde:

Pi: es la precipitación puntual en la estación i

Ai: es el área en los polígonos dentro de la cuenca.

- **Método de las Isoyetas**

Método más preciso, ya que considera los efectos orográficos en el cálculo de la precipitación media dentro de la cuenca de estudio. Se basa en el trazado de curvas de precipitación, similares a las curvas de nivel (Al día - Tutoriales, 2013). En las siguientes líneas se describe el procedimiento del método, ya que se empleará en la investigación.

- Trazado de curvas de precipitación, en función a la precipitación de las estaciones dentro de la cuenca de estudio. Como se muestra en la siguiente figura.

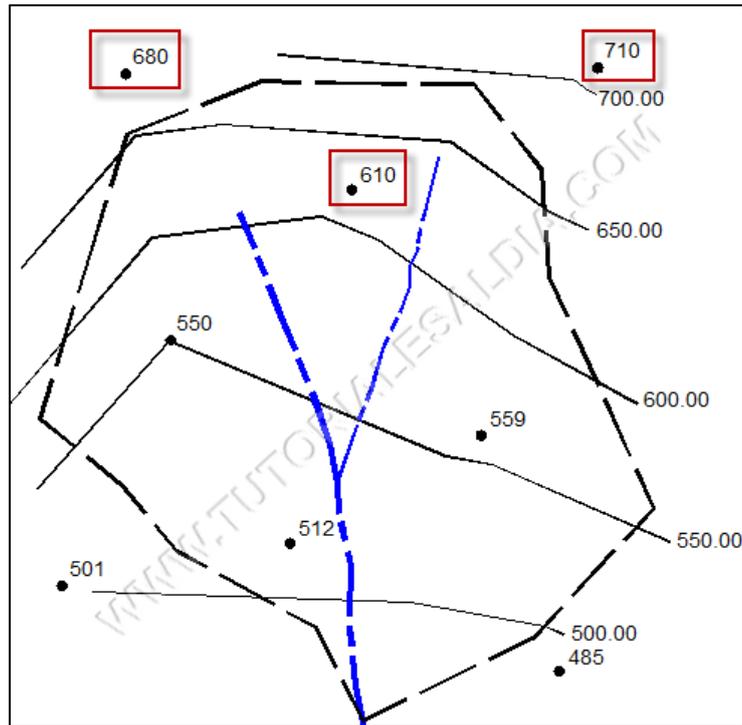


Figura 5. Trazado de curvas de precipitación
Fuente: (Al día - Tutoriales, 2013)

- Cálculo del área que se encuentra dentro de las curvas de precipitación.
- Aplicación de la ecuación del método de Isoyetas

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(P_i + P_{i+1})}{2} \right] * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:

P_i: valor de la precipitación en la Isoyeta i.

A_i: área entre las Isoyetas continuas.

n: número total de Isoyetas.

2.2.2.4. Periodo de retorno

(VILLÓN, 2002), menciona que para el caso de caudales de diseño el periodo de retorno se define como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud Q, puede ser excedido o igualado por lo menos una vez en promedio.

De este modo, si un evento igual o mayor a x ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P, es igual a 1, en T casos, es decir (LUJANO, 2019):

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T}$$

Donde:

$P(X \geq x)$: es la probabilidad de ocurrencia de un evento mayor o igual a x .

T : es el periodo de retorno.

En la siguiente tabla, se muestra el periodo de retorno de diseño recomendado para estructuras menores.

Tabla 10. *Periodo de retorno según tipo de estructura*

Estructura	Periodo de retorno (años)
Puente sobre carreteras importantes	50 – 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carreteras importantes	25
Alcantarilla sobre camino secundario	5 – 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcado con lluvia de corta duración	1 – 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 – 10
Drenaje agrícola	5 – 10
Muro de encauzamiento	2 - 50

Fuente: (VILLÓN, 2002)

Para (VELÁSQUEZ, 2014), el periodo de retorno se da en intervalos de promedio en años los cuales pueden ser: 5; 10; 20; 50; 100; 1 000; 5 000; 10 000 e intermedios. Dentro de los que puede ocurrir una avenida igual o máxima correspondiente a dicho periodo de retorno.

Según (PONCE, 2008), el periodo de retorno para obras regionales de control de inundaciones, puede variar entre los 50 y 100 años; para este caso se trabajará con un periodo de retorno de 100 años ya que son obras de protección longitudinal de la ribera del río Hatunmayo. Además se debe reconocer que, 100 años significa cuatro generaciones.

2.2.2.5. Inundación

Para (ROCHA, 1998), las inundaciones pueden ocurrir sin la presencia de una avenida máxima o evento hidrometeorológico extraordinario; pues se define como un aumento del agua por sobre el nivel normal del cauce, tomando en cuenta que el nivel normal es la elevación de la superficie del agua que no causa daños.

2.2.2. Obras longitudinales

2.2.2.1. Obras de protección ribereña

(TERÁN, 1998), menciona que son las medidas tomadas para evitar los problemas generados por la acción erosiva del agua y entre las medidas de prevención y control se tiene medidas agronómicas y estructurales, las mismas que serán detalladas en las líneas siguientes:

2.2.2.2. Medidas agronómicas

Para las medidas agronómicas se tienen defensas vivas:

- **Defensa viva – natural:** Es posible decir que son las mejores defensas contra la inundación y la erosión de un río. Viene a ser el conjunto de diversas variedades de árboles y arbustos de buena densidad que existen en ambos márgenes del cauce de un río, los cuales presentan una faja de ancho de 30 a 40m que garantiza la protección (CCONISLLA, 2017).
- **Defensa viva- forestal:** Defensa basada en la plantación de arbustos y árboles de raíces profundas, sobre las que se realiza una determinada sección estable en el cauce del río. La densidad de estas plantaciones debe estar en función a las características de las especies de árboles y arbustos (CCONISLLA, 2017).

2.2.2.3. Medidas estructurales

Medidas que consisten en estructuras diseñadas basadas en principios de ingeniería; con la finalidad de controlar la erosión producto de la escorrentía superficial. Para el aspecto del diseño, se toma en cuenta la teoría de hidrología e hidráulica (CCONISLLA, 2017).

Estas medidas estructurales pueden ser permanentes y provisionales o temporales; donde las obras longitudinales de medidas permanentes son estructuras que se construyen en base a concreto armado, ciclópeo, rocas y gaviones, su diseño y ejecución requieren conocimiento y experiencia especializada, en la mayoría de los casos se emplean para prevenir y controlar la erosión hídrica de terrenos de cultivo y otros efectos; los tipos de obras de esta medida serán descritas en el siguiente ítem. Las obras longitudinales de medidas temporales, son estructuras cuyo costo es menor y su construcción no requiere de conocimientos técnicos especializados mayores; ya que su finalidad es desviar el flujo de agua en forma relativa de los terrenos de cultivo para protegerlos, dentro de estas estructuras se encuentran los espigones, terraplenes o rayados y la limpieza del cauce que siempre es necesaria (CCONISLLA, 2017).

2.2.2.4. Tipos de obras longitudinales

2.2.2.4.1. Dique enrocado

Obra longitudinal que pretende proteger los taludes de los márgenes de los ríos. Generalmente los márgenes de los ríos están constituidos por arena y limo, por lo que es importante mantener el agua alejada los márgenes que son de fácil erosión y son severamente atacadas por las crecidas de caudales, la fuerza de arrastre ocasionando la erosión (BUIRAGO, y otros, 2013).

Para la construcción de enrocados se debe tener en cuenta el uso de piedras no redondeadas, de preferencia en forma de tabloide con espesores superiores a 100mm; las piedras pueden ser colocadas sueltas o pegadas con mortero o con concreto. En el caso de utilizar uniones de concreto se requiere la construcción de dilatación cada 10 ó 20m y debajo de la piedra es necesario colocar un manto geotextil o filtro para evitar la erosión (BUIRAGO, y otros, 2013).

Las ventajas de emplear los enrocados son: adaptación a los movimientos del terreno, reparación sencilla, se puede aumentar el espesor, controla las olas y permite la generación de vegetación (BUIRAGO, y otros, 2013).

Los enrocados pueden ser:

- **Enrocado anclado:** en el caso de que las rocas no posean el peso necesario para su estabilidad contra la corriente, para ello se puede emplear los enrocados anclados que consisten en un enrocado simple sobre el que se coloca una malla de acero galvanizado anclado con pines de acero y el tamaño de la malla debe impedir la salida de los cantos rodados o bloques (BUIRAGO, y otros, 2013).
- **Camellones o caballetes de roca:** es un dique de protección de orilla hecho de piedra, colocado a una determinada distancia hacia afuera del borde de la orilla que solo actúa como protección al momento del desborde o inundación de la corriente. Y los caballetes son apropiados para situaciones de emergencia o evitar el desborde de las corrientes (BUIRAGO, y otros, 2013).

La figura, muestra el enrocado realizado en puntos críticos del río Cañete, Lima, Perú.

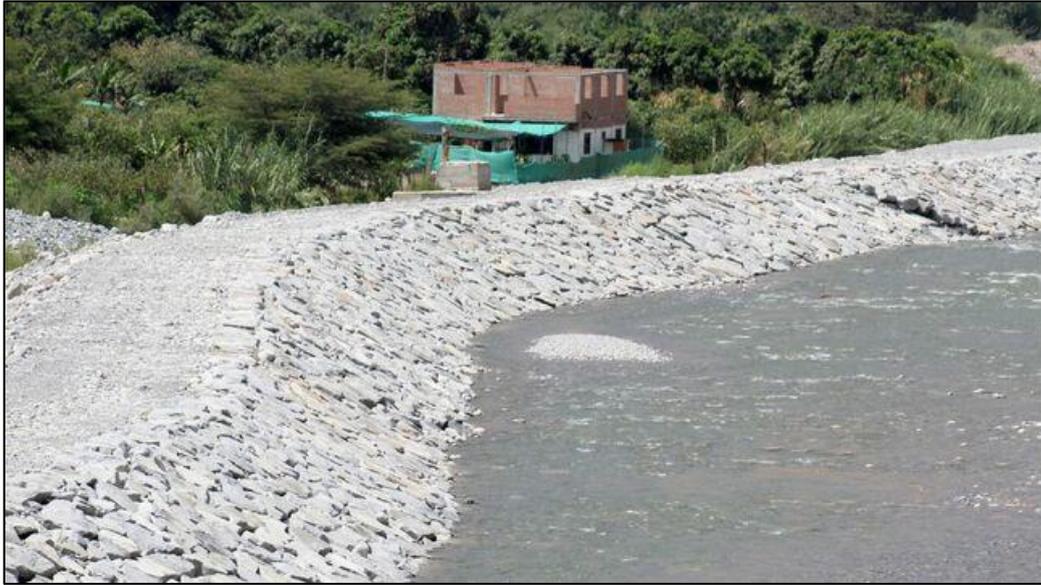


Figura 6. Enrocado en puntos críticos del río Cañete, Lima – Perú
Fuente: (Dirección Regional de Agricultura, 2020)

- **Factores a considerar para el enrocado**

Cuando se observa que se tiene la suficiente cantidad en volumen de la piedra requerida, el enrocado suele ser el más barato para la ladera de protección. El enrocado tiene muchas ventajas entre otros tipos de protección, ya que es una manta flexible y no se daña ni debilita por el movimiento ligero del lecho resultado de algunos ajustes menores.

Pueden presentarse daños locales o la pérdida de alguna sección pero esta se repara fácilmente con la colocación de más piedra en el área dañada. La construcción no es complicada por lo cual no se requiere un equipo especial o personal calificado en este rubro.

El enrocado es mayormente durable, recuperable, y puede acumularse para el uso futuro, el costo – efectividad del enrocado proporciona una alternativa viable a muchos u otros tipos de protección de ribera. Aunque el enrocado debe ponerse al nivel apropiado debajo de la cama, no hay una regla específica.

La apariencia del enrocado es natural pero con el tiempo debido al contacto con el agua esta se empieza a enverdecer con la presencia de vegetación que empieza a crecer entre las hendiduras de las piedras (QUISPE, 2005).

Para (QUISPE, 2005) los factores más importantes a ser considerados en el enrocado son:

- La durabilidad de la piedra
- La densidad de la piedra

- La velocidad (magnitud y dirección) del flujo
 - La pendiente del lecho de río
 - El ángulo de reposo de la piedra
 - La forma y angulosidad de la piedra
 - Forma y peso de piedras que deberán ser que sean estables en líneas de flujo
 - Espesor de protección requerido
 - Necesidad de filtro entre el banco y la manta para remitir la filtración y prevenir la corrosión del banco a través de la manta.
- **Diseño hidráulico**
 - **Sección estable del río**

Por el método de Blench o Altunnin, se emplea la siguiente ecuación.

$$B = 1.81 \left(\frac{Q * F_b}{F_s} \right)^{1/2}$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en m³/s

F_b: Factor de fondo. Puede ser 1.2 para material grueso y $D_m^{1/3}$ para gravas

F_s: Factor de orillas. Puede ser 0.2 para material ligeramente cohesivo. La tabla, muestra valores aproximados de F_s.

Tabla 11. Valores de F_s

Tipo de orilla	Valores de F _s
Materiales sueltos (orilla de barro y arena)	0.1
Materiales ligeramente cohesivos (orilla de barro - arcilla - fangoso)	0.2
Materiales cohesivos	0.3

Fuente: (TERÁN , 1998)

Por el método Simons y Henderson, se emplea la siguiente ecuación.

$$b = K_1 * Q^{1/2}$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en m³/s

K₁: Valores de tabla

Tabla 12. Valores de K_1

Condiciones de fondo de río	K_1
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas de grava	2.9
Fondo arena y orillas material no cohesivo	2.8

Fuente: (TERÁN, 1998)

Las condiciones de este método, están en función a la pendiente, caudal y diámetro del material del cauce; las cuales se describen a continuación.

S: 0.06 a 10%

Q: 0.15 a 250 m³/s

D_m: 0.03 a 80 mm

- **Profundidad media**

$$H = 1.02 \left(\frac{Q * F_s}{F_b^2} \right)^{1/3}$$

- **Pendiente hidráulica**

$$S = \frac{\left(\frac{0.55 * F_b^{5/6}}{F_s^{1/12}} \right)}{\left(1 + \frac{C}{233} \right) * (K * Q^{1/6})}$$

$$K = \frac{6.6 * g}{\gamma^{1/4}}$$

Donde:

S: Pendiente hidráulica en %

C: Concentración de material de fondo en 10⁻⁵

K: Factor secundario

D_m: Diámetro mediano

g: Gravedad

γ : Peso específico del agua

- **Tirante normal**

$$t = \left[\frac{Q}{K_s * b_o * S^{1/2}} \right]^{3/5}$$

Donde:

t: Tirante normal

b_o: Ancho estable del río en m

S: Pendiente en %

Ks: Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río. La tabla, muestra los valores de Ks.

Tabla 13. Valores de Ks

Descripción	Ks
Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades	40
Lechos naturales de río con acarreo regular	33 - 35
Lechos naturales de río con vegetación	30 - 35
Lechos naturales de río con derrubio e irregularidades	30
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con derrubios gruesos (piedra de tamaño de una cabeza) con acarreo inmóvil	25 - 28
Torrentes con derrubio grueso, con acarreo móvil	19 - 22

Fuente: (TERÁN , 1998)

o **Velocidad media del agua**

$$Vm = Ks * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño en m³/s

A: Área de la sección en m²

R: Radio hidráulico en m

S: Pendiente en %

Ks: Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río.

Vm: Velocidad media del agua

n: Coeficiente de rugosidad.

Tabla 14. Tabla de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n

Superficie del canal	Tierra	n ₀	0.020
	Roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Irregularidad	Suave	n ₁	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severa		0.020
Variación de la sección	Gradual	n ₂	0.000
	Ocasional		0.005
	Frecuente		0.010 - 0.015
Efecto de la obstrucción	Despreciable	n ₃	0.000
	Menor		0.010 - 0.015

	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Bajo	n ₄	0.005 - 0.010
	Medio		0.010 - 0.025
	Alto		0.025 - 0.050
	Muy alto		0.050 - 0.100
Intensidad de meandros	Menor	m ₅	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

Fuente: (ROCHA, 2007)

○ **Profundidad de socavación**

El método propuesto por L. L. List Van Lebediev se ajusta más a los trabajos en cauces naturales, para la cual se emplea la siguiente ecuación.

$$Hs = t_s - t$$

La ecuación corresponde al cálculo de tirante que corresponde a la profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva, para suelos no cohesivos

$$t_s = \left(\frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * Dm^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

Donde:

t_s: Profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva

α: Constante que están en función al caudal, tirante normal y ancho estable.

$$\alpha = \frac{Q}{b_0 * t^{5/3}}$$

t: Tirante normal en m

Dm: Diámetro medio

B: Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia. En la tabla, se muestran los valores de B.

Tabla 15. Valores de B

Probabilidad anual de que se presente el caudal de diseño	Coeficiente B
0	0.77
50	0.82
20	0.86
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Fuente: (TERÁN, 1998)

En la tabla siguiente, se muestran los valores de X y 1/x+1

Tabla 16. Valores de x y 1/x+1

Suelos cohesivos						Suelos no cohesivos					
y _d (mm)	x	1/1+x	y _d (mm)	x	1/1+x	d (mm)	x	1/1+x	d (mm)	x	1/1+x
0.80	0.52	0.66	1.20	0.39	0.72	0.05	0.43	0.70	40.00	0.30	0.77
0.83	0.51	0.66	1.20	0.38	0.72	0.15	0.42	0.70	60.00	0.29	0.78
0.86	0.50	0.67	1.28	0.37	0.73	0.50	0.41	0.71	90.00	0.28	0.78
0.88	0.49	0.67	1.34	0.36	0.74	1.00	0.40	0.71	140.00	0.27	0.79
0.90	0.48	0.67	1.40	0.35	0.74	1.50	0.39	0.72	190.00	0.26	0.79
0.93	0.47	0.68	1.46	0.34	0.75	2.50	0.38	0.72	250.00	0.25	0.80
0.96	0.46	0.68	1.52	0.33	0.75	4.00	0.37	0.73	310.00	0.24	0.81
0.98	0.45	0.69	1.58	0.32	0.76	6.00	0.36	0.74	370.00	0.23	0.81
1.00	0.44	0.69	1.64	0.31	0.76	8.00	0.35	0.74	450.00	0.22	0.83
1.04	0.43	0.70	1.71	0.30	0.77	10.00	0.34	0.75	570.00	0.21	0.83
1.08	0.42	0.70	1.80	0.29	0.78	15.00	0.33	0.75	750.00	0.20	0.83
1.12	0.41	0.71	1.89	0.28	0.78	20.00	0.32	0.76	1000.00	0.19	0.84
1.16	0.40	0.71	2.00	0.27	0.79	25.00	0.31	0.76			

Fuente: (TERÁN , 1998)

- **Cálculo estructural**

- **Profundidad de la uña**

Debido a que el material del cauce del río no es cohesivo, la profundidad de la uña es igual a t_s (profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva).

$$H_s = t_s$$

$$t_s = \left(\frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * Dm^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

Así mismo, se calcula el ancho de la uña del enrocado en la base, para la cual se emplea la siguiente ecuación.

$$A_{uña} = 1.5 * P_{uña}$$

- **Altura del muro**

$$H_m = t + Bl$$

$$Bl = \phi \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

H_m: Altura del muro en m.

t: Tirante normal

Bl: Bordo libre

v: Velocidad media del agua

g: Gravedad

ϕ : Coeficiente en función de la máxima descarga y pendiente. La tabla siguiente muestra los valores del coeficiente ϕ .

Tabla 17. Valores de ϕ

Caudal máximo m3/seg	Coeficiente
3000 - 4000	2.00
2000 - 3000	1.70
1000 - 2000	1.40
500 - 1000	1.20
100 - 500	1.10

Fuente: (TERÁN , 1998)

○ **Diámetro de la roca**

Para el cálculo del diámetro de la roca, primero se calcula el factor de corrección, luego la densidad relativa del material y finalmente el diámetro medio de la roca.

$$f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \phi}}$$

Donde:

f: Factor de corrección

α : Ángulo de talud

ϕ : Ángulo de fricción interna del material

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$$

Donde:

Δ : Densidad relativa del material

γ_s : Densidad de la roca en $\text{Kg/m}^3 = 2\ 658\ \text{Kg/m}^3$

γ : Densidad del agua en $\text{Kg/m}^3 = 1\ 000\ \text{Kg/m}^3$

$$d_{50} = \frac{b}{\Delta} * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{f}$$

Donde:

b: Factor par condiciones de mucha turbulencia, se adoptó el valor de 1.4

○ **Estabilidad del terraplén**

Para el cálculo de la estabilidad del terraplén, es necesario calcular la fuerza resistente y presión de flujo (producido por el agua)

$$R = W * \tan \phi$$

Donde:

R: Fuerza resistente en Kg/m

W: Peso del terraplén en Kg

ϕ : Ángulo de fricción interna.

En la tabla, se muestran los valores del peso específico y ángulo de fricción de suelos.

Tabla 18. Peso específico y ángulo de fricción de suelos

Clase de terreno	γ_s (Ton/m ³)	α
Tierra de terraplén	1.40	37°
Tierra de terraplén húmeda	1.60	45°
Tierra de terraplén empapada	1.80	30°
Arena seca	1.60	33°
Arena húmeda	1.80	40°
Arena empapada	2.00	25°
Légamo diluvial seco	1.50	43°
Légamo diluvial húmedo	1.90	20°
Arcilla seca	1.60	45°
Arcilla húmeda	2.00	22°
Gravilla seca	1.83	37°
Gravilla húmeda	1.86	25°
Grava de cantos vivos	1.80	45°
Grava de cantos rodados	1.80	30°

Fuente: (TERÁN, 1998)

La subpresión, se calcula con la siguiente ecuación.

$$P = \frac{P_w * H^2}{2}$$

Donde:

P: Presión del agua ejercida al terraplén.

P_w: Peso específico del agua en Kg/m³

H: Tirante de agua en m

2.2.2.4.2. Gaviones

Estructuras que consisten en una caja construida con enrejado metálico confeccionado con alambre galvanizado reforzado; los cuales son rellenos con canto rodado, piedra de cantera o el material más adecuado que se disponga en la zona, siempre y cuando se tenga la precaución de no emplear piedras o materiales que contengan óxido de hierro, excesiva alcalinidad o compuestos salinos ya cualquiera de los mencionados anteriormente pueden deteriorar el alambre a pesar de la fuerte protección de zinc (SUÁREZ, 2001).

En la siguiente figura, se puede observar una construcción de gaviones.



Figura 7. Protección de orilla con gaviones
Fuente: (BIANCHINI INGENIEROS, 2020)

Esta obra de protección se caracteriza por su flexibilidad, ya que además permite su construcción en terrenos irregulares, también presenta ventajas en cuanto a durabilidad, resistencia, economía en otras. Entre otras aplicaciones de los gaviones se encuentran: construcción de diques, protección de taludes, encauzamiento de ríos, espigones, vertederos, defensa ribereña, muros ornamentales, revestimiento de canales, muros de contención entre otros.

Los gaviones según su forma y materiales pueden ser:

- **Gaviones caja**

Estructuras tipo caja en forma de prisma rectangular, con doble malla hexagonal torcida para la colocación de piedras. También proporciona soluciones económicas ya que se pueden emplear materiales propios de la zona donde se emplee esta estructura.

- **Gaviones tipo colchón**

- Se llaman así a las estructuras cuya altura oscila entre los 0.17 y 0.30m.

- **Gavión de tierra armada**

Gavión tipo caja que presenta un panel de refuerzo fabricado con malla hexagonal de doble torsión, dicho panel está conformado por una malla uniforme y continua que es introducido en la masa del terreno garantizando un mejor desempeño en terrenos que requieren un mayor refuerzo del suelo como contención y estabilización de taludes.

Los aspectos a tener en cuenta para el diseño y construcción de gaviones son; diámetro de la malla, longitud del gavión, relleno del gavión: conseguir la mayor densidad posible.

Es así que, se propone el uso de gaviones con malla hexagonal a doble torsión con las siguientes características. En el anexo 2, se adjunta la ficha técnica de la malla hexagonal a doble torsión que cumple con las características mencionadas en las tablas 15 y 16.

Tabla 19. Gaviones caja

Gaviones caja	
Abertura de malla	10 x 12 cm
Diámetro alambre malla	2.70 mm
Diámetro alambre borde	3.40 mm
Recubrimiento	Zinc + aluminio galvanizado
Dimensiones	4.0 x 1.0 x 1.0 m
	4.0 x 1.5 x 1.0 m

Fuente: (TERÁN , 1998)

Tabla 20. Colchones reno

Colchones reno	
Abertura de malla	10 x 12 cm
Diámetro alambre malla	2.70 mm
Diámetro alambre borde	3.40 mm
Recubrimiento	Zinc + aluminio galvanizado
Dimensiones	4.0 x 1.0 x 1.0 m

Fuente: (TERÁN , 1998)

En el anexo 2, se adjunta la ficha técnica de la malla hexagonal a doble torsión que cumple con las características mencionadas en las tablas 19 y 20.

En las siguientes líneas, se describe el diseño hidráulico y el cálculo estructural de los gaviones.

- **Diseño hidráulico**

- **Sección estable del río**

La sección estable del río, se determina de la misma forma que el diseño de dique enrocado.

- **Altura de muro**

Esta dimensión también es la misma que se obtiene del diseño de dique enrocado.

- **Profundidad de socavación**

La profundidad de socavación, también es la misma que se obtenga del diseño de dique enrocado.

- **Colchón**

La longitud del colchón se calcula con la siguiente ecuación.

$$L = 2.00 * H_s$$

Donde:

H_s : Profundidad de socavación en m.

Y el espesor se calcula de la siguiente forma.

$$e = L/3$$

Donde:

L : Longitud del colchón en m.

- **Cálculo estructural**

- **Empuje activo**

$$F1 = \frac{1}{2} * \gamma * t^2$$

Donde:

$F1$: Empuje activo (agua) en Ton/m

γ : Peso específico del agua en Ton/m

t : Tirante en m, en este caso se empleó el tirante crítico

La fuerza actúa a 1/3 de la altura del muro.

$$d = \frac{H}{3}$$

- **Seguridad al deslizamiento**

Componente vertical del empuje activo

$$Ev = Ea * \sin(90^\circ + \delta - \beta)$$

Donde:

Ev : Empuje activo vertical

δ : Ángulo de fricción del terreno

β : Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal

Componente horizontal del empuje activo

$$Eh = Ea * \cos(90^\circ + \delta - \beta)$$

Donde:

Eh : Empuje activo horizontal

δ : Ángulo de fricción del terreno

β : Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal

Seguridad al volteo

$$n = \frac{[(w + Ev) \cos \alpha + Eh \sin \alpha] \tan \delta + (w + Ev) \sin \alpha}{Eh * \cos \alpha} > 1.5$$

Donde:

α : Ángulo de talud del material sobre el muro

δ : Ángulo de fricción del terreno

w : Peso de la estructura $w = \text{área} * \gamma_g$

○ **Seguridad al volteo**

Momento que produce el volteo

$$Mv = Eh * d$$

Donde:

Eh : Empuje activo horizontal

d : Altura del punto de aplicación de empuje

Momento de resistencia

$$Mr = W + Ev * S$$

Donde:

W : Peso de la estructura

Ev : Empuje vertical activo

S : Punto de aplicación de empuje

Seguridad al volteo

$$n = \frac{Mr}{Mv} \geq 1.5$$

Donde:

Mr : Momento de resistencia en Ton-m/m

Mv : Momento que produce el volteo en Ton-m/m

○ **Capacidad de soporte del suelo**

Excentricidad de la resultante

$$e = \frac{b}{2} - \frac{(Mr - Mv)}{n}$$

Donde:

e : Excentricidad de la resultante

b : Base del gavión

Mr : Momento resistente en Ton-m/m

Mv : Momento que produce el volteo en Ton -m/m

n : Resultante de las fuerzas normales a la base del muro

$$n = (W + Ev) \cos \alpha + EH \sin \alpha$$

α : Ángulo de talud del material sobre el muro =0°

Tensiones

$$G1; 2 = \frac{n}{b} * \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

$$G1; 2 < \sigma_{adm}$$

2.2.2.4.3. Dique de tierra

Estructuras construidas dentro del cauce del río, tiene el propósito de dirigir y encauzar el flujo de un río para proteger sus márgenes y rectificar su cauce; cuando la obra esta culminada la corriente fluye de manera paralela a esta estructura. Los diques marginales se utilizan con mayor frecuencia en zonas donde el cauce de un río tiene islas, márgenes irregulares, o cuando se requiere formar una nueva orilla separada a la actual (SUÁREZ, 2001).

En los ríos de planicie donde el agua escurre por un solo cauce, se emplean los diques cuando las márgenes sobre las curvas son irregulares y en el caso de utilizar espigones estos requerirán mayor volumen de obra que un solo dique. Generalmente los diques se construyen con enrocamiento y corazón de arena y grava con recubrimiento de roca o gaviones (SUÁREZ, 2001).

En la siguiente figura, se muestra un dique marginal.



Figura 8. Dique en ríos
Fuente: (INFANTE, 2018)

El diseño hidráulico del dique de tierra, contiene la sección estable del río, altura del muro y profundidad de socavación son las mismas que se calculan para el diseño del dique enrocado. A continuación, se describe el cálculo estructural del dique de tierra que consiste en verificar la estabilidad del dique.

- **Cálculo estructural**
 - **Empuje activo**

$$F1 = \frac{1}{2} * \gamma * t^2$$

Donde:

F1: Empuje activo (agua) en Ton/m

γ : Peso específico del agua en Ton/m

t: Tirante en m, en este caso se empleó el tirante crítico

○ **Seguridad al deslizamiento**

Subpresión

$$Sp = \frac{1}{2} * \gamma_w * y * b$$

Donde:

Sp: Subpresión en Ton/m

γ_w : Peso específico del agua en Ton/m

b: Ancho o base del dique en m

y: Tirante de agua

Fuerza vertical

$$\sum Fv = W - Sp$$

Donde:

Fv: Fuerzas verticales

w: Peso de la estructura $w = \text{área} * \gamma_g$

Fuerza horizontal

$$\sum Fh = Eh$$

Donde:

Eh: Empuje activo

Seguridad al deslizamiento

$$n = \frac{(\sum Fv)(\tan\varphi)}{(\sum Fh)} > 1.2$$

Fv: Fuerzas verticales que actúan sobre la estructura

Fh: Fuerzas horizontales que actúan sobre la estructura

φ : Ángulo de fricción interna del material que conforma el dique

○ **Seguridad al volteo**

Momento que produce el volteo

$$Mv = (Eh)\left(\frac{1}{3}t\right) + (Sp)\left(\frac{2}{3}b\right)$$

Donde:

Eh : Empuje activo del agua

Sp : Subpresión

t : Tirante en m, en este caso se empleó el tirante crítico

b : Ancho o base del dique en m

Momento de resistencia

$$Mr = W * \left(\frac{1}{2}b\right)$$

Donde:

W : Peso de la estructura

b : Ancho o base del dique en m

Seguridad al volteo

$$n = \frac{Mr}{Mv} \geq 1.3$$

Donde:

Mr : Momento de resistencia en Ton-m/m

Mv : Momento que produce el volteo en Ton-m/m

o **Capacidad de soporte del suelo**

Excentricidad de la resultante

$$e = \frac{b}{2} - \frac{(Mr - Mv)}{n}$$

Donde:

e : Excentricidad de la resultante

b : Base del gavión

Mr : Momento resistente en Ton-m/m

Mv : Momento que produce el volteo en Ton -m/m

n : Resultante de las fuerzas normales a la base del muro

$$n = (W + Ev) \cos \alpha + EH \sin \alpha$$

α : Ángulo de talud del material sobre el muro =0°

Tensiones

$$G1;2 = \frac{n}{b} * \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

$$G1;2 < \sigma_{adm}$$

2.2.3. Aplicación del modelo de simulación HEC – RAS

El programa fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos. El HEC – RAS, es un modelo hidráulico diseñado para colaborar con el análisis de canales

de flujo y la determinación de la superficie de la inundación. Cabe resaltar, que los resultados obtenidos se pueden aplicar en el manejo de la superficie de inundación, sistemas de alertas tempranas y diseños de obras de protección contra inundaciones (LÓPEZ, 2017).

El procedimiento que utiliza el modelo, para el cálculo de perfiles de agua, parte de la suposición de que el flujo varía gradualmente el cual es conocido como el método del paso directo; siendo el procedimiento de cálculo básico una solución iterativa de la ecuación de la energía. El objetivo del método del paso directo es calcular la elevación de la superficie de agua en las secciones adyacentes. Es así que si los cálculos proceden de arriba hacia abajo o de forma inversa, depende del régimen del caudal y por último el número de Froude es el que caracteriza el régimen del flujo (LÓPEZ, 2017).

Para el caso de un flujo subcrítico, generalmente característico de canales naturales, los cálculos inician en el extremo inferior del tramo; es decir aguas arriba y el progreso es en las secciones adyacentes. Mientras que para el caso de un flujo supercrítico, los cálculos inician agua arriba y el progreso es aguas abajo (LÓPEZ, 2017).

En la siguiente figura, se puede apreciar la ventana de inicio del HEC – RAS.

