

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Obras de protección ribereña y control de inundación  
del río Mantaro, tramo barrio Mantaro, distrito  
de Huayucachi - Huancayo**

Yessenia Yoshirin Rios Prieto

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

## **DEDICATORIA**

A mi familia, que amo tanto y que siempre me dio el cariño y apoyo suficiente para lograr mis objetivos.

A mi madre, que nunca descansó en educarme y que siempre fue para mí el mejor ejemplo de persona luchadora.

# ÍNDICE

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria .....	iii
Índice.....	iv
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	xi
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>13</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>13</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.1.2. Formulación del problema .....	18
1.2. Objetivos .....	18
1.2.1. Objetivo general .....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	19
1.3. Justificación .....	19
1.3.1. Justificación social.....	19
1.3.2. Justificación teórica .....	19
1.3.3. Justificación metodológica.....	20
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	20
1.4.1. Hipótesis.....	20
1.4.2. Variables .....	20
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>23</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	23
2.1.1. Antecedente internacional .....	23
2.1.2. Antecedente nacional.....	27
2.2. Bases teóricas .....	31
2.2.1. Ríos.....	31
2.2.2. Obras de protección ribereña .....	35
2.2.3. Modelo de simulación HEC – RAS 5.0.7 .....	50

2.3. Definición de términos básicos .....	51
2.3.1. Caudal .....	51
2.3.2. Defensas ribereñas .....	51
2.3.3. Erosión .....	52
2.3.4. Inundación .....	52
2.3.5. Periodo de retorno .....	52
2.3.6. Socavación general .....	52
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>53</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>53</b>
3.1. Métodos y alcance de la investigación .....	53
3.1.1. Método de investigación .....	53
3.1.2. Alcance de investigación .....	53
3.1.3. Tipo de investigación .....	54
3.2. Diseño de la investigación .....	54
3.3. Población y muestra .....	54
3.3.1. Población .....	54
3.3.2. Muestra .....	54
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	56
3.4.1. Observación directa .....	56
3.4.2. Análisis de documentos .....	56
3.4.3. Trabajo de gabinete .....	56
3.5. Procedimiento .....	56
3.5.1. Análisis del caudal del río Mantaro .....	56
3.5.2. Diseño de obras longitudinales .....	66
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>80</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>80</b>
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	80
4.1.1. Obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo .....	80
4.1.2. Obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo .....	84
4.2. Prueba de hipótesis .....	87
4.2.1. Obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo .....	87

4.2.2. Obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo .....	90
4.3. Discusión de resultados .....	94
4.3.1. Obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo .....	95
4.3.2. Obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo .....	98
Conclusiones.....	103
Recomendaciones.....	103
Lista de referencias .....	104
Anexos .....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	22
Tabla 2. Factores a tener en cuenta para el análisis de un río.....	34
Tabla 3. Probabilidad anual de que ocurra el caudal de diseño - valores de $\beta$	42
Tabla 4. Valores de $x$ y $1(1 + x)$ – suelos cohesivos y no cohesivos .....	43
Tabla 5. Valores de $\emptyset$ para diferentes caudales.....	44
Tabla 6. Distribuciones probabilísticas .....	57
Tabla 7. Prueba de normalidad de distribuciones .....	58
Tabla 8. Tabla de Cowan .....	59
Tabla 9. Caudal del río Mantaro en el tramo del barrio Mantaro .....	60
Tabla 10. Caudales de diseño finales .....	61
Tabla 11. Salida del perfil para periodo de retorno de 0 años.....	63
Tabla 12. Salida del perfil para periodo de retorno de 40 años.....	64
Tabla 13. Salida del perfil para periodo de retorno de 140 años .....	65
Tabla 14. Profundidad de socavación .....	67
Tabla 15. Peso específico y ángulo de fricción de suelos .....	69
Tabla 16. Coeficientes $C_1$ .....	73
Tabla 17. Coeficientes $C_1$ .....	73
Tabla 18. Perfil del río Mantaro para periodo de retorno de 140 años .....	81
Tabla 19. Perfil del río Mantaro con dique para periodo de retorno de 140 años .....	82
Tabla 20. Diferencia de los indicadores afectados por la obra de protección riberaña con dique.....	83
Tabla 21. Perfil del río Mantaro con enrocado para periodo de retorno de 140 años.....	85
Tabla 22. Diferencia de los indicadores afectados por la obra de protección riberaña con enrocado.....	86
Tabla 23. Variación del nivel de agua y caudal del río con dique.....	88
Tabla 24. Estadística de regresión río Mantaro con dique .....	90
Tabla 25. Análisis de varianza río Mantaro con dique.....	90
Tabla 26. Variación del nivel de agua y caudal del río con enrocado.....	91
Tabla 27. Estadística de regresión río Mantaro con enrocado .....	93
Tabla 28. Análisis de varianza río Mantaro con enrocado.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Impacto del fenómeno El Niño a nivel mundial .....	14
Figura 2. Ensanchamiento del cauce del río Mantaro .....	17
Figura 3. Partes de una cuenca hidrográfica.....	35
Figura 4. Dique marginal .....	38
Figura 6. Enrocado de protección de ríos .....	41
Figura 7. Ventana de inicio del HEC RAS 5.0.7 .....	51
Figura 8. Río Mantaro que pasa por el barrio Mantaro, Huayucachi - Huancayo .....	55
Figura 9. Periodo de retorno 0 años – río Mantaro.....	61
Figura 10. Periodo de retorno 40 años – río Mantaro.....	62
Figura 11. Periodo de retorno 100 años – río Mantaro.....	62
Figura 12. Corte A-A, sección con periodo de retorno de 0 años.....	66
Figura 13. Corte A-A, sección con periodo de retorno de 40 años.....	66
Figura 14. Sección representativa del dique .....	68
Figura 15. Fuerzas consideradas, análisis de dique de tierra .....	68
Figura 16. Sección representativa del dique con filtro.....	70
Figura 17. Estabilidad del dique y sección analizada .....	71
Figura 18. Fuerzas consideradas, análisis de enrocado .....	77
Figura 19. Estabilidad del terraplén y sección analizada.....	77
Figura 20. Características del enrocado.....	79
Figura 21. Correlación de Pearson – función lineal.....	89
Figura 22. Correlación de Pearson – función polinómica .....	89
Figura 23. Correlación de Pearson – función lineal.....	92
Figura 24. Correlación de Pearson – función polinómica .....	93

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar la relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundación en el río Mantaro, tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo. El método de la investigación fue científico, de tipo aplicada, nivel o alcance correlacional y diseño no experimental, ya que no se realizó la manipulación de las variables. La población estuvo compuesta por el recorrido del río Mantaro dentro de la provincia de Huancayo, departamento de Junín y la muestra fue no probabilística y por conveniencia, por lo que estuvo delimitada por el tramo de 500 m del trayecto del río Mantaro en el barrio Mantaro. Los resultados mostraron el cambio del comportamiento hidráulico del río Mantaro en el tramo de los 300 m y en especial del caudal, el cambio se evidenció en la disminución numérica de valores de los parámetros del comportamiento hidráulico del río; la prueba de hipótesis permitió determinar una relación moderada y alta directa o positiva entre las obras de protección ribereña con dique y enrocado, ya que los valores obtenidos fueron 0.469 y 0.789 respectivamente. Así mismo, se debe mencionar que del análisis de costos, el enrocado resultó ser la obra longitudinal de bajo costo con S/ 735 784.73. La conclusión de la investigación fue que, se determinó la relación entre las obras de protección de defensa ribereña y el control de inundación; por lo que es posible decir que, las obras de protección ribereña propuestas permiten el control de inundación del río Mantaro en el tramo de los 300 m, pertenecientes al barrio Mantaro, distrito de Huayucachi.

**Palabras claves:** caudal, control de inundación, obras de protección ribereña, río Mantaro

## ABSTRACT

The objective of the research was to determine the relationship between riparian protection works and flood control in the Mantaro river, Mantaro neighborhood section, Huayucachi district - Huancayo. The research method was scientific, of applied type, correlational level or scope and non-experimental design since the variables were not manipulated. The population consisted of the Mantaro River route within the province of Huancayo, department of Junín, and the sample was non-probabilistic and by convenience, so it was delimited by the 500-meter stretch of the Mantaro river route in the Mantaro neighborhood. The results showed the change in the hydraulic behavior of the Mantaro river in the 300 m stretch and especially in the flow, the change was evidenced in the numerical decrease in the values of the parameters of the hydraulic behavior of the river; the hypothesis test allowed determining a direct or positive moderate relationship between the riverbank protection works with dike and rockfill, since the values obtained were 0.469 and 0.789 respectively. It should also be mentioned that from the cost analysis, the embankment was the low-cost longitudinal work with S/735,784.73. The conclusion of the investigation was that the relationship between the riparian defense protection works, and flood control was determined; therefore, it is possible to say that the proposed riparian protection works allow flood control of the Mantaro river in the 300 m stretch belonging to neighborhood Mantaro, Huayucachi district.

**Keywords:** flood control, flow, riparian protection works, Mantaro river

## INTRODUCCIÓN

Las inundaciones en zonas cercanas a los ríos son la consecuencia de los caudales extraordinarios, que ocurren debido a las fuertes precipitaciones; elevando el nivel de agua de los ríos. Las causas de este desastre natural no solo son las fuertes precipitaciones que, en los últimos años, se debe al cambio climático; sino también a la actividad antrópica o humana que han invadido el cauce natural del río, emplazando sus viviendas debido al crecimiento poblacional y la falta de un planeamiento urbano que contemple el crecimiento demográfico. Razón por la cual, en los últimos años, se han dado a conocer las obras de protección ribereña para controlar la inundación en zonas adyacentes a los ríos donde hay actividad humana.

El objetivo de la investigación es determinar la relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro, tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo. Para el desarrollo de la investigación se realizó visita a campo para el reconocimiento del cauce del río Mantaro en el tramo del barrio Mantaro, también se realizó el levantamiento topográfico del cual se obtuvo el tramo a estudiar comprendido en 300 m del río Mantaro y las secciones del río para la simulación en el programa HEC RAS. Así mismo, se recopiló el registro histórico del caudal del río Mantaro y así poder obtener el caudal de diseño para el periodo de retorno de 140 años, información con la que se propuso realizar el diseño de las obras de protección ribereña como dique y enrocado. Para el diseño del dique, se recopiló de la capacidad portante del suelo donde se propone colocar el dique y del peso específico del material para la conformación del dique, que corresponde a una arcilla media. Para el diseño el enrocado, se recopiló información del ángulo de fricción de la roca a colocar en el enrocado, de un estudio reciente en el que se utilizó el material proveniente de la cantera Pumpunya; y se realizó una prueba de laboratorio para obtener el peso específico de la roca proveniente de la cantera Pumpunya. Después de realizar el diseño de las obras de protección ribereña, la geometría del diseño se ingresó al programa HEC RAS para una segunda simulación y, de esta forma, se pudo obtener el comportamiento hidráulico del río Mantaro para

el tramo de los 300 m de estudio; para finalmente adjuntar los resultados obtenidos en el capítulo cuatro.

La investigación cuenta con cuatro capítulos. En el capítulo I se presentó el planteamiento del estudio, describiendo el planteamiento y formulación del problema, objetivos, justificación e hipótesis de la investigación y la descripción de las variables. En el capítulo II de marco teórico, se presentaron los antecedentes del problema, bases teóricas de la investigación y definición de términos básicos. El capítulo III de metodología, contiene el método, alcance, tipo, diseño, población y muestra de la investigación; también se presentó el procedimiento de la investigación donde se muestra el procedimiento detallado de la obtención de los resultados. El capítulo IV de resultados y discusión, contiene los resultados obtenidos del procedimiento detallado, la prueba de hipótesis en la que se utilizó la correlación de Pearson para verificar la relación entre las variables de la investigación, y la discusión de resultados. Finalmente se tienen conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos de la investigación.

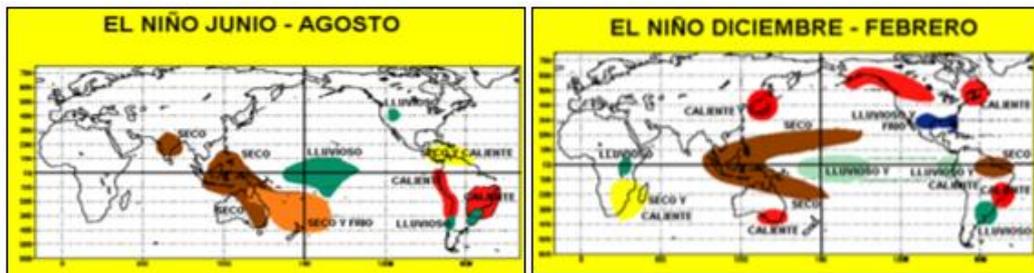
# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1. Planteamiento del problema**

El fenómeno de El Niño se encuentra asociado al cambio climático, generando lluvias extraordinarias o atípicas e impredecibles que superan la media histórica y ocurren dentro o fuera del periodo climático de lluvias. Ya que El Niño es un fenómeno climático que consiste en el cambio de patrones de movimiento de las corrientes marinas en la zona intertropical. Provocando la superposición de aguas cálidas del hemisferio norte hacia las aguas del ecuador norte, cuyas aguas son frías y características de la corriente de Humboldt, generando alteraciones en la zona tropical debido a las intensas precipitaciones y afectando a América del Sur y costas atlánticas del Pacífico. Entre las cuales se encuentran las zonas pesqueras de la costa del Perú (1). En la figura, se puede apreciar el impacto del fenómeno El Niño a nivel mundial.



**Figura 1. Impacto del fenómeno El Niño a nivel mundial (1)**

Otro aspecto importante es que el crecimiento poblacional en el Perú ha llevado a la expansión de la ocupación de espacios urbanos y rurales en zonas de riesgo. Este proceso se lleva a cabo sin ningún tipo de planificación, de esta forma, un gran porcentaje de los pobladores carecen de los servicios básicos y sus casas están construidas en zonas peligrosas, en muchos casos cerca de los ríos, lo que los hace muy vulnerables a inundaciones y peligro de inundación. (2).

En los últimos años se ha asociado a El Niño la ocurrencia de eventos anormales como caudales máximos de inundación, con magnitudes anormales en las costas norte y central del Perú debido a las fuertes lluvias de 1982-1983 y 1997-1998. El aumento del nivel del agua conduce a la inundación del río, causando principalmente daños importantes en las tierras de cultivo, las zonas urbanas y la infraestructura de conservación del agua; teniendo un gran impacto en la economía social del país (3). Siendo Tumbes, Piura y Lambayeque; los departamentos más afectados por el fenómeno de El Niño. Es así como en la cuenca del río Tumbes los caudales se incrementaron desde diciembre de 1982 a enero de 1983 con un promedio de 737.4 m<sup>3</sup>/s, mientras que en enero de 1998 el caudal promedio se incrementó a 854 m<sup>3</sup>/s; obteniendo el caudal máximo instantáneo del periodo diciembre – mayo 1997 - 1998 de 2 318.0 m<sup>3</sup>/s registrado en abril 12, a diferencia de 1982 – 1983 donde el caudal máximo instantáneo fue de 1 277 m<sup>3</sup>/s (4). Otro aspecto importante, es que las excesivas precipitaciones no solo ocasionaron inundaciones, deslizamientos y huaycos, en la costa norte y central hasta Ica; sino que también se produjeron periodos de sequía en la

costa norte como en la sierra centro y sur donde las lluvias fueron irregulares (5).

Entre el año 2000 a 2010, en el Perú se reportó un total de 163 eventos de sequías debido al fenómeno El Niño. Donde la vertiente del Pacífico registró 127 eventos, la vertiente del Titicaca registró 25 eventos y la vertiente del Atlántico registró 11 eventos, siendo esta última vertiente a la cual pertenece la cuenca del Mantaro y se encuentra conformada por las regiones Junín, Huancavelica, Pasco y Ayacucho. En el 2011, la región Junín, se vio afectada por eventos de sequía teniendo como consecuencia la pérdida de cultivos, mortandad pecuaria, proliferación de plagas y enfermedades que afectó tanto a productores agrarios como poblaciones urbanas y la producción de energía eléctrica. Así mismo, se debe mencionar que la agricultura de la sierra peruana ubicada en la vertiente del Atlántico sufre más daños debido a que los terrenos de cultivo son en secano y el rendimiento de cosecha se reduce cuando hay periodos largos de sequía con deficiencia del 20 %. Sin olvidar que cuando las precipitaciones son atípicas que superan la media históricas se producen inundaciones y deslizamientos (6).

En el año 2015, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) zonas vulnerables ante el fenómeno El Niño en la cuenca del Mantaro. Donde dio a conocer que, 5 275 habitantes se encuentran en riesgo, 1 060 viviendas resultarían afectadas. Como consecuencia de la activación de 11 quebradas en épocas de lluvia dentro de la provincia de Huancayo (El Tambo, Chilca, Pucará, Sapallanga, San Jerónimo de Tunan y Quilcas) y región Junín (Oroya, Jauja y Concepción). Además, el jefe regional del Senamhi Junín anunció que según los estudios meteorológicos el fenómeno El Niño traería eventos extremos inusuales y periodos críticos para Junín, por lo que recomendó tomar acciones ante las posibles ocurrencias (7).

De acuerdo con el estudio sobre los daños de inundaciones y de deslizamientos y sobre las necesidades de reconstrucción. La cuenca del Mantaro tuvo 19 provincias y 116 distritos declarados en emergencia por El Niño costero en el año 2017. De los cuales, se tuvo un total de 13 064 personas afectadas, 2 417 viviendas afectadas, 495 km de carretera afectada y 496 ha de tierras de cultivo afectadas; debido a las inundaciones y deslizamientos provocado por el exceso de lluvias, condiciones meteorológicas y el cambio de las condiciones sociales. Debiendo reconocer que el incremento de temperatura del agua en el Pacífico oriental (costas del Perú) provocada por El Niño altera las condiciones climáticas provocando grandes inundaciones en el Perú. Por otro lado, se debe mencionar que la cuenca del Mantaro tiene una probabilidad de inundación del 70 % para el periodo de retorno de 100 años (8).