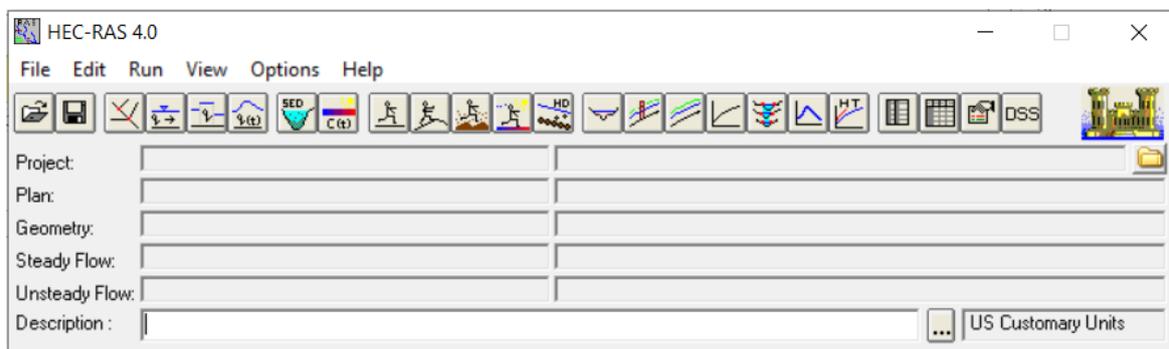


Figura 9. Ventana de inicio del HEC – RAS
Fuente: HEC – RAS

2.3. Definición de términos básicos

- **Caudal:** Cantidad de agua que emana o corre; cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo (RAE, 2005).

Medición que no se registra directamente, a pesar de ser una de las variables más importantes de los estudios hidrológicos; razón por la cual se registra el nivel de agua y el caudal se deduce por medio de una curva de calibración, incluso haciendo la medición de velocidad y profundidad de la sección del cauce de un río (CHOW, y otros, 1994)

- **Inundación:** Acción y efecto de inundar con agua cubriendo los terrenos y a veces las poblaciones (RAE, 2005).
- **Periodo de retorno:** Representación usada para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado, y en la presente investigación se utiliza para mostrar la probabilidad de que se presente una avenida con determinado caudal o superior en un año cualquiera (Wikipedia, 2020).
- **Obras longitudinales:** Obras localizadas en las laderas de los cauces del río, con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente de agua, existen revestimientos de hormigón o asfalto, mantas de hormigón, sacos de arena o cemento, escollera cogida con mortero y revestimiento flexible con escollera o rip rap, bloques de hormigón prefabricados y vegetación (BUITRAGO, y otros, 2013)
- **Precipitación:** Agua procedente de la atmósfera y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra (RAE, 2005).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Método de investigación

Según (SÁNCHEZ, y otros, 2015), afirma que el método es el proceso de indagación para tratar un conjunto de problemas que no conocemos y es la manera sistematizada de hacer uso del pensamiento reflexivo; incluyendo la solución de problemas de la sociedad que aún no han sido investigados o llevan hacia otra dirección.

En ese sentido, la presente investigación es científica ya que se desarrolló de manera organizada y sistemática la información, al igual que los resultados procesados y obtenidos para su respectiva presentación en el presente informe de investigación.

3.1.2. Alcance de investigación

(HERNÁNDEZ, y otros, 2014), menciona sobre la posibilidad de contar con más de un nivel de investigación, según requiera el nivel de investigación, motivo por el cual la presente investigación corresponde al nivel de investigación: descriptivo – correlacional.

(VALDERRAMA, 2002), menciona que el nivel de investigación descriptivo, requiere considerable conocimiento del área de estudio además de ofrecer la posibilidad de predicciones. Para el cual, se aplicaron los conocimientos referentes a hidrología e hidráulica para el cálculo del caudal del río Hatunmayo para el periodo de retorno de 100 años y para el diseño de las obras longitudinales para la faja marginal del río Hatunmayo.

(HERNÁNDEZ, y otros, 2014), mencionan que la investigación correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. En este caso la correlación se desarrolló entre el análisis de caudal y las obras longitudinales (diques, espigones, gaviones y enrocados) o de protección que se pretenden colocar en la faja marginal del río Hatunmayo.

3.1.3. Tipo de investigación

De acuerdo con (RAMÍREZ, 2010), la investigación aplicada utiliza la teoría para la solución de problemas concretos y se encuentra relacionada de manera directa con la investigación pura, ya que las teorías que descubre esta última permiten la estructuración de soluciones concretas a problemas de la realidad.

Razón por la cual, en la presente investigación se aplicaron los conocimientos teóricos y prácticos, para el análisis del caudal del río Hatunmayo que pertenece a la jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta, Cusco, en diferentes periodos de retorno y su relación con la idealización de colocación de obras longitudinales o de protección para evitar el riesgo por inundaciones en las zonas aledañas al río Hatunmayo.

3.2. Diseño de la investigación

Para (ORELLANA, 2014), el diseño no experimental observa los fenómenos tal y como ocurren en su contexto o ambiente natural y el investigador no tiene el control sobre las variables y tampoco puede influir sobre ellas. Para el cual, la recolección de datos y el alcance del estudio es transversal ya que la recolección de datos se realizó en un determinado momento.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Según (CASTRO, 2016), la población es la totalidad de elementos que conforman la realidad que se va a investigar. En se sentido, la investigación la población está compuesta por el Río Hatunmayo: tramo desde la frontera del distrito de Pucyura Km: 0+000 hasta la frontera con el distrito de Poroy Km: 6+457.627, dentro de la jurisdicción distrito Cachimayo, provincia de Anta y departamento de Cusco.

3.3.2. Muestra

Según (CASTRO, 2016), la muestra es parte de la población la cual se selecciona por métodos diversos y representa a la población. Para el cual la muestra de la investigación es no probabilística y por conveniencia ya que se realizarán los estudios en una longitud de 1 Km del trayecto del río Hatunmayo, desde el Km 4+000 sector recreo Pampa, hasta el Km 5+000 sector de Maranhuaycco. Debido a la accesibilidad y cercanía del río, para la toma de datos.

En lo que respecta al trabajo se realizaron actividades de evaluación del cauce del río sobre una longitud de 1 km como, levantamiento topográfico, perfil y secciones, análisis hidrológico, aplicación de metodologías de cálculo de máximas avenidas y modelamiento en el programa HEC-RAS para determinar áreas de inundación, digitalización de la cuenca de estudio, planos a curvas de nivel, ubicación de coordenadas, identificación de los problemas de contaminación, ubicación de puntos y/o hitos de la faja en función al área de terreno libre, construcciones, puentes y obras existentes. Así mismo, se determinó el ancho de la faja marginal del río Hatunmayo y la fijación de los caminos de vigilancia que es variable en ambos márgenes del río, donde el cumplimiento de la conservación de la faja marginal del río depende que las autoridades respeten y hagan respetar las normas.

En las siguientes figuras, se puede apreciar el estado actual del tramo de 1Km del trayecto del río Hatunmayo.



Figura 10. Bloqueo del cauce del río sin delimitación de faja marginal- Sector de recreo pampa
Fuente: Propia



Figura 11. Bloqueo del cauce del río – sector de Cajamarca
Fuente: Propia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Observación directa

Técnica que consiste en determinar las propiedades mediante la percepción al momento de la toma de datos, en ese sentido esta técnica tiene mayor relevancia cuando se realiza la visita a campo y se discute en función a los resultados obtenidos de la investigación.

3.4.2. Análisis de documentos

Consiste en recopilar información bibliográfica, la cual puede ser material físico o digital, los datos se utilizan para elaborar una metodología que permita la organización de dicha información, como también para realizar la estimación del caudal del río en estudio.

3.4.3. Trabajo de gabinete

Consiste en el procesamiento de datos, el cual procede con el ordenamiento de datos de la precipitación en la zona de estudio, para la posterior obtención del caudal del río Hatunmayo que se encuentra en la jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta - Cusco, seguidamente se realizaran las estimaciones del caudal para diferentes periodos de retorno junto a los diseños de obras longitudinales de protección como los diques, gaviones, enrocados y espigones con el apoyo del modelo de simulación del HEC – RAS.

3.4.4. Análisis de confiabilidad y validez

La confiabilidad de un cuestionario se refiere a la consistencia de las puntuaciones obtenidas por las mismas personas, cuando se las examinan en distintas ocasiones con los mismos cuestionarios.

La validez un instrumento de medición es válido cuando mide aquello para lo cual está destinado tiene que ver con lo mide el cuestionario y cuan bien lo hace.

Para la investigación, la validez y confiabilidad de los resultados proviene de los registros históricos de precipitación que se obtuvieron de la estación meteorológica automática Anta Ancachuro, de la base de datos de SENAMHI; donde los registros de precipitación se obtienen por medio de instrumentos previamente calibrados y ubicados en zonas estratégicas para la recopilación de datos meteorológicos precisos. Razón por la cual, los resultados son confiables y válidos ya que los registros históricos se obtuvieron de la base de datos de SENAMHI.

En cuanto al diseño de las obras longitudinales, se consideraron válidas y confiables, ya que se realizó la simulación del caudal del río para el periodo de retorno de 50 y 100 años; así como también la simulación con las obras longitudinales diseñadas en el programa HEC-RAS.

3.4.4.1. Validez

(MARTÍNEZ, 2006), menciona que la validez tiene alto nivel en la medida que los resultados reflejan una vista completa, clara y representativa de la realidad o situación estudiada. En la tabla, se muestran los rangos de validez.

Tabla 21. Rangos de validez

Rango de validez	Interpretación
0.81 - 1.00	Muy alta
0.61 - 0.80	Alta
0.41 - 0.60	Media
0.21 - 0.40	Baja
0.00 - 0.20	Muy baja

Fuente: (RUÍZ, 2002)

En el Anexo 3, se adjuntan las fichas de validez de recolección de datos.

3.4.4.2. Confiabilidad

Respecto a la confiabilidad, (MARTÍNEZ, 2006) menciona que una investigación es estable cuando segura, congruente, estable e igual para diferentes tiempos y previsible

para el futuro. Donde la confiabilidad tiene dos caras; la confiabilidad interna cuando los investigadores estudian la misma realidad concuerda en las conclusiones y la confiabilidad externa cuando los investigadores estudian una realidad en situaciones y/o tiempos diferentes obtienen los mismos resultados. La tabla muestra los rangos de confiabilidad.

Tabla 22. Rangos de confiabilidad

Rango de confiabilidad	Interpretación
0.81 - 1.00	Muy alta
0.61 - 0.80	Alta
0.41 - 0.60	Media
0.21 - 0.40	Baja
0.00 - 0.20	Muy baja

Fuente: (RUÍZ, 2002)

3.5. Procedimiento

El procedimiento de la investigación partió de la recolección de información en campo como el levantamiento topográfico, luego se recolectó la información hidrometeorológica de la zona de estudio. Para continuar con el trabajo en gabinete, donde se organizó la información obtenida para el cálculo del caudal de diseño, el diseño geométrico, hidráulico y cálculo estructural de las obras longitudinales en el río Hatunmayo. Sin olvidar de la estimación del riesgo por inundación en la zona de estudio.

3.6. Método de análisis de datos

Los datos se analizaron con la ayuda del programa Ms – Excel, así como también se emplearon programas como Hidroesta 2 para comprobar el caudal de diseño en el río Hatunmayo y HEC – RAS para la simulación del caudal de diseño del río y la simulación de las obras longitudinales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Análisis del caudal del río Hatunmayo

El cálculo del caudal del río, se inició con la información de la precipitación máxima diaria para aplicar el método racional. Así mismo, se debe mencionar que el análisis del caudal del río Hatunmayo se reconoce como el diseño hidrológico en la investigación.

En el anexo 4 se adjunta; el registro histórico de la precipitación máxima diaria desde el año 2000 a 2020 (21 años de registro), correspondiente a la estación meteorológica convencional de Anta – Ancachuro, que es la estación más cercana a la zona de estudio.

A continuación, se describe el cálculo del caudal del río Hatunmayo por el método racional. Este método, depende del área de la cuenca. Es por ello que se delimitó la microcuenca del río Hatunmayo y se obtuvo el área de 44.54 Km², para la cual se utilizó la siguiente ecuación.

$$Q = 0.278 * CIA * k$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía.

I: intensidad de precipitación (mm/h).

A: área de la cuenca.

k: coeficiente de uniformidad

En las siguiente líneas, se describen os parámetros necesarios para obtener el caudal de la microcuenca del río Hatunmayo.

- **Tiempo de concentración (Tc)**

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

Donde:

L: Longitud del cauce en Km = 6.460 km.

S: Pendiente del cauce en m/m

$$S = \frac{3495.220 - 3424.165}{6.460 * 1000}$$

$$S = 0.0110 \text{ m/m}$$

$$\therefore T_c = 0.3 * \left(\frac{6.460}{0.01110^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$\therefore T_c = 2.918 \text{ horas}$$

- **Coeficiente de uniformidad (k)**

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

$$k = 1.214$$

- **Coeficiente de simultaneidad (K_A)**

$$K_A = 1 - \log_{10} \frac{A}{15}$$

Donde:

A: Área de la cuenca: 44.54 Km²

$$\therefore K_A = 0.527$$

- **Precipitación máxima corregido sobre la cuenca (P)**

$$P = k_A * P_d$$

Donde:

K_A: Coeficiente de simultaneidad

P_d: Precipitación máxima diaria del año

$$P = 0.527 * 25.5$$

$$\therefore P = 13.4472$$

- **Intensidad de precipitación (I)**

$$I = \frac{P}{24} * 11^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

$$I = \frac{13.4472}{24} * 11^{\frac{28^{0.1} - 2.918^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

$$\therefore I = 3.1058$$

- **Coeficiente de escorrentía (C)**

$$C = \frac{(P_d - P_o)(P_d + 23P_o)}{(P_d + 11P_o)^2}$$

$$P_o = \frac{5000}{CN} - 50$$

Donde:

CN: Número de curva

P_o: Umbral de escorrentía

Según la tabla 9, se seleccionó el número de curva (CN) de 71 ya que los terrenos adyacentes al río Hatunmayo son cultivos y el suelo tiene una moderada infiltración,

se seleccionó la tierra cultivada con tratamiento de conservación y el grupo hidrológico B.

$$\therefore P_o = \frac{5000}{71} - 50$$

$$\therefore P_o = 20.423$$

$$\therefore C = \frac{(25.55 - 20.423)(25.55 + 23(20.423))}{(25.55 + 11(20.423))^2}$$

$$\therefore C = 0.040$$

- **Cálculo del caudal**

$$Q = 0.278 * CIA * k$$

$$\therefore Q = 0.278 * 0.040 * 3.1058 * 44.54 * 1.214$$

$$\therefore Q = 1.876 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla siguiente, se muestra el cálculo del caudal por cada año de registro histórico. Como también los parámetros correspondientes por año.

Tabla 23. Cálculo del caudal del río Hatunmayo

AÑO	Máx. 24 h	Tc (h)	K	K _A	P	I	C	Q
	mm	Tiempo de concentración	Coefficiente de uniformidad	Coef. De simultaneidad	PP máx. corregida de la cuenca	Intensidad de la precipitación	Coefficiente de escorrentía	Caudal
2000	25.5	2.918	1.214	0.527	13.4472	3.1058	0.040	1.876
2001	31.0	2.918	1.214	0.527	16.3476	3.7757	0.081	4.600
2002	26.7	2.918	1.214	0.527	14.0800	3.2520	0.049	2.411
2003	39.1	2.918	1.214	0.527	20.6190	4.7623	0.137	9.780
2004	30.8	2.918	1.214	0.527	16.2421	3.7514	0.080	4.489
2005	27.8	2.918	1.214	0.527	14.6601	3.3860	0.058	2.932
2006	51.6	2.918	1.214	0.527	27.2108	6.2848	0.213	20.122
2007	32.9	2.918	1.214	0.527	17.3495	4.0071	0.095	5.695
2008	27.9	2.918	1.214	0.527	14.7128	3.3982	0.058	2.980
2009	27.8	2.918	1.214	0.527	14.6601	3.3860	0.058	2.932
2010	41.2	2.918	1.214	0.527	21.7265	5.0181	0.150	11.331
2011	29.8	2.918	1.214	0.527	15.7148	3.6296	0.072	3.948
2012	39.5	2.918	1.214	0.527	20.8300	4.8110	0.139	10.069
2013	27.2	2.918	1.214	0.527	14.3437	3.3129	0.053	2.644
2014	35.5	2.918	1.214	0.527	18.7206	4.3238	0.113	7.316
2015	38.3	2.918	1.214	0.527	20.1972	4.6649	0.131	9.211
2016	47.0	2.918	1.214	0.527	24.7850	5.7245	0.186	16.015
2017	36.2	2.918	1.214	0.527	19.0897	4.4091	0.117	7.776
2018	27.4	2.918	1.214	0.527	14.4491	3.3373	0.055	2.739
2019	32.0	2.918	1.214	0.527	16.8749	3.8975	0.088	5.167
2020	31.7	2.918	1.214	0.527	16.7167	3.8610	0.086	4.994

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el caudal del río Hatunmayo, se procedió a estimar el caudal para diferentes periodos de retorno de 50 y 100 años. Se empleó el método Gumbel y Nash de los cuales, el método Gumbel evidenció mayor valores, tal como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 24. Caudal para diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno	Caudal (m ³ /s)	
	M. Gumbel	M. Nash
Qd (0a)	6.62	
Qd(10a)	19.65	16.15
Qd(20a)	22.74	19.35
Qd(50a)	26.83	23.55
Qd(100a)	29.93	26.74

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en el anexo 5 se adjunta el cálculo del caudal por el método Gumbel y Nash y las respectivas capturas de la comprobación con el programa Hidroesta 2.

Es así que, se usó el caudal para el periodo de retorno de 100 años, obtenido por el método Gumbel ya que los valores fue 29.96 m³/s según el programa Hidroesta 2.

Por otro lado, se debe mencionar que también se realizó el levantamiento topográfico del cauce del río, cuyas secciones transversales se adjuntan en el anexo 6. En el anexo 7, se adjuntan las secciones del río Hatunmayo, simuladas para el periodo actual y para el periodo de retorno de 100 años y en el anexo 8, se adjuntan las tablas de resultados de la simulación en el programa HEC – RAS versión 4.0, correspondientes a los periodos de retorno de 0 y 100 años.

4.1.2. Riesgo por inundación en el río Hatunmayo

4.1.2.1. Peligro

La precipitación acumulada trimestral para el último año (2020) fue 501.9 mm. La geomorfología del distrito de Cachimayo, en el que se encuentra el río Hatunmayo corresponde al tipo vertiente o pie de monte coluvio – deluvial (V-cd). La pendiente en el tramo de estudio de los 6420Km del río Hatunmayo fue 0.011 m/m equivalente a 1.1% y la pendiente del distrito de Cachimayo en donde se encuentra el tramo de muestra de la investigación es menor a 5°, razón por la cual el tipo de pendiente en la zona de estudio corresponde a una pendiente menor a 5°. Y la geología de la zona estudio corresponde a la formación Chincheros (NQ-chi).

Tabla 25. Factores del peligro de inundación

Factor desencadenante	Umbral de precipitación	Precipitación acumulada trimestral: 501.9 mm
Factores condicionantes	Geomorfología	Vertiente o pie de monte coluvio - deluvial (V-cd)
	Pendiente	< a 5°
	Geología	Formación chincheros (NQ-chi)

Fuente: Elaboración propia

Es así que según la tabla 3 del marco teórico, el nivel de peligro de inundación de la zona de estudio corresponde al peligro medio (Peligro = 0.153)

En el anexo 9, se adjunta la tabla de precipitación trimestral correspondiente al año 2020 y en el anexo 10 y 11 se adjunta el mapa de peligro de inundación fluvial del río Hatunmayo y el mapa geodinámica del río donde se puede observar zona de inundación; según el informe de Informe de evaluación del riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco.

4.1.2.2. Vulnerabilidad

Según el informe de evaluación del riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco; la exposición, fragilidad y resiliencia de la dimensión social y económica se describe en la tabla siguiente, la cual contempla las características más predominantes en el distrito de Cachimayo.

Tabla 26. Dimensiones de la vulnerabilidad

Dimensión social	Exposición	Cantidad de personas que habitan en un lote	-
	Fragilidad	Grupo etario	1 a 14 años, 15 a 29 años y 30 a 44 años
		Dificultad o limitación permanente	-
	Resiliencia	Tipo de seguro de salud	SIS, ESSALUD, ninguno
Nivel educativo		Secundaria, primaria, superior no universitario incompleto	
Dimensión económica	Exposición	Cercanía a la zona afectada	-
	Fragilidad	Material de construcción en paredes	Adobe, ladrillo o bloque de cemento
		Material de construcción en techos	Tejas, concreto armado, planchas de calamina
	Resiliencia	Tipo de vivienda	-
Tipo de procedencia del agua		Pilón o pileta, red pública fuera y dentro de la vivienda	

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 6, el nivel de vulnerabilidad de la zona de estudio corresponde al nivel alto de vulnerabilidad (Vulnerabilidad = 0.259)

En el anexo 12 se adjunta el mapa de vulnerabilidad del distrito de Cachimayo obtenido del informe de evaluación del riesgo por inundación en fluvial del río Hatunmayo en el distrito de Cachimayo.

4.1.2.3. Riesgo

Por el método matemático, el riesgo por inundación se obtuvo con la siguiente ecuación.

$$R = P * V$$
$$\therefore R = 0.153 * 0.259$$
$$\therefore R = 0.039$$

Cuyo valor corresponde a un nivel de riesgo alto, según la tabla 7 de niveles de riesgo del marco teórico. Y según la tabla 8 de matriz de peligro y vulnerabilidad el riesgo fue medio. Considerando el método matemático o analítico, el riesgo alto, se puede controlar en función a las consecuencias y frecuencia.

4.1.3. Diseño de dique enrocado en el río Hatunmayo

Para el diseño del dique enrocado, se desarrolló el diseño hidráulico del cual se obtuvo la sección del dique enrocado, posteriormente se desarrolló el cálculo estructural del cual se obtuvo la profundidad de la uña, diámetro medio de la roca y la estabilidad. Tal como se muestra a continuación.

4.1.3.1. Diseño hidráulico

- **Sección estable del río**

Por el método de Blench o Altunnin, se empleó la siguiente ecuación.

$$B = 1.81 \left(\frac{Q * F_b}{F_s} \right)^{1/2}$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en m³/s = 29.96 m³/s

F_b: Factor de fondo. Puede ser 1.2 para material grueso y $D_m^{1/3}$ para gravas

F_s: Factor de orillas. Puede ser 0.2 para material ligeramente cohesivo. De la tabla 11, se seleccionó el valor de F_s igual a 0.1 correspondiente a materiales sueltos como orilla de barro y arena.

Según la visita a campo, se puede establecer que el material de fondo encontrado fue material grueso y en la orilla se encontraron materiales sueltos como barro y arena. Entonces, los valores de F_b y F_s serían 1.2 y 0.10 respectivamente.

$$\begin{aligned}\therefore B &= 1.81 \left(\frac{29.96 * 1.2}{0.10} \right)^{1/2} \\ \therefore B &= 34.32 \text{ m}\end{aligned}$$

Por el método Simons y Henderson, se empleó la siguiente ecuación.

$$b = K_1 * Q^{1/2}$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en $\text{m}^3/\text{s} = 29.96 \text{ m}^3/\text{s}$

K_1 : Valores de tabla. Se empleó la tabla 12, de la cual se eligió el valor de K_1 igual a 3.6 correspondiente a fondo y orillas de material cohesivo.

Las condiciones de este método, están en función a la pendiente, caudal y diámetro del material del cauce; las cuales se describen a continuación.

S: 0.06 a 10%

Q: 0.15 a 250 m^3/s

D_m : 0.03 a 80 mm

$$\begin{aligned}\therefore b &= 3.60 * 29.96^{1/2} \\ \therefore b &= 19.70 \text{ m}\end{aligned}$$

De acuerdo a los cálculos realizados, el método de Blench o Altunnin se acerca más a lo observado en campo, por lo cual el ancho estable del río se consideró 34.50 m.

- **Profundidad media**

$$\begin{aligned}H &= 1.02 \left(\frac{Q * F_s}{F_b^2} \right)^{1/3} \\ \therefore H &= 1.02 \left(\frac{29.96 * 0.10}{1.2^2} \right)^{1/3} \\ \therefore H &= 1.30 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Pendiente hidráulica**

$$S = \frac{\left(\frac{0.55 * F_b^{5/6}}{F_s^{1/12}} \right)}{\left(1 + \frac{C}{233} \right) * (K * Q^{1/6})}$$

$$K = \frac{6.6 * g}{\gamma^{1/4}}$$

Donde:

S: Pendiente hidráulica en %

C: Concentración de material de fondo en $10^{-5} = 500$

K: Factor secundario

D_m : Diámetro mediano = 5 mm

g: Gravedad

γ : Peso específico del agua

$$\therefore K = \frac{6.6 * 9.81}{1.00^{1/4}}$$

$$\therefore K = 64.75$$

$$\therefore S = \frac{\left(\frac{0.55 * 1.2^{5/6}}{0.10^{1/12}} \right)}{\left(1 + \frac{500}{233} \right) * (64.75 * 29.96^{1/6})}$$

$$\therefore S = 0.00216 \text{ m/m}$$

$$\therefore S = 0.216\%$$

- **Tirante normal**

$$t = \left[\frac{Q}{Ks * bo * S^{1/2}} \right]^{3/5}$$

Donde:

t: Tirante normal

bo: Ancho estable del río en m. = 34.50 m

S: Pendiente en % = 0.216%

K_s : Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río. Según la tabla 13, se seleccionó el valor de 30 para K_s , correspondiente a lechos naturales de río con derrubio e irregularidades.

$$\therefore t = \left[\frac{29.96}{30 * 34.50 * 0.00216^{1/2}} \right]^{3/5}$$

$$\therefore t = 0.75 \text{ m}$$

- **Velocidad media del agua**

$$Vm = Ks * R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño en $m^3/s = 29.96 m^3/s$

A: Área de la sección en m^2 . Según el levantamiento topográfico, se obtuvo el área de la sección transversal igual a $33.45 m^2$.

R: Radio hidráulico en m

S: Pendiente en % = 0.216%

Ks: Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río.

Vm: Velocidad media del agua

n: Coeficiente de rugosidad. Según la tabla 14, se obtuvo el coeficiente de rugosidad igual a 0.049.

Primero, se calculó el radio hidráulico con la segunda ecuación, y así posteriormente se obtuvo la velocidad media del agua con la primera ecuación.

$$\therefore R^{2/3} = \frac{29.96 * 0.049}{33.45 * 0.00216^{1/2}}$$
$$R = 0.92 m$$

$$\therefore Vm = 30 * 0.92^{2/3} * 0.00216^{1/2}$$
$$\therefore Vm = 1.31 m/s$$

- **Profundidad de socavación**

El método propuesto por L. L. List Van Lebediev se ajusta más a los trabajos en cauces naturales, para la cual se emplea la siguiente ecuación.

$$Hs = t_s - t$$

La ecuación corresponde al cálculo de tirante que corresponde a la profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva, para suelos no cohesivos

$$t_s = \left(\frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * Dm^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

Donde:

ts: Profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva

α : Constante que están en función al caudal, tirante normal y ancho estable.

$$\alpha = \frac{Q}{b_0 * t^{5/3}}$$
$$\therefore \alpha = \frac{29.96}{34.50 * 0.75^{5/3}}$$
$$\therefore \alpha = 1.40$$

t: Tirante normal en m = 0.75 m

D_m : Diámetro medio = 5 mm

B : Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia. De la tabla 15, se seleccionó el valor para el coeficiente B de 0.82. Y de la tabla 16, se seleccionó el valor de 0.74 para $1/1+x$ correspondiente al diámetro medio de la partícula de 5mm.

$$\therefore t_s = \left(\frac{1.40 * 0.75^{5/3}}{0.68 * 5^{0.28} * 0.82} \right)^{0.74}$$

$$\therefore t_s = 0.99 \text{ m} = 1.00 \text{ m}$$

$$\therefore H_s = 1.00 - 0.75$$

$$\therefore H_s = 0.25 \text{ m}$$

De este modo, la profundidad de socavación indica la profundidad de excavación y hasta donde debe llegar la cimentación de las estructuras.

4.1.3.2. Cálculo estructural

- **Profundidad de la uña**

Debido a que el material del cauce del río no es cohesivo, la profundidad de la uña es igual a t_s (profundidad a la que se desea evaluar la velocidad erosiva).

$$H_s = t_s$$

$$t_s = \left(\frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * D_m^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

$$\therefore t_s = \left(\frac{1.40 * 0.75^{5/3}}{0.68 * 1500 * 0.82} \right)^{0.74}$$

$$\therefore t_s = 0.30 \text{ m}$$

Con la finalidad de uniformizar la profundidad de uña y la profundidad de socavación. Se consideró la profundidad de socavación igual a 0.50 m para tramos rectos y curvos.

Así mismo, se calcula el ancho de la uña del enrocado en la base, para la cual se empleó la siguiente ecuación.

$$A_{u\tilde{n}a} = 1.5 * P_{u\tilde{n}a}$$

$$\therefore A_{u\tilde{n}a} = 1.5 * 0.50$$

$$\therefore A_{u\tilde{n}a} = 0.75 \text{ m}$$

- **Altura del muro**

$$H_m = t + Bl$$

$$Bl = \phi \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Donde:

Hm: Altura del muro en m.

t: Tirante normal = 0.75 m

Bl: Bordo libre

v: Velocidad media del agua = 1.31 m/s

g: Gravedad

ϕ : Coeficiente en función de la máxima descarga y pendiente. La tabla 17, muestra los valores del coeficiente ϕ . Como el caudal de diseño obtenido fue 29.96 m³/s, se optó por considerar el coeficiente 1.10 para el caudal que oscila entre 100 y 500 m³/s, para obtener un diseño más conservador.

$$\therefore Bl = 1.10 \left(\frac{1.31^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$\therefore Bl = 0.096 \text{ m} = 0.15 \text{ m}$$

$$\therefore H_m = 0.75 + 0.15$$

$$\therefore H_m = 0.90 \cong 2.00 \text{ m}$$

- **Diámetro de la roca**

Para el cálculo del diámetro de la roca, primero se calcula el factor de corrección, luego la densidad relativa del material y finalmente el diámetro medio de la roca.

$$f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \phi}}$$

Donde:

f: Factor de corrección

α : Ángulo de talud = 26.57° (Z=2)

ϕ : Ángulo de fricción interna del material = 41° (peso específico = 2.658 Tn/m³)

$$\therefore f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 26.57}{\text{sen}^2 41}}$$

$$\therefore f = 0.73$$

Entonces se calcula la densidad relativa del material.

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$$

Donde:

Δ : Densidad relativa del material

γ_s : Densidad de la roca en Kg/m³ = 2 658 Kg/m³

γ : Densidad del agua en $\text{Kg/m}^3 = 1\,000\ \text{Kg/m}^3$

$$\therefore \Delta = \frac{2658 - 1000}{1000}$$

$$\therefore \Delta = 1.658\ \text{Kg/m}^3$$

Diámetro medio de la roca.

$$d_{50} = \frac{b}{\Delta} * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{f}$$

Donde:

b : Factor par condiciones de mucha turbulencia, se adoptó el valor de 1.4

$$\therefore d_{50} = \frac{1.4}{1.658} * \frac{1.31^2}{2 * 9.8} * \frac{1}{0.73}$$

$$\therefore d_{50} = \frac{1.4}{1.658} * \frac{1.31^2}{2 * 9.81} * \frac{1}{0.73}$$

$$\therefore d_{50} = 0.10\ \text{m}$$

Para efectos de estabilidad, se consideró el diámetro medio de la roca igual a 0.20m.

Probabilidad de que la roca se mueva.

$$Froca_{D50} = 0.56 * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{D50} * \frac{1}{\Delta}$$

$$\therefore Froca_{D50} = 0.56 * \frac{1.31^2}{2 * 9.81} * \frac{1}{0.20} * \frac{1}{1.658}$$

$$\therefore Froca_{D50} = 0.15$$

$$\frac{\tau_c}{t} = \frac{1}{Froca}$$

$$\frac{\tau_c}{t} = \frac{1}{0.15} = 6.67 > 0.99$$

Lo que indica que hay seguridad con y la roca colocada es estable. También se calculó el peso de la roca.

$$W_{50} = \Delta * \gamma_s * D_{50}^3$$

$$\therefore W_{50} = 1.658 * 2658 * 0.20^3$$

$$\therefore W_{50} = 35.26\ \text{Kg}$$

- **Estabilidad del terraplén**

Para el cálculo de la estabilidad del terraplén, es necesario calcular la fuerza resistente y presión de flujo (producido por el agua)

$$R = W * \tan\phi$$

Donde:

R: Fuerza resistente en Kg/m

W: Peso del terraplén en Kg

ϕ : Ángulo de fricción interna.

Según la tabla 18 de peso específico y ángulo de fricción, se seleccionó el terreno de tipo tierra de terraplén empapado al que le corresponde el peso específico de 1.80 Ton/m³ y ángulo de fricción interna de 30°.

$$\therefore R = \left(\left(\frac{4 + 10.6}{2} * 2.00 \right) * 1800 \right) * \tan 30^\circ$$

$$\therefore R = 15\,172.77 \text{ Kg/m}$$

La presión de flujo, se calcula con la siguiente ecuación.

$$P = \frac{P_w * H^2}{2}$$

Donde:

P: Presión del agua ejercida al terraplén.

P_w: Peso específico del agua en Kg/m³ = 1 000 Kg/m³

H: Tirante de agua en m = 0.75 m

$$\therefore P = \frac{1000 * 0.75^2}{2}$$

$$\therefore P = 281.25 \text{ Kg/m}^2$$

Comparando los resultados obtenidos, se obtuvo que la fuerza resistente es 54.95 veces mayor a la presión del agua; es decir $F. Resist. > 54.95 P. agua$. Entonces el dique enrocado es estable.

La figura muestra la sección del terraplén para el dique enrocado.

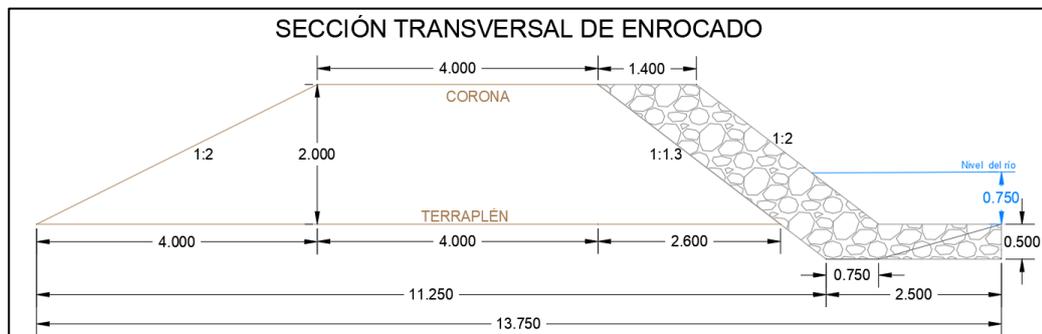


Figura 12. Sección transversal de enrocado
Fuente: Elaboración propia

En el anexo 13, se adjunta la tabla de resultados de la simulación del río Hatunmayo con la obra longitudinal de dique enrocado, correspondiente al periodo de retorno de 0 y 100 años respectivamente. Así mismo, se debe mencionar que el dique enrocado se simuló en el tramo de 4+400 a 4+600, es decir 200m que se puede observar en los planos.

4.1.4. Diseño de gaviones en el río Hatunmayo

4.1.4.1. Diseño hidráulico

- **Sección estable del río**

La sección estable del río, se determina de la misma forma que el diseño de dique enrocado, es así que la sección estable o ancho estable es de 34.50 m.

- **Altura de muro**

La altura del muro se obtiene de la suma del tirante y borde libre. En este caso, se empleó el tirante crítico de 1.00 m y el bordo libre de 0.15 m, teniendo un altura de muro de 1.15 m.

- **Profundidad de socavación**

La profundidad de socavación, también es la misma que se obtenga del diseño de dique enrocado. La profundidad de socavación obtenida fue 0.50 m.

- **Colchón**

La longitud del colchón se calcula con la siguiente ecuación.

$$L = 2.00 * H_s$$

Donde:

H_s : Profundidad de socavación en m.

$$\therefore L = 2.00 * 0.50$$

$$\therefore L = 1.00 \text{ m}$$

Y el espesor se calcula de la siguiente forma.

$$e = L/3$$

$$\therefore e = 1.00/3$$

$$\therefore e = 0.30 \text{ m}$$

Donde:

L : Longitud del colchón en m.

La figura muestra la sección transversal de los gaviones.

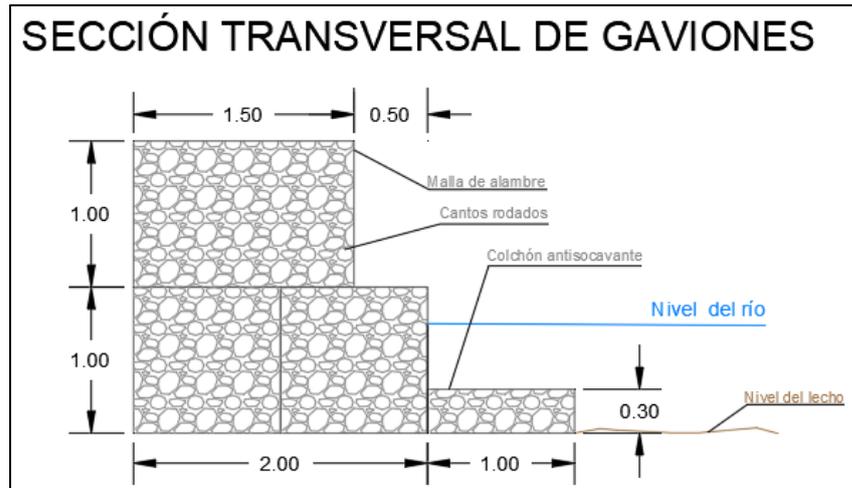


Figura 13. Sección transversal de gaviones
Fuente: Elaboración propia

4.1.4.2. Cálculo estructural

- Empuje activo

$$F1 = \frac{1}{2} * \gamma * t^2$$

Donde:

F1: Empuje activo (agua) en Ton/m

γ : Peso específico del agua en Ton/m = 1.00 Ton/m

t: Tirante en m, en este caso se empleó el tirante crítico = 1.00 m

$$\therefore F1 = 0.50 \text{ Ton/m}$$

La fuerza actúa a 1/3 de la altura del muro.

$$d = \frac{H}{3} = \frac{2}{3}$$

$$\therefore d = 0.67 \text{ m}$$

- Seguridad al deslizamiento

Componente vertical del empuje activo

$$Ev = Ea * \sin(90^\circ + \delta - \beta)$$

Donde:

Ev: Empuje activo vertical

δ : Ángulo de fricción del terreno

β : Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal

$$\therefore Ev = 0.50 * \sin(90^\circ + 30^\circ - 90^\circ)$$

$$\therefore Ev = 0.25 \text{ Ton/m}$$

Componente horizontal del empuje activo

$$Eh = Ea * \cos(90^\circ + \delta - \beta)$$

Donde:

Eh: Empuje activo horizontal

δ : Ángulo de fricción del terreno

β : Ángulo formado por el plano de empuje y la horizontal

$$\therefore Eh = 0.50 * \cos(90^\circ + 30^\circ - 90^\circ)$$

$$\therefore Eh = 0.43 \text{ Ton/m}$$

Seguridad al volteo

$$n = \frac{[(w + Ev) \cos \alpha + Eh \sin \alpha] \tan \delta + (w + Ev) \sin \alpha}{Eh * \cos \alpha} > 1.5$$

Donde:

α : Ángulo de talud del material sobre el muro = 0°

δ : Ángulo de fricción del terreno = 30°

w: Peso de la estructura $w = \text{área} * \gamma_g = 3.5 * 1.80 = 6.3 \text{ Ton}$

$$\therefore n = \frac{[(6.3 + 0.25) * 1 + 0.43 * 0] \tan 30^\circ + (6.3 + 0.25) * 0}{0.43 * 1}$$

$$\therefore n = 2.11 > 1.5$$

- **Seguridad al volteo**

Momento que produce el volteo

$$Mv = Eh * d$$

Donde:

Eh: Empuje activo horizontal

d: Altura del punto de aplicación de empuje

$$\therefore Mv = 0.43 * 0.67$$

$$\therefore Mv = 0.29 \text{ Ton} - \text{m/m}$$

Momento de resistencia

$$Mr = W + Ev * S$$

Donde:

W: Peso de la estructura = 6.30 Ton

Ev: Empuje vertical activo

S: Punto de aplicación de empuje = 3

$$\therefore Mr = 6.3 + 0.25 * 3$$

$$\therefore Mr = 7.05 \text{ Ton} - \text{m/m}$$

Seguridad al volteo

$$n = \frac{Mr}{Mv} \geq 1.5$$

Donde:

Mr : Momento de resistencia en Ton-m/m

Mv : Momento que produce el volteo en Ton-m/m

$$\therefore n = \frac{7.05}{0.29} = 24.31 \geq 1.5$$

- **Capacidad de soporte del suelo**

Excentricidad de la resultante

$$e = \frac{b}{2} - \frac{(Mr - Mv)}{n}$$

Donde:

e : Excentricidad de la resultante

b : Base del gavión = 2.00 m

Mr : Momento resistente en Ton-m/m = 7.05 Ton-m/m

Mv : Momento que produce el volteo en Ton -m/m = 0.29 Ton-/m

n : Resultante de las fuerzas normales a la base del muro

$$n = (W + Ev) \cos \alpha + EH \sin \alpha$$

α : Ángulo de talud del material sobre el muro = 0°

$$\therefore n = (6.3 + 0.25) * \cos(0)$$

$$\therefore n = 6.55$$

$$\therefore e = \frac{2.00}{2} - \frac{(7.05 - 0.29)}{6.55}$$

$$\therefore e = 0.24$$

$$e_{\text{máx}} = \frac{L}{6} = \frac{2}{6} = 0.33$$

$$e < e_{\text{máx}} \rightarrow \text{Cumple}$$

Tensiones

$$G1; 2 = \frac{n}{b} * \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

$$G1; 2 < \sigma_{adm}$$

$$G1 = \frac{n}{b} * \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$\therefore G1 = \frac{6.55}{2.00} * \left(1 + \frac{6 * 0.24}{2.00}\right) = 5.63 \text{ Ton/m}^2$$

$$\therefore G1 = 0.57 \text{ Kg/cm}^2 < 0.7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G2 = \frac{n}{b} * \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

$$\therefore G1 = \frac{6.55}{2.00} * \left(1 - \frac{6 * 0.24}{2.00}\right) = 0.917 \text{ Ton/m}^2$$

$$\therefore G1 = 0.0985 \text{ Kg/cm}^2 < 0.7 \text{ Kg/cm}^2$$

La capacidad admisible del suelo donde se pretende colocar los gaviones es de 0.7 Kg/cm^2 , de acuerdo con el resumen ejecutivo del estudio de microzonificación geotécnica sísmica y evaluación de riesgos en la provincia de Lima, Cusco y Arequipa. De las cuales se consideró la zona III donde se tiene presencia de arenas y limos de compacidad media (conocido también como material morrénico o coluvial) típico de laderas con pendiente ligeras, como se describió en la geomorfología de la zona de estudio. Donde menciona que para cimentaciones desplantadas entre 1.00 y 1.50 m de profundidad la capacidad de carga admisible varía entre 0.70 y 2.5 Kg/cm^2 , y la profundidad hasta donde se colocaría fue de 0.50 m , razón por la cual se consideró la capacidad admisible de 0.70 Kg/cm^2 (UNI, CISMID, 2013).

Y de acuerdo con las tensiones o capacidades admisibles obtenidas, los gaviones no estarán expuestos a hundimiento o punzonamiento.

En el anexo 14, se adjunta la tabla de resultados y perfiles de la simulación del río Hatunmayo con la obra longitudinal de gaviones para los periodos de retorno de 0 y 100 años respectivamente.

Los gaviones se simularon en el tramo de 4+000 a 4+300 equivalente a un tramo de 300m, que también se puede observar en los planos.

4.1.5. Diseño de dique de tierra en el río Hatunmayo

4.1.5.1. Diseño hidráulico

- **Sección estable del río**

La sección estable del río, se determina de la misma forma que el diseño de dique enrocado, es así que la sección estable o ancho estable es de 34.50 m .

- **Altura de muro**

La altura del muro se obtiene de la suma del tirante y borde libre. En este caso, se empleó el tirante crítico de 1.00 m y el bordo libre de 0.15 m, teniendo un altura de muro de 2.00 m.

- **Profundidad de socavación**

La profundidad de socavación, también es la misma que se obtenga del diseño de dique enrocado. La profundidad de socavación obtenida fue 0.50 m.

En la figura, se muestra la sección transversal del dique de tierra, donde se planteó el ancho de corona de 4.00 m para permitir el paso de un volquete para la colocación del material.

También se planteó la colocación de un dren de material granular, para el control de agua infiltrada. Así mismo, se propuso su colocación cada 10 m de longitud.

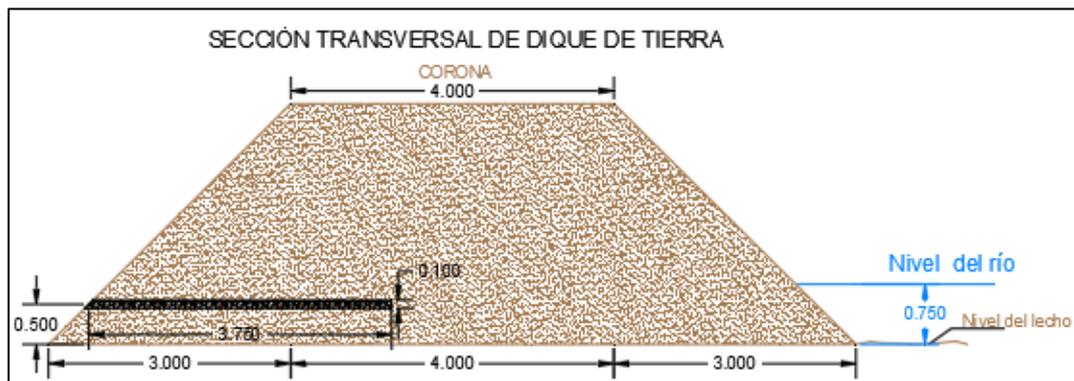


Figura 14. Sección transversal de dique de tierra
Fuente: Elaboración propia

4.1.5.2. Cálculo estructural

- **Empuje activo**

$$F1 = \frac{1}{2} * \gamma * t^2$$

Donde:

F1: Empuje activo (agua) en Ton/m

γ : Peso específico del agua en Ton/m = 1.00 Ton/m

t: Tirante en m, en este caso se empleó el tirante crítico = 1.00 m

$$\therefore F1 = 0.50 \text{ Ton/m}$$

- **Seguridad al deslizamiento**

Subpresión

$$Sp = \frac{1}{2} * \gamma_w * y * b$$

Donde:

Sp : Subpresión en Ton/m

γ_w : Peso específico del agua en Ton/m = 1 Ton/m

b : Ancho o base del dique en m = 10.0 m

y : Tirante de agua = 1.00 m

$$\therefore Sp = \frac{1}{2} * 1 * 1 * 10.0$$

$$\therefore Sp = 5.00 \text{ Ton/m}$$

Fuerza vertical

$$\sum Fv = W - Sp$$

Donde:

Fv : Fuerzas verticales

w : Peso de la estructura $w = \text{área} * \gamma_g = 14.0 * 1.80 = 25.2 \text{ Ton}$

$$\therefore \sum Fv = 20.2 \text{ Ton/m}$$

Fuerza horizontal

$$\sum Fh = Eh$$

Donde:

Eh : Empuje activo

$$\therefore \sum Fh = 0.50 \text{ Ton/m}$$

Seguridad al deslizamiento

$$n = \frac{(\sum Fv)(\tan\varphi)}{(\sum Fh)} > 1.2$$

Fv : Fuerzas verticales que actúan sobre la estructura

Fh : Fuerzas horizontales que actúan sobre la estructura

φ : Ángulo de fricción interna del material que conforma el dique. De acuerdo con la tabla 18, se empleó el valor de 30°.

$$\therefore n = \frac{20.2(\tan 30^\circ)}{0.50} > 1.2$$

$$\therefore n = 23.32 > 1.2$$

Entonces, el dique es estable al deslizamiento.

- **Seguridad al volteo**

Momento que produce el volteo

$$Mv = (Eh) \left(\frac{1}{3} t \right) + (Sp) \left(\frac{2}{3} b \right)$$

Donde:

Eh : Empuje activo del agua = 0.50 Ton/m

Sp : Subpresión = 5.00 Ton/m

t : Tirante en m, en este caso se empleó el tirante crítico = 1.00 m

b : Ancho o base del dique en m = 10.0 m

$$Mv = (0.50) \left(\frac{1}{3} * 1.00 \right) + (5.00) \left(\frac{2}{3} * 10.0 \right)$$

$$\therefore Mv = 33.5 \text{ Ton} - m/m$$

Momento de resistencia

$$Mr = W * \left(\frac{1}{2} b \right)$$

Donde:

W : Peso de la estructura = 25.2 Ton

b : Ancho o base del dique en m = 10.0 m

$$\therefore Mr = 25.2 * \left(\frac{1}{2} * 10.0 \right)$$

$$\therefore Mr = 126.0 \text{ Ton} - m/m$$

Seguridad al volteo

$$n = \frac{Mr}{Mv} \geq 1.3$$

Donde:

Mr : Momento de resistencia en Ton-m/m

Mv : Momento que produce el volteo en Ton-m/m

$$\therefore n = \frac{126.0}{33.5} = 3.76 \geq 1.3$$

Entonces, el dique es estable al volteo.

- **Capacidad de soporte del suelo**

Excentricidad de la resultante

$$e = \frac{b}{2} - \frac{(Mr - Mv)}{n}$$

Donde:

e : Excentricidad de la resultante

b : Ancho o base del dique en m = 10.0 m

Mr : Momento resistente en Ton-m/m = 126.0 Ton-m/m

Mv : Momento que produce el volteo en Ton -m/m = 33.5 Ton-/m

n : Resultante de las fuerzas normales a la base del muro

$$n = (W + Fv) \cos \alpha + FH \sin \alpha$$

α : Ángulo de talud del material sobre el muro = 0°

$$\therefore n = (25.2 + 20.2) * \cos(0)$$

$$\therefore n = 45.4$$

$$\therefore e = \frac{10.0}{2} - \frac{(126.0 - 33.5)}{45.4}$$

$$\therefore e = 2.96$$

$$e_{\text{máx}} = \frac{L}{3} = \frac{10.0}{3} = 3.33$$

$$e < e_{\text{máx}} \rightarrow \text{Cumple}$$

Tensiones

$$G1; 2 = \frac{n}{b} * \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

$$G1; 2 < \sigma_{adm}$$

$$G1 = \frac{n}{b} * \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$\therefore G1 = \frac{45.4}{10.0} * \left(1 + \frac{6 * 2.96}{10.0}\right) = 12.60 \text{ Ton/m}^2$$

$$\therefore G1 = 1.28 \text{ Kg/cm}^2 < 1.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$G2 = \frac{n}{b} * \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

$$\therefore G2 = \frac{45.4}{10.0} * \left(1 - \frac{6 * 2.96}{10.0}\right) = 3.52 \text{ Ton/m}^2$$

$$\therefore G2 = 0.357 \text{ Kg/cm}^2 < 1.5 \text{ Kg/cm}^2$$

La capacidad admisible del suelo donde se pretende colocar los gaviones es de 1.5Kg/cm², de acuerdo con el resumen ejecutivo del estudio de microzonificación

geotécnica sísmica y evaluación de riesgos en la provincia de Lima, Cusco y Arequipa. De las cuales se consideró la zona III donde se tiene presencia de arenas y limos de compacidad media (conocido también como material morrénico o coluvial) típico de laderas con pendiente ligeras, como se describió en la geomorfología de la zona de estudio. Donde menciona que para cimentaciones desplantadas entre 1.00 y 1.50 m de profundidad la capacidad de carga admisible varía entre 0.70 y 2.5 Kg/cm², y la profundidad hasta donde se pretende colocar el dique enrocado es de 0.75 para el cual le correspondería la capacidad admisible de 1.5 Kg/cm² (UNI, CISMID, 2013).

Y de acuerdo con las tensiones o capacidades admisibles obtenidas, el dique no estará expuesto a hundimiento o punzonamiento.

En el anexo 15, se adjuntan la tabla de resultados y perfiles de la simulación del río Hatunmayo con el dique de tierra, los cuales corresponden a los periodos de retorno de 0 y 100 años. Y en el anexo 16, se adjunta el perfil del río con las tres obras longitudinales para los periodos de retorno de 0 y 100 años.

Así mismo, se debe mencionar que se simuló la colocación del dique de tierra en el tramo de 4+800 a 5+000, es decir en un tramo de 200m que se puede observar en los planos.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo

Para la prueba de hipótesis, se desarrolló la correlación de Pearson para obtener la relación entre riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo. A continuación, se muestra la correlación de Pearson realizada para cada tipo de obra longitudinal.

4.2.1.1. Dique enrocado

La tabla siguiente, muestra el tirante y la velocidad del agua en el cauce del río Hatunmayo con el dique enrocado, los resultados provienen de la simulación en el programa HEC-RAS para el periodo de retorno de 100 años. El tirante se obtuvo de la diferencia de la altura de lámina de agua y la cota de fondo, mientras que la velocidad del agua se obtuvo de forma directa del cuadro de resultados de la simulación.

Tabla 27. Tirante y velocidad del agua con dique enrocado

Progresivas	Tirante de agua - DE	Velocidad del agua - DE
5+000	1.2	1.74
4+950	0.88	2.37
4+900	0.94	1.57
4+850	1.06	1.59
4+800	1.07	1.82
4+750	1.18	1.85
4+700	1.32	1.67
4+650	1.18	2.08
4+600	1.29	1.62
4+550	1.24	1.51
4+500	1.17	1.18
4+450	0.99	1.62
4+400	0.9	1.41
4+350	1.19	1.55
4+300	1.55	1.35
4+250	1.53	1.3
4+200	1.51	1.14
4+150	1.18	1.41
4+100	1.02	0.99
4+050	1.23	1.05
4+000	1.03	1.86

Fuente: Elaboración propia

Las hipótesis planteadas fueron:

H0: Existe relación entre la velocidad y el tirante del río Hatunmayo

H1: No existe relación entre la velocidad y el tirante del río Hatunmayo

De la tabla mostrada; se obtuvo la estadística de regresión, análisis de varianza y curva de regresión ajustada correspondiente a la correlación de Pearson.

Tabla 28. Estadística de regresión – dique enrocado

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.390
Coefficiente de determinación R ²	0.152
R ² ajustado	0.107
Error típico	0.319
Observaciones	21.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Análisis de varianza – dique enrocado

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1.000	0.347	0.347	3.402	0.081
Residuos	19.000	1.939	0.102		
Total	20.000	2.286			

Fuente: Elaboración propia

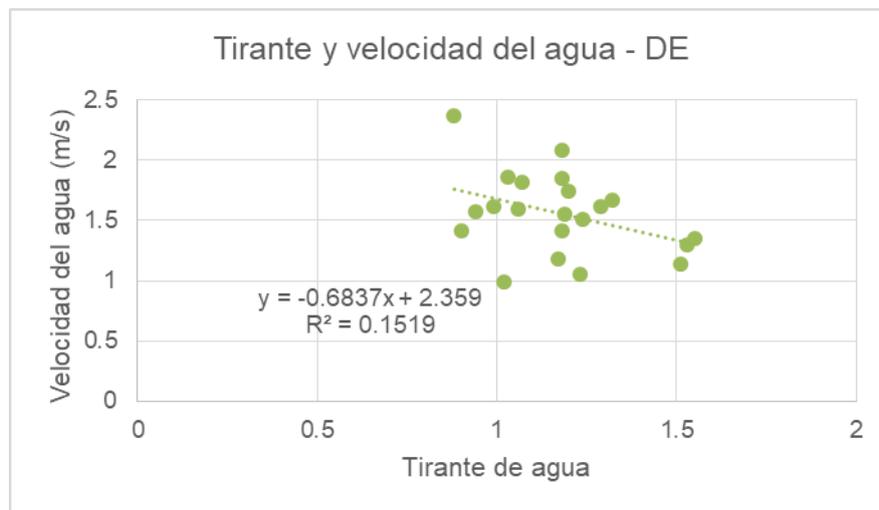


Figura 15. Curva de regresión ajustada, función lineal – dique enrocado

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

De la tabla de estadística de regresión se obtuvo el coeficiente de determinación igual a 0.390, lo que señala una correlación media directamente proporcional entre el tirante y la velocidad del agua del río. Del análisis de varianza el valor crítico de F fue 0.081 mayor a 0.05 lo que señala aceptar la hipótesis alterna de que no existe relación entre el tirante y la velocidad del río. Así mismo, de la curva de regresión ajustada donde la función lineal se ajusta más a la distribución de los datos obtenidos del cual se entiende que el 15.19% de la velocidad del cauce del río depende del tirante de agua del río. De acuerdo a lo mencionado, se puede decir que no existe relación entre el tirante y la velocidad del agua del cauce del río Hatunmayo.

4.2.1.2. Gaviones

En la tabla se muestran los resultados del tirante y la velocidad del agua en el cauce del río Hatunmayo con gaviones, los resultados provienen de la simulación en el programa

HEC-RAS para el periodo de retorno de 100 años. El tirante se obtuvo de la diferencia de la altura de lámina de agua y la cota de fondo, del cuadro de resultados de la simulación.

Tabla 30. Tirante y velocidad del agua con gaviones

Progresivas	Tirante de agua - GAV	Velocidad del agua - GAV
5+000	1.2	1.74
4+950	0.89	2.36
4+900	0.94	1.57
4+850	1.06	1.59
4+800	1.08	1.81
4+750	1.17	1.88
4+700	1.34	1.62
4+650	1.14	2.21
4+600	1.36	1.47
4+550	1.35	1.6
4+500	1.35	1.29
4+450	1.19	1.86
4+400	1.18	1.51
4+350	1.48	1.67
4+300	1.8	1.41
4+250	1.71	1.46
4+200	1.68	1.3
4+150	1.3	1.78
4+100	1.22	1.07
4+050	1.44	1.24
4+000	1.2	2.03

Fuente: Elaboración propia

Las hipótesis planteadas fueron:

H0: Existe relación entre la velocidad y el tirante del río Hatunmayo

H1: No existe relación entre la velocidad y el tirante del río Hatunmayo

De la tabla mostrada; se obtuvo la estadística de regresión, análisis de varianza y curva de regresión ajustada correspondiente a la correlación de Pearson.

Tabla 31. Estadística de regresión – gaviones

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.550
Coefficiente de determinación R ²	0.302
R ² ajustado	0.266
Error típico	0.273
Observaciones	21.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Análisis de varianza – gaviones

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1.000	0.612	0.612	8.237	0.010
Residuos	19.000	1.412	0.074		
Total	20.000	2.024			

Fuente: Elaboración propia

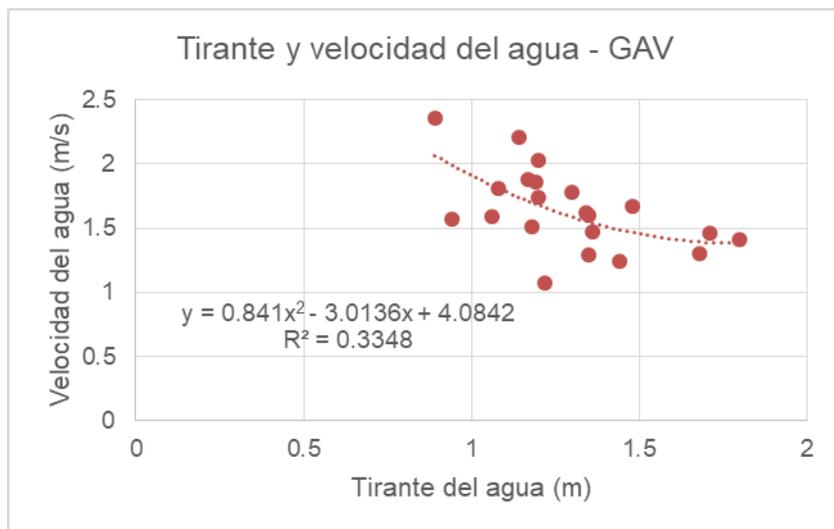


Figura 16. Curva de regresión ajustada, función polinómica– gaviones
Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

De la tabla de estadística de regresión se obtuvo el coeficiente de determinación igual a 0.550, lo que señala una correlación moderada directamente proporcional entre el tirante y la velocidad del agua del río. Del análisis de varianza el valor crítico de F fue 0.010 menor a 0.05 lo que señala aceptar la hipótesis nula de que existe relación entre el tirante y la velocidad del río cuando se implementa la simulación de los gaviones en un tramo de 300m en la margen derecha del río Hatunmayo. Así mismo, de la curva de regresión ajustada donde la función polinómica se ajusta más a la distribución de los datos obtenidos del cual se entiende que el 33.48 % de la velocidad del cauce del río depende del tirante de agua del río cuando se implementan gaviones. De acuerdo a lo mencionado, se puede decir que existe relación entre el tirante y la velocidad del agua cuando se implementan los gaviones en un tramo de 300 m de la margen derecha del río Hatunmayo.

4.2.1.3. Dique de tierra

En la tabla se muestran los resultados del tirante y la velocidad del agua en el cauce del río Hatunmayo con la implementación del dique de tierra, los resultados provienen de la simulación en el programa HEC-RAS para el periodo de retorno de 100 años.

Tabla 33. Tirante y velocidad del agua con dique de tierra

Progresivas	Tirante de agua - DT	Velocidad del agua - DT
5+000	1.2	1.74
4+950	0.88	2.37
4+900	0.94	1.57
4+850	1.06	1.59
4+800	1.08	1.81
4+750	1.17	1.88
4+700	1.34	1.62
4+650	1.14	2.21
4+600	1.36	1.47
4+550	1.35	1.6
4+500	1.35	1.29
4+450	1.19	1.86
4+400	1.18	1.51
4+350	1.48	1.67
4+300	1.8	1.41
4+250	1.71	1.46
4+200	1.68	1.3
4+150	1.3	1.78
4+100	1.22	1.07
4+050	1.44	1.23
4+000	1.19	2.06

Fuente: Elaboración propia

Las hipótesis planteadas fueron:

H0: Existe relación entre la velocidad y el tirante del río Hatunmayo

H1: No existe relación entre la velocidad y el tirante del río Hatunmayo

De la tabla mostrada; se obtuvo la estadística de regresión, análisis de varianza y curva de regresión ajustada correspondiente a la correlación de Pearson.

Tabla 34. Estadística de regresión – dique de tierra

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.554
Coefficiente de determinación R ²	0.307
R ² ajustado	0.271
Error típico	0.275
Observaciones	21.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Análisis de varianza – dique de tierra

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1.000	0.636	0.636	8.418	0.009
Residuos	19.000	1.435	0.076		
Total	20.000	2.071			

Fuente: Elaboración propia

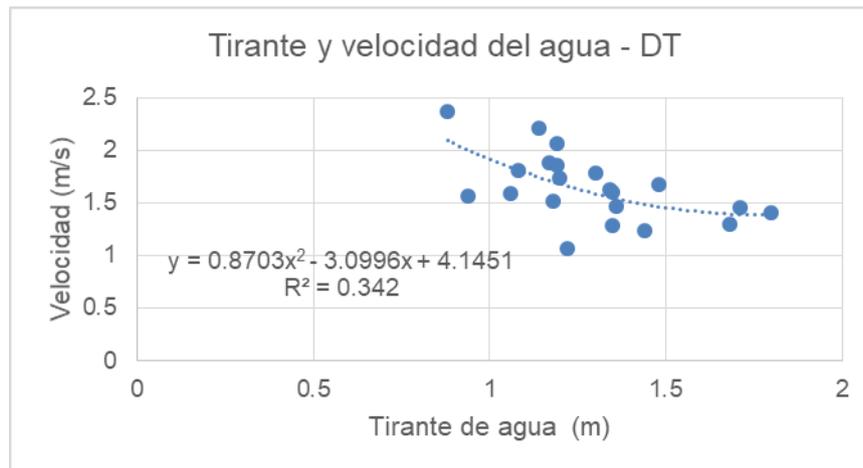


Figura 17. Curva de regresión ajustada, función polinómica– dique de tierra

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

De la tabla de estadística de regresión se obtuvo el coeficiente de determinación igual a 0.554, lo que señala una correlación moderada directamente proporcional entre el tirante y la velocidad del agua del río. Del análisis de varianza el valor crítico de F fue 0.009 menor a 0.05 lo que señala aceptar la hipótesis nula de que existe relación entre el tirante y la velocidad del río cuando se implementa la simulación del dique de tierra en un tramo de 200m en la margen derecha del río Hatunmayo. Así mismo, de la curva de regresión ajustada donde la función polinómica se ajusta más a la distribución de los datos obtenidos del cual se entiende que el 34.2 % de la velocidad del cauce del río depende

del tirante de agua del río cuando se implementa el dique de tierra. De acuerdo a lo mencionado, se puede decir que existe relación entre el tirante y la velocidad del agua cuando se implementan los gaviones en un tramo de 300 m de la margen derecha del río Hatunmayo.

Con la finalidad de demostrar la eficiencia de las obras longitudinales, se muestra la figura con los tirantes de agua que se obtiene de la simulación de obras longitudinales en el río Hatunmayo.

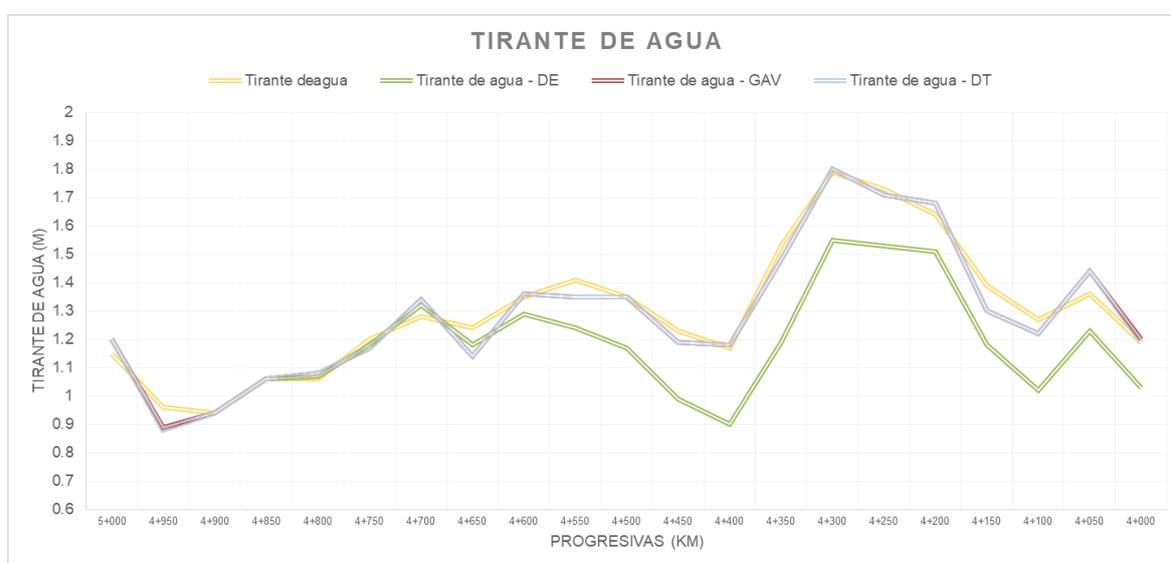


Figura 18. Tirante de agua – obras longitudinales
Fuente: Elaboración propia

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Análisis del caudal del río Hatunmayo

El análisis del caudal del río Hatunmayo, responde a la estimación del caudal para diferentes periodos de retorno. Es así que para obtener dicha estimación, previamente se calculó el caudal actual del río con el método racional, para el cual se necesitó de la información de la precipitación histórica correspondiente al año 2000 a 2020, también se delimitó el área de la microcuenca y se realizó el cálculo de parámetros como tiempo de concentración, coeficiente de uniformidad, coeficiente de simultaneidad, precipitación máxima corregida de la cuenca, intensidad de precipitación y coeficiente de escorrentía que se encuentran en función a la precipitación y tipo de suelo de la zona de estudio. Se obtuvo el caudal del año 2000 al 2020, como se muestra en la tabla 23. A partir de la tabla 23, se pudo obtener el caudal actual o para el periodo de retorno de 0 años el cual

fue $6.62\text{m}^3/\text{s}$, posteriormente se estimó el caudal del río para los periodos de retorno de 10; 20; 50 y 100 años por el método de Gumbel y Nash como se muestra en la tabla 24. De los cuales el método Gumbel evidenció los mayores valores de caudal y según el programa Hidroesta 2 los valores fueron similares, por lo que se consideró el caudal de diseño para el periodo de retorno de 100 años igual a $29.96\text{ m}^3/\text{s}$.