En la zona del río Mantaro, la población de toda la región Junín está creciendo a una tasa promedio anual de 0,2 %, en comparación con otras provincias de la región, Huancayo tiene la tasa de crecimiento más alta de 1,6 % (9). Las prácticas individuales son inadecuadas ya que los residentes ocupan y utilizan áreas correspondientes a las zonas marginales, que se consideran peligrosas debido a su vulnerabilidad a desbordamientos e inundaciones durante los meses de fuertes lluvias. Además, existen prácticas institucionales inadecuadas y la falta de estudios de zonificación de áreas con riesgo de inundación, resultando en la hidrotección de infraestructura, líneas de comunicación, servicios básicos, vivienda, ganado (bovino, ovino y otros), papa, maíz, frijol que representan hogares con pérdida de cultivos a gran escala como forrajes, por lo que se solicita apoyo económico a las poblaciones afectadas por estos fenómenos extremos, que ocurren cíclicamente entre diciembre y marzo de cada año (10).

Debido a la variación de las descargas del río Mantaro en épocas de lluvia, como en el año 2011 el caudal mínimo fue 20.03 m<sup>3</sup>/s y el caudal máximo fue 102.88 m<sup>3</sup>/s y el caudal promedio fue de 55.58 m<sup>3</sup>/s, cabe

resaltar que los datos provienen de la estación hidrométrica puente Chúlec de Electroperu (11). Referente a la variación de descargas históricas en el río Mantaro de la estación del puente Stuart, también en el año 2011, el caudal varía entre 37.10 m<sup>3</sup>/s a 293.00 m<sup>3</sup>/s, con una velocidad media de 1.16 m/s (12). En cuanto al comportamiento del río Mantaro al 12 de abril de 2021, el caudal instantáneo obtenido fue 238.20 m<sup>3</sup>/s el cual se encuentra por encima del valor promedio histórico diario de 228.02 m<sup>3</sup>/s (13). 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, siendo las zonas más afectadas Sincos, Orcotuna, Matahuasi y Huamancaca que se encuentran cerca de Chancaspampa en la provincia de Junín; donde se propone realizar monitoreos continuos de calidad de agua y prevenir ante situaciones de desborde debido a las lluvias intensas (14). En la siguiente figura, se puede apreciar el ensanchamiento del cauce del río, donde se encuentran algunas zonas de cultivo.



**Figura 2. Ensanchamiento del cauce del río Mantaro**

Por tanto, con el presente estudio de investigación se pretende determinar la relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro, en donde el barrio Mantaro, zona aledaña al

recorrido del río, que además dicho barrio pertenece al distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo y departamento de Junín.

Así mismo, se empleó el programa de simulación HEC-RAS en el que se simula el caudal de diseño del río Mantaro para los diferentes periodos de retorno (0; 40 y 140 años), y en el que se puede incluir la geometría de las obras de protección para una posterior simulación de estas con el caudal de diseño correspondiente al periodo de retorno de 140 años.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **Problema general**

¿Qué relación existe entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro, en el tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi - Huancayo?

#### **Problemas específicos**

¿Qué relación existe entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo?

¿Qué relación existe entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi - Huancayo?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundaciones del río Mantaro, tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Determinar la relación entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo.

Determinar la relación entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo.

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Justificación social**

Según Bernal (15) 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 Mantaro incluyendo el diseño de las obras de protección ribereña de dique y enrocado, y de este modo lograr prevenir inundaciones por el posible desbordamiento del río, a las familias que se dedican a diferentes actividades y que habitan las zonas aledañas del río Mantaro, como el barrio Mantaro, distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo – Junín.

### **1.3.2. Justificación teórica**

Según Castro (16), 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 del caudal del río Mantaro, se realiza con diferentes métodos y empleando un programa de apoyo, con el propósito de prevenir de inundaciones a los pobladores de las zonas pobladas aledañas al río Mantaro.

### **1.3.3. Justificación metodológica**

Según Bernal (15), 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 del caudal del río Mantaro con dos tipos de obras de protección ribereña (dique y enrocado) 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 0; 20; 40 y 140 años.

## **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1. Hipótesis**

#### **Hipótesis general**

La relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro es directa, en el tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo.

#### **Hipótesis específicas**

La relación entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro es directa, distrito de Huayucachi – Huancayo.

La relación entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro es directa, distrito de Huayucachi – Huancayo.

### **1.4.2. Variables**

#### **Variable 1**

#### **Variable dependiente**

#### **Obras de protección ribereña**

Medidas para evitar que la acción erosiva del agua, cuyas medidas de protección pueden ser agronómicas y estructurales (17). Obras localizadas en las laderas de los cauces del río, con materiales resistentes a la fuerza erosiva de la corriente de agua; los revestimientos pueden ser de hormigón

o asfalto, sacos de arena o cemento, bloques de hormigón prefabricados y vegetación (18).

## **Variable 2**

### **Variable independiente**

#### **Control de inundación**

Las inundaciones no solo significan pérdidas humanas, también afecta los medios de vida y de soporte económico en poblaciones vulnerables (19). Por lo que el fenómeno de inundación se refiere a un cuerpo de agua que ocupa un terreno y su nivel de agua se encuentra sobre los nivel del terreno (17).

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

**Tabla 1. Operacionalización de variables**

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Fuente
<b>Variable dependiente:</b> obras de protección ribereña	Obras en los taludes del cauce del río, donde el material resiste la fuerza erosiva del flujo de agua (18).	Dique	Ubicación en planta	Diseño de obras de protección en la ribera del río	Herramientas de diseño: HEC – RAS, river
			Nivel de agua		
		Enrocado	Caudal de agua	Diseño de obras de protección en la ribera del río	Herramientas de diseño: HEC – RAS, river
			Ubicación en planta		
<b>Variable independiente:</b> control de inundación	Las inundaciones no solo significan pérdidas humanas, también afecta los medios de vida y de soporte económico en poblaciones vulnerables (19).	Caudal del río	Máxima avenida	Registro histórico de caudal	Senamhi Programas de diseño
			Periodo de retorno		

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedente internacional**

Según Robayo (20), en la tesis “*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 la investigación fue científico, con diseño no experimental. La población estuvo compuesta por la localidad de Tunjuelito que se encuentra al sur de la ciudad de Bogotá. Para lograr el objetivo planteado, recopiló la información de la localidad de Tunjuelito, posteriormente realizó la caracterización de la localidad, incluyendo 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, esto se obtuvo

empleando la herramienta QGIS, obteniendo que un área de 7.8 km<sup>2</sup> de la localidad es 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 Miranda (21) en la tesis "*Identificación y evaluación de la zona de riesgo de inundación en la cuenca baja, arroyo Xhosda, San Juan del Río, Querétaro*". Con el objetivo de identificar y ajustar el riesgo de desbordamiento en la cuenca baja, arroyo Xhosda, de la misma manera generar propuestas que ayuden a mitigar el riesgo por inundaciones, con un enfoque de cuencas. El método de la investigación fue científico, con diseño no experimental. La población de la investigación estuvo compuesta por la cuenca arroyo Xhosda que se localiza al este del municipio de San Juan de Río, cuya extensión territorial es de 108.49 km<sup>2</sup>. Para el desarrollo de la investigación identificó y analizó el riesgo por inundación haciendo uso de sistemas de información geográfica como el ArcMap de ArcGIS y Flo-2D, que permiten generar procesos y cartografía detallada del riesgo de inundación por medio de información geoespacial, datos bibliográficos y de campo. Los resultados, demostraron que la ciudad es propensa a inundaciones debido a que en épocas de lluvia el caudal se concentra en 180 m<sup>3</sup>/s, que según el análisis de inundabilidad el límite es de 125 m<sup>3</sup>/s. Llegó a la conclusión de que el caudal de agua se incrementará a medida que avance el desarrollo de infraestructuras, aumentando áreas de inundación si las condiciones de dren no son amplias. Por lo que se recomendó la reubicación de las familias para poder disipar las aguas en épocas de fuerte intensidad de precipitaciones.

Según López (22), en la tesis *“Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección contra inundaciones del río Chinautla, aldea Santa Cruz, Chinautla, Guatemala”*. 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. La población está conformada por el río Chinautla, que se encuentra dentro de la microcuenca Las Vacas, dentro de la cuenca del río Plátanos, que forma parte de la cuenca del río Motagua en la vertiente del Caribe. Realiza investigaciones basadas en parámetros hidrológicos de la cuenca del río Chinautla, también realiza simulaciones hidráulicas del área de estudio, para lo cual utiliza datos topográficos y características de caudal para determinar la velocidad del río, así como el caudal de la planicie de inundación y caudales calculados para diferentes periodos de retorno, según la cota máxima de crecida. Como resultado de la investigación obtuvo resultados hidráulicos, como niveles de inundación, para lo cual diseñó la geometría del terraplén (ingeniería de protección), y finalmente realizó una simulación hidráulica para ubicar el terraplén propuesto utilizando los caudales utilizados en las simulaciones iniciales, que logró resultados positivos, evitando inundaciones en áreas protegidas seleccionadas. Se concluyó que, con base en los datos obtenidos del proyecto HEC-RAS, se propone el diseño de la cabaña para ubicarse a ambos lados del río Chinautla, con una longitud de 170 m, una altura de 2.60 m y una ancho de protección de roca de 0,75 m, diseño para evitar inundaciones en el área de estudio. Asimismo, recomienda evaluar el diseño del puente peatonal sobre el río Chinautla, teniendo en cuenta el caudal máximo del río.

Según Villaquirán (23) en la tesis *“Identificación de las condiciones naturales y antrópicas, que generan riesgo por inundación en el río Molino en el municipio de Popayán - Colombia”*. Con el objetivo de identificar las condiciones naturales y antrópicas, que generan riesgo por inundación del río Molino en la zona urbana de Popayán – Colombia. La metodología fue

científica, con diseño no experimental. La población estuvo compuesta por la subcuenca del río Molino la cual está conformada por grupos campesinos e indígenas. Para el desarrollo de la investigación; se recopiló información ambiental, paisajística, socioeconómica y físico – cultural; se analizó la información para el adecuado desarrollo de la cuenca hídrica y finalmente se generaron condiciones arquitectónicas y recomendaciones para la gestión de riesgos de desastres por inundación. Los resultados demostraron que, las condiciones naturales que originan riesgo por inundación son las lluvias torrenciales que generan deslizamientos de tierra en la cuenca y en cuanto a las condiciones antrópicas que provocan riesgo de inundación son la contaminación y la invasión de las zonas de protección de la fuente hídrica, afectando el crecimiento poblacional. Llegó a la conclusión de que, las condiciones naturales y antrópicas son las lluvias y factores externos (contaminación y sobrepoblación) respectivamente; así menciona que la gestión de riesgo de desastres debe ser un proceso continuo, comunitario y equitativo dentro de la comunidad para lograr el equilibrio del desarrollo sostenible.

Según Hernández y otros (24) en el artículo de investigación “*Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac*”. Con el objetivo de desarrollar y aplicar una metodología de análisis de riesgo por inundaciones en una cuenca urbanizada, para que pueda servir de ayuda a los especialistas que toman decisiones para generar proyectos que mitiguen o minimicen los daños causados por las inundaciones. La metodología de la investigación consideró el enfoque determinista y paramétrico con el cual se logró el análisis de riesgo complementario. La aplicación del modelo determinista permitió cuantificar el riesgo por medio de la estimación de daños, basado en la simulación numérica de los escenarios para diferentes periodos de retorno a escala local; y el modelo paramétrico permitió conceptualizar la vulnerabilidad por medio de índices de consideran factores que afectan a la actividad socioeconómica de la región en estudio. Los resultados mostraron las zonas de riesgo y de alta

vulnerabilidad por tramos del río Atemajac; el modelo determinista generó mapas de inundación y daños para 50 y 100 años de periodo de retorno, donde se identificaron zonas de riesgo moderado a alto a lo largo del río; y el modelo paramétrico permitió obtener índices de vulnerabilidad acordes al modelo determinista con interpretación accesible para la toma de decisiones de los especialistas. Llegaron a la conclusión de que, el enfoque de análisis de riesgo por inundación minimiza la incertidumbre en la estimación de riesgo y la metodología es aplicable para cuencas urbanizadas donde existen daños asociados a las inundaciones por la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos.

### **2.1.2. Antecedente nacional**

Según Alvarado (25), en la tesis *“Modelación de avenidas a paso diario (1964 - 2014), con enfoque semidistribuido usando GR4J, en la cuenca del río Camaná, Arequipa - Perú”*, con el objetivo de realizar el modelado hidrológico utilizando un enfoque semidistribuido en el modelo GR4J de la cuenca del río Camaná para el pronóstico de inundaciones diarias. La población y muestra de estudio estuvo constituida por la cuenca del río Camaná en la provincia de Arequipa, Perú. Para lograr el objetivo general, el desarrollo del estudio se dividió en tres etapas, en la primera etapa se realizó la recopilación, análisis de tendencias, regionalización y complementación de datos hidrometeorológicos, teniendo en cuenta la estación hidrológica de Huatiapa y el drenaje de sistema que opera en el río, y se describe un modelo de elevación digital del terreno de investigación antes del punto de control. En la segunda fase se elaboró el programa hidrológico para la cuenca del río Camaná en el programa RS Minerve utilizando el modelo GR4J, en el cual se ingresaron datos hidrometeorológicos de 1964 a 1983 y se desarrolló una calibración de datos como validación al 2008. En 2014 finalmente se corrieron el modelo hidrológico y el submodelo acoplado. En la tercera etapa, se calcula la eficiencia del modelo de calibración y verificación de la subcuenca a través del análisis del índice de eficiencia, y también se analizan los resultados de

caudal observados y generados por el modelo GR4J en la etapa de calibración y verificación. Los resultados de la calibración y validación de la subcuenca muestran un índice de eficiencia que va de regular a excelente, lo que indica que los caudales observados y simulados son similares. Concluyó que el modelo GR4J es una herramienta invaluable para la prevención de inundaciones y caudales medios diarios en periodos de aguas bajas, una alternativa para pronosticar caudales y emitir alertas tempranas de posibles eventos extremos, además de brindar pronósticos por días y horas, teniendo en cuenta un umbral de alarma seguro para los residentes alrededor del cauce del río Camaná.

Según Maldonado (26) en la monografía técnica "*Diseño de enrocados de protección de la relavera La Esperanza - río Tulumayo*". Con el objetivo de diseñar la escollera protectora para el tranque de relaves "La Esperanza" - río Tulumayo. Los métodos de investigación son científicos y tienen un diseño no experimental. La población de estudio estuvo constituida por el distrito de Vitoc en la provincia de Chanchamayo, Junín. Para el diseño del patio de enrocamiento se determinaron los parámetros hidráulicos del río con la ayuda del software HEC-RAS 4.1 y se realizó una etapa preliminar de modelado del cauce, luego se determinó por plano el área donde se colocaría el enrocamiento. seguimiento del eje del escollera, seguido de un análisis de socavación para determinar la profundidad de la cimentación, seguido del dimensionamiento geométrico de las secciones típicas (alto, ancho, espesor mínimo) para la protección del escollera, y finalmente la determinación del diámetro de la roca que se utilizará, teniendo en cuenta que la estructura cumple con los criterios de estabilidad. Como resultado, la profundidad de socavación fue de 2,40 m y la altura del escollera de 5,50 m; las tres secciones fueron de 6,00 m y 6,50 m, el diámetro promedio de la roca fue de 0,60 m y el espesor mínimo del escollera de 0,90 m; en términos de estabilidad, el enrocamiento se ajustaba a la seguridad antideslizante. Se concluyó que el diseño del enrocamiento no solo protegía al tranque de

relaves La Esperanza, sino que era un proyecto de estabilización frente a la crecida del río Tulumayo.

Según García (27) en la tesis "*Diseño hidráulico y estructural de obras de protección frente a erosión e inundaciones del río Balsayacu en el centro poblado de Balsayacu, distrito de Campilla, provincia de Mariscal Cáceres - región San Martín*". El objetivo es proponer el diseño hidráulico y estructural de las obras de protección contra la erosión e inundación del río Balsayacu. El método de investigación es científico y se adopta el diseño experimental, las variables independientes están compuestas por técnicas de investigación como topografía, mecánica de suelos, hidrología e hidráulica correspondientes al estado de la investigación y variables dependientes correspondientes al diseño. Ingeniería de conservación estructural con referencia al programa de investigación. La población de estudio estuvo constituida por las zonas inundadas por el río Balsayacu. Para llevar a cabo el levantamiento, en primer lugar, se recopiló documentación para el diseño de la obra; en segundo lugar, se recopiló información en terreno como topografía, mecánica de suelos y registros históricos de la crecida más grande del río Balsayacu; en tercer lugar, se determinaron las características hidrológicas de la cuenca del río; en cuarto lugar, utilizando la información de precipitación de la estación CO Campilla obtenida de Senamhi, se realizó un estudio hidrológico del cauce mayor para obtener el caudal de diseño; posteriormente, los parámetros hidráulicos del río como el caudal medio, se determinó la pendiente del cauce, la rugosidad del cauce, la profundidad máxima de inundación, la velocidad del agua y la profundidad de socavación; diseño hidráulico final de espigones y presas de tierra, incluyendo. Se espera que los resultados tengan 15 diques deflectores de longitud corta y una presa de tierra de dos vanos. Se concluyó que se prevé la colocación de escolleras de tierra y obras de protección de diques fuera del cauce, paralelos y adyacentes a la margen derecha del río Balsayacu, para hacer frente a las inundaciones.

Según Sarango y otros (28) en el artículo de investigación “*Estudio de máximas avenidas para la protección de zonas de posible inundación ubicada en el tramo La Oroya – 40 km aguas abajo, cuenca del río Mantaro*”. El propósito de este estudio es proponer un método que permita determinar el caudal máximo del cauce para diferentes periodos de retorno para obtener el caudal de diseño para obras de estribo y protección de columnas ante la socavación producida por las aguas del río. La primera parte del relevamiento corresponde al levantamiento de información de entidades como IGN, Senamhi y SN Power S. A. Para la segunda parte del relevamiento, los autores identificaron el área de estudio correspondiente al tramo de la vía central La Oroya al puente Matachico, ubicado en la ciudad de La Oroya 40 km abajo. En la tercera parte del sondeo se realizó un análisis hidrológico utilizando Log Pearson tipo III y Gumbel dos parámetros de distribuciones de probabilidad normal, lognormal, etc. para obtener caudales máximos de crecida para diferentes periodos de retorno. Se obtiene el proceso de diseño del proyecto de control de socavaciones e inundaciones en el área de estudio. Concluyeron que el caudal de diseño a 100 años (2114) era de 805,82 m<sup>3</sup>/s, que podría ser utilizado para obras hidráulicas, protegiendo todas las vías e infraestructura hídrica de la zona.