Posterior a la estimación del caudal del río Hatunmayo, se procedió a simular el tramo de 1 000 m ó 1 Km del río en el programa HEC-RAS. Para el cual se requirió de las secciones del río en dicho tramo, las mismas que provienen del levantamiento topográfico. En el programa de simulación se ingresó la geometría de las secciones del río por tramos de 100m, así mismo se ingresó el coeficiente de rugosidad del río que fue 0.049, seguidamente se ingresaron los caudales de diseño según los periodos de retorno de 0 y 100 años y se ejecutó el diseño. Del cual se pudo obtener las secciones del río con el nivel de agua para el periodo de retorno de 0 y 100 años, también se obtuvo el perfil y el tramo de secciones del río para los periodos de retorno de 0 y 100 años, mismo que se muestran en los anexos 7 y 8, en lo que se puede observar claramente el incremento del nivel de agua cuando se pone el caudal de $29.96\text{ m}^3/\text{s}$ para el periodo de retorno de 100 años.

4.3.2. Riesgo por inundación en el río Hatunmayo

El riesgo de inundación se obtuvo de la estimación del peligro y vulnerabilidad de inundación en el distrito de Cachimayo que es por donde circula el río Hatunmayo.

Por lo que se debe recordar que, el peligro responde a la probabilidad de ocurrencia del fenómeno de acuerdo a las características de la zona de estudio como geomorfología, geología, precipitación acumulada trimestral y pendiente. En ese sentido, el nivel de peligro por inundación fue medio para el cual se consideró el valor $P = 0.153$ según la tabla 3 del marco teórico. Esto ya que, se consideró la precipitación acumulada trimestral de 501.9 mm, con geomorfología correspondiente a la vertiente o pie de monte con material coluvio – deluvial (V-cd), con la formación geológica de chincheros (NQ-chi) y con pendiente menor a 5° .

La vulnerabilidad responde a la debilidad o exposición de un conjunto de elementos frente a un fenómeno de cierta magnitud. Para determinar el nivel de vulnerabilidad, se obtuvo información de la dimensión social y económica para las cuales se evaluó la exposición fragilidad y resiliencia. De la dimensión social se obtuvo la información del grupo etario, tipo de seguro de salud y nivel educativo, la información se pudo obtener de

forma directa del Informe de evaluación de riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco, la cual fue desarrollada en el año 2019, y se empleó ya que la información es igual a la actual. Del mismo modo, se obtuvo información de la cercanía a la zona afectada, material de construcción de paredes y techos de las viviendas y locales habitacionales, tipo de vivienda y tipo de procedencia del agua. Cabe resaltar que para la investigación se consideró la información del grupo de personas más vulnerables a la ocurrencia de una inundación, por lo que el nivel de vulnerabilidad obtenido fue alto, al cual se le consideró el valor de $V = 0.259$ según la tabla 6 del marco teórico.

Es así que se pudo obtener el nivel de riesgo por método matemático y descriptivo. Por el método matemático se multiplicó los valores estimados de vulnerabilidad y peligro, del cual se obtuvo el valor de 0.039 correspondiente a un nivel alto. Por el método descriptivo el nivel de riesgo fue intermedio. Por lo cual se consideró el nivel de riesgo alto el cual puede ser controlado de acuerdo a las consecuencias y frecuencia del fenómeno de inundación. Así mismo, sería necesario el apoyo externo para la recuperación de los daños y en cuanto a la frecuencia de ocurrencia del fenómeno de inundación se dice que puede ocurrir en periodos de tiempo medianamente largos; siendo un motivo para implementar obras longitudinales y evitar el fenómeno por inundación.

4.3.3. Diseño de dique enrocado en el río Hatunmayo

Para el diseño del dique enrocado, se desarrolló el diseño hidráulico y cálculo estructural. En el diseño hidráulico se contempló el cálculo de la sección estable del río en el que se consideró el ancho obtenido de 34.50 m por método de Blench o Altunnin ya que se acerca más a la realidad observada en campo, también se calculó la profundidad media de 1.30m, la pendiente hidráulica del río fue 0.216%, el tirante normal del río calculado fue 0.75 m, la velocidad media fue 1.31 m/s y la profundidad de socavación obtenida fue 0.25 m.

Del cálculo estructural se pudo obtener la profundidad de la uña o también conocida como la profundidad de excavación para la colocación de los cimientos, la cual fue 0.30 m y para condiciones de estabilidad se optó por considerar una profundidad de uña de 0.50 m para tramos rectos y curvos con un ancho de uña de 0.75 m que por razones constructivas se consideró un ancho de uña de 2.80 m, la altura del muro del dique enrocado fue 2.00 m, el diámetro medio de la roca fue de 0.20 m, de la probabilidad de que la roca se mueva se obtuvo que la roca colocada es estable, así mismo se obtuvo que el terraplén es estable ya que la fuerza resistente del terraplén fue 53.95 veces

mayor a la presión de empuje del agua; por lo que enrocado y terraplén diseñados son estables. En la figura 12, se puede observar las dimensiones consideradas para el terraplén y enrocado según el diseño hidráulico y cálculo estructural desarrollados, donde se debe mencionar que se consideró el ancho o corona del terraplén de tierra de 4 m para permitir el paso de un volquete y la compactadora para su conformación.

Después del diseño del dique enrocado, se realizó la simulación en el programa HEC-RAS incluyendo el ancho y altura del dique enrocado, del cual se obtuvo el perfil del río y la tabla de resultados. Se simuló el dique enrocado para un tramo de 200 m comprendido entre las progresivas 4+400 Km a 4+600 Km. Los resultados se pueden observar en el anexo 13, donde el perfil del río o altura de agua para 0 y 100 años con el dique enrocado se encuentra por debajo de la altura del enrocado. Del cual se entiende que el dimensionamiento del dique enrocado para 100 años permite evitar el desborde del río Hatunmayo.

En cuanto a la prueba de hipótesis, con la finalidad de comprobar la relación del riesgo por inundación y las obras longitudinales; se realizó la correlación de Pearson para comprobar la relación entre el tirante de agua y la velocidad del flujo en el río con la implementación del dique enrocado. Del cual se obtuvo que no existe relación entre el tirante y la velocidad del agua en el cauce del río, sin embargo el dique enrocado logra contener el nivel de agua del río y el caudal para el periodo de retorno de 100 años.

4.3.4. Diseño de gaviones en el río Hatunmayo

El diseño de gaviones también se desarrolló con un diseño hidráulico y cálculo estructural. Como el río es el mismo, los cálculos y valores de ancho estable, profundidad media, pendiente hidráulica, tirante normal, velocidad media y profundidad de socavación son los mismos. Sin embargo en la altura del muro se consideró 1.15 m, la longitud del colchón fue 1.00 m con un espesor de 0.30 m. Es así que el dimensionamiento de los gaviones responde a una altura de 2.00 m ya que el alto de las cajas de gaviones son de 1.00 m, con un ancho de base de 2.00 m y el ancho en la parte superior fue 1.50 m, sin olvidar el largo del colchón de 1.00 m; tal como se muestra en la figura 13.

En el cálculo estructural para determinar la estabilidad de los gaviones, se obtuvo la estabilidad o seguridad al deslizamiento y volteo; y la capacidad de soporte del suelo. La seguridad al deslizamiento se pudo obtener con los cálculos de empuje activo vertical y horizontal para los que fueron necesarios el ángulo de fricción del terreno y el peso de la estructura. El factor de seguridad al deslizamiento obtenido fue 2.11 mayor a 1.5, por lo

que los gaviones son estables al deslizamiento. La seguridad al volteo se pudo obtener con el cálculo del momento de volteo y resistencia, el factor de seguridad se obtuvo de la fracción entre el momento de resistencia y volteo que fue 24.31 mayor a 1.5, del que se entiende que los gaviones son estables al volteo. Finalmente se calculó la capacidad de soporte del suelo; para el que fue necesario calcular la excentricidad de la resultante de las fuerzas normales a la base del muro y las tensiones del terreno, los cuales fueron menores a la capacidad de soporte del suelo según el estudio de microzonificación técnica en el departamento del Cusco (UNI, CISMID, 2013). Por lo que los gaviones se pueden colocar con normalidad en la margen derecha del cauce del río Hatunmayo.

Después del diseño de los gaviones, se simuló su colocación en el programa HEC-RAS, para un tramo de 300 m entre las progresivas 4+000 Km a 4+300 Km. De la simulación se obtuvo el perfil del río y la tabla de resultados del río con los gaviones, para los periodos de retorno de 0 y 100 años que se encuentran adjuntos en el anexo 14. Donde se puede observar que el nivel de agua del río para el periodo de retorno de 100 años, se encuentra por debajo de la altura del muro de gaviones.

Así mismo, se realizó la prueba de hipótesis para comprobar la relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales con la correlación de Pearson y así comprobar la relación entre el tirante y velocidad del agua del río con la implementación de gaviones. Del cual se obtuvo que existe relación directa proporcional entre el tirante y la velocidad del agua en el río Hatunmayo, y demostrando que el 33.48% de la velocidad del flujo depende del tirante. Con lo que se puede comprobar que a menor tirante de agua la velocidad del flujo del río es menor y como consecuencia el caudal se reduce o mantiene constante en todo el tramo, tal como se evidenció en el perfil del río con gaviones obtenido de la simulación. Por lo que, se recomienda su aplicación.

4.3.5. Diseño de dique de tierra en el río Hatunmayo

Para el diseño de dique de tierra también se consideró el diseño hidráulico del que se obtuvo las dimensiones del dique y del cálculo estructural se pudo obtener la estabilidad del dique de tierra. Del diseño hidráulico se obtuvo el ancho estable, profundidad media, pendiente hidráulica, tirante normal, velocidad media y profundidad de socavación. Con lo que se pudo obtener el dimensionamiento del dique que se muestra en la figura 14, donde el ancho de corona del dique fue de 4.00 m con taludes en ambas caras de 1:1.5, ancho de base de 10.00 m y altura de 2.00 m. Además se propuso la colocación de un dren de material granular cada 10 m de longitud, para el control de agua infiltrada.

Del cálculo estructural, se pudo obtener la estabilidad del dique de tierra y la capacidad de soporte del suelo. La estabilidad se pudo obtener de la seguridad al deslizamiento y volteo, donde el factor de seguridad del deslizamiento fue 23.32 mayor a 1.2, por lo que se pudo determinar que el dique de tierra es estable al deslizamiento; el factor de seguridad por volteo fue 3.76 mayor a 1.3, con lo que también se pudo determinar que el dique es estable al volteo. La capacidad de soporte se obtuvo del cálculo de la excentricidad de la resultante y las tensiones del terreno, donde estas últimas fueron menores a la capacidad de soporte del suelo según el estudio de microzonificación técnica del departamento del Cusco. Por lo que se puede colocar el dique de tierra sobre el terreno de fundación y al lado o margen derecha del cauce del río Hatunmayo.

Una vez obtenido el diseño del dique de tierra y determinada su estabilidad, se continuó con la simulación en el programa HEC-RAS en el cual se incluyó la geometría del dique para un tramo de 200 m comprendido entre las progresivas 4+800 Km a 5+000 Km. Los resultados obtenidos fueron; el perfil del río con la inclusión del dique enrocado y la tabla de resultados de la simulación para los periodos de retorno de 0 y 100 años, que se pueden observar en el anexo 15 adjunto. En el perfil del río con el dique de tierra, para el periodo de retorno de 100 años, se puede observar que el nivel de agua del río se encuentra por debajo de la altura del dique en el tramo de 20 m propuesto.

Referente a la prueba de hipótesis, se realizó la correlación de Pearson para comprobar la relación entre el tirante y la velocidad del flujo en el cauce del río Hatunmayo. Se obtuvo que existe relación moderada entre el tirante y la velocidad del agua en el río con la inclusión del dique de tierra, además se pudo demostrar que el 34.20% de la velocidad del agua del río depende del tirante y de estos dos depende el caudal del río. Lo mencionado se puede comprobar con el perfil y tabla de resultados de salida de simulación del río obtenido para el periodo de retorno de 100 años, donde el caudal del río se mantuvo constante en todo el tramo a pesar de la inclusión del dique de tierra.

Del mismo modo, se debe mencionar la figura 18 en la que se muestra el tirante de agua para el periodo de retorno de 100 años de las obras longitudinales propuestas. En la que se puede observar que el tirante de agua para el río sin obra longitudinal se representa por el color naranja. El color verde representa el tirante del río con dique enrocado, donde se puede observar que en el tramo de 200 m colocado el tirante se reduce e incluso disminuye desde la progresiva 4+600 Km hasta 4+000 Km; así mismo se debe mencionar que la progresiva 5+000 (aguas arriba) tiene mayor elevación a la progresiva 4+000 Km (aguas abajo). El color rojo representa el tirante del río con gaviones, el cual se encuentra

debajo de la línea de color celeste, por lo que se entiende que el tirante del río con gaviones es similar al tirante del río sin obra longitudinal. Y el color celeste representa el tirante del río con el dique de tierra, el cual también es similar al tirante del río sin obra longitudinal. De acuerdo a lo mencionado y a las diferencias obtenidas respecto a la aplicación o no de las obras longitudinales, se realizó el análisis económico o presupuesto de dichas obras longitudinales para determinar qué obra longitudinal resulta económica. El presupuesto se encuentra en el anexo 17. Del análisis económico, se obtuvo que el dique de tierra es más económico frente a las otras dos obras longitudinales.

Por otro lado, se debe mencionar las referencias bibliográficas que sirvieron de soporte para la investigación, las cuales fueron 8 investigaciones. El primer antecedente del artículo de investigación titulado (Análisis de riesgo por inundación: Metodología y aplicación a la cuenca de Atemajac, 2017), en el que desarrollaron el enfoque cuantitativo orientado a la obtención de mapas de riesgo y el enfoque cualitativo orientado a la estimación de vulnerabilidad por medio de índices, llegaron a la conclusión de que los daños asociados a las inundaciones correspondieron a los periodos de retorno de 50 y 100 años. *El aporte de este artículo es que en la investigación también se pudo determinar que el riesgo por inundación ocurre en el periodo de retorno de 0 y 100 años.*

El segundo antecedente de (ROBAYO, 2014) en la tesis titulada “Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito desarrollado a través de sistemas de información geográfica”, donde caracterizó la cuenca del río Tunjuelito y consideró los criterios de análisis de amenaza por inundación, llegó a la conclusión de que las variables de mayor influencia en la amenaza por inundación son las características climatológicas y físicas de la cuenca siendo la precipitación y escorrentía las que se encuentran directamente relacionadas al caudal y elevación del nivel de agua. *Este antecedente respalda el nivel de peligro por inundación en la investigación, pues fueron las características climatológicas como la precipitación y las características físicas del lugar de estudio como la geomorfología, formación geológica y pendiente que permitieron obtener el nivel de peligro por inundación en el distrito de Cachimayo que es por donde circula el río Hatunmayo.*

De acuerdo al antecedente de (LOYOLA, 2019) en la tesis titulada “Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada del cauce del río Grande, tramo desde el puente Candopata hasta el puente Cumbicus de la ciudad de Huamachuco, provincia de

Sánchez Carrión - La Libertad”, en la que evaluó el riesgo por inundación de una muestra de 32 familias aledañas a la faja marginal del río Grande, llegó a la conclusión de que el riesgo es alto y que la población aledaña al cauce del río corre peligro de nivel alto. *De acuerdo a este antecedente, en la investigación también se pudo obtener el nivel de riesgo alto con un nivel de peligro medio y nivel de vulnerabilidad alto.*

El antecedente de (BUITRAGO, y otros, 2013) en la tesis titulada “Recomendación para la implementación de obras de protección y control de cauces”, donde en primer lugar analizó la información de la cuenca y desarrolló las características básicas de la cuenca en el cual incluyeron el detalle de obras transversales para el control de inundaciones y obras longitudinales para la protección del cauce de un río; llegó a la conclusión de que para la implementación de obras de protección y control de cauces, se debe tener en cuenta las características geomorfológicas de la corriente para implementar la obra más favorable a las condiciones del sitio de estudio. *Según este antecedente, se debe mencionar que, en la presente investigación también se analizó la información y las características de la microcuenca donde se encuentra el río Hatunmayo, también se diseñaron las obras longitudinales de protección del cauce del río tomando en cuenta las características geomorfológicas de la zona de estudio.*

En cuanto al antecedente de (LÓPEZ, 2017) en la tesis titulada “Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección contra inundaciones del río Chinautla, Aldea Santa Cruz, Chinautla, Guatemala”, donde consideró los parámetros hidrológicos de la cuenca del río Chinautla, también se realizó una simulación hidráulica de la zona de estudio en la que utilizó datos topográficos y características del caudal; obtuvo niveles de crecidas para los cuales diseñó obras de protección y realizó la simulación geométrica en el programa HEC – RAS; llegó a la conclusión de que en función de los datos obtenidos del HEC – RAS propuso el diseño de bordes en ambos márgenes del río con una longitud de 170 m, 2.60 m de altura y protección de roca con un ancho de 0.75 m, diseño que evita la inundación del área estudiada. *De acuerdo a este antecedente, para el diseño de las obras de protección, en la investigación también se consideró los parámetros hidrológicos de la microcuenca del río Hatunmayo y se realizó la simulación hidráulica en el programa HEC – RAS con el uso de datos topográficos y características del caudal del río; para finalmente proponer el diseño de tres obras de protección en todo el margen derecho del río Hatunmayo (longitud comprendida de 1 Km) debido a que este lado del río se encontraba más irregularidades y con riesgo de inundación, las alturas de las obras de protección fueron; 2.00 m para el dique de enrocado, 2.00 m para los gaviones cuya*

sección transversal está compuesta por 2 gaviones de 1.00 m de lado en la base y un colchón de 1.00 m de largo y en el segundo nivel un gavión de 1.50 m de lado en su base, y 2.00 m de altura para el dique de tierra.

En cuanto al antecedente, que es un artículo titulado (Obras de protección contra inundaciones, 2018), donde los autores describieron diferentes estructuras de protección, además de detallar aspectos importantes sobre el periodo de retorno de las avenidas en el diseño de diferentes obras de protección; mencionan que cuando ocurren inundaciones en zonas aledañas a un río que cuenta con obras de protección la responsabilidad por las pérdidas humanas y destrucciones de las viviendas es responsabilidad de las autoridades por permitir los asentamientos humanos en zonas de riesgo, y que a pesar de las inversiones en medidas estructurales como obras de protección contra inundaciones depende de la seguridad que siente la población; por lo que llegaron a la conclusión de que no es posible eliminar del todo el riesgo de sufrir inundación, razón por la que aún con la construcción de una obra física se debe aprender a convivir con el río y sus crecidas. *Un aspecto muy importante a destacar de este antecedente dentro de la investigación realizada, ya que como se conoce el riesgo de inundación siempre va estar presente a pesar de la construcción de obras de protección, por lo que se debe respetar los cambios y variaciones de la naturaleza con la finalidad de evitar daños físicos y materiales; siendo un ejemplo claro de ello evitar el hábitat en las riberas y alrededores de un río con altas crecidas.*

Referente al antecedente nacional de (CCONISLLA, 2017) en la tesis titulada “Protección contra inundaciones en el sector del Centro Poblado de Gorgor, Distrito de Gorgor, Provincia de Cajatambo, Lima”, donde se realizó el planteamiento y diseño físico de enrocado como defensa ribereña con el apoyo de programas como RIVER y HEC – RAS, se obtuvo una altura de dique de 4.30 m en tramos vulnerables de la margen izquierda y derecha; llegó a la conclusión de que el dique enrocado logrará la protección de 1235 personas aproximadamente, además de disminuir la erosión de laderas en ambas márgenes del río Gorgor reduciendo el ensanchamiento del ancho del cauce y pérdida de vegetación del río. *De acuerdo con este antecedente, para el diseño de obras longitudinales de protección del río Hatunmayo también se empleó el programa HEC – RAS para simular el caudal del río para los periodos de retorno de 0 años y 100 años, incluyendo la colocación de las obras longitudinales en tramos de 200 m y 300 m.*

Finalmente, en cuanto al antecedente de (NARRO, 2019) en la tesis titulada “Instalación de protección contra inundaciones en el Centro Poblado José Carlos Mariátegui, sector 21 de Enero, en la margen derecha del río Huaura, Distrito de Huaura, Provincia de Huaura, Región Lima”, donde se planteó una solución a la falta de protección de la ribera del río Huaura en al área agrícola de cultivos y riego; el autor planteó el diseño de un dique con acabado de enrocado; llegó a la conclusión de que para la protección de defensas ribereñas el enrocado de dique seco presentó mejores condiciones además de emplear materiales propios de la zona con un tiempo de vida útil mayor a los esperado. *Según el aporte de esta investigación, es posible destacar la aplicación del dique enrocado ya que el tirante del río se reduce considerablemente en el tramo de 200 m propuesto.*

CONCLUSIONES

- Del análisis del caudal del río Hatunmayo, se concluye que responde al caudal de diseño para el periodo de retorno de 100 años, cuyo caudal fue $29.96 \text{ m}^3/\text{s}$ el cual se empleó para la simulación en el programa HEC-RAS con la inclusión de obras longitudinales en determinados tramos.
- Se concluye que el riesgo por inundación actual en la zona de estudio fue alto, el cual se obtuvo con un nivel de peligro medio y vulnerabilidad alta; donde la frecuencia de inundación es en periodos de tiempo medianamente largos.
- Respecto al diseño del dique enrocado, se concluye que la geometría transversal del dique enrocado obtenida del diseño hidráulico es estable según el cálculo estructural en el que se determinó la estabilidad del terraplén y el enrocado en la cara interna del dique enrocado.
- Del diseño de gaviones, se concluye que el dimensionamiento transversal obtenido del diseño hidráulico es estable al deslizamiento y volteo, y que el suelo de la margen derecha del río puede soportar el peso de los gaviones. Así mismo las cajas de los gaviones deben ser de malla hexagonal y doble torsión con material de zinc y aluminio galvanizado con abertura de malla de $10 \times 12 \text{ cm}$.
- Referente al diseño del dique de tierra, se concluye que la geometría transversal obtenida del diseño hidráulico es estable al volteo y deslizamiento, además de que el suelo puede soportar el peso del dique de tierra compactado. También se debe incluir la colocación de filtros de drenaje de material granular para el control de agua infiltrada en el dique.
- Como conclusión general es posible decir que, el riesgo por inundación del río Hatunmayo es alto por lo que es necesario la colocación de obras longitudinales en tramos del río para evitar su desbordamiento. Ya que según la simulación, el nivel de agua con los gaviones se mantiene por debajo de la altura de estos. Además se pudo demostrar que el riesgo por inundación depende de las obras longitudinales, pues estas logran mantener el tirante del río en el mismo nivel o se reducen de acuerdo a la obra longitudinal que se coloque y de este modo se reduce el riesgo por inundación en zonas aledañas al río.

RECOMENDACIONES

- Referente a la simulación del caudal de diseño del río Hatunmayo en el programa HEC-RAS, se recomienda tener en cuenta el ancho de la sección del río y los márgenes del río para obtener una vista más detallada en el perfil y tramo del río simulado.
- En cuanto al nivel de riesgo por inundación, se recomienda considerar al grupo de personas y conjunto de elementos (tipo de vivienda, tipo de seguro de salud, discapacidad, entre otros) más vulnerables para determinar de forma más precisa el nivel de riesgo.
- Respecto al diseño del dique enrocado, se recomienda tener en cuenta el ancho de la uña de cimentación ya que un ancho menor de uña puede ocasionar retrasos en la ejecución de la obra, por lo que en la investigación se extendió el ancho de la uña para obtener una base plana.
- En cuanto al diseño de gaviones, se recomienda llenar los gaviones con piedras del mismo diámetro del enrocado, bien acomodadas y asegurar su cierre para evitar su deformación, volteo y pérdida de material después de ser colocadas.
- Referente al diseño del dique de tierra, se recomienda realizar una buena compactación y recubrir el terraplén del dique de tierra con una geocelda o malla con la finalidad de evitar el desmoronamiento del dique de tierra.
- De forma general, se recomienda la recopilación, selección y empleo de información relacionada directamente a la zona de estudio para facilitar la extracción de datos relevantes tal como se realizó en la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al día - Tutoriales. 2013. Métodos para el cálculo de la precipitación media en una cuenca . *Métodos para el cálculo de la precipitación media en una cuenca* . [En línea] 2013. <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/metodos-para-el-calculo-de-la-precipitacion-media-en-una-cuenca/#:~:text=Es%20el%20m%C3%A9todo%20m%C3%A1s%20preciso,nivel%20de%20un%20levantamiento%20topogr%C3%A1fico..>

Análisis de riesgo por inundación: Metodología y aplicación a la cuenca de Atemajac.

HERNÁNDEZ, R, BARRIOS, H y RAMÍREZ, A. 2017. 3, Monterrey, México : Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, 2017, Vol. 8.

APACLLA, R. 2014. *Hidráulica fluvial*. Lima, Perú : UNALM, 2014.

APARICIO, F. 1997. *Fundamentos de hidrología de superficie*. 11va. México : Limusa SA, 1997.

ARISTIZÁBAL, V, BOTERO, B y VÉLEZ, J. 2014. *Manual de hidrología para obras viales basado en el uso de sistemas de información geográfica* . Colombia : Universidad Nacional de Colombia , 2014.

ASHAKAR, F, T.B.M.J. y OUARDA, R. 1993. *Robust estimators in hydrologic frequency analysis*. s.l. : Am. Soc. Civ. Eng, 1993.

BERNAL, C. 2010. *Metodología de la investigación: administración, economía. humanidades y ciencias sociales*. Colombia : s.n., 2010.

BIANCHINI INGENIEROS. 2020. Gaviones. Sistema de corrección fluvial, muros de contención y urbanismo. *Gaviones. Sistema de corrección fluvial, muros de contención y urbanismo*. [En línea] 2020. <http://www.revistaprojecta.com/proyecta/2012/04/03/defensas-riberenas-con-gaviones-y-geosinteticos-detienen-desbordes-de-rios>..>

BITRAGO, C y OCHOA, D. 2013. *Recomendación para la implementación de obras de protección y control de cauces*. Bogotá, Colombia : Universidad Católica de Colombia, 2013.

CASTRO, E. 2016. *Teoría y práctica de la investigación científica*. Huancayo, Perú : PERUGRAPH SRL, 2016. Propiedad del autor.

- CCONISLLA, J. 2017.** *Protección contra inundaciones en el sector del Centro Poblado de Gorgor, Distrito de Gorgor, Provincia de Cajatambo, Lima.* Lima, Perú : Universidad Agraria La Molina, 2017.
- CHOW, V, MAIDMENT, D y MAYS, L. 1994.** *Hidrología aplicada.* Colombia : McGraw-Hill, 1994.
- Dirección Regional de Agricultura. 2020.** Dirección Regional de Agricultura - Enrocado en puntos críticos del río Cañete evitarán desbordes en épocas de lluvia. *Dirección Regional de Agricultura - Enrocado en puntos críticos del río Cañete evitarán desbordes en épocas de lluvia.* [En línea] Dirección Regional de Agricultura, 15 de Diciembre de 2020. <https://www.gob.pe/institucion/regionlima-dra/noticias/340656-enrocado-en-puntos-criticos-del-rio-canete-evitaran-desbordes-en-epocas-de-lluvia>.
- GARCÍA, U. 2019.** METEORED. *METEORED: Inundaciones, uno de los desastres naturales más mortíferos* . [En línea] 14 de Junio de 2019. <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/inundacion-problema-en-todo-el-mundo.html>.
- GONZÁLEZ, H. 2016.** *Análisis de riesgo por inundaciones en la cuenca del río Yucaes sector Muyurina - Ayacucho, 2014.* Huamanga, Ayacucho : Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2016.
- HERNÁNDEZ, R, FERNÁNDEZ, C y BAPTISTA, P. 2014.** *Metodología de la investigación.* México : McGraw-Hill, 2014. 978-1-4562-2396-0.
- INDECI. 2006.** *Manual básico para la estimación del riesgo.* Lima, Perú : Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006.
- INFANTE, J. 2018.** El periodiquito. *El periodiquito: Gobierno regional avanza en el plan de limpieza de ríos y diques - Venezuela.* [En línea] 12 de Agosto de 2018. <https://elperiodiquito.com/noticias/90761/Gobierno-regional-avanza-en-el-plan-de-limpieza-de-rios-y-diques>.
- Infoinundaciones. 2019.** Infoinundaciones. *Infoinundaciones: Gestión de inundaciones en Perú.* [En línea] 31 de Enero de 2019. infoinundaciones.com/noticias/la-gestion-de-inundaciones-en-el-peru/.

- KITE, G. 1988.** *Frequency and risk analysis in hydrology: Water Resources Publications.* Littleton, Colorado, EE.UU. : s.n., 1988.
- LINSLEY, R, KOHLER, M y PAULUS, J. 1988.** *Hidrología para ingenieros .* México : McGraw-Hill, 1988.
- LÓPEZ, K. 2017.** *Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección contra inundaciones del río Chinautla, Aldea Santa Cruz, Chinautla, Guatemala.* Chinautla, Guatemala : Universidad San Carlos de Guatemala, 2017.
- LOYOLA, J. 2019.** *Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada del cauce del río Grande, tramo desde el puente Candopata hasta el puente Cumbicus de la ciudad de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión - La Libertad.* La Libertad, Perú : Universidad César Vallejo, 2019.
- LUJANO, E. 2019.** *Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú.* Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2019.
- MARTÍN, J. 2001.** *Ingeniería de ríos.* España : Alfa Omega, 2001.
- Municipalidad Distrital de Cachimayo. 2019.** *Informe de evaluación del riesgo por inundación fluvial del río Hatunmayo, distrito de Cachimayo, provincia de Anta, departamento de Cusco.* Anta, Cusco : Municipalidad Distrital de Cachimayo, 2019.
- NARRO, P. 2019.** *Instalación de protección contra inundaciones en el Centro Poblado José Carlos Mariátegui, sector 21 de Enero, en la margen derecha del río Huaura, Distrito de Huaura, Provincia de Huaura, Región Lima.* Lambayeque, Perú : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
- Obras de protección contra inundaciones.* **ARCOS, N, y otros. 2018.** 3, Guerrero, México : Universidad Autónoma de Guerrero, 2018, Revista Innova Ingeniería: Publicaciones Técnicas de Investigación, Vol. 1. 04-2017-061613262800-203.
- OCHOA, R. 2011.** *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos.* Colombia : OCOE, 2011.
- ORELLANA, E. 2014.** *Diseños de experimentos aplicados en ciencias forestales y ambientales.* Huancayo, Perú : Industria Gráfica MARSANTS, 2014. 978-612-00-1143-0.

- People in harm's way: Floode exposure and poverty in 189 countries.* **RENTSCHLER, J y SALHAB, M. 2020.** 9447, s.l. : Banco Mundial, Washington, DC., Octubre de 2020.
- PIZARRO, R, y otros. 1993.** *Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional sobre el uso y conservación del recurso hídrico en áreasde América Latina y el Caribe.* Chile : UNESCO. Universidad de Talca , 1993.
- PONCE, V. 2008.** Preguntas y respuestas sobre el periodo de retorno a ser usado para diseño. *Preguntas y respuestas sobre el periodo de retorno a ser usado para diseño.* [En línea] Mayo de 2008. [Citado el: 03 de Marzo de 2021.] http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html.
- RAMÍREZ, R. 2010.** *Proyecto de investigación. Cómo se hace una tesis.* Lima, Perú : Fondo Editorial AMADP. Lima, Perú, 2010. DERECHOS RESERVADOS.
- ROBAYO, L. 2014.** *Análisis de amenaza por inundación para la localidad de Tunjuelito desarrollado a través de sistemas de información geográfica.* Bogotá, Colombia : Universidad Católica de Colombia, 2014.
- ROCHA, A. 2007.** *Hidráulica de canales y tuberías.* Lima, Perú : Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.
- ROCHA, F. 1998.** *Introducción a la hidraulica fluvial.* Lima, Perú : Facultad de Ingenieria Civil - Universidad Nacional de Ingeniería, 1998.
- SÁNCHEZ, H y REYES, C. 2015.** *Metodología y diseños de la investigación cinética.* Lima, Perú : Business Support Aneth, 2015. 978-612-46842-2-7.
- SUÁREZ, J. 2001.** *Control de erosión en zonas tropicales.* Bucaramanga, Colombia : Instituto de Investigaciones sobre la Erosión y Deslizamientos - Ingeniería de suelos Ltda., 2001.
- TERÁN , E. 1998.** *Diseño y construcción de defensas ribereñas.* Lima, Perú : Escuela Superior de Administración de Aguas CHARLES SUTTON , 1998.
- TERÁN, R. 1998.** *Diseño y consrucción de defensas ribereñas.* Lima, Perú : Escuela Superio de Administración de Aguas CHARLES SUTTON, 1998.
- UNI, CISMID. 2013.** *Estudios de microzonificación geotécnica sísmica y evaluación del riesgo en zonas ubicadas en los distritos de Carabayllo y El Agustino (provincia y*

departamento de Lima), distrito del Cusco (provincia y departamento del Cusco), distrito de Alto Selva Ale. Lima, Perú : Universidad Nacional del Ingeniería , 2013.