Según Barabozza (29) en la tesis “*Influencia de las defensas ribereñas en el nivel de vulnerabilidad de las viviendas aledañas al Río Chillón, Callao*”. El propósito fue determinar la relación que existe entre las defensas ribereñas actuales y la vulnerabilidad de las viviendas en torno al río Chillón, Callao. La metodología de la investigación fue científica, con diseño no experimental. La población estuvo conformada por todos los sectores vulnerables y sus defensas ribereñas actuales que tienen un recorrido total de 126 km de longitud. Para el desarrollo de la investigación, se recolectó información geotécnica para el diseño de gaviones y enrocado, posteriormente se realizó el diseño hidrológico, hidráulico y la verificación de estabilidad de las defensas ribereñas propuestas. Los hallazgos muestran

que la defensa ribereña está directamente relacionada con la vulnerabilidad de la casa; además de poder hacer las deducciones que se describen a continuación; si la defensa ribereña está en mal estado, la vulnerabilidad es muy alta, y si la defensa ribereña está en buen estado, la vulnerabilidad es reducida. Se concluyó que la defensa ribereña estuvo relacionada con la vulnerabilidad de las viviendas alrededor del río Chillón en Callao.

Según Tabori (10) en la tesis “*Construcción de defensas ribereñas del río Supe ante posibles desastres naturales*”. Con el objetivo de realizar la construcción de la defensa ribereña del río Supe ante posibles desastres naturales en el año 2018. La metodología de la investigación fue científica, con diseño no experimental. La población estuvo compuesta por longitud del cauce del río principal del río Supe que comprende 83.86 km. Para el procesamiento y análisis de la investigación, se utilizó la cartografía del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y la información pluviométrica; así como también se empleó el software AutoCAD, ArcMap, entre otros programas, para la georreferenciación, análisis de gráficos, edición y elaboración de mapas y planos. Los resultados, del área de influencia fue de 1019.21 km<sup>2</sup>, la defensa ribereña de muros de gaviones ubicados en la entrada y salida de los puentes permiten la continuidad del flujo del río con bajas pendientes y velocidades que no superan los 5 m/s. Llegó a la conclusión de que, la defensa ribereña con muros de gaviones es favorable para el control de los efectos ante posibles desastres naturales.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Ríos**

“Los ríos alpinos fluyen en valles angostos y sin desarrollar que a menudo presentan cañones y pendientes empinadas. Los canales pueden ser rocosos y resistentes a la erosión o erosionables, sin bancos en la sección transversal, y las cuencas son montañosas. Estos ríos tienen profundidades de agua poco profundas y gradientes pronunciados” (30).

### **2.2.1.1. Cuenca hidrográfica**

Para Villón “la cuenca de un arroyo es la zona de terreno donde se junta toda el agua que cae a causa de las precipitaciones para formar un solo cauce. Cada vía fluvial tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido” (31).

“Una cuenca generalmente se refiere a un área de tierra donde el agua, los sedimentos y los materiales disueltos fluyen hacia un río o arroyo natural. Una cuenca siempre se refiere al territorio cubierto desde la fuente hasta la desembocadura final de una corriente oceánica. Sin embargo, una cuenca puede referirse a un espacio ubicado aguas arriba de cualquier parte de un río, en cuyo caso es mejor llamarlo subcuenca” (30).

### **2.2.1.2. Ciclo hidrológico**

“El ciclo del agua no comienza en un lugar específico, pero en este caso comienza en el océano donde el sol guía el ciclo del agua, el ciclo del agua calienta el agua en el océano, el agua se evapora en el aire en forma de agua y vapor, y el flujo de aire transporta el vapor a la atmósfera. En las capas superiores, las bajas temperaturas hacen que el vapor de agua se condense y forme nubes, que nuevamente son movidas por las corrientes de aire sobre la atmósfera. Las partículas de las nubes chocan y caen como precipitación, algunas de las cuales caen en forma de nieve, que se acumula en los casquetes nevados y los glaciares, donde el agua congelada puede almacenarse durante años, y en climas cálidos, la nieve se derrite cuando llega la primavera; la nieve derretida luego fluye a través de la superficie como escorrentía, a veces provocando inundaciones” (32).

“Es importante señalar que una parte de la escorrentía llega a los ríos que transportan agua al océano, y que la escorrentía a las aguas superficiales y subterráneas se almacena en lagos de agua

dulce; nuevamente, hay que tener en cuenta que no toda el agua desemboca en los ríos, ya que parte de ella es absorbida por los suelos como infiltración, queda en la capa superior del suelo y regresa al cuerpo de agua como descarga subterránea, otra parte del agua subterránea se abre a la superficie y emerge en forma de manantiales de agua dulce, otra parte es absorbida por las raíces de las plantas y regresa a la atmósfera a través de la transpiración de las hojas, y otra parte llega a la capa más profunda del suelo y recarga la capa de agua de almacenamiento. Una gran cantidad de agua dulce continúa fluyendo durante un largo período de tiempo, parte de ella regresa al océano y el ciclo del agua se cierra y se reinicia” (32).

### **2.2.1.3. Elementos de una cuenca**

- **Parteaguas o divisoria de aguas**

“Es una línea imaginaria formada por la unión de puntos en el nivel más alto del terreno, que separa la cuenca de estudio de las cuencas adyacentes” (33).

- **Área de la cuenca**

“Se considera un saliente de plano delimitado por la línea divisoria de aguas. También se entiende como la división de restauraciones de medidas en planta y escalas específicas en planos individuales” (34).

- **Cauce principal de una cuenca**

“El río principal es la única cuenca. En general, la elección del río es arbitraria, ya que se pueden seguir diferentes criterios de selección (cauce más largo, río con mayor caudal medio, río con mayor caudal máximo, río con mayor área de captación, etc.)” (30).

- **Las obras humanas**

“Las obras construidas artificialmente, también conocidas como intervenciones de andrógenos, que se observan en las cuencas suelen ser casas, ciudades, campos y vías de comunicación. Los factores humanos siempre han sido la causa de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que está sobreexplotada, privada de recursos o ‘despojada’ de vegetación, y trae inundaciones en la parte baja”.

En la siguiente tabla, se muestran los factores a tener en cuenta para el análisis de un río.

**Tabla 2. Factores a tener en cuenta para el análisis de un río**

<b>Factor</b>	<b>Variable</b>
Tiempo	Historia geológica, tiempo moderno, tiempo reciente, tiempo futuro de análisis
Geología	Litología tectónica, estructura, geomorfología, meteorización, heterogeneidad geológica
Suelos	Tipo, gradación y peso específico, distribución de los diferentes tipos de suelo en la cuenca, composición química de las partículas, cohesión y fricción, resistencia a la alteración física y química, grado de densificación, permeabilidad - infiltración, erosionabilidad
Hidrología	Lluvias anuales - mensuales - diarias - horarias. Intensidades máximas de aguaceros, magnitud - intensidad y duración de las lluvias, caudales, tipo y forma de hidrograma
Cobertura vegetal	Tipo de vegetación, % de cobertura vegetal y su distribución, prácticas de cultivos, modificaciones de la cobertura por acción antrópica
Topografía	Topografía, pendiente, morfología de la cuenca, perfil longitudinal del río, morfología en planta, tipo de río (semirrecto, sinuoso, trezado, meándrico), sinuosidad, radios de curvatura, ancho de divagación, distancia entre meandros, distancia entre barras o islas, alineamiento general, sección, forma, ancho, profundidad, fondo, forma de dunas o barras, rápidos y fosas
Hidráulica	Pendiente de flujo, rugosidad del fondo del cauce, velocidad, distribución de velocidades, radio hidráulico, fuerza tractiva, resistencia al flujo, poder de la corriente
Sedimentos	Disponibilidad y localización de sedimentos, granulometría de la carga de fondo, granulometría de partículas en suspensión, velocidad de caída, mecánica del transporte
Alteraciones de origen antrópico	Sitios, volúmenes y procedimientos de explotación de material en el cauce y riberas, localización y características de estructuras en el río (puentes, etc.), estructuras de orilla, canales de riego, presa, localización de asentamientos humanos, rectificación del cauce

*Nota:* tomada de Control de erosión en zonas tropicales (35)

#### 2.2.1.4. Partes de una cuenca hidrográfica

“Los componentes de la cuenca o el nivel de la cuenca se dividen en cuenca superior, cuenca media y cuenca inferior. La cuenca Alta, también conocida como cuenca Cabecera, es una cuenca que es captada y almacenada en nevados, glaciares, lagunas y represas; la mayor parte de la precipitación presenta también cubierta vegetal típica de pastizal o bosque con menor presión demográfica. La cuenca central, con pendientes más pronunciadas y flujo más turbulento, se denomina zona de transporte de sedimentos o escorrentía. La parte inferior de la cuenca tiene una pendiente baja, un flujo de agua continuo y una amplia planicie de inundación, que se denomina zona de depresión o zona sedimentaria” (33).

En la siguiente figura, se puede apreciar las partes de una cuenca hidrográfica.

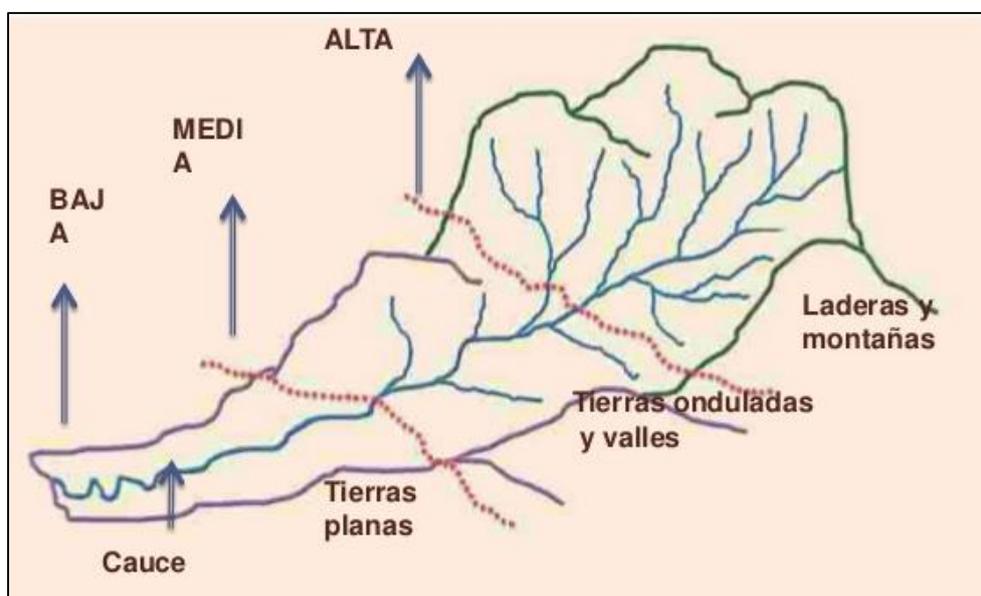


Figura 3. Partes de una cuenca hidrográfica (30)

#### 2.2.2. Obras de protección ribereña

Terán menciona que “son medidas adoptadas para evitar problemas derivados de la acción erosiva del agua. Entre las medidas de prevención y

control se encuentran medidas agronómicas y estructurales, que se detallarán en las siguientes líneas” (36):

#### **2.2.2.1. Medidas agronómicas**

Para las medidas agronómicas se tienen defensas vivas:

- **Defensa viva – natural:** “podría decirse que son la mejor defensa contra las inundaciones y la erosión de los ríos” (37).
- **Defensa viva – forestal:** “la defensa se basa en la plantación de arbustos y árboles de raíces profundas para potenciar una cierta estabilidad del cauce. La densidad de estas plantaciones debe estar en función de las características de las especies arbóreas y arbustivas” (37).

#### **2.2.2.2. Medidas estructurales**

“Una medida que consiste en estructuras diseñadas de acuerdo con principios de ingeniería, para controlar la erosión causada por la escorrentía superficial. En cuanto al diseño, se consideró la teoría de la hidrología y la hidráulica” (37).

“Estas medidas estructurales pueden ser permanentes, temporales o temporales, la ingeniería longitudinal de medidas permanentes se basa en estructuras construidas a base de hormigón armado, unicornio, roca y gaviones, cuyo diseño e implementación requiere de conocimientos especializados y experiencia, en la mayoría de los casos son utilizados para prevenir y controlar impactos como la erosión hídrica en tierras de cultivo. Las obras longitudinales de medidas temporales son estructuras de menor costo cuya construcción no requiere de mayor pericia técnica, ya que su finalidad es desviar el caudal de agua de los terrenos de cultivo de manera relativa para proteger los terrenos de cultivo, en estas estructuras se

incluyen escolleras, diques o vetas, y los canales deben limpiarse todo el tiempo” (37).

#### **2.2.2.3. Funciones de las obras de protección ribereña**

- Protección contra las inundaciones o desbordamiento a consecuencia de la máxima avenida del río.
- Protección de las riberas contra erosión.
- Recuperación de áreas inundables dentro de la faja marginal.
- Control y redirección del curso fluvial para la protección de la ribera.

#### **2.2.2.4. Tipos de obras de protección ribereña**

Para Ochoa “hay diversos tipos de defensas ribereñas para cauces fluviales, se construyen a ambos lados del río, su elección depende de los parámetros hidráulicos, el paso máximo del río, la topografía del cauce, la destrucción general del cauce, incluyen estructuras diseñadas sobre la base de principios de ingeniería hidráulica, su diseño y ejecución requiere conocimientos y experiencia” (30).

#### **2.2.2.5. Obra de protección ribereña – dique**

“Es una estructura construida dentro del lecho de un río, cuyo propósito es guiar y dirigir el flujo de un río para proteger sus orillas y corregir su curso. Cuando se realiza el trabajo, la corriente fluye a través de la estructura en paralelo. En la mayoría de los casos, los diques marginales se usan con mayor frecuencia en áreas donde el canal tiene islas, bancos irregulares o donde es necesario formar nuevos bancos además de los bancos existentes” (35).

“En los ríos llanos donde el agua fluye por un solo cauce, se utilizan presas cuando las orillas de la curva son irregulares, y donde se utilizan rompeolas, estos requerirán más trabajo que una sola presa. Los diques generalmente se construyen con núcleos de

escollera y glutenita y revestimientos de roca o gaviones” (35). En la siguiente figura, se muestra un dique marginal.



*Figura 4. Dique marginal (38)*

- **Partes de un dique contra inundaciones**

- Coronamiento
- Borde libre
- Nivel de agua de proyecto
- Talud de aguas arriba (en este caso, considerando que el agua tiende a infiltrar a través del dique, el talud de aguas arriba es todo aquel que se encuentra al interior del cauce del río.
- Nivel del terreno aguas arriba
- Corona
- Cuerpo de apoyo, aguas arriba. El material utilizado en esta parte del dique puede ser granular y poco permeable.
- Núcleo impermeable
- Cuerpo de apoyo, aguas abajo. El material debe ser permeable.

Aspectos a tener en cuenta, para el diseño de diques de tierra o bordos longitudinales.

- **Localización en planta**

“Las presas de tierra se colocan a lo largo de uno o ambos lados del río, dependiendo del terreno, con suficiente distancia de la orilla del río para proporcionar un área hidráulica adicional y lograr alturas de presas de tierra más bajas” (39).

- **Longitud de los diques de tierra**

“Cuanto mayor sea la longitud del talud de tierra, mayor será la longitud del tramo para evitar inundaciones por desbordamiento” (39).

- **Ancho de la corona del dique de tierra**

“El ancho de corona del terraplén debe permitir el paso de vehículos, y se recomienda un ancho mínimo de 3,0 m” (39).

- **Elevación y pendiente de la corona del dique**

“Para determinar el nivel del dique, debe tener la información del nivel del agua para la avenida de diseño y el borde libre” (39).

- **Talud de las caras del dique de tierra**

“Si la presa de tierra es compactada, la pendiente del terraplén será más desigual que la semicompactada, cuando el valor es 1 vertical y menor o igual a 2 horizontal, se considera que es una pequeña pendiente plana (2:1)” (39).

“La figura muestra las consideraciones recomendables para el diseño de un dique de tierra”.

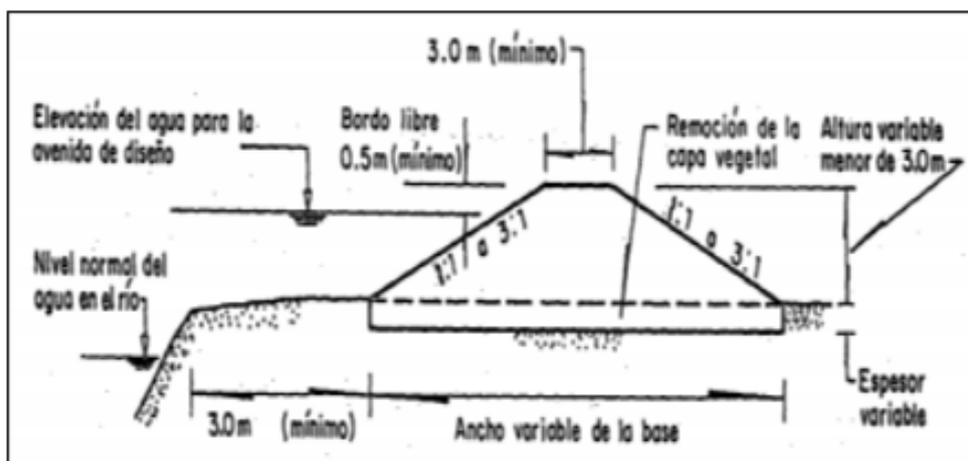


Figura 5. Consideraciones para el diseño de un dique de tierra (40)

#### 2.2.2.6. Obra de protección ribereña – enrocado

“El sistema de defensa frente al río consiste en terraplenes y revestimientos de escollera. La sección del terraplén es una sección trapezoidal típica, cuya altura depende del soporte de diseño, y es uno de los métodos más comunes para proteger las riberas de los ríos, utilizando piedras angulares llamadas escollera para proteger los taludes de la erosión” (40).