VALDERRAMA, S. 2002. *Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica.* Cerro de Pasco, Perú : San Marcos, 2002. 1501322002-3470.

Validez y confiabilidad en la metodología cualitativa . **MARTÍNEZ, M. 2006.** 2, Caracas, Venezuela : Universidad Simón Bolívar de Caracas, 2006, Vol. 27. ISSN 1011-2251.

VELÁSQUEZ, T. 2014. *Diseño de presas de tierra y enrocado en el Perú.* Lima, Perú : UNALM, 2014.

VILLÓN, M. 2002. *Hidrología.* Lima, Perú : s.n., 2002.

Wikipedia. 2020. Distribución de gumbel. *Distribución de gumbel.* [En línea] 17 de Marzo de 2020. [Citado el: 25 de Marzo de 2020.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Gumbel.](https://es.wikipedia.org/wiki/Distribuci%C3%B3n_de_Gumbel)

ANEXOS

Anexo 1: Matriz consistencia

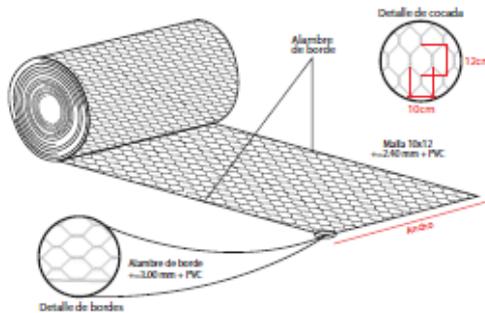
PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general ¿Cuál es la relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021?</p>	<p>Objetivo general Determinar la relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.</p>	<p>Antecedente internacional Según el artículo (Análisis de riesgo por inundación: Metodología y aplicación a la cuenca de Atemajac, 2017). Con el objetivo de desarrollar y aplicar una metodología de análisis de riesgos por inundaciones en una cuenca urbanizada para ayudar en la toma de decisiones de generar proyectos que minimicen los daños causados por las inundaciones. Para ello, consideraron el enfoque determinista basado en modelaciones numéricas y el enfoque paramétrico basado en la estimación de la vulnerabilidad. Llegaron a la conclusión de que tras el desarrollo de ambos enfoques se logró generar mapas de riesgo donde se ilustran los posibles daños asociados con las inundaciones. Para ello, consideraron el enfoque determinista basado en modelaciones numéricas y el enfoque paramétrico basado en la estimación de la vulnerabilidad. Llegaron a la conclusión de que tras el desarrollo de ambos enfoques se logró generar mapas de riesgo donde se ilustran los posibles daños asociados con las inundaciones.</p>	<p>Hipótesis general La relación entre el riesgo por inundación y las obras longitudinales es directamente proporcional, en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021.</p>	<p>Variable 1 Riesgo por inundación</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis del caudal del río - Riesgo 	<p>Método: Científico Tipo: Aplicada Nivel: Descriptivo - correlacional Diseño: No experimental.</p>
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo es el análisis del caudal del río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021? • ¿Cuánto es el riesgo por inundación en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021? • ¿Cómo es el diseño del dique enrocado en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021? • ¿De qué forma se realiza el diseño de gaviones en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021? • ¿Cómo se desarrolla el diseño del dique de tierra en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021? 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar el análisis del caudal del río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021. • Calcular el riesgo por inundación en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021. • Describir el diseño del dique enrocado en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021. • Realizar el diseño de gaviones en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021. • Detallar el diseño del dique de tierra en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021. 	<p>Antecedente nacional Según (LOYOLA, 2019), en la tesis titulada “Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada del cauce del río Grande, tramo desde el puente Candopata hasta el puente Cumbicus de la ciudad de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión - La Libertad”, con el objetivo de evaluar el riesgo por inundación en la zona mencionada y proponer medidas estructurales y no estructurales que reduzcan el riesgo por inundación. Realizó una investigación descriptiva, evaluando la vulnerabilidad de una muestra de 31 familias aledañas a la faja marginal del río Grande. Llegó a la conclusión de que el riesgo por inundación es alto, así como también el peligro que corre la población aledaña al cauce del río, es alto.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • El análisis del caudal del río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021, comprende diferentes periodos de retorno. • El riesgo por inundación en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021; es moderado. • El diseño del dique enrocado en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021; es eficiente. • El diseño de gaviones en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021; es adecuado. • El diseño del dique de tierra en el río Hatunmayo, Jurisdicción del distrito de Cachimayo, Anta – Cusco, 2021; es eficiente. 	<p>Variable 2 Obras longitudinales</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dique enrocado - Gaviones - Dique de tierra 	<p>Población y muestra: Población: Río Hatunmayo: tramo desde la frontera Pucyura Km: 0+000 hasta la frontera Poroy Km: 6+460, dentro de la jurisdicción distrito Cachimayo, provincia de Anta y departamento de Cusco. Muestra: No probabilística y por conveniencia, tramo de 1Km de longitud del río Hatunmayo. Técnicas e instrumentos: Recolección de información histórica del caudal del río, levantamiento topográfico, etc. Técnicas de procesamiento de datos: El procesamiento de datos se desarrolló empleando el programa MS-Excel 2013, HEC-RAS.</p>
		<p>Marco teórico referencial:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caudal • Inundación • Periodo de retorno • Obra longitudinal 			

Anexo 2: Ficha técnica – Malla hexagonal a doble torsión



MALLA HEXAGONAL DOBLE TORSIÓN

FICHA TÉCNICA



MALLA HEXAGONAL DE DOBLE TORSIÓN	
Abertura de malla	10x12 cm
Alambre de malla	2.4 mm + PVC (Diam. Eje 3.40)
Revestimiento del alambre	BEZINAL (ZINC + 100% Al + PVC)
Espesor de PVC	0.4 mm mínimo

1. MALLAS GAVIÓN

Las mallas Gavión fabricadas por PRODAC están constituidas por una red de malla hexagonal tejida a doble torsión.

2. COMPONENTE: ALAMBRE

El alambre usado en la fabricación de las mallas y para las operaciones de amarre y atrantamiento durante la colocación en obra, deberá ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones BS (British Standard) 1052/1980 "Mild Steel Wire", una carga de rotura media superior a 3, 800 kg/cm² y un estiramiento no inferior al 12%.

El diámetro externo del alambre de la malla será de 3.40 mm, y el diámetro externo del alambre de borde será de 4.00 mm (incluye el PVC)

3. REVESTIMIENTO DE ALAMBRE

El alambre debe tener un revestimiento Zinc + 5 a 10% Aluminio (BEZINAL®-BEZ), de acuerdo a la norma ASTM A 856 / EN 10244-2, cuyo espesor y adherencia garantice la durabilidad del revestimiento, y la calidad de zinc estará de acuerdo a las especificaciones BS (British Standar) 443/1982 "Zinc Coating on Steel Wire", y ASTM A 641 "Zinc-Coated (Galvanized) Carbon Steel Wire" para revestimiento clase 3. Adicionalmente al recubrimiento de Zinc + Aluminio, el alambre tendrá un revestimiento por extrusión con PVC (polivinil cloruro), de un espesor mayor o igual a 0.50 mm.

4. COMPONENTE: MALLA

Las características indispensables que deberá tener la malla a utilizar son las siguientes:

- Poseer una elevada resistencia mecánica y contra fenómenos de corrosión.
- Facilidad de colocación.
- No ser fácil de destejer o desmallar.

La malla hexagonal de doble torsión es obtenida a través del entrelazado de los alambres por tres medias vueltas, conforme a las especificaciones de la NBR 10514, NB 710-00 y NP 15 055 00.

5. ABERTURA DE LA MALLA

La abertura de la malla, también conocida como cocada, será de 10x12 cm. para la malla gavión.

6. DIMENSIONES

Las dimensiones de los rollos de malla son:
2.0x25 m
2.0x50 m

7. CERTIFICACIONES



Av. Néstor Gambetta No. 6429 Callao - Perú
Telf. : (51-1) 613-6666 Fax: (51-1) 577-0041
infraestructura@prodac.com.pe
www.prodac.com.pe



Anexo 3: Análisis de validez

FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				 Universidad Continental		
ANÁLISIS DE VALIDEZ - FICHA DE RECOPIACION DE DATOS						
PROYECTO:	RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RIO HATUNMAYO, JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021					
AUTORES:	FANO BUSTAMANTE RUMINIT QUISPE CHOQUE LADISLAO					
I. INFORMACIÓN GENERAL						
UBICACIÓN:	Río Hatunmayo					CALIFICACIÓN 0: MAL 1: BIEN
DISTRITO:	Cachimayo	ALTITUD:	3442 msnm			
PROVINCIA:	Anta	LATITUD:	13°28'45"S			
REGIÓN:	Cusco	LONGITUD:	72°03'57"O			
II. Riesgo por inundación y obras longitudinales						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad	
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)	
III. Riesgo por inundación						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad			
	Peligro	%	Vulnerabilidad	%		
IV. Análisis del caudal del río						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad			
	Caudal de diseño	m ³ /s	Periodo de retorno	años		
V. Diseño del dique enrocado						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad	
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)	
VI. Diseño de gaviones						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad	
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)	
VII. Diseño de dique de tierra						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad	
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)	
APELLIDOS Y NOMBRES:	ALVAREZ GUTIERREZ MARCELINO					
PROFESION Y GRADO:	ING. CIVIL					
REGISTRO CIP N°:	89565					
EMAIL:	-					
TELEFONO:	984718743					

Rango de validez	Interpretación	 Marcelino Alvarez Gutiérrez INGENIERO CIVIL CIP 89565 FIRMA
0.81 - 1.00	Muy alta	
0.61 - 0.80	Alta	
0.41 - 0.60	Media	
0.21 - 0.40	Baja	
0.00 - 0.20	Muy baja	

FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				 Universidad Continental	
ANALISIS DE VALIDEZ - FICHA DE RECOPIACION DE DATOS					
PROYECTO:		RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RIO HATUNMAYO, JURISDICCION DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021			
AUTORES:		FANO BUSTAMANTE RUMINIT QUISPE CHOQUE LADISLAO			
I. INFORMACIÓN GENERAL					
UBICACIÓN:		Río Hatunmayo			
DISTRITO:	Cachimayo	ALTITUD:	3442 msnm		
PROVINCIA:	Anta	LATITUD:	13°28'45"E		
REGIÓN:	Cusco	LONGITUD:	72°03'57"O		
II. Riesgo por inundación y obras longitudinales					
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)
1					
III. Riesgo por inundación					
Indicador 1		Unidad	Indicador 2		Unidad
Peligro		%	Vulnerabilidad		%
1					
IV. Análisis del caudal del río					
Indicador 1		Unidad	Indicador 2		Unidad
Caudal de diseño		m ³ /s	Periodo de retorno		años
1					
V. Diseño del dique enrocado					
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)
1					
VI. Diseño de gaviones					
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)
1					
VII. Diseño de dique de tierra					
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)
1					
APELLIDOS Y NOMBRES:		VERA DELGADO JUAN MANUEL			
PROFESION Y GRADO:		INGENIERO CIVIL			
REGISTRO CIP N°:		77002			
EMAIL:		jmanuelvd5@hotmail.com			
TELEFONO:		984916202			

Rango de validez	Interpretación	 Juan Manuel Vera Delgado INGENIERO CIVIL CIP 77002
0.81 - 1.00	Muy alta	
0.61 - 0.80	Alta	
0.41 - 0.60	Media	
0.21 - 0.40	Baja	
0.00 - 0.20	Muy baja	FIRMA

FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				 Universidad Continental		
ANALISIS DE VALIDEZ - FICHA DE RECOPIACION DE DATOS						
PROYECTO:	RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RIO HATUNMAYO, JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021					
AUTORES:	FANO BUSTAMANTE RUMINIT QUISPE CHOQUE LADISLAO					
I. INFORMACIÓN GENERAL						
UBICACIÓN:	Río Hatunmayo					CALIFICACIÓN 0: MAL 1: BIEN
DISTRITO:	Cachimayo	ALTITUD:	3442 msnm			
PROVINCIA:	Anta	LATITUD:	13°28'45"S			
REGIÓN:	Cusco	LONGITUD:	72°03'57"O			
II. Riesgo por inundación y obras longitudinales						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad	
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)	
III. Riesgo por inundación						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad			
Peligro	%	Vulnerabilidad	%			
IV. Análisis del caudal del río						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad			
Caudal de diseño	m ³ /s	Periodo de retorno	años			
V. Diseño del dique enrocado						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad	
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)	
VI. Diseño de gaviones						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad	
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)	
VII. Diseño de dique de tierra						1
Indicador 1	Unidad	Indicador 2	Unidad	Indicador 3	Unidad	
Diseño hidráulico	Profundidad de socavación (m)	Cálculo estructural	Altura del muro (m)	Estabilidad	Factor de seguridad (FS)	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Edison Loayza Huaman					
PROFESION Y GRADO:	ING. CIVIL					
REGISTRO CIP N°:	203119					
EMAIL:	hanshon_first@hotmail.com					
TELEFONO:	958282739					

Rango de validez	Interpretación	 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU CONSEJO PROFESIONAL DEL CUSCO  EDISON LOAYZA HUAMAN INGENIERO CIVIL CIP 203119 FIRMA
0.81 - 1.00	Muy alta	
0.61 - 0.80	Alta	
0.41 - 0.60	Media	
0.21 - 0.40	Baja	
0.00 - 0.20	Muy baja	

Anexo 4: Registro histórico de precipitación máxima diaria

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máx. 24 h
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2000	25.5	24.9	22.6	5.7	0.8	4.5	1.5	2.4	4.9	9.5	17.3	11.4	25.5
2001	18.9	31.0	21.4	10.6	4.3	0.0	9.9	3.6	5.4	15.9	23.1	11.6	31.0
2002	21.2	25.1	13.5	8.1	5.7	1.0	6.9	2.4	2.6	15.2	26.7	23.5	26.7
2003	24.6	24.0	18.0	39.1	1.0	6.4	0.0	10.8	1.7	10.2	7.0	23.4	39.1
2004	24.5	30.8	12.6	6.4	1.4	12.6	8.0	4.9	7.3	14.7	11.0	25.2	30.8
2005	23.0	20.8	27.8	23.2	2.0	0.4	1.2	2.2	2.1	13.6	11.7	17.2	27.8
2006	37.3	51.6	26.4	30.2	0.2	4.0	0.0	5.4	4.1	15.0	12.6	15.3	51.6
2007	26.7	13.7	19.7	32.9	3.4	0.0	3.0	0.0	1.0	14.9	18.9	16.9	32.9
2008	25.6	27.9	11.2	5.6	2.8	1.0	0.0	2.0	8.3	11.2	24.5	16.4	27.9
2009	27.8	17.8	23.6	5.9	2.5	0.0	1.8	0.4	7.6	2.2	24.1	11.9	27.8
2010	41.2	25.7	25.7	5.1	1.3	0.1	1.4	2.6	3.0	18.6	10.9	35.9	41.2
2011	22.6	22.0	25.0	15.6	1.7	3.2	3.0	0.0	9.6	18.9	29.8	14.6	29.8
2012	14.8	39.5	8.1	28.4	3.4	1.2	0.0	0.1	10.3	9.2	30.7	24.3	39.5
2013	23.2	21.1	18.7	4.5	3.2	3.0	1.0	6.2	2.7	17.9	13.7	27.2	27.2
2014	31.1	21.9	8.8	16.9	4.4	0.0	1.4	3.0	7.0	23.2	15.8	35.5	35.5
2015	38.3	23.6	9.7	12.5	8.0	2.3	5.5	3.0	6.2	6.3	14.6	26.4	38.3
2016	24.6	17.3	31.3	7.4	6.0	0.0	0.0	3.0	8.3	12.9	47.0	30.0	47.0
2017	22.9	12.7	36.2	33.3	3.8	0.0	1.8	16.2	8.5	15.5	15.2	18.3	36.2
2018	20.3	27.4	17.3	6.1	1.5	13.9	6.9	9.7	2.4	18.5	11.2	19.5	27.4
2019	19.5	17.4	31.4	2.2	1.3	3.0	1.6	0.0	8.2	15.7	24.9	32.0	32.0
2020	31.7	21.0	28.7	5.6	22.2	0.3	0.0	0.8	1.2	12.2	19.8	26.1	31.7

Fuente: SENAMHI



Ruminit Fano Bustamante <nitfanobustamante@gmail.com>

BUEN DIA SOLICITO DATOS HIDROMETEOROLOGICOS DE ESTACIONES CUSCO

3 mensajes

Ruminit Fano Bustamante <nitfanobustamante@gmail.com> 22 de febrero de 2021, 8:40
Para: lfloresu@senamhi.gob.pe, Ruminit Fano Bustamante <nitfanobustamante@gmail.com>

BUEN DIA LE ESCRIBO PARA SOLICITARLE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICO DE ESTACIONES DE CUSCO. ADJUNTO FORMATOS, RESOLUCIÓN DE LA UNIVERSIDAD, Y RESUMEN DE PLAN DE TESIS..
MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCION.

-

*Atte.**Ruminit Fano Bustamante.**Cel.**Movil: 945979783*

2 adjuntos

 **PLAN DE TESIS RIESGO POR INUNDACION Y OBRAS LONGITUDINALES 2021 RESUMEN (1).pdf**
46K **SOLICITUD, FORMATOS RESOLUCION UNIVERSIDAD SENAMHI 19 02 2021.pdf**
1438K

Leticia Flores Ugarte (DZ12) <lfloresu@senamhi.gob.pe> 26 de febrero de 2021, 10:05
Para: Ruminit Fano Bustamante <nitfanobustamante@gmail.com>
Cc: "Martha Huilca Condor (DZ12)" <mhuilca@senamhi.gob.pe>

Sr. Ruminit:

Reciba un saludo cordial a nombre de la Dirección Zonal 12 SENAMHI, el presente es con la finalidad de dar atención a la solicitud con expediente de recepción N° 2021-0001240 , mediante el cual solicita información de datos meteorológicos mensuales, para lo cual adjunto al presente dicha información de acuerdo a la disponibilidad encontrada en el banco de información de nuestra Institución de acuerdo a lo coordinado, esperando que lo alcanzado sirva para los propósitos trazados. Así mismo recordar el compromiso que sostuvo con el SENAMHI.

De: Ruminit Fano Bustamante <nitfanobustamante@gmail.com>

Enviado: lunes, 22 de febrero de 2021 8:40

Para: Leticia Flores Ugarte (DZ12) <lfloresu@senamhi.gob.pe>; Ruminit Fano Bustamante <nitfanobustamante@gmail.com>

Asunto: BUEN DIA SOLICITO DATOS HIDROMETEOROLOGICOS DE ESTACIONES CUSCO

[El texto citado está oculto]

 **INFORMACION RUMINIT.xlsx**
58K

Mia Lia 20 lus <nitfanobustamante@gmail.com> 26 de febrero de 2021, 10:42
Para: Ladislao Quispe Choque <ladislaoquispech@gmail.com>, ladislaoquispe2015@hotmail.com

Anexo 5: Cálculo del caudal por el método Gumbel y Nash

1. Método Gumbel

- Cálculo del caudal medio

$$\sum Q = 139.028 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_m = \frac{\sum Q}{N}$$

$$\therefore Q_m = \frac{139.028}{21}$$

$$\therefore Q_m = 6.6204 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Cálculo de la desviación estándar

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2 - N Q_m^2}{N - 1}}$$

La tabla siguiente, muestra Q^2 por año y la sumatoria correspondiente $\sum Q^2$

Tabla 36. Valores de Q^2 y $\sum Q^2$

N°	AÑO	Q	Q ordenado mayor a menor	Q ²
		Caudal		
1	2000	1.876	20.122	3.520
2	2001	4.600	16.015	21.157
3	2002	2.411	11.331	5.815
4	2003	9.780	10.069	95.657
5	2004	4.489	9.780	20.150
6	2005	2.932	9.211	8.594
7	2006	20.122	7.776	404.899
8	2007	5.695	7.316	32.437
9	2008	2.980	5.695	8.882
10	2009	2.932	5.167	8.594
11	2010	11.331	4.994	128.382
12	2011	3.948	4.600	15.584
13	2012	10.069	4.489	101.394
14	2013	2.644	3.948	6.993
15	2014	7.316	2.980	53.524
16	2015	9.211	2.932	84.849
17	2016	16.015	2.932	256.484
18	2017	7.776	2.739	60.459
19	2018	2.739	2.644	7.503
20	2019	5.167	2.411	26.696
21	2020	4.994	1.876	24.945

Sumatorias: **139.028** **139.028** **1376.516**

Fuente: Elaboración propia

$$\therefore \sigma_Q = \sqrt{\frac{1376.516 - 21(6.6204^2)}{21 - 1}}$$

$$\therefore \sigma_Q = 4.775 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo de los coeficientes \bar{Y}_N (media aritmética de la variable reducida) y σ_N (desviación estándar de la variable reducida)**

Los coeficientes \bar{Y}_N y σ_N , se obtienen según el número de registros que se tienen; y en la investigación se tuvieron 21 años de registro.

Tabla 37. Valores de \bar{Y}_N y σ_N

N	\bar{Y}_N	σ_N	N	\bar{Y}_N	σ_N
8	0.4843	0.9043	49	0.5481	1.1590
9	0.4902	0.9288	50	0.54854	1.16066
10	0.4952	0.9497	51	0.5489	1.1623
11	0.4996	0.9676	52	0.5493	1.1638
12	0.5053	0.9833	53	0.5497	1.1653
13	0.5070	0.9972	54	0.5501	1.1667
14	0.5100	1.0095	55	0.5504	1.1681
15	0.5128	1.02057	56	0.5508	1.1696
16	0.5157	1.0316	57	0.5511	1.1708
17	0.5181	1.0411	58	0.5515	1.1721
18	0.5202	1.0493	59	0.5518	1.1734
19	0.5220	1.0566	60	0.55208	1.17467
20	0.52355	1.06283	62	0.5527	1.1770
21	0.5252	1.0696	64	0.5533	1.1793
22	0.5268	1.0754	66	0.5538	1.1814
23	0.5283	1.0811	68	0.5543	1.1834
24	0.5296	1.0864	70	0.55477	1.18536
25	0.53086	1.09145	72	0.5552	1.1873
26	0.5320	1.0961	74	0.5557	1.1890
27	0.5332	1.1004	76	0.5561	1.1906
28	0.5343	1.1047	78	0.5565	1.1923
29	0.5353	1.1086	80	0.55688	1.19382
30	0.53622	1.11238	82	0.5572	1.1953
31	0.5371	1.1159	84	0.5576	1.1967
32	0.5380	1.1193	86	0.5580	1.1980
33	0.5388	1.1226	88	0.5583	1.1994
34	0.5396	1.1255	90	0.55860	1.20073
35	0.54034	1.12847	92	0.5589	1.2020
36	0.5410	1.1313	94	0.5592	1.2032
37	0.5418	1.1339	96	0.5595	1.2044
38	0.5424	1.1363	98	0.5598	1.2055
39	0.5430	1.1388	100	0.56002	1.20649
40	0.54362	1.14132	150	0.56461	1.22534
41	0.5442	1.1436	200	0.56715	1.23598

- **Cálculo del caudales máximos para diferentes periodos de retorno**

En la investigación se propuso estimar el caudal del río para los periodos de retorno de 10; 20; 50 y 100 años. Se usó la siguiente ecuación, en la cual la variable T corresponde a los periodos de retorno.

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T)$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(10 \text{ años}) = 6.6204 - \frac{4.775}{1.0696} (0.5252 - \ln 10)$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(10 \text{ años}) = 14.555 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(20 \text{ a\~{n}os}) = 6.6204 - \frac{4.775}{1.0696} (0.5252 - \ln 20)$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(20 \text{ a\~{n}os}) = 17.650 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(50 \text{ a\~{n}os}) = 6.6204 - \frac{4.775}{1.0696} (0.5252 - \ln 50)$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(50 \text{ a\~{n}os}) = 21.740 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(100 \text{ a\~{n}os}) = 6.6204 - \frac{4.775}{1.0696} (0.5252 - \ln 100)$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(100 \text{ a\~{n}os}) = 24.835 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo de ϕ (distribución de la variable reducida)**

Primero, se calculó los valores de ϕ , para cada periodo de retorno

$$\phi = 1 - \frac{1}{T}$$

$$\therefore \phi (10 \text{ a\~{n}os}) = 1 - \frac{1}{10} = 0.90$$

$$\therefore \phi (20 \text{ a\~{n}os}) = 1 - \frac{1}{20} = 0.95$$

$$\therefore \phi (50 \text{ a\~{n}os}) = 1 - \frac{1}{50} = 0.98$$

$$\therefore \phi (100 \text{ a\~{n}os}) = 1 - \frac{1}{100} = 0.99$$

Como todos los valores de ϕ fueron mayor a 0.90, se empleó la siguiente ecuación con la que se calculó el intervalo de confianza del caudal del río.

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 * \sigma_Q}{\sigma_N}$$

Nota:

En caso de que ϕ brinde valores entre 0.20 y 0.80, el cálculo del intervalo de confianza del caudal de río se debe calcular con la siguiente ecuación.

$$\Delta Q = \pm \sqrt{N\alpha\sigma_m} * \frac{\sigma_Q}{\sigma_N\sqrt{N}}$$

Donde; $\sqrt{N\alpha\sigma_m}$ se obtiene de una tabla de valores y están en función de ϕ .

Tabla 38. Valores de $\sqrt{N\alpha\sigma_m}$

ϕ	$\sqrt{N\alpha\sigma_m}$
0.01	(2.1607)
0.02	(1.7894)
0.05	(1.4550)
0.10	(1.3028)
0.15	1.2548
0.20	1.2427
0.25	1.2494
0.30	1.2687
0.35	1.2981
0.40	1.3366
0.45	1.3845
0.50	1.4427
0.55	1.5130
0.60	1.5984
0.65	1.7034
0.70	1.8355
0.75	2.0069
0.80	2.2408
0.85	2.5849
0.90	(3.1639)
0.95	(4.4721)
0.98	(7.0710)
0.99	(10.000)

- **Cálculo del intervalo de confianza**

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 * \sigma_Q}{\sigma_N}$$

$$\Delta Q = \pm \frac{1.14 * 4.775}{1.0696}$$

$$\therefore \Delta Q = \pm 5.089 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo del caudal de diseño**

$$Q_d = Q_{m\acute{a}x} \pm \Delta Q$$

$$\therefore Q_d (10 \text{ a\~{n}os}) = 14.555 \pm 5.089$$

$$\therefore Q_d (10 \text{ a\~{n}os}) = 19.644 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d (20 \text{ a\~{n}os}) = 17.650 \pm 5.089$$

$$\therefore Q_d (20 \text{ a\~{n}os}) = 22.739 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d (50 \text{ a\~{n}os}) = 21.740 \pm 5.089$$

$$\therefore Q_d (50 \text{ a\~{n}os}) = 26.829 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d (100 \text{ a\~{n}os}) = 24.835 \pm 5.089$$

$$\therefore \mathbf{Q_d (100 a\~{n}os) = 29.924 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Los resultados se comprobaron con el uso del programa Hidroesta 2, para el cual se adjuntan las capturas de los resultados.

Cálculo de caudal de diseño utilizando la distribución Gumbel

Ingreso de datos:
 Año de inicio:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
2008	2.98
2009	2.932
2010	11.331
2011	3.948
2012	10.069
2013	2.644
2014	7.316
2015	9.211
2016	16.015
2017	7.776
2018	2.739
2019	5.167
2020	4.994
[>]	



Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

Resultados:

N° años disponibles	Qm	SQ	YN	SN	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
21	6.6203	4.7754	0.5256	1.0679	14.5672	5.0981	9.47 - 19.67	19.6653

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

Resultados:

N° años disponibles	Qm	SQ	YN	SN	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
21	6.6203	4.7754	0.5256	1.0679	17.667	5.0981	12.57 - 22.77	22.7651

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

Resultados:

N° años disponibles	Qm	SQ	YN	SN	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
21	6.6203	4.7754	0.5256	1.0679	21.7646	5.0981	16.67 - 26.86	26.8627

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

Resultados:

N° años disponibles	Qm	SQ	YN	SN	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
21	6.6203	4.7754	0.5256	1.0679	24.8644	5.0981	19.77 - 29.96	29.9625

2. Método Nash

Tabla 39. Valores de Q^2 , T , $T/(T-1)$, X , $Q \times X$ y X^2

N°	AÑO	Q	Q ordenado mayor a menor	Q ²	T	T/(T-1)	X	Q*X	X ²
		Caudal							
1	2000	1.876	20.122	3.520	22.00	1.0476	-1.6946	-34.0984	2.87
2	2001	4.600	16.015	21.157	11.00	1.1000	-1.3831	-22.1501	1.91
3	2002	2.411	11.331	5.815	7.33	1.1579	-1.1961	-13.5522	1.43
4	2003	9.780	10.069	95.657	5.50	1.2222	-1.0597	-10.6709	1.12
5	2004	4.489	9.780	20.150	4.40	1.2941	-0.9509	-9.3000	0.90
6	2005	2.932	9.211	8.594	3.67	1.3750	-0.8592	-7.9141	0.74
7	2006	20.122	7.776	404.899	3.14	1.4667	-0.7790	-6.0573	0.61
8	2007	5.695	7.316	32.437	2.75	1.5714	-0.7071	-5.1731	0.50
9	2008	2.980	5.695	8.882	2.44	1.6923	-0.6412	-3.6516	0.41
10	2009	2.932	5.167	8.594	2.20	1.8333	-0.5796	-2.9949	0.34
11	2010	11.331	4.994	128.382	2.00	2.0000	-0.5214	-2.6041	0.27
12	2011	3.948	4.600	15.584	1.83	2.2000	-0.4654	-2.1409	0.22
13	2012	10.069	4.489	101.394	1.69	2.4444	-0.4110	-1.8448	0.17
14	2013	2.644	3.948	6.993	1.57	2.7500	-0.3572	-1.4101	0.13
15	2014	7.316	2.980	53.524	1.47	3.1429	-0.3034	-0.9041	0.09
16	2015	9.211	2.932	84.849	1.38	3.6667	-0.2485	-0.7285	0.06
17	2016	16.015	2.932	256.484	1.29	4.4000	-0.1915	-0.5613	0.04
18	2017	7.776	2.739	60.459	1.22	5.5000	-0.1306	-0.3576	0.02
19	2018	2.739	2.644	7.503	1.16	7.3333	-0.0628	-0.1662	0.00
20	2019	5.167	2.411	26.696	1.10	11.0000	0.0176	0.0425	0.00
21	2020	4.994	1.876	24.945	1.05	22.0000	0.1279	0.2399	0.02

Sumatorias **139.028** **139.028** **1376.516** **80.20** **80.1979** **-12.3967** **-125.9979** **11.847**

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del caudal medio (Qm) y Xm**

$$Qm = \frac{\sum Q}{N}$$

$$\therefore Qm = \frac{139.028}{21}$$

$$\therefore Qm = 6.6204 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Xm = \frac{\sum X}{N}$$

$$\therefore Xm = \frac{-12.3967}{21}$$

$$\therefore Xm = -0.5903$$

- **Cálculo de los parámetros a y b**

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N X_i * Q_i - N * X_m * Q_m}{\sum_{i=1}^N X_i^2 - N * X_m^2}$$

$$\therefore b = \frac{(-125.9979) - (21 * (-0.5903) * 6.6204)}{11.847 - (21 * (-0.5903)^2)}$$

$$\therefore b = -9.6981$$

$$a = Q_m - bX_m$$

$$\therefore a = 6.6204 - (-9.6981)(-0.5903)$$

$$\therefore a = 0.8954$$

- **Cálculo del caudal máximo**

$$Q_{\text{máx}} = a + b \log \log \frac{T}{T-1}$$

$$Q_{\text{máx}}(10 \text{ años}) = 0.8954 + (-9.6981) \log \log \frac{10}{10-1}$$

$$Q_{\text{máx}}(10 \text{ años}) = 13.89 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx}}(20 \text{ años}) = 0.8954 + (-9.6981) \log \log \frac{20}{20-1}$$

$$Q_{\text{máx}}(20 \text{ años}) = 16.92 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx}}(50 \text{ años}) = 0.8954 + (-9.6981) \log \log \frac{50}{50-1}$$

$$Q_{\text{máx}}(50 \text{ años}) = 20.84 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{máx}}(100 \text{ años}) = 0.8954 + (-9.6981) \log \log \frac{100}{100-1}$$

$$Q_{\text{máx}}(100 \text{ años}) = 23.78 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo de desviación estándar y covarianza**

$$S_{xx} = N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$$

$$S_{qq} = N \sum Q_i^2 - (\sum Q_i)^2$$

$$S_{xq} = N \sum Q_i X_i - (\sum Q_i) (\sum X_i)$$

$$\begin{aligned}\therefore S_{xx} &= 95.12 \\ \therefore S_{qq} &= 9578.12 \\ \therefore S_{xq} &= -922.47\end{aligned}$$

- **Cálculo del intervalo de confianza**

$$\Delta Q = \pm 2 \sqrt{\frac{S_{qq}}{N^2(N-1)} + (X - X_m)^2 \frac{1}{N-2} \frac{1}{S_{xx}} \left(S_{qq} - \frac{S_{xq}^2}{S_{xx}} \right)}$$

$$X = \log \log \frac{T}{T-1}$$

$$\therefore X(10 \text{ años}) = \log \log \frac{10}{10-1} = -1.3395$$

$$\therefore X(20 \text{ años}) = \log \log \frac{20}{20-1} = -1.6522$$

$$\therefore X(50 \text{ años}) = \log \log \frac{50}{50-1} = -2.0568$$

$$\therefore X(100 \text{ años}) = \log \log \frac{100}{100-1} = -2.3600$$

$$\therefore \Delta Q(10 \text{ años}) = 2.2647 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \Delta Q(20 \text{ años}) = 2.4332 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \Delta Q(50 \text{ años}) = 2.7114 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \Delta Q(100 \text{ años}) = 2.9536 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo del caudal de diseño**

$$Q_d = Q_{m\acute{a}x} \pm \Delta Q$$

$$\therefore Q_d(10 \text{ años}) = 13.89 \pm 2.2647$$

$$\therefore Q_d(10 \text{ años}) = 16.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d(20 \text{ años}) = 16.92 \pm 2.4332$$

$$\therefore Q_d(20 \text{ años}) = 19.35 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d(50 \text{ años}) = 20.84 \pm 2.7114$$

$$\therefore Q_d(50 \text{ años}) = 23.55 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Qd (100 \text{ años}) = 23.78 \pm 2.9536$$

$$\therefore Qd (100 \text{ años}) = 26.74 \text{ m}^3/\text{s}$$

Los resultados obtenidos se comprobaron con el uso del programa Hidroesta 2, para el cual se adjuntan las capturas de los resultados.

☞ Cálculo del caudal de diseño utilizando el método estadístico propuesto por Nash

Ingreso de datos:
 Año de inicio:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
2008	2.98
2009	2.932
2010	11.331
2011	3.948
2012	10.069
2013	2.644
2014	7.316
2015	9.211
2016	16.015
2017	7.776
2018	2.739
2019	5.167
2020	4.994
[>]	

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

m	Q	T	X	Q×	Q ²	X ²
1	20.12	22.0	-1.6946	-34.1	404.89	2.8716
2	16.02	11.0	-1.3831	-22.15	256.48	1.9129
3	11.33	7.3333	-1.1961	-13.55	128.39	1.4306
4	10.07	5.5	-1.0597	-10.67	101.38	1.123
5	9.78	4.4	-0.9509	-9.3	95.65	0.9042
6	9.21	3.6667	-0.8592	-7.91	84.84	0.7382
7	7.78	3.1429	-0.779	-6.06	60.47	0.6069
8	7.32	2.75	-0.7071	-5.17	53.52	0.5
9	5.7	2.4444	-0.6412	-3.65	32.43	0.4111
10	5.17	2.2	-0.5796	-3.0	26.7	0.336
11	4.99	2.0	-0.5214	-2.6	24.94	0.2718
12	4.6	1.8333	-0.4654	-2.14	21.16	0.2166
13	4.49	1.6923	-0.411	-1.84	20.15	0.1689
14	3.95	1.5714	-0.3572	-1.41	15.59	0.1276
15	2.98	1.4667	-0.3034	-0.9	8.88	0.092
16	2.93	1.375	-0.2485	-0.73	8.6	0.0618
17	2.93	1.2941	-0.1915	-0.56	8.6	0.0367
18	2.74	1.2222	-0.1306	-0.36	7.5	0.017
19	2.64	1.1579	-0.0628	-0.17	6.99	0.0039
20	2.41	1.1	0.0176	0.04	5.81	0.0003

Sumatorias:

N° años disponibles	Qm	Xm	a	b	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
21	6.6203	-0.5903	0.8954	-9.698	13.8863	2.2647	11.62 - 16.15	16.151

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

Sumatorias:

N° años disponibles	Qm	Xm	a	b	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
21	6.6203	-0.5903	0.8954	-9.698	16.9181	2.4332	14.48 - 19.35	19.3513

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

Sumatorias:

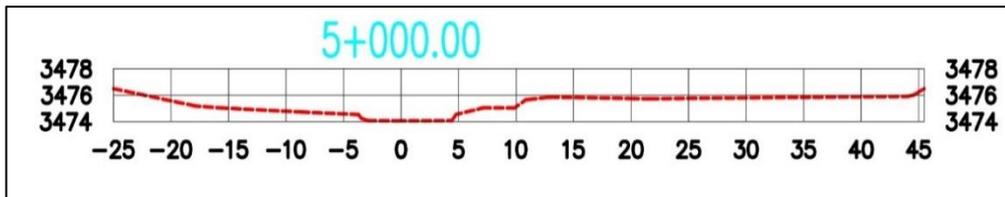
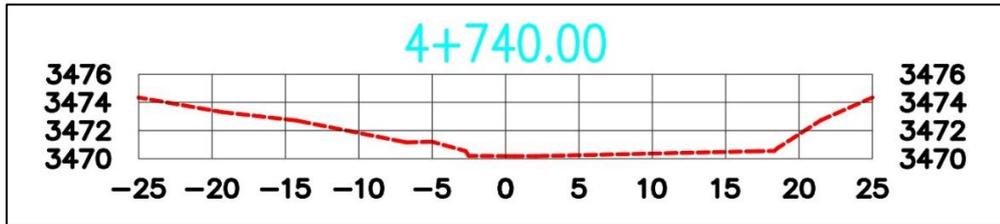
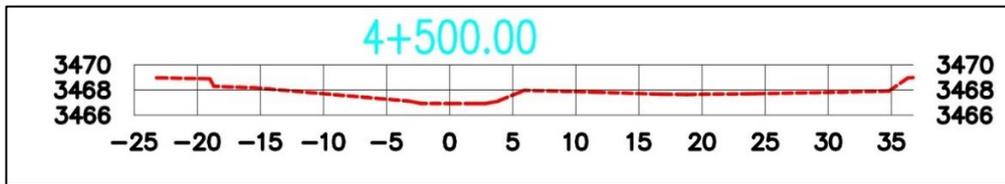
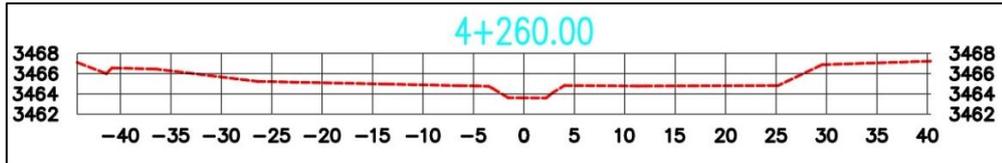
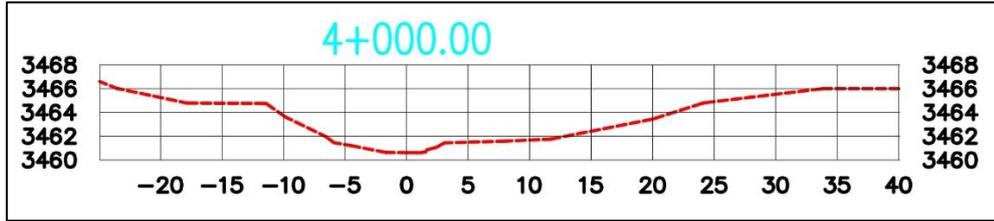
N° años disponibles	Qm	Xm	a	b	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
21	6.6203	-0.5903	0.8954	-9.698	20.8424	2.7113	18.13 - 23.55	23.5537

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

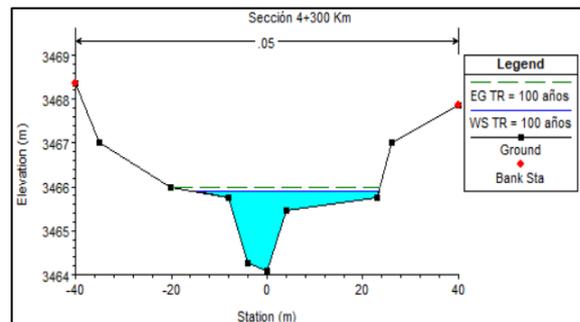
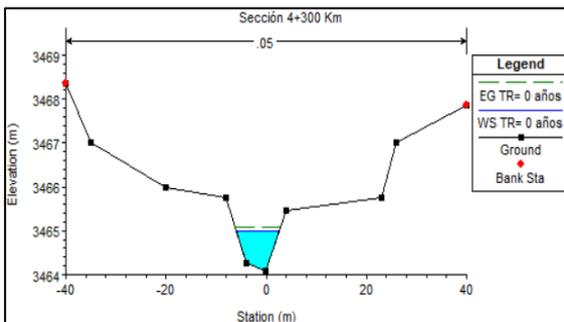
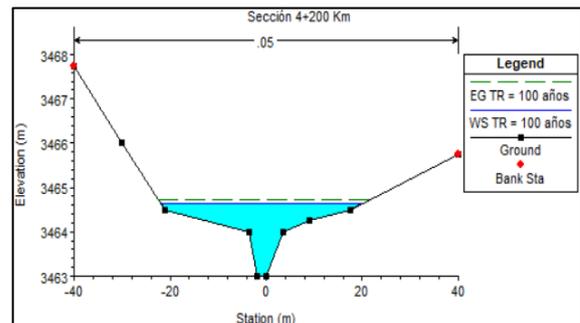
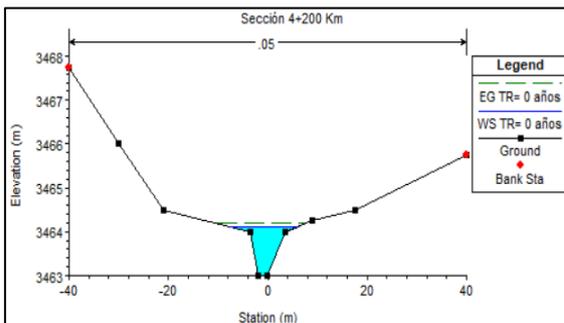
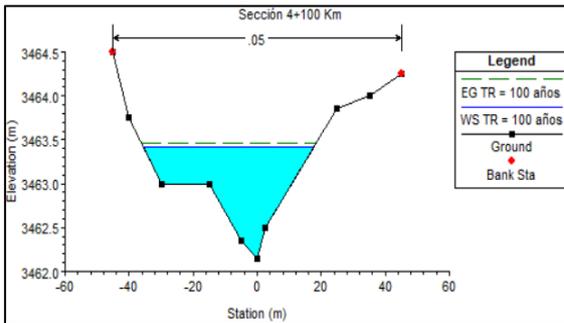
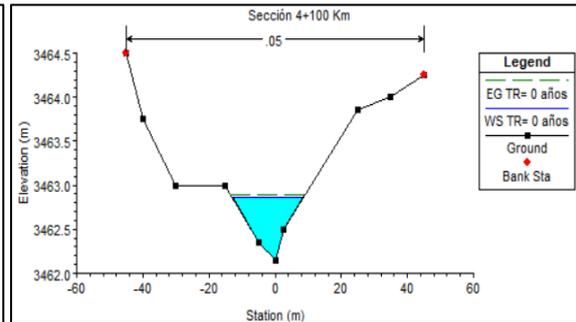
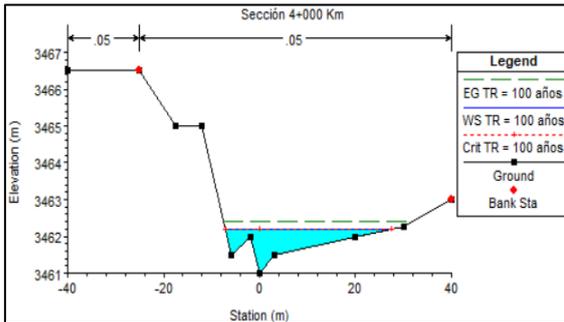
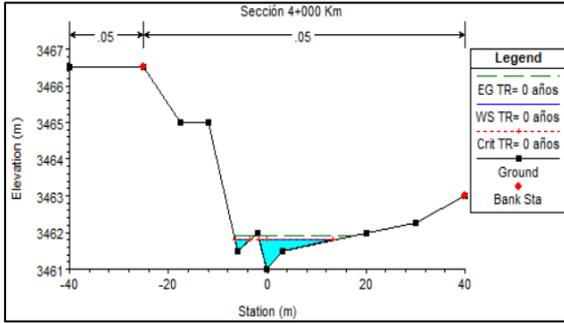
Sumatorias:

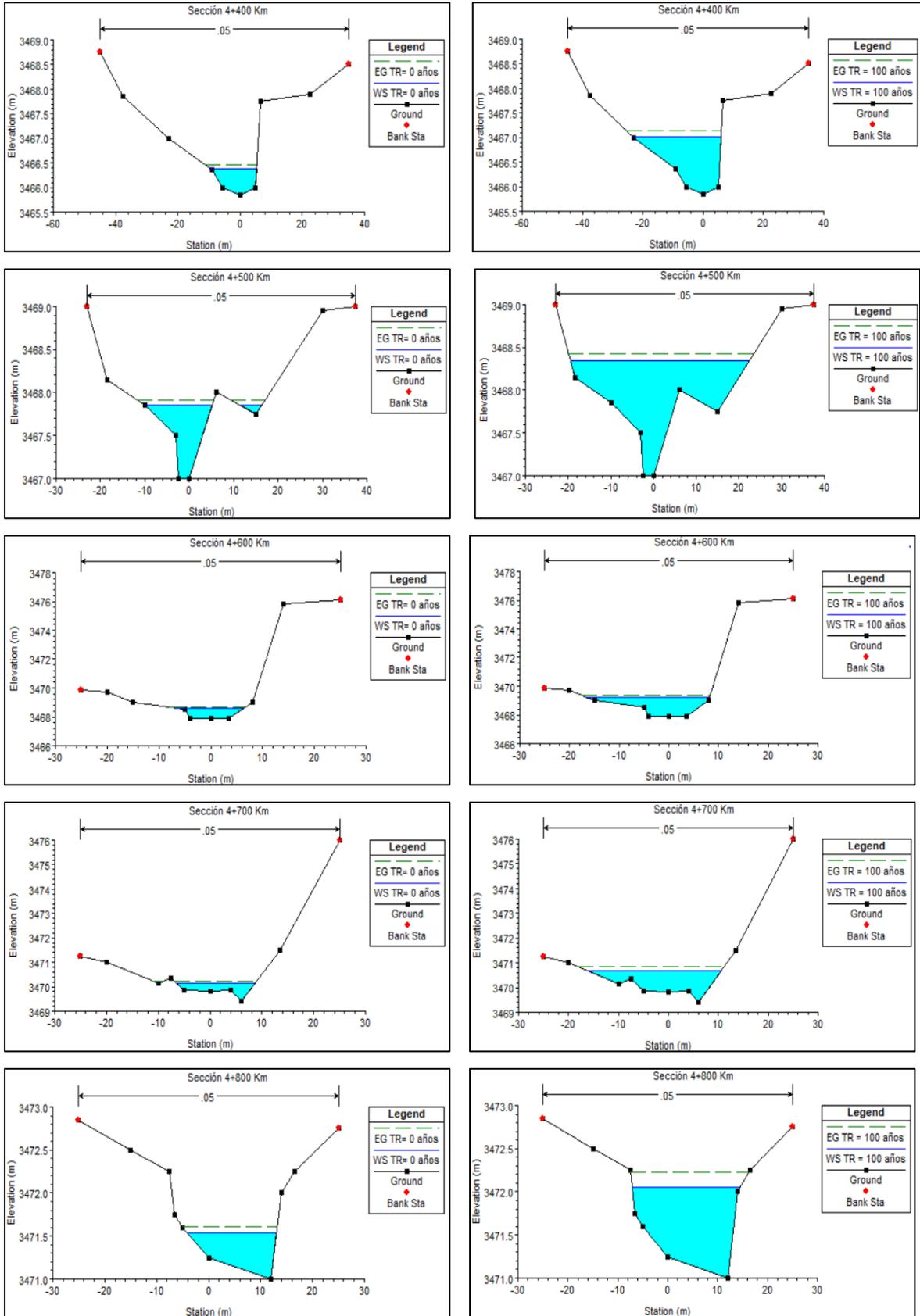
N° años disponibles	Qm	Xm	a	b	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
21	6.6203	-0.5903	0.8954	-9.698	23.7831	2.9535	20.83 - 26.74	26.7367

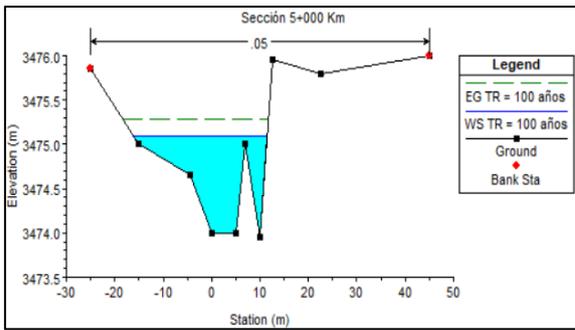
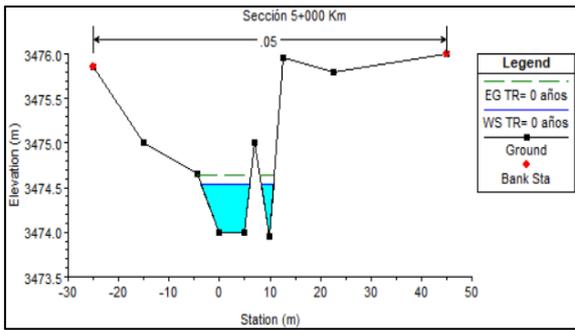
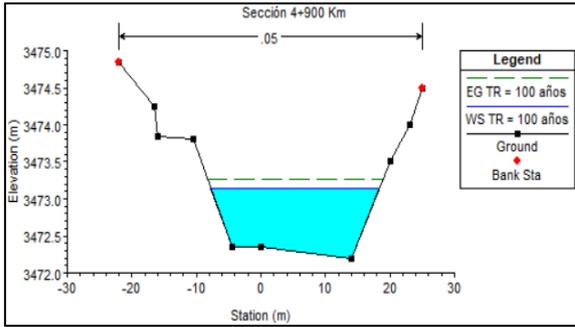
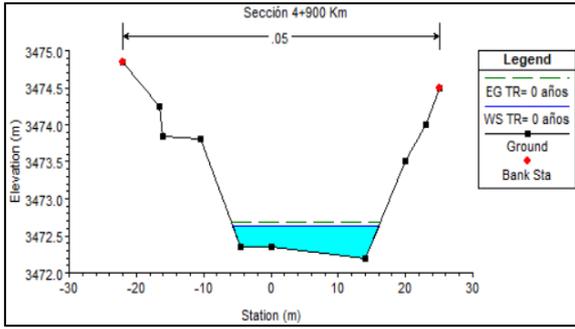
Anexo 6: Secciones transversales del río Hatunmayo, tramo 4+000 a 5+000



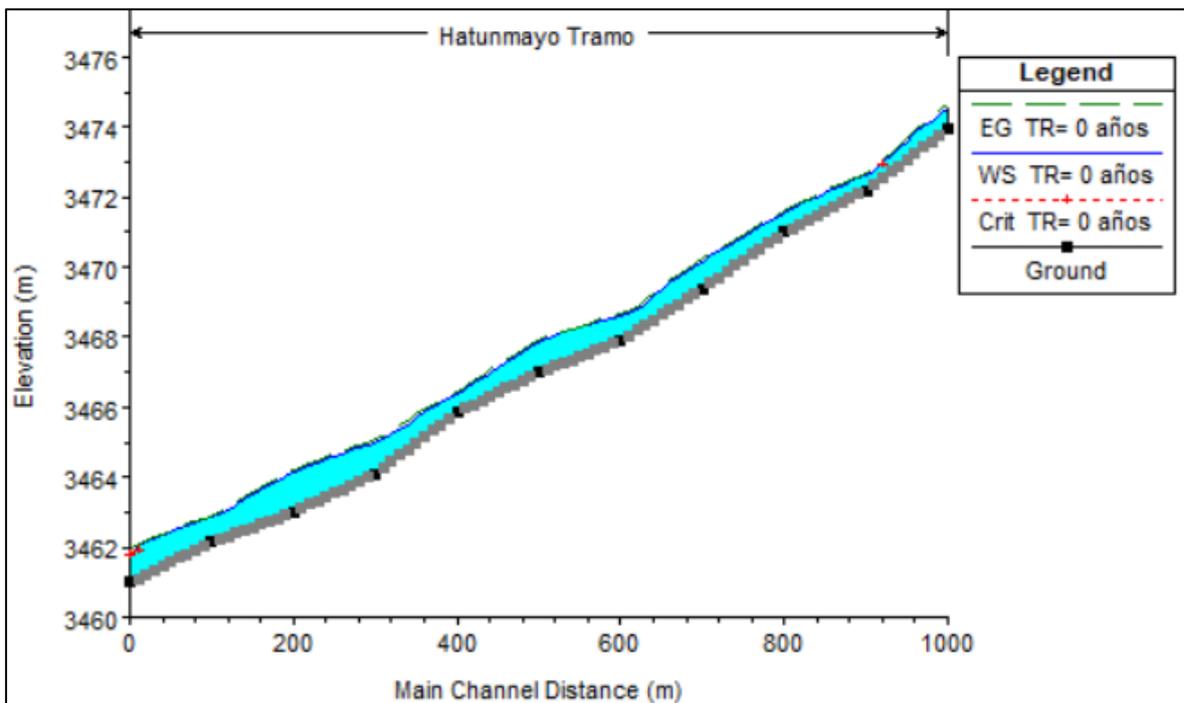
Anexo 7: Secciones del río Hatunmayo, programa HEC-RAS

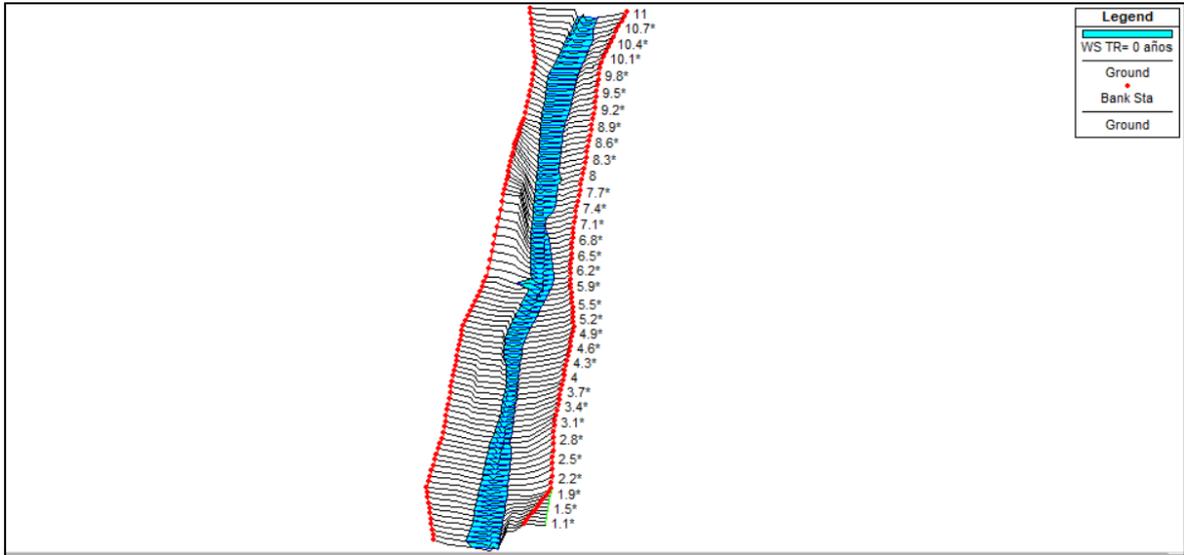




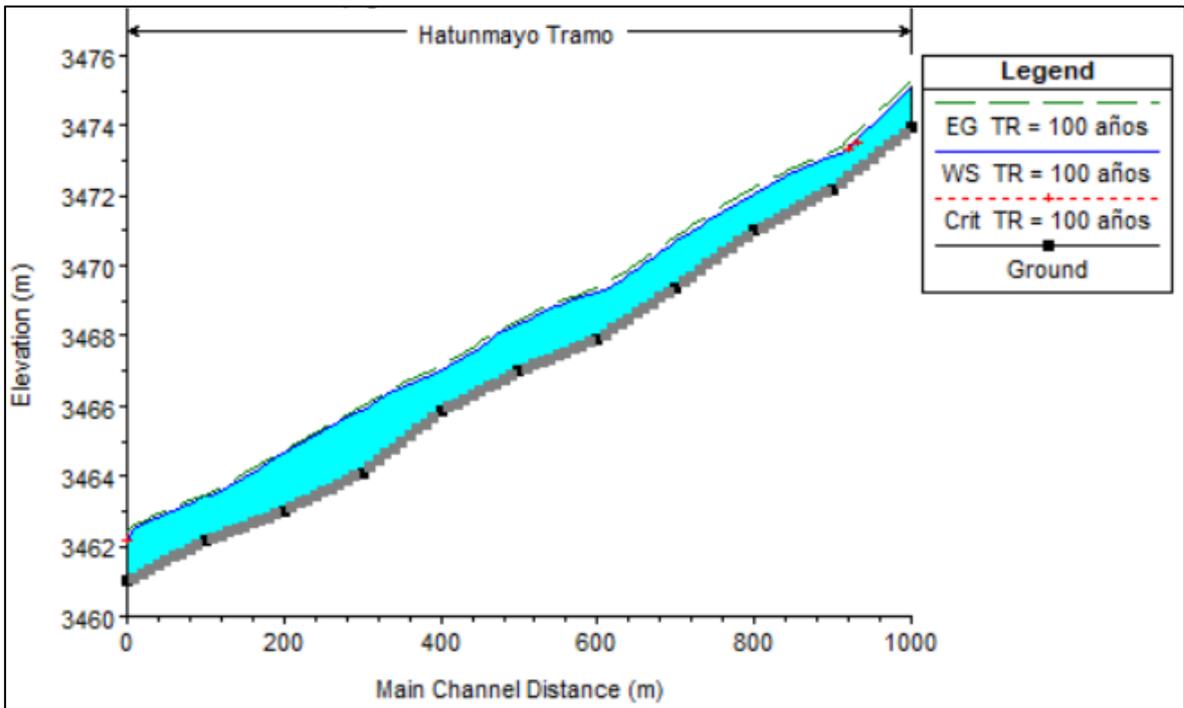


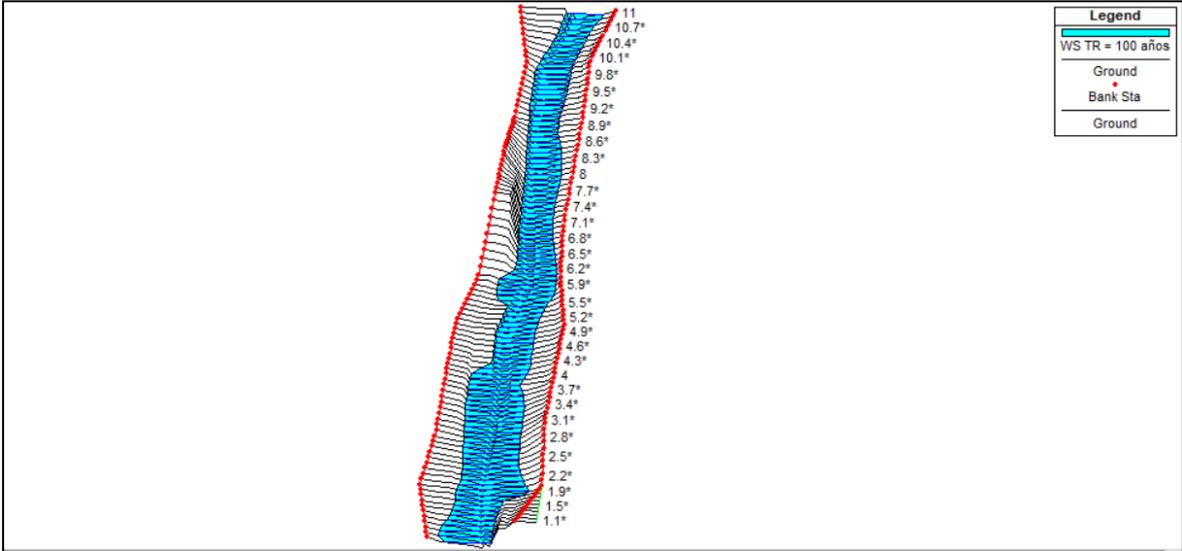
Perfil y vista de tramo del río Hatunmayo, periodo de retorno de 0 años





Perfil y vista de tramo del río Hatunmayo, periodo de retorno de 100 años





Anexo 8: Tablas de resultados periodo de retorno 0 y 100 años, programa HEC-RAS

Resultados del periodo de retorno de 0 años, simulación HEC-RAS

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
5000	6.62	3473.95	3474.54		3474.64	0.018534	1.4	4.71	12.24	0.72
4950	6.62	3473.07	3473.61		3473.69	0.020646	1.22	5.43	19.33	0.74
4900	6.62	3472.2	3472.64		3472.68	0.009963	0.94	7.04	21.73	0.53
4850	6.62	3471.6	3472.12		3472.17	0.010548	0.99	6.69	19.92	0.54
4800	6.62	3471	3471.54		3471.61	0.013406	1.12	5.89	17.25	0.61
4750	6.62	3470.2	3470.86		3470.93	0.013497	1.16	5.7	15.98	0.62
4700	6.62	3469.4	3470.16		3470.24	0.015542	1.22	5.42	15.62	0.66
4650	6.62	3468.65	3469.37		3469.45	0.016735	1.24	5.35	15.99	0.68
4600	6.62	3467.9	3468.59		3468.64	0.006337	1	6.64	13.16	0.45
4550	6.62	3467.45	3468.27		3468.31	0.00677	0.96	6.9	15.23	0.46
4500	6.62	3467	3467.85		3467.91	0.014757	1.09	6.09	20.08	0.63
4450	6.62	3466.43	3467.12		3467.2	0.014671	1.2	5.49	15.53	0.65
4400	6.62	3465.85	3466.38		3466.46	0.01307	1.18	5.63	15.06	0.61
4350	6.62	3464.98	3465.67		3465.77	0.015028	1.42	4.65	10.41	0.68
4300	6.62	3464.1	3465		3465.08	0.008008	1.26	5.27	8.68	0.51
4250	6.62	3463.55	3464.59		3464.66	0.008715	1.21	5.49	10.29	0.53
4200	6.62	3463	3464.12		3464.19	0.011174	1.15	5.74	13.81	0.57
4150	6.62	3462.57	3463.49		3463.55	0.013522	1.09	6.06	18.65	0.61
4100	6.62	3462.15	3462.86		3462.9	0.00819	0.89	7.4	21.25	0.48
4050	6.62	3461.57	3462.43		3462.47	0.008884	0.91	7.3	21.74	0.5
4000	6.62	3461	3461.8	3461.8	3461.92	0.041725	1.56	4.25	17.7	1.02

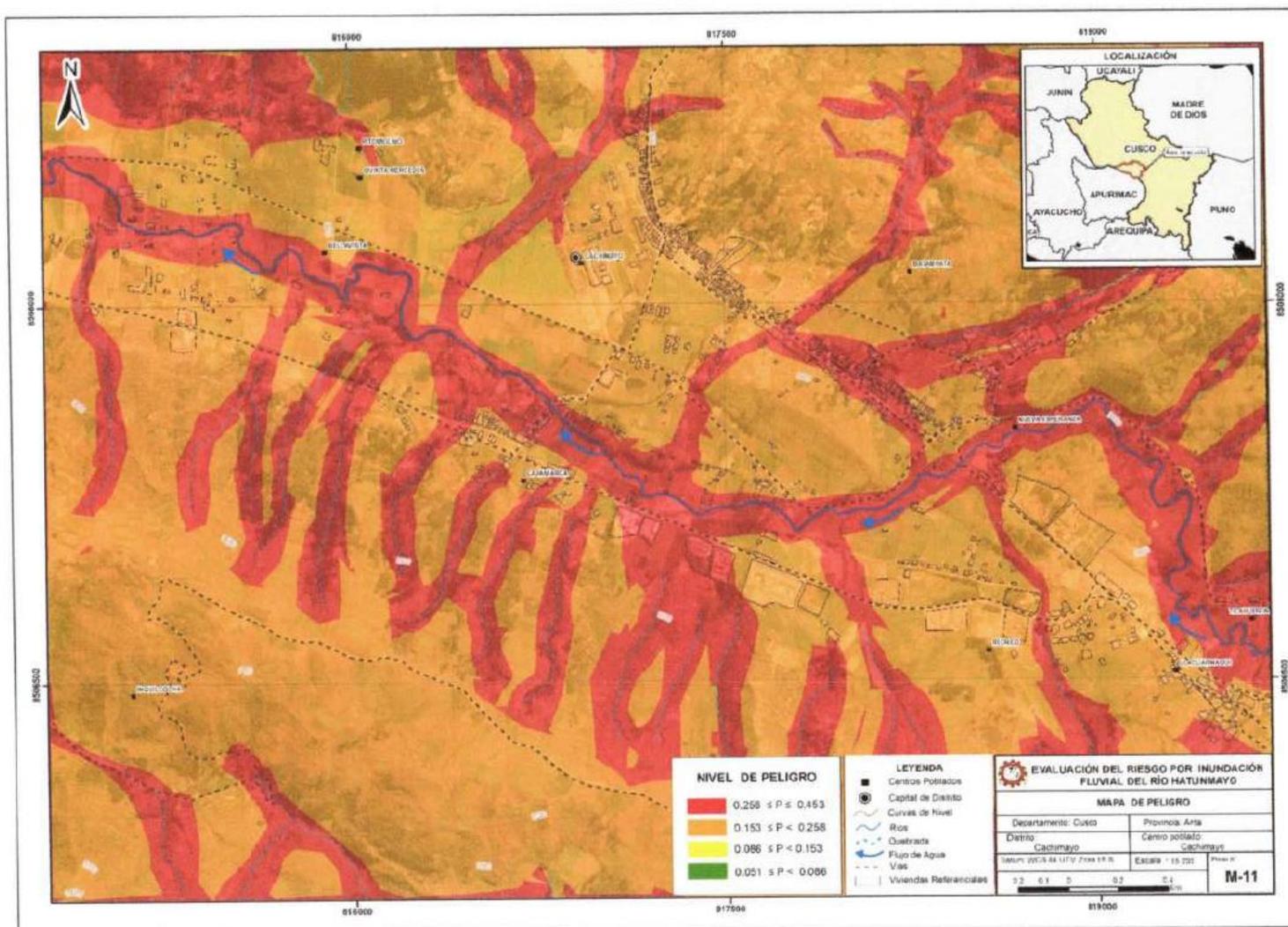
Resultados del periodo de retorno de 100 años, simulación HEC-RAS