Para el diseño de la defensa ribereña se va a utilizar la metodología de “estabilidad de momentos” (41).

“El informe HEC-1 define escollera como una capa flexible o cubierta de roca que se utiliza para evitar la erosión, daño o desprendimiento de una estructura o terraplén. Esta capa puede ser continua o discontinua y se ubica sobre un terraplén típico el lado húmedo, cuya altura depende de la profundidad de diseño” (42).

“Rock in casing es uno de los materiales más utilizados debido a su disponibilidad universal y compatibilidad ambiental. Cuanto mayor sea la roca utilizada, mejor será la protección de la orilla del río

contra la erosión, por lo que es necesario elegir el tamaño de roca adecuado de acuerdo con las características hidrológicas e hidráulicas del río”.

La figura muestra una defensa ribereña del tipo enrocado.



*Figura 5. Enrocado de protección de ríos (43)*

El nivel base de la escollera está determinado por la profundidad de socavación de una sección dada, para la cual se realiza un análisis de socavación general.

- **Análisis de socavación**

“La socavación del río ocurre en su lecho, en condiciones naturales o cuando las condiciones del lecho y el flujo del agua no se ven afectadas por ninguna instalación estructural. Para el cálculo de la socavación se utilizó la fórmula propuesta por Lischtván-Levediev, como se muestra en la siguiente ecuación” (26).

$$H_s = \left( \frac{a * H_0^{5/3}}{0.68 * \beta * d_m^{0.28}} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{y_m^{5/3} * Be * \mu}$$

**Donde**

$H_s$ : tirante después de la erosión (m)

$H_0$ : tirante antes de la erosión (m)

$\beta$ : coeficiente del periodo de retorno

$d_m$ : diámetro medio de los granos de fondo (mm)

$Q_d$ : caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$y_m$ : tirante medio de la sección (m)

$Be$ : ancho efectivo (m)

$\mu$ : coeficiente de la contracción

$x$ : coeficiente que depende del diámetro medio de las partículas

En las siguientes tablas se pueden observar los valores del coeficiente  $\beta$  y valores de  $x$ .

**Tabla 3. Probabilidad anual de que ocurra el caudal de diseño - valores de  $\beta$**

Probabilidad anual de que se presente el caudal de diseño (%)	Coficiente $\beta$
100	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.90
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

*Nota: tomada de Diseño y construcción de defensas ribereñas (36)*

**Tabla 4. Valores de  $x$  y  $1/(1+x)$  – suelos cohesivos y no cohesivos**

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			

*Nota: tomada de Diseño y construcción de defensas ribereñas (36)*

- **Profundidad de la uña (P)**

Con la profundidad de la socavación, hasta dónde se excavará el río y dónde se pondrán los cimientos, esta profundidad depende del tipo de material. Esta profundidad se puede calcular usando la siguiente fórmula:

$$P = \text{Cota de fondo} - \text{Cota de socavación}$$

- **Altura del enrocado (H)**

Se define como la diferencia entre la altura de flujo y la altura de socavación más el borde libre (f), para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$H = \text{Cota flujo} - \text{Cota de socavación} + f$$

$$f = \phi \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

La siguiente tabla muestra los valores de  $\phi$  para diferentes caudales.

**Tabla 5. Valores de  $\phi$  para diferentes caudales**

<b>Caudal máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Coficiente (<math>\phi</math>)</b>
3000 - 4000	2.00
2000 - 3000	1.70
1000 - 2000	1.40
500 - 1000	1.20
100 - 500	1.10

*Nota:* tomada de Terán (36)

- **Diámetro de la roca (D<sub>50</sub>)**

Se utiliza la siguiente ecuación, para determinar las características del enrocado.

$$D_{50} = C \frac{0.00594 * v^3}{y_m^{0.5} * K_1^{1.5}}$$

**Donde**

$D_{50}$ : diámetro medio del enrocado de protección

$K_1$ : coeficiente de taludes y ángulos de reposo del enrocado de protección

$y_m$ : tirante medio del flujo al pie del enrocado

$v$ : velocidad media del flujo al pie del enrocado

$C$ : coeficiente de corrección

$$K_1 = \left[ 1 - \frac{\text{sen}^2 \theta}{\text{sen}^2 \phi} \right]^{0.50}$$

**Donde**

$\emptyset$ : ángulo de reposo del material del enrocado

$\theta$ : ángulo de reposo del enrocado con la horizontal

$$C = C_{sg} * C_{sf}$$
$$C_{sg} = \frac{2.12}{(Ss - 1)^{1.5}}$$
$$C_{sf} = \left(\frac{SF}{1.2}\right)^{1.5}$$

**Donde**

$C_{sg}$ : coeficiente de corrección por el peso específico

$C_{sf}$ : coeficiente de corrección por factor de seguridad

$Ss$ : peso específica del material del enrocado

$SF$ : factor de seguridad según las condiciones:

- Flujo uniforme, canal recto  $1.00 < SF < 1.20$
- Flujo gradualmente variado, curva moderada, impacto de escombros flotantes  $1.30 < SF < 1.60$
- Flujo rápidamente variado, tramo en curva forzada, alta turbulencia, fuerte oleaje  $1.60 < SF < 2.00$

**• Espesor mínimo del enrocado (T)**

Se determina con las recomendaciones propuestas por el cuerpo de ingenieros de Estados Unidos en el año 1970.

- No debe ser menor que el tamaño máximo de la roca a emplear en el enrocado.
- No debe ser menor de  $1.5D_{50}$
- Por razones de construcción no debe ser menor de 30 cm.

De los valores mencionados, se debe considerar el valor más alto además del aumento del 50% cuando el enrocamiento se coloca bajo el agua.

- **Ancho de la base (A)**

Se determina por la profundidad de socavación usando la siguiente fórmula:

$$A = 1.5e$$

**Donde**

A: ancho del enrocado en la base (m)

e: profundidad de socavación (m)

- **Estabilidad del enrocado**

Se basa en un análisis de las fuerzas de corte generadas por el flujo de agua en el canal y la capacidad de la cubierta de escollera para resistir las fuerzas de corte aplicadas.

- **Esfuerzo cortante promedio**

El esfuerzo cortante promedio está relacionado con la resistencia hidrodinámica y la fuerza de elevación, y es proporcional al esfuerzo cortante promedio que actúa sobre el perímetro húmedo de la sección del canal donde el flujo de agua es uniforme y el canal es recto. La ecuación se ve así:

$$\bar{\tau}_0 = \gamma RS$$

**Donde**

$\bar{\tau}_0$ : esfuerzo cortante promedio (kg/m<sup>2</sup>)

$\gamma$ : peso específico del agua (kg/m<sup>3</sup>)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente de la línea de energía (m/m)

Si:

$$V = C(RS)^{1/2}$$

$$RS = \frac{V^2}{C^2}$$

Para canales rugosos:

$$\bar{\tau}_0 = \frac{\gamma V^2}{\left(18 * \log \frac{12.2R}{K}\right)^2}$$

**Donde**

$V$ : velocidad media del agua (m/s)

$R$ : radio hidráulico (m)

$K$ : rugosidad equivalente de la superficie del canal (m)

$C$ : coeficiente de Chezy

○ **Esfuerzo cortante local en un canal muy ancho**

En este caso, el radio hidráulico está cerca de la profundidad ( $R=y$ ), por lo que en la fórmula anterior,  $V$  se reemplaza por  $\bar{V}$  (velocidad promedio en la dirección vertical) y el valor de  $K$  se reemplaza por el diámetro promedio de la roca  $D_{50}$ , por lo tanto, tenemos el siguiente modo:

$$\tau_0 = \frac{\gamma \bar{V}^2}{\left(18 * \log \frac{12.2R}{D_{50}}\right)^2}$$

$$\tau_0 = K_2 * \bar{V}^2$$

$$K_2 = \frac{\gamma}{\left(18 * \log \frac{12.2R}{D_{50}}\right)^2}$$

○ **Esfuerzo cortante en curvas**

El valor de esfuerzo cortante local se debe multiplicar por la relación  $\tau_b/\tau_a$ ; tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\frac{\tau_b}{\tau_a} = \frac{2.65}{\left(\frac{r}{w}\right)^{0.5}}$$

**Donde**

$\tau_b$ : esfuerzo cortante promedio en el canal aguas arriba

$\tau_a$ : esfuerzo cortante local afectado por la curva

○ **Esfuerzo cortante para diseño de enrocado**

Esfuerzo cortante local que un determinado tamaño de roca resiste, con condiciones de seguridad. La ecuación es la siguiente.

$$\tau = a(\gamma_s - \gamma) * D_{50}$$

**Donde**

$\tau$ : esfuerzo cortante local en el fondo del canal

$\gamma_s$ : peso específico de la roca

$\gamma$ : peso específico del agua

$D_{50}$ : diámetro promedio de la roca

$a$ : coeficiente, para canales anchos asumir 0.04

El esfuerzo cortante de diseño para el enrocado colocado en los taludes está dado por la siguiente ecuación.

$$\tau' = \tau \left(1 - \frac{\text{sen}^2\theta}{\text{sen}^2\phi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$K_1 = \frac{\tau'}{\tau} = \left(1 - \frac{\text{sen}^2\theta}{\text{sen}^2\phi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

**Donde**

$\tau'$ : esfuerzo cortante de diseño en taludes

$\theta$ : ángulo del talud con la horizontal

$\emptyset$ : ángulo de reposo del enrocado, generalmente es 40°

**o Factor de seguridad al deslizamiento**

El factor de seguridad al deslizamiento del enrocado se establece como la relación entre el ángulo de reposo  $\emptyset$  y el ángulo del talud  $\theta$ .

$$F.S. = \frac{\tan\emptyset}{\tan\theta}$$

Como criterio de estabilidad, se considera que el valor del factor de seguridad sea mayor a 1.5.