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del cala do crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
5000	29.96	3473.95	3475.1		3475.28	0.019672	1.9	15.81	27.6	0.8
4950	29.96	3473.07	3474.03		3474.25	0.020793	2.08	14.41	23.1	0.84
4900	29.96	3472.2	3473.14		3473.27	0.009429	1.57	19.11	26.14	0.59
4850	29.96	3471.6	3472.66		3472.79	0.009948	1.6	18.69	25.7	0.6
4800	29.96	3471	3472.06		3472.23	0.013026	1.86	16.14	21.67	0.69
4750	29.96	3470.2	3471.4		3471.57	0.014056	1.79	16.7	25.11	0.7
4700	29.96	3469.4	3470.68		3470.84	0.014873	1.78	16.85	26.78	0.72
4650	29.96	3468.65	3469.89		3470.07	0.015977	1.88	15.96	24.64	0.74
4600	29.96	3467.9	3469.25		3469.37	0.007601	1.49	20.11	25.03	0.53
4550	29.96	3467.45	3468.86		3468.97	0.008436	1.49	20.14	27.28	0.55
4500	29.96	3467	3468.35		3468.43	0.009339	1.29	23.17	41.98	0.56
4450	29.96	3466.43	3467.66		3467.82	0.014471	1.73	17.29	27.99	0.7
4400	29.96	3465.85	3467.02		3467.13	0.010146	1.53	19.6	29.14	0.6
4350	29.96	3464.98	3466.51		3466.63	0.009787	1.53	19.59	28.45	0.59
4300	29.96	3464.1	3465.89		3466	0.011692	1.44	20.87	38.07	0.62
4250	29.96	3463.55	3465.28		3465.38	0.012712	1.39	21.48	43.8	0.64
4200	29.96	3463	3464.64		3464.74	0.013086	1.43	20.92	41.74	0.65
4150	29.96	3462.57	3463.96		3464.07	0.013714	1.45	20.59	41.87	0.66
4100	29.96	3462.15	3463.42		3463.46	0.00523	0.99	30.24	53.25	0.42
4050	29.96	3461.57	3462.93		3463.03	0.00962	1.41	21.25	34.68	0.57
4000	29.96	3461	3462.19	3462.19	3462.41	0.033659	2.04	14.69	34.93	1

Anexo 9: Precipitación trimestral

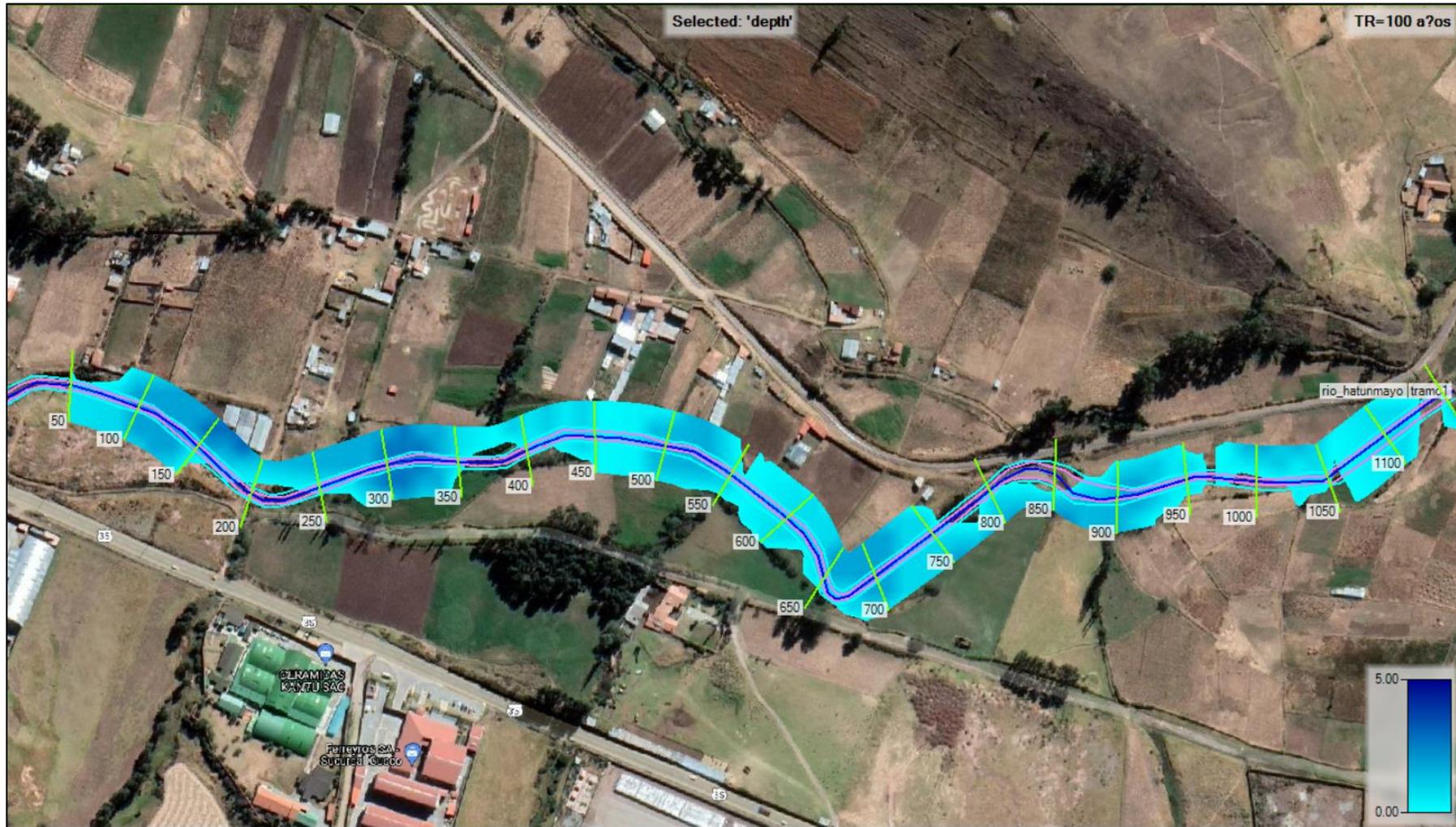
Estación: Anta - Ancachuro			
Año	Mes	Precipitación mensual (mm)	Precipitación acumulada (mm)
2020	Enero	147.6	501.9
	Febrero	193.8	
	Marzo	160.5	
	Abril	15.3	47.7
	Mayo	32	
	Junio	0.4	
	Julio	0.0	6.3
	Agosto	0.8	
	Setiembre	5.5	
	Octubre	40.2	248.4
	Noviembre	59.9	
	Diciembre	148.3	

Anexo 10: Mapa de peligro de inundación fluvial del río Hatunmayo



Fuente: (Municipalidad Distrital de Cachimayo, 2019)

Mapa temático de inundación en el tramo de estudio (5+000Km – 4+000 Km) del río Hatunmayo – RAS Mapper

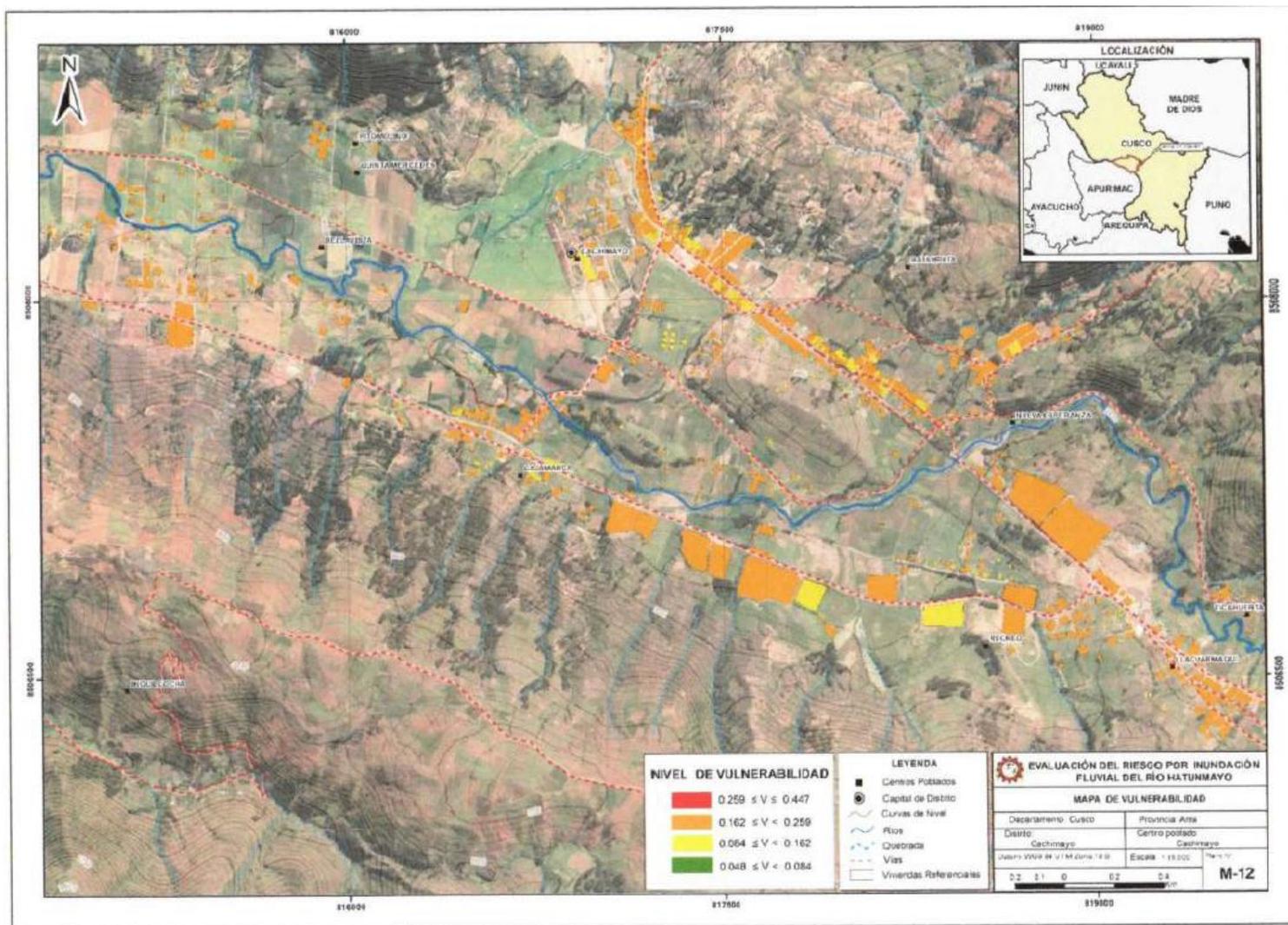


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Anexo 12: Mapa de vulnerabilidad del distrito de Cachimayo

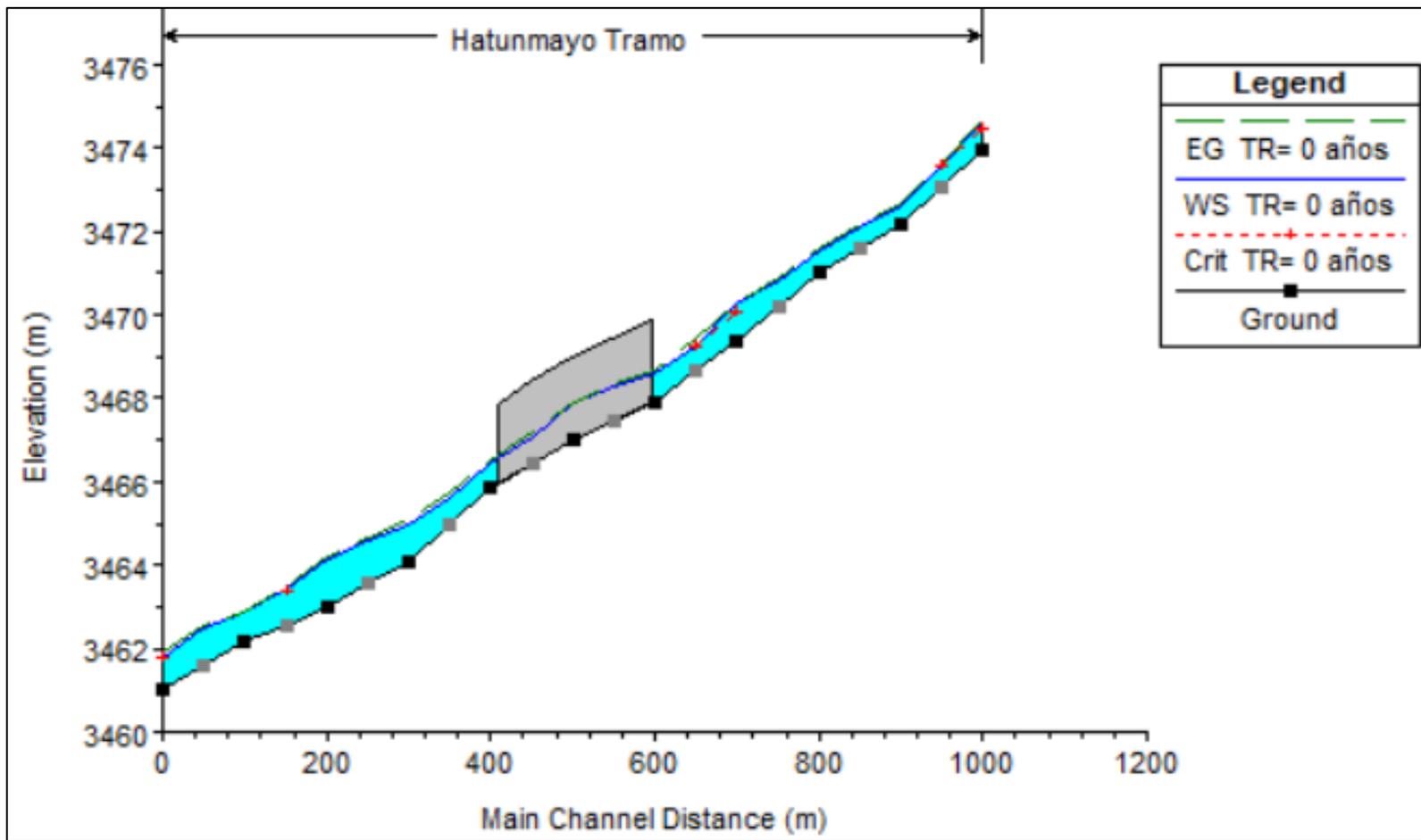


Fuente: (Municipalidad Distrital de Cachimayo, 2019)

Anexo 13: Resultados de la simulación del río Hatunmayo con dique enrocado

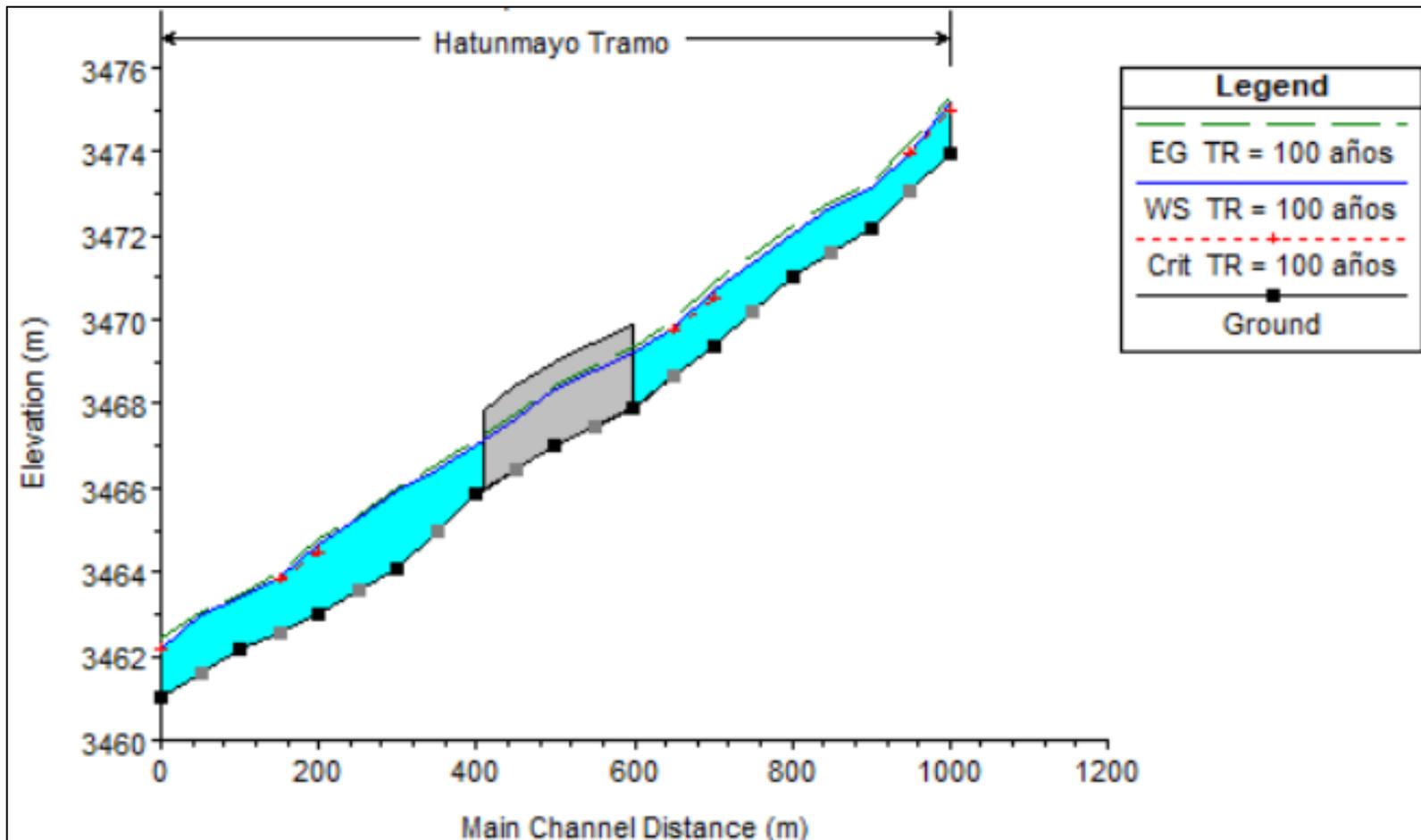
Periodo de retorno 0 años

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
5000	6.62	3473.95	3474.6	3474.45	3474.68	0.01209	1.2	5.5	13.05	0.59
4950	6.62	3473.07	3473.55	3473.55	3473.67	0.039422	1.53	4.32	17.73	0.99
4900	6.62	3472.2	3472.64		3472.68	0.010167	0.95	7	21.71	0.53
4850	6.62	3471.6	3472.12		3472.17	0.010401	0.98	6.72	19.93	0.54
4800	6.62	3471	3471.56		3471.62	0.011781	1.08	6.15	17.5	0.58
4750	6.62	3470.2	3470.84		3470.92	0.016736	1.25	5.31	15.72	0.68
4700	6.62	3469.4	3470.24	3470.06	3470.29	0.009658	1	6.61	17.95	0.53
4650	6.62	3468.65	3469.27	3469.27	3469.42	0.038067	1.74	3.81	12.64	1.01
4600	6.62	3467.9	3468.59		3468.64	0.00629	0.99	6.67	13.2	0.45
4590	Lat Struct									
4550	6.62	3467.45	3468.3		3468.34	0.00582	0.9	7.35	15.96	0.42
4500	6.62	3467	3467.89		3467.94	0.011715	0.96	6.92	23.24	0.56
4450	6.62	3466.43	3467.08		3467.18	0.020079	1.36	4.88	14.62	0.75
4400	6.62	3465.85	3466.42		3466.48	0.009958	1.06	6.25	15.96	0.54
4350	6.62	3464.98	3465.6		3465.74	0.023427	1.67	3.97	9.76	0.83
4300	6.62	3464.1	3465		3465.08	0.008141	1.26	5.24	8.66	0.52
4250	6.62	3463.55	3464.6		3464.67	0.008271	1.18	5.6	10.38	0.51
4200	6.62	3463	3464.14		3464.2	0.010534	1.1	6.02	14.93	0.55
4150	6.62	3462.57	3463.45	3463.35	3463.53	0.017569	1.22	5.43	17.27	0.69
4100	6.62	3462.15	3462.84		3462.88	0.009608	0.95	6.97	20.58	0.52
4050	6.62	3461.57	3462.49		3462.52	0.005488	0.76	8.67	23.31	0.4
4000	6.62	3461	3461.8	3461.8	3461.92	0.041725	1.56	4.25	17.7	1.02



Periodo de retorno de 100 años

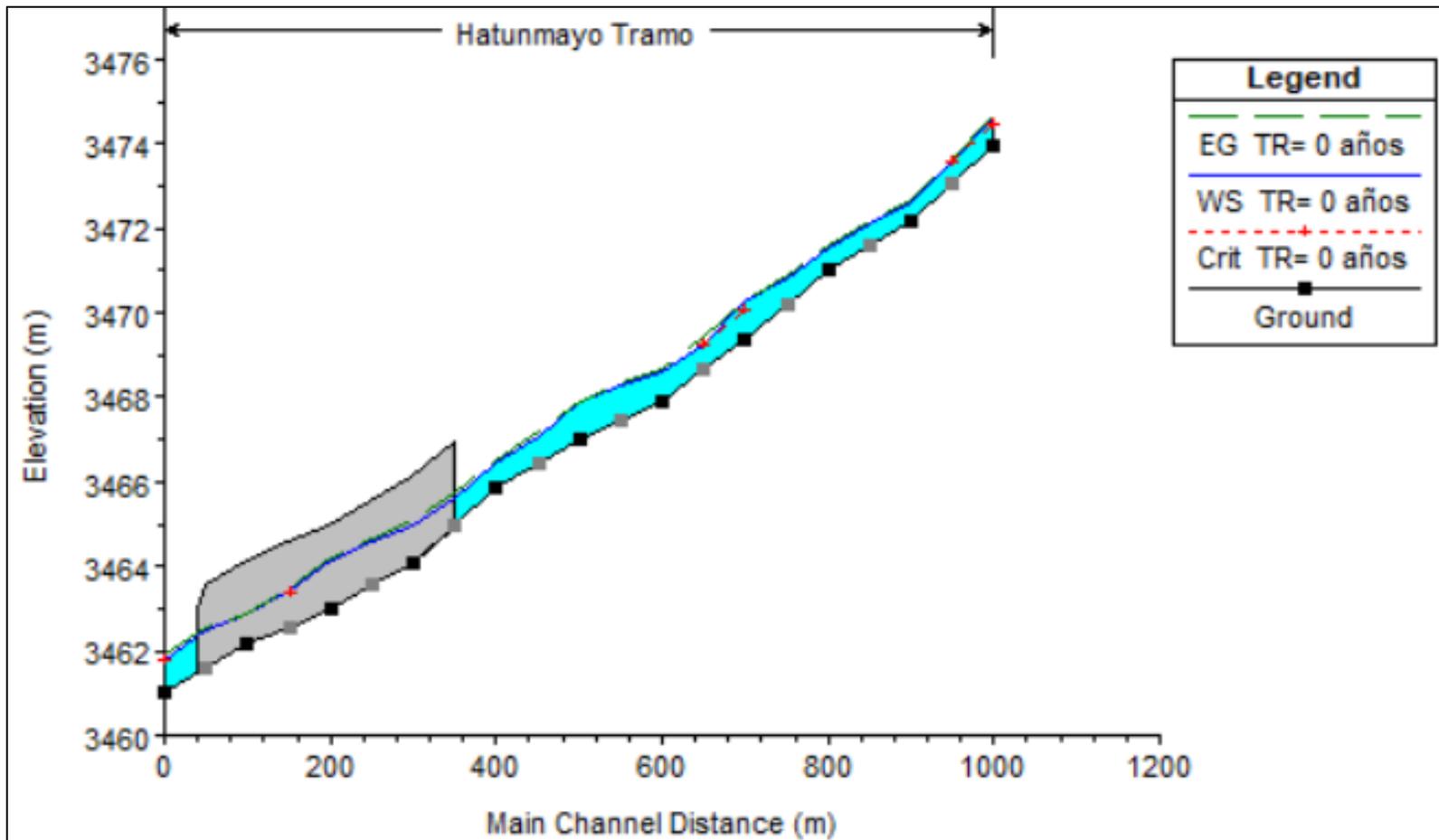
Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
5000	29.96	3473.95	3475.15	3475.01	3475.3	0.015216	1.74	17.24	28.26	0.71
4950	29.96	3473.07	3473.95	3473.95	3474.24	0.030839	2.37	12.65	22.43	1.01
4900	29.96	3472.2	3473.14		3473.27	0.009441	1.57	19.1	26.14	0.59
4850	29.96	3471.6	3472.66		3472.79	0.009715	1.59	18.85	25.8	0.59
4800	29.96	3471	3472.07		3472.24	0.012353	1.82	16.45	21.84	0.67
4750	29.96	3470.2	3471.38		3471.56	0.015211	1.85	16.19	24.64	0.73
4700	29.96	3469.4	3470.72		3470.86	0.012445	1.67	17.94	27.4	0.66
4650	29.96	3468.65	3469.83	3469.76	3470.05	0.02167	2.08	14.4	23.95	0.86
4600	29.96	3467.9	3469.19		3469.32	0.009825	1.62	18.45	24.49	0.6
4590	Lat Struct									
4550	23.74	3467.45	3468.69		3468.81	0.010659	1.51	15.76	24.96	0.61
4500	19.13	3467	3468.17		3468.24	0.011327	1.18	16.21	38.92	0.58
4450	17.93	3466.43	3467.42		3467.55	0.017104	1.62	11.07	22.52	0.74
4400	17.89	3465.85	3466.75		3466.85	0.011333	1.41	12.73	23.35	0.61
4350	17.89	3464.98	3466.17		3466.29	0.011109	1.55	11.57	18.13	0.62
4300	17.89	3464.1	3465.65		3465.74	0.010548	1.35	13.23	24.3	0.58
4250	17.89	3463.55	3465.08		3465.16	0.012569	1.3	13.75	30.75	0.62
4200	17.89	3463	3464.51		3464.57	0.011007	1.14	15.68	38.61	0.57
4150	17.89	3462.57	3463.75	3463.64	3463.85	0.019251	1.41	12.65	34.58	0.75
4100	17.89	3462.15	3463.17		3463.22	0.008611	0.99	18	45.84	0.51
4050	17.89	3461.57	3462.8		3462.85	0.006297	1.05	16.98	31.2	0.46
4000	17.89	3461	3462.03	3462.03	3462.21	0.036962	1.86	9.64	28.26	1.01



Anexo 14: Resultados de la simulación del río Hatunmayo con gaviones

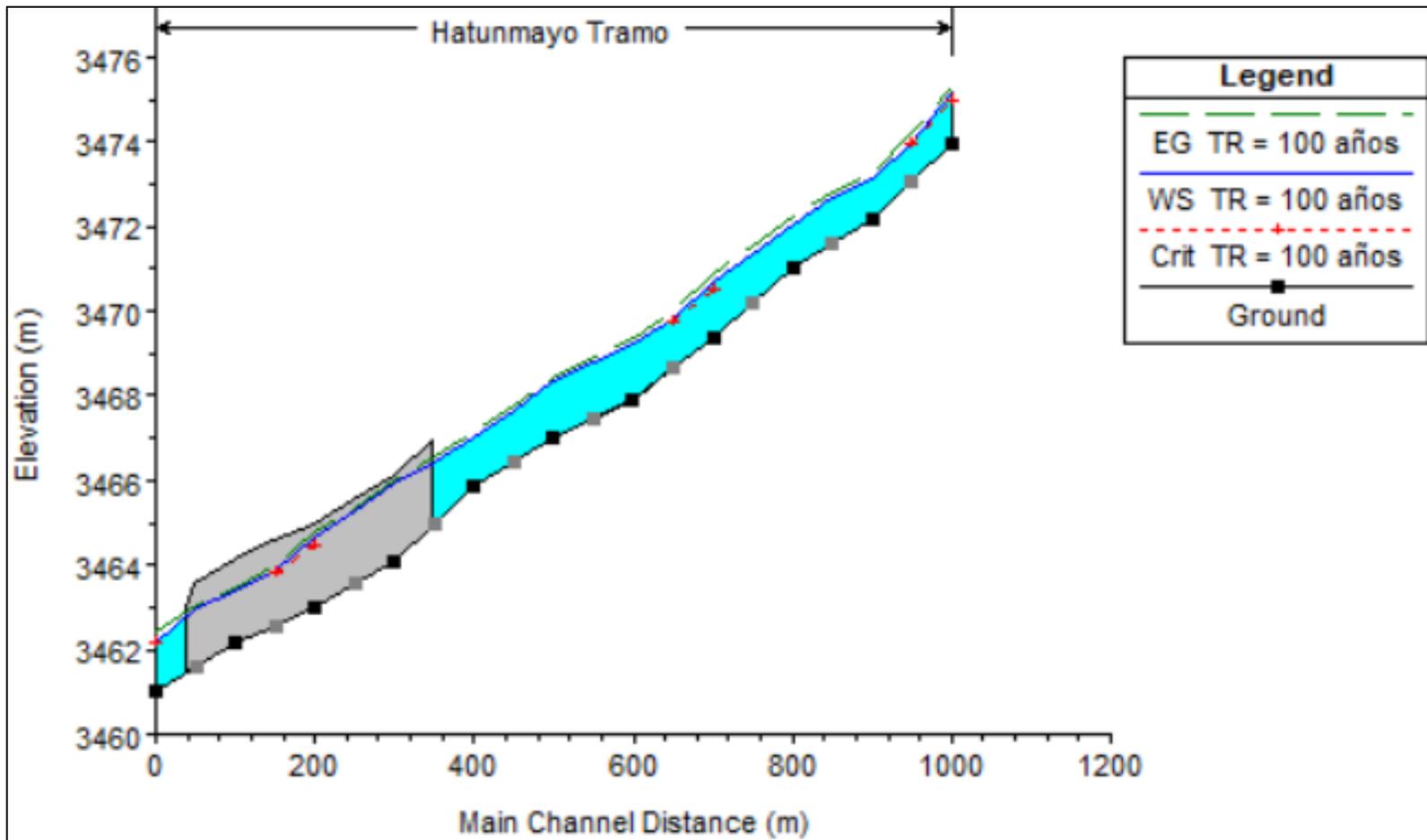
Periodo de retorno 0 años

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
5000	6.62	3473.95	3474.6	3474.45	3474.68	0.01209	1.2	5.5	13.05	0.59
4950	6.62	3473.07	3473.55	3473.55	3473.67	0.039422	1.53	4.32	17.73	0.99
4900	6.62	3472.2	3472.64		3472.68	0.010167	0.95	7	21.71	0.53
4850	6.62	3471.6	3472.12		3472.17	0.010401	0.98	6.72	19.93	0.54
4800	6.62	3471	3471.56		3471.62	0.011781	1.08	6.15	17.5	0.58
4750	6.62	3470.2	3470.84		3470.92	0.016736	1.25	5.31	15.72	0.68
4700	6.62	3469.4	3470.24	3470.06	3470.29	0.009658	1	6.61	17.95	0.53
4650	6.62	3468.65	3469.27	3469.27	3469.42	0.038067	1.74	3.81	12.64	1.01
4600	6.62	3467.9	3468.59		3468.64	0.00629	0.99	6.67	13.2	0.45
4590	6.62	3467.45	3468.3		3468.34	0.00582	0.9	7.35	15.96	0.42
4550	6.62	3467	3467.89		3467.94	0.011715	0.96	6.92	23.24	0.56
4500	6.62	3466.43	3467.08		3467.18	0.020079	1.36	4.88	14.62	0.75
4450	6.62	3465.85	3466.42		3466.48	0.009958	1.06	6.25	15.96	0.54
4400	6.62	3464.98	3465.6		3465.74	0.023427	1.67	3.97	9.76	0.83
4310	Lat Struct									
4300	6.62	3464.1	3465		3465.08	0.008141	1.26	5.24	8.66	0.52
4250	6.62	3463.55	3464.6		3464.67	0.008271	1.18	5.6	10.38	0.51
4200	6.62	3463	3464.14		3464.2	0.010534	1.1	6.02	14.93	0.55
4150	6.62	3462.57	3463.45	3463.35	3463.53	0.017569	1.22	5.43	17.27	0.69
4100	6.62	3462.15	3462.84		3462.88	0.009608	0.95	6.97	20.58	0.52
4050	6.62	3461.57	3462.49		3462.52	0.005488	0.76	8.67	23.31	0.4
4000	6.62	3461	3461.8	3461.8	3461.92	0.041725	1.56	4.25	17.7	1.02



Periodo de retorno 100 años

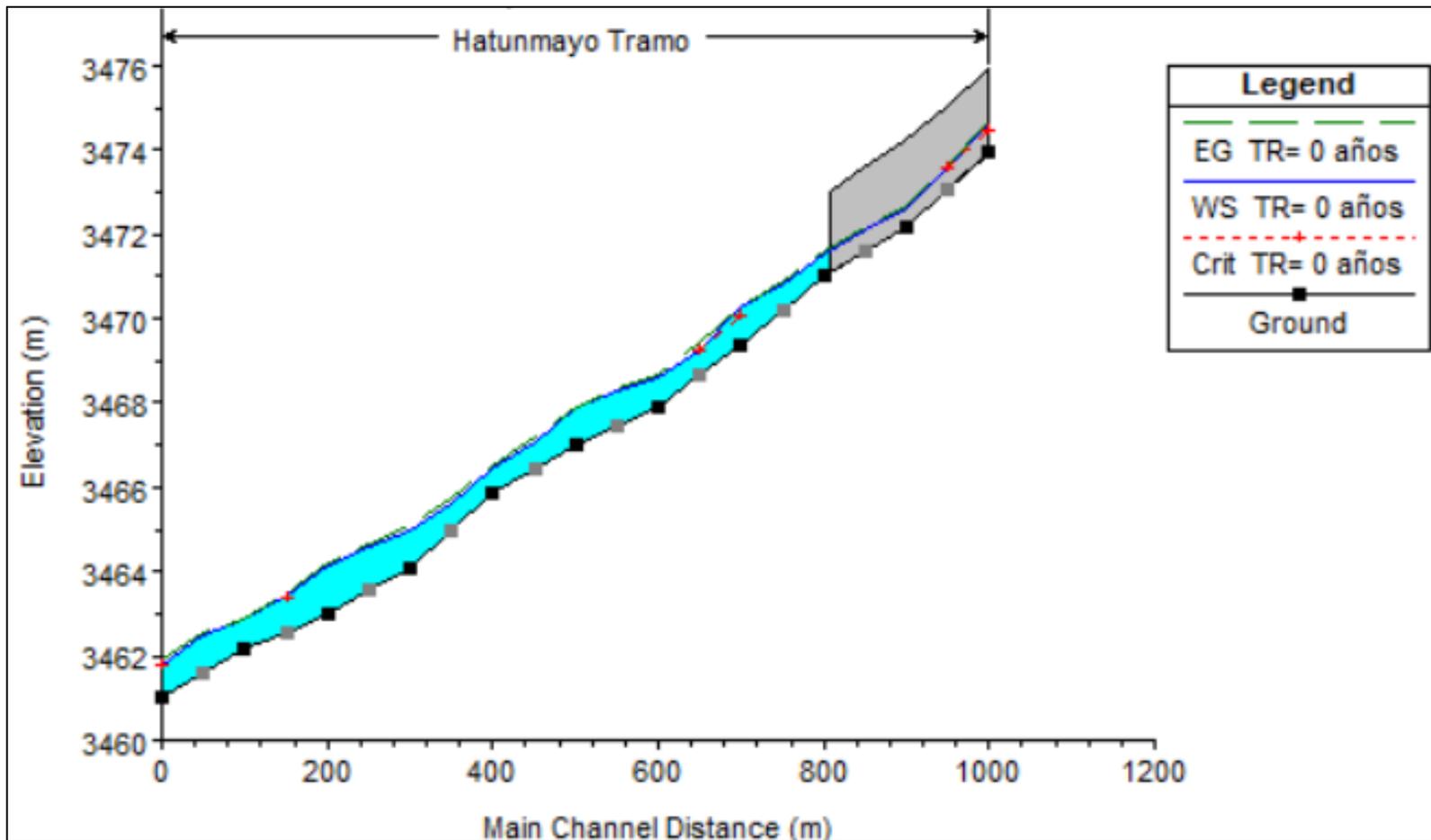
Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del cala do crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
5000	29.96	3473.95	3475.15	3475.01	3475.3	0.015326	1.74	17.2	28.24	0.71
4950	29.96	3473.07	3473.96	3473.96	3474.24	0.030545	2.36	12.69	22.44	1
4900	29.96	3472.2	3473.14		3473.27	0.009429	1.57	19.11	26.14	0.59
4850	29.96	3471.6	3472.66		3472.79	0.009758	1.59	18.82	25.78	0.59
4800	29.96	3471	3472.08		3472.24	0.012192	1.81	16.53	21.88	0.67
4750	29.96	3470.2	3471.37		3471.55	0.015782	1.88	15.96	24.43	0.74
4700	29.96	3469.4	3470.74	3470.53	3470.87	0.011336	1.62	18.54	27.73	0.63
4650	29.96	3468.65	3469.79	3469.76	3470.04	0.025919	2.21	13.56	23.58	0.93
4600	29.96	3467.9	3469.26		3469.37	0.007363	1.47	20.33	25.1	0.52
4590	29.96	3467.45	3468.8		3468.94	0.010415	1.6	18.7	26.54	0.61
4550	29.96	3467	3468.35		3468.43	0.009309	1.29	23.19	41.99	0.55
4500	29.96	3466.43	3467.62		3467.8	0.017448	1.86	16.13	27.09	0.77
4450	29.96	3465.85	3467.03		3467.14	0.009756	1.51	19.88	29.31	0.58
4400	29.96	3464.98	3466.46		3466.6	0.012117	1.67	17.99	26.96	0.65
4310	Lat Struct									
4300	29.96	3464.1	3465.9		3466	0.011205	1.41	21.25	38.57	0.61
4250	29.96	3463.55	3465.26		3465.37	0.014413	1.46	20.56	43.13	0.67
4200	29.96	3463	3464.68	3464.48	3464.77	0.0099	1.3	22.99	42.92	0.57
4150	29.96	3462.57	3463.87	3463.82	3464.03	0.024051	1.78	16.84	38.6	0.86
4100	29.96	3462.15	3463.37		3463.43	0.006565	1.07	27.97	51.96	0.47
4050	29.96	3461.57	3463.01		3463.09	0.007129	1.24	24.25	38.54	0.5
4000	29.96	3461	3462.2	3462.2	3462.41	0.033406	2.03	14.73	34.98	1



Anexo 15: Resultados de la simulación del río Hatunmayo con dique de tierra

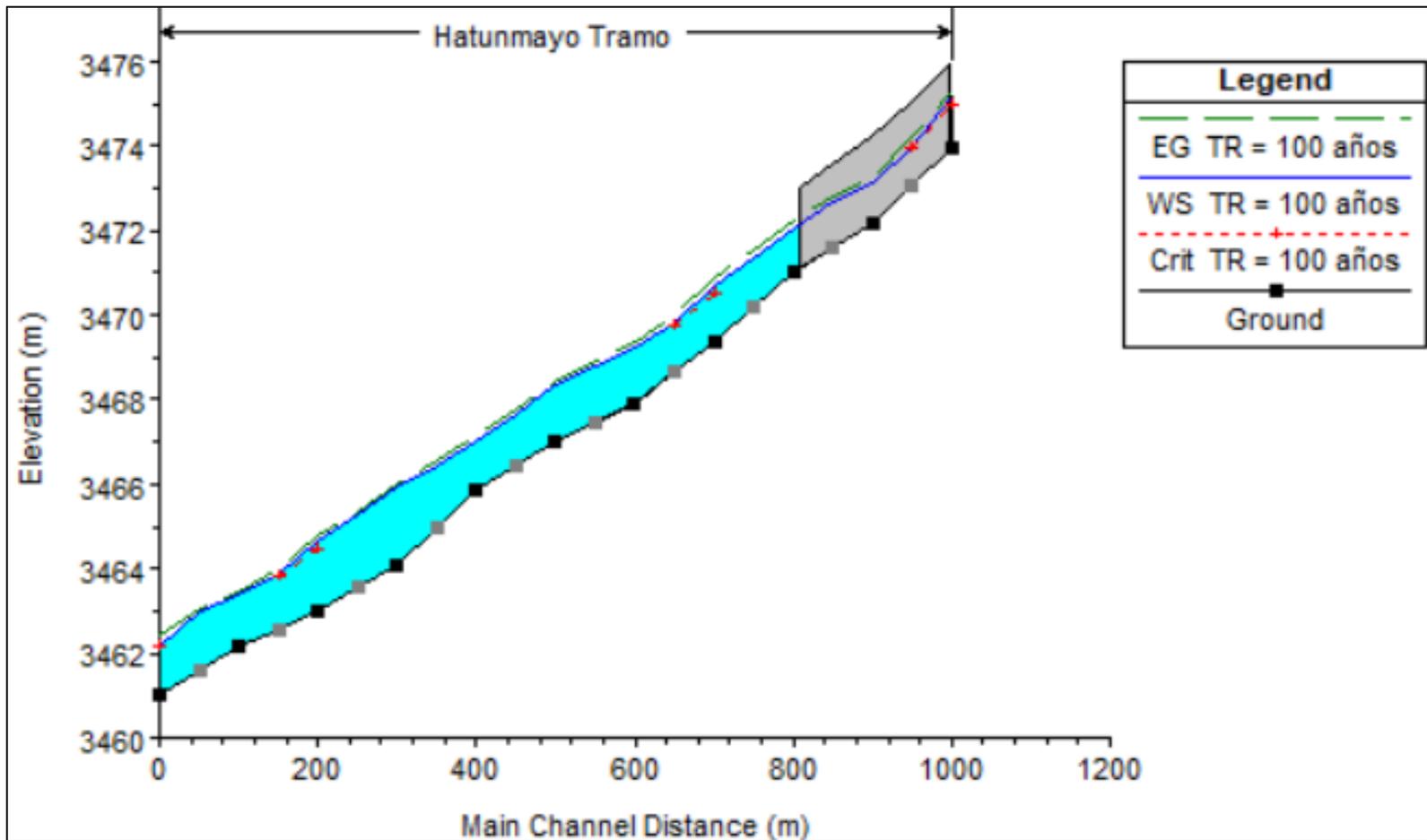
Periodo de retorno 0 años

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
5000	6.62	3473.95	3474.6	3474.45	3474.68	0.01209	1.2	5.5	13.05	0.59
4490	Lat Struct									
4950	6.62	3473.07	3473.55	3473.55	3473.67	0.039422	1.53	4.32	17.73	0.99
4900	6.62	3472.2	3472.64		3472.68	0.010167	0.95	7	21.71	0.53
4850	6.62	3471.6	3472.12		3472.17	0.010401	0.98	6.72	19.93	0.54
4800	6.62	3471	3471.56		3471.62	0.011781	1.08	6.15	17.5	0.58
4750	6.62	3470.2	3470.84		3470.92	0.016736	1.25	5.31	15.72	0.68
4700	6.62	3469.4	3470.24	3470.06	3470.29	0.009658	1	6.61	17.95	0.53
4650	6.62	3468.65	3469.27	3469.27	3469.42	0.038067	1.74	3.81	12.64	1.01
4600	6.62	3467.9	3468.59		3468.64	0.00629	0.99	6.67	13.2	0.45
4550	6.62	3467.45	3468.3		3468.34	0.00582	0.9	7.35	15.96	0.42
4500	6.62	3467	3467.89		3467.94	0.011715	0.96	6.92	23.24	0.56
4450	6.62	3466.43	3467.08		3467.18	0.020079	1.36	4.88	14.62	0.75
4400	6.62	3465.85	3466.42		3466.48	0.009958	1.06	6.25	15.96	0.54
4350	6.62	3464.98	3465.6		3465.74	0.023427	1.67	3.97	9.76	0.83
4300	6.62	3464.1	3465		3465.08	0.008141	1.26	5.24	8.66	0.52
4250	6.62	3463.55	3464.6		3464.67	0.008271	1.18	5.6	10.38	0.51
4200	6.62	3463	3464.14		3464.2	0.010534	1.1	6.02	14.93	0.55
4150	6.62	3462.57	3463.45	3463.35	3463.53	0.017569	1.22	5.43	17.27	0.69
4100	6.62	3462.15	3462.84		3462.88	0.009608	0.95	6.97	20.58	0.52
4050	6.62	3461.57	3462.49		3462.52	0.005488	0.76	8.67	23.31	0.4
4000	6.62	3461	3461.8	3461.8	3461.92	0.041725	1.56	4.25	17.7	1.02

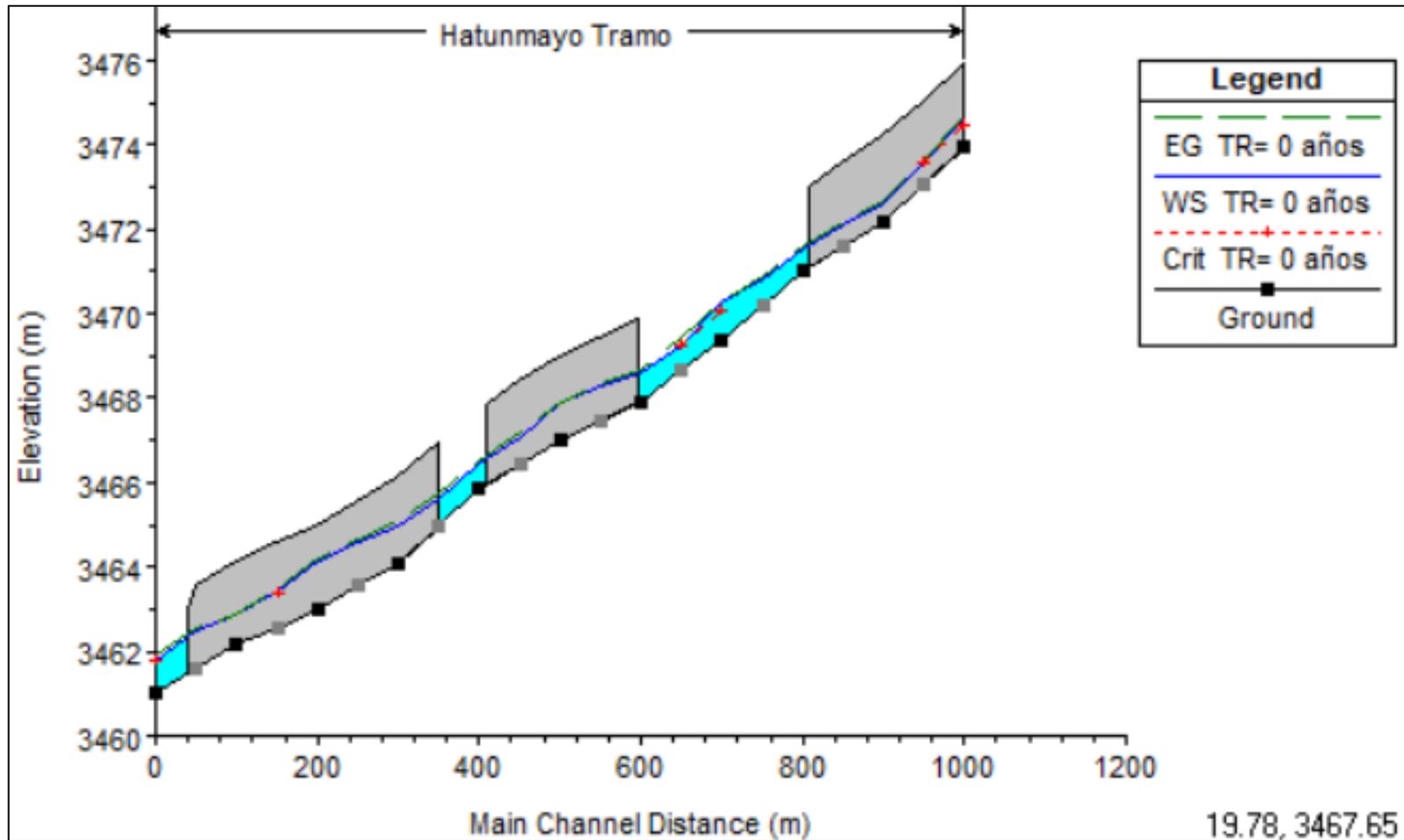


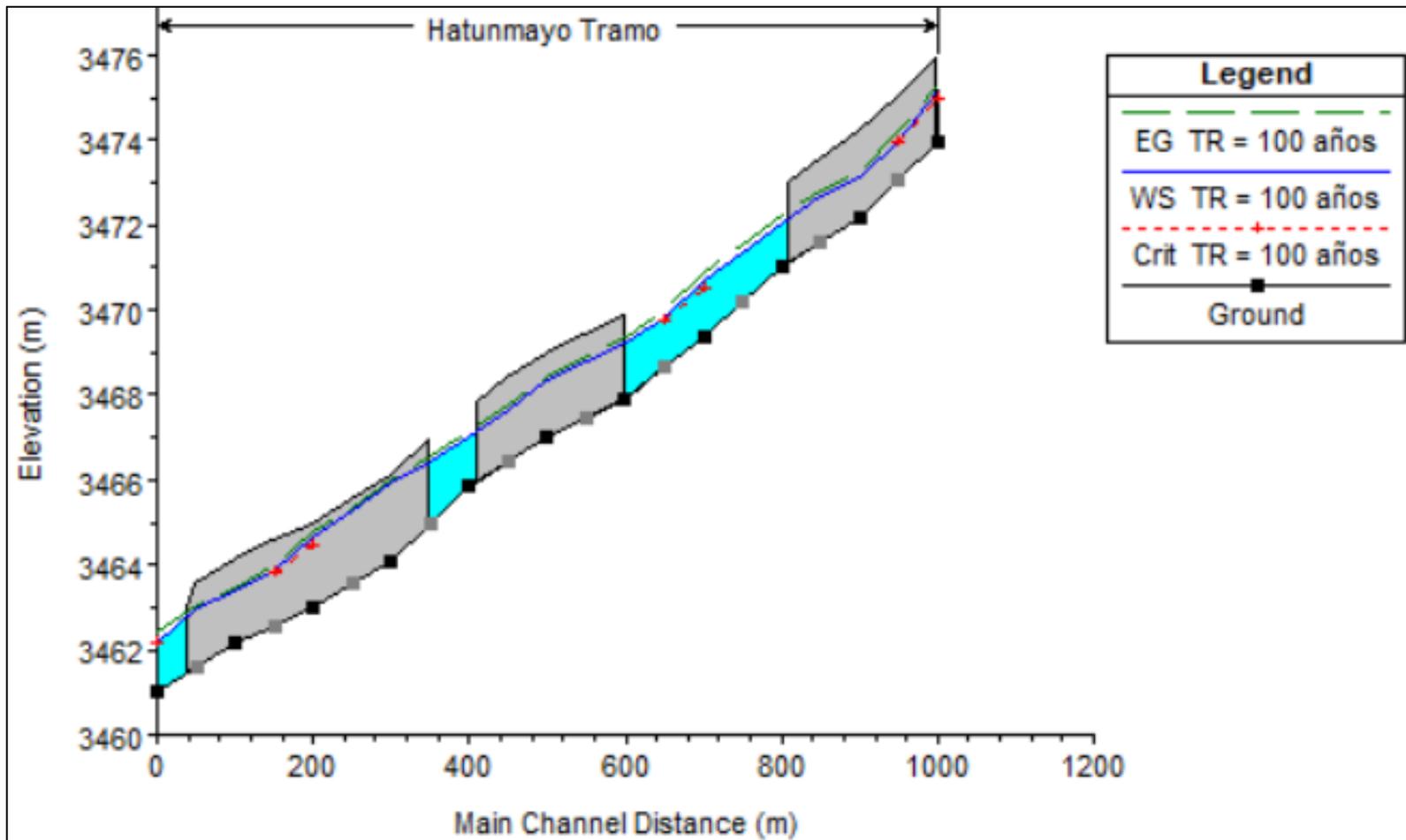
Periodo de retorno 100 años

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del cala do crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
5000	29.96	3473.95	3475.15	3475.01	3475.31	0.01515	1.74	17.27	28.28	0.71
4490	Lat Struct									
4950	29.96	3473.07	3473.95	3473.95	3474.24	0.031037	2.37	12.62	22.42	1.01
4900	29.96	3472.2	3473.14		3473.27	0.009429	1.57	19.11	26.14	0.59
4850	29.96	3471.6	3472.66		3472.79	0.009758	1.59	18.82	25.78	0.59
4800	29.95	3471	3472.08		3472.24	0.012187	1.81	16.53	21.88	0.67
4750	29.95	3470.2	3471.37		3471.55	0.015795	1.88	15.95	24.42	0.74
4700	29.95	3469.4	3470.74	3470.53	3470.87	0.011332	1.62	18.54	27.73	0.63
4650	29.95	3468.65	3469.79	3469.76	3470.04	0.025949	2.21	13.55	23.57	0.93
4600	29.95	3467.9	3469.26		3469.37	0.00736	1.47	20.33	25.1	0.52
4550	29.95	3467.45	3468.8		3468.94	0.010423	1.6	18.69	26.54	0.61
4500	29.95	3467	3468.35		3468.43	0.009305	1.29	23.19	41.99	0.55
4450	29.95	3466.43	3467.62		3467.8	0.017465	1.86	16.12	27.08	0.77
4400	29.95	3465.85	3467.03		3467.14	0.009753	1.51	19.88	29.31	0.58
4350	29.95	3464.98	3466.46		3466.6	0.012113	1.67	17.99	26.96	0.65
4300	29.95	3464.1	3465.9		3466	0.011216	1.41	21.24	38.55	0.61
4250	29.95	3463.55	3465.26		3465.37	0.014433	1.46	20.55	43.12	0.67
4200	29.95	3463	3464.68	3464.48	3464.77	0.009897	1.3	22.99	42.92	0.57
4150	29.95	3462.57	3463.87	3463.82	3464.03	0.024088	1.78	16.83	38.59	0.86
4100	29.95	3462.15	3463.37		3463.43	0.006552	1.07	27.99	51.96	0.47
4050	29.95	3461.57	3463.01		3463.09	0.007055	1.23	24.37	38.7	0.49
4000	29.95	3461	3462.19	3462.19	3462.41	0.034485	2.06	14.55	34.77	1.02



Anexo 16: Perfiles del río Hatunmayo para el periodo de retorno 0 y 100 años





Anexo 17: Presupuesto de las obras longitudinales
Presupuesto del dique enrocado

S10

Página

1

Presupuesto

Presupuesto 0705004 TESIS "RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RÍO HATUNMAYO, JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021"
 Subpresupuesto 001 TESIS "RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RÍO HATUNMAYO, JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021"
 Cliente UNIVERSIDAD CONTINENTAL Costo al 08/07/2021
 Lugar CUSCO - ANTA - CACHIMAYO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
01	OBRAS PROVISIONALES				24,165.55
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 3.60 X 2.40 M	und	1.00	813.25	813.25
01.02	CONSTRUCCION DE AMBIENTES PARA ALMACEN Y GUARDIANA DE OBRA	m2	400.00	49.48	19,792.00
01.03	MOVILIZACION Y DESMOLIZACION DE MAQUINARIA PESADA	GLB	1.00	2,500.00	2,500.00
01.04	HABILITACION DE CAMINOS DE ACCESOS	KM	0.50	2,120.60	1,060.30
02	CONSTRUCCION DE DIQUES				520,784.57
02.01	TRABAJOS PRELIMINARES				134,257.84
02.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO CON PRESENCIA DE MALEZA Y VEGETACION	m2	1,435.00	0.91	1,305.85
02.01.02	TRAZO Y REPLANTEO EN TERRENO	KM	0.25	1,600.80	400.20
02.01.03	EXTRACCION DE MATERIAL DE CANTERA	m3	8,580.00	13.04	111,883.20
02.01.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1,607.20	12.86	20,668.59
02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				73,176.45
02.02.01	LIMPIEZA, NIVELACION Y COMPACTADO DE BASE DE DIQUE	m2	1,435.00	4.60	6,601.00
02.02.02	AFIRMADO DE MATERIAL PROPIO	m3	1,865.50	7.28	13,580.84
02.02.03	CONFORMACION DE DIQUE CON MATERIAL PROPIO	m3	401.80	11.29	4,536.32
02.02.04	CONFORMACION DE DIQUE CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1,607.20	12.79	20,556.09
02.02.05	PERFILADO DE TALUD	m2	1,700.00	7.55	12,835.00
02.02.06	EXCAVACION DE UÑA PARA ENROCADO	m3	6,880.00	2.19	15,067.20
02.03	ENROCADOS				264,240.28
02.03.01	SELECCIÓN Y ACOPIO DE ROCA DE 20" a 40 "	m3	6,880.00	17.24	118,611.20
02.03.02	CARGUIO Y TRANSPORTE DE ROCA 20" a 40 " D = 1.00 km	m3	8,944.00	6.47	57,867.68
02.03.03	ACOMODO DE ROCA EN UÑA	m3	7,310.00	10.44	76,316.40
02.03.04	ACOMODO DE ROCA EN TALUD Y CORONA	m3	875.00	13.08	11,445.00
02.04	GEOTEXTILES				42,030.00
02.04.01	GEOTEXTIL DE 300 gr/cm2, Suministro e Instalación	m2	2,250.00	18.68	42,030.00
02.05	REFORESTACION				7,080.00
02.05.01	SIEMBRA DE PLANTAS	und	1,000.00	7.08	7,080.00
03	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				19,652.15
03.01	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				19,652.15
03.01.01	MANTENIMIENTO Y HUMEDECIMIENTO DE CAMINOS DE ACCESO	mes	3.00	850.00	2,550.00
03.01.02	MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS	mes	3.00	746.18	2,238.54
03.01.03	CAPACITACION POBLACION Y TRABAJADORES	GLB	1.00	9,000.00	9,000.00
03.01.04	RESTAURACION DE CANTERAS Y AREAS VERDES	GLB	1.00	4,858.05	4,858.05
03.01.05	OTROS COSTOS DE PLAN DE CIERRE	GLB	1.00	1,005.56	1,005.56
04	PLAN DE VIGILANCIA Y PREVENCIÓN COVID 19				40,000.00
04.01	PLAN DE VIGILANCIA Y PREVENCIÓN COVID 19	GLB	1.00	40,000.00	40,000.00
	COSTO DIRECTO				604,602.27

SON : SEISCIENTOS CUATRO MIL SEISCIENTOS DOS Y 27/100 NUEVOS SOLES

Presupuesto de los gaviones

S10

Página

1

Presupuesto

Presupuesto	0705005	TESIS "RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RÍO HATUNMAYO, JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021" GAVIONES		
Subpresupuesto	001	TESIS "RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RÍO HATUNMAYO, JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021		
Cliente	UNIVERSIDAD CONTINENTAL			Costo al
Lugar	CUSCO - ANTA - CACHIMAYO			08/07/2021

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				24,165.55
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 3.60 X 2.40 M	und	1.00	813.25	813.25
01.02	CONSTRUCCION DE AMBIENTES PARA ALMACEN Y GUARDIANA DE OBRA	m2	400.00	49.48	19,792.00
01.03	MOVILIZACION Y DESMOLIZACION DE MAQUINARIA PESADA	GLB	1.00	2,500.00	2,500.00
01.04	HABILITACION DE CAMINOS DE ACCESOS	KM	0.50	2,120.60	1,060.30
02	OBRAS PRELIMINARES				252,948.24
02.01	LIMPIEZA DE TERRENO CON PRESENCIA DE MALEZA Y VEGETACION	m2	1,800.00	0.91	1,638.00
02.02	TRAZO Y REPLANTEO EN TERRENO	KM	0.30	1,600.80	480.24
02.03	EXTRACCION DE MATERIAL DE CANTERA	m3	9,000.00	12.66	113,940.00
02.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE PRESTAMO	m3	11,700.00	11.70	136,890.00
03	MOVIMIENTO DE TIERRAS				170,799.30
03.01	EXCAVACION MASIVA CON MAQUINARIA EN TERRENO COMPACTO	m3	6,300.00	2.19	13,797.00
03.02	TRANSPORTE DE MAT. D APROX. 5 KM.	m3	8,190.00	19.17	157,002.30
04	MUROS GAVIONES				280,173.60
04.01	GAVION CAJA 5.0x1.5x1.0m (10x12, 3.40mm, An+Al+PVC)	und	360.00	778.26	280,173.60
05	ACARREO DE MATERIALES				76,005.00
05.01	ACARREO DE PIEDRA PARA GAVIONES D=40 M	m3	13,500.00	5.63	76,005.00
06	GEOTEXILES				30,822.00
06.01	GEOTEXIL DE 300 gr/cm2, Suministro e Instalacion	m2	1,650.00	18.68	30,822.00
07	REFORESTACION				7,080.00
07.01	SIEMBRA DE PLANTAS	und	1,000.00	7.08	7,080.00
08	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				19,652.15
08.01	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				19,652.15
08.01.01	MANTENIMIENTO Y HUMEDECIMIENTO DE CAMINOS DE ACCESO	mes	3.00	850.00	2,550.00
08.01.02	MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS	mes	3.00	746.18	2,238.54
08.01.03	CAPACITACION POBLACION Y TRABAJADORES	GLB	1.00	9,000.00	9,000.00
08.01.04	RESTAURACION DE CANTERAS Y AREAS VERDES	GLB	1.00	4,858.05	4,858.05
08.01.05	OTROS COSTOS DE PLAN DE CIERRE	GLB	1.00	1,005.56	1,005.56
09	PLAN DE VIGILANCIA Y PREVENCION COVID 19				40,000.00
09.01	PLAN DE VIGILANCIA Y PREVENCION COVID 19	GLB	1.00	40,000.00	40,000.00
	COSTO DIRECTO				901,645.84

SON : NOVECIENTOS UNO MIL SEISCIENTOS CUARENTICINCO Y 84/100 NUEVOS SOLES

Presupuesto del dique de tierra

Presupuesto

Presupuesto **0705006** TESIS "RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RÍO HATUNMAYO, JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021" DIQUE DE TIERRA
 Subpresupuesto **001** TESIS "RIESGO POR INUNDACIÓN Y OBRAS LONGITUDINALES EN EL RÍO HATUNMAYO, JURISDICCIÓN DEL DISTRITO DE CACHIMAYO, ANTA - CUSCO, 2021
 Cliente **UNIVERSIDAD CONTINENTAL** Costo al **08/07/2021**
 Lugar **CUSCO - ANTA - CACHIMAYO**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
01	OBRAS PROVISIONALES				24,165.55
01.01	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 3.60 X 2.40 M	und	1.00	813.25	813.25
01.02	CONSTRUCCION DE AMBIENTES PARA ALMACEN Y GUARDIANA DE OBRA	m2	400.00	49.48	19,792.00
01.03	MOVILIZACION Y DESMOLIZACION DE MAQUINARIA PESADA	GLB	1.00	2,500.00	2,500.00
01.04	HABILITACION DE CAMINOS DE ACCESOS	KM	0.50	2,120.60	1,060.30
02	CONSTRUCCION DE DIQUE DE TIERRA				279,738.85
02.01	TRABAJOS PRELIMINARES				74,454.80
02.01.01	LIMPIEZA DE TERRENO CON PRESENCIA DE MALEZA Y VEGETACION	m2	1,435.00	0.91	1,305.85
02.01.02	TRAZO Y REPLANTEO EN TERRENO	KM	0.20	1,600.80	320.16
02.01.03	EXTRACCION DE MATERIAL DE CANTERA	m3	4,000.00	13.04	52,160.00
02.01.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1,607.20	12.86	20,668.59
02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				58,109.25
02.02.01	LIMPIEZA, NIVELACION Y COMPACTADO DE BASE DE DIQUE	m2	1,435.00	4.60	6,601.00
02.02.02	AFIRMADO DE MATERIAL PROPIO	m3	1,865.50	7.28	13,580.84
02.02.03	CONFORMACION DE DIQUE CON MATERIAL PROPIO	m3	401.80	11.29	4,536.32
02.02.04	CONFORMACION DE DIQUE CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	1,607.20	12.79	20,556.09
02.02.05	PERFILADO DE TALUD	m2	1,700.00	7.55	12,835.00
02.03	DIQUE				98,065.00
02.03.01	ACOOPIE DE MATERIAL PARA DIQUE	m3	4,500.00	9.74	43,830.00
02.03.02	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL D = 1.00 km	m3	5,000.00	6.47	32,350.00
02.03.03	ACOMODO DE TIERRA ARCILLA PARA DENTELLON	m3	1,000.00	10.44	10,440.00
02.03.04	ACOMODO DE TIERRA EN TALUD Y CORONA	m3	875.00	13.08	11,445.00
02.04	GEOTEXTILES				42,030.00
02.04.01	GEOTEXTIL DE 300 gr/cm2, Suministro e Instalacion	m2	2,250.00	18.68	42,030.00
02.05	REFORESTACION				7,080.00
02.05.01	SIEMBRA DE PLANTAS	und	1,000.00	7.08	7,080.00
03	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				19,852.15
03.01	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				19,852.15
03.01.01	MANTENIMIENTO Y HUMEDECIMIENTO DE CAMINOS DE ACCESO	mes	3.00	850.00	2,550.00
03.01.02	MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS	mes	3.00	746.18	2,238.54
03.01.03	CAPACITACION POBLACION Y TRABAJADORES	GLB	1.00	9,000.00	9,000.00
03.01.04	RESTAURACION DE CANTERAS Y AREAS VERDES	GLB	1.00	4,858.05	4,858.05
03.01.05	OTROS COSTOS DE PLAN DE CIERRE	GLB	1.00	1,005.56	1,005.56
04	PLAN DE VIGILANCIA Y PREVENCIÓN COVID 19				40,000.00
04.01	PLAN DE VIGILANCIA Y PREVENCIÓN COVID 19	GLB	1.00	40,000.00	40,000.00
	COSTO DIRECTO				383,558.55

SON: TRESIENTOS SESENTITRES MIL QUINIENTOS CINCUENTISEIS Y 55/100 NUEVOS SOLES

PANEL FOTOGRÁFICO

1. Levantamiento topográfico







2. Tramos afectados del río Hatunmayo







PLANOS