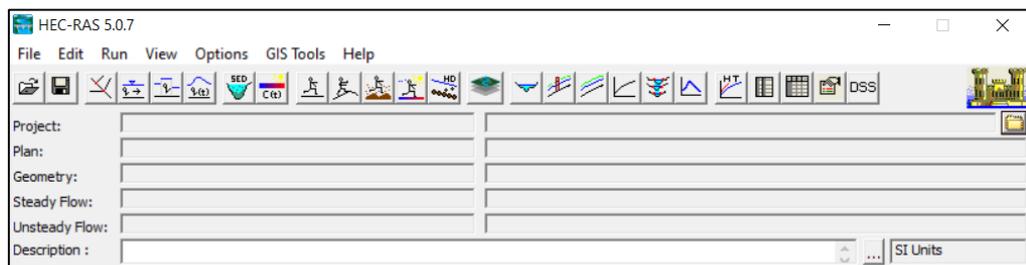
**2.2.3. Modelo de simulación HEC – RAS 5.0.7**

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 ayudar en el análisis del canal de flujo y la determinación de la superficie de inundación. Cabe señalar que los resultados obtenidos se pueden utilizar para la gestión de superficies de inundación, el sistema de alerta temprana y el diseño de ingeniería de control de inundaciones (22).

El procedimiento utilizado por este modelo para calcular el perfil del agua se basa en la suposición de un cambio gradual en el flujo, el llamado método de flujo directo, el proceso de cálculo básico es la solución iterativa de la ecuación de energía. El propósito del método de paso directo es calcular la elevación de la superficie del agua de las secciones adyacentes. Así funciona el cálculo de arriba hacia abajo o al revés, depende del caudal, y finalmente el número de Froude es un valor numérico que caracteriza el caudal (22).

Para el caso de caudal subcrítico, generalmente característico de un cauce natural, el cálculo se inicia en el extremo inferior del tramo, es decir, aguas arriba y el avance es en el tramo adyacente. En el caso de flujo supercrítico, el cálculo comienza aguas arriba y avanza aguas abajo (22).

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



**Figura 6. Ventana de inicio del HEC RAS 5.0.7**

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Caudal**

Cantidad de agua que mana o corre; también conocido como la cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo.

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 (44).

### **2.3.2. Defensas ribereñas**

Son estructuras construidas para proteger el área a ambos lados de un río contra el proceso de erosión de la ribera debido al flujo de agua demasiado rápido, que tiende a arrastrar material de ribera y dañar el río (45).

### **2.3.3. Erosión**

El material es removido o desgastado por el flujo de agua o escorrentía, venciendo la resistencia de la capa de suelo (30). La erosión es una etapa del proceso de degradación, cuyas tres etapas son la erosión, la migración y el asentamiento. Las corrientes están constantemente erosionando los ríos en la superficie de la tierra; teniendo en cuenta el drenaje en la socavación de los ríos, tiene la capacidad de romper los valles en forma de V en las secciones transversales de los ríos, profundizando, ensanchando y alargando el cauce de acuerdo con las condiciones recientes del río (46).

### **2.3.4. Inundación**

El papel y el efecto de las inundaciones que cubren la tierra y, a veces, las ciudades. La inundación puede ocurrir sin inundación máxima o eventos hidrometeorológicos anormales, ya que se define como un aumento del nivel del agua por encima del nivel normal del cauce, considerando que el nivel normal del agua es el nivel del agua en el que no se causan daños. (47).

### **2.3.5. Periodo de retorno**

Los períodos de recuperación se dan en intervalos anuales promedio y pueden ser: 5, 10, 20, 50, 100, 1000, 5000, 10000 y entre ellos. En él se puede producir una crecida igual o máxima correspondiente a dicho periodo de retorno (3). El período de amortización de los proyectos regionales de protección contra inundaciones puede variar de 50 a 100 años. Además, hay que admitir que 100 años significan cuatro generaciones (48).

### **2.3.6. Socavación general**

La disminución general del fondo del río causada por el flujo de agua se debe principalmente a factores humanos. Cuando la fuerza de tracción es mayor que la fuerza crítica ( $T_c$ ) del elemento fático, se cree que la erosión comienza cuando las partículas en el perímetro del canal se desprenden bajo la acción de la fuerza de tracción (44).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Métodos y alcance de la investigación**

##### **3.1.1. Método de investigación**

Según Sánchez y Reyes, el método es el proceso de investigación de una serie de problemas desconocidos y es un enfoque sistemático que utiliza el pensamiento reflexivo; incluido el abordaje de problemas sociales que aún no han sido investigados o dirigidos en otra dirección. (49).

En ese sentido, la presente investigación es científica, ya que se desarrolló de manera organizada y sistemática la información y los resultados necesarios para hacer posible la investigación.

##### **3.1.2. Alcance de investigación**

Hernández et al. (50) mencionan que la investigación correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población; en este caso la correlación se desarrolló entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro, dentro del tramo que pasa el barrio Mantaro del distrito de Huayucachi.

### **3.1.3. Tipo de investigación**

De acuerdo con Ramírez (51), 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 para el análisis del caudal del río Mantaro, cuyo tramo pasa por el barrio Mantaro, perteneciendo al distrito de Huayucachi, Huancayo - Junín, en diferentes periodos de retorno y su relación con la proyección de obras de protección o longitudinales para evitar el riesgo por inundaciones en las zonas aledañas al río Mantaro.

## **3.2. Diseño de la investigación**

Para Orellana (52), 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 fue transversal, ya que la recolección de datos se realizó en un determinado momento.

## **3.3. Población y muestra**

### **3.3.1. Población**

Según Castro (16), la población es la totalidad de elementos que conforman la realidad que se va a investigar. En ese sentido, en esta investigación la población estuvo compuesta por el recorrido del río Mantaro, dentro de la provincia de Huancayo, departamento de Junín.

### **3.3.2. Muestra**

La muestra es parte de la población, que se selecciona por métodos diversos y representa a la población (16). Es así como la muestra de la investigación es no probabilística y por conveniencia, ya que se realizaron

los estudios en un tramo de 500 m del trayecto del río Mantaro, que pasa por el barrio Mantaro, que pertenece al distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo, Junín.

Se seleccionó dicha muestra de investigación debido a la cercanía y fácil acceso al tramo de los 500 m del río Mantaro, para la recolección de datos por parte de la investigadora.

En lo que respecta al trabajo, se evaluó del cauce del río sobre una longitud de 500 m en el que se realizó el levantamiento topográfico del cual se obtuvo el perfil y secciones del río Mantaro en dicho tramo; análisis hidrológico, aplicación de metodologías de cálculo de máximas avenidas, para determinar la ocurrencia de inundación.

En la siguiente figura, se puede apreciar el estado actual del tramo de 500 m del trayecto del río Mantaro.



**Figura 7. Río Mantaro que pasa por el barrio Mantaro, Huayucachi - Huancayo**

### **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 tuvo mayor relevancia cuando se realizó la visita a campo y se discutió 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 procedió con el ordenamiento de datos del caudal en la zona de estudio, para la posterior obtención del caudal de diseño del río Mantaro cuyo tramo de estudio es en el barrio Mantaro que pertenece al distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo, Junín; posteriormente, se realizaron las estimaciones del caudal para diferentes periodos de retorno junto a los diseños de obras longitudinales de protección como los diques y enrocados, con el apoyo del modelo de simulación del programa HEC – RAS 4.0.

### **3.5. Procedimiento**

#### **3.5.1. Análisis del caudal del río Mantaro**

##### **3.5.1.1. Caudal del río Mantaro**

Para el cálculo del caudal de diseño, se empleó la información del registro histórico de la estación convencional hidrométrica del puente Stuart. La información recolectada corresponde al caudal máximo desde el año 1975 al 2020. Cabe resaltar que, se tuvieron datos faltantes en los años 2006 a 2015, los cuales se estimaron por medio de la regresión aritmética. En el anexo 2 se muestra el registro

de caudales para los años mencionados, donde los valores en color azul son los valores estimados con la regresión aritmética.

En el anexo 3, se adjunta un ejemplo de la regresión aritmética para el cálculo de los valores o datos faltantes del mes de enero al mes de diciembre entre los años 2006 a 2016. Así mismo, se menciona que se realizó el mismo procedimiento para el cálculo de los otros valores faltantes.

### 3.5.1.2. Caudal de diseño

Para la estimación del caudal del río Mantaro, se aplicaron las distribuciones probabilísticas que recomienda el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC. Tal como se muestra en la tabla, donde los datos no lograron ajustarse a la distribución Log Pearson tipo III. Cabe resaltar que para las distribuciones probabilísticas se emplearon los caudales máximos anuales, con un nivel de significancia del 95 %.

**Tabla 6. Distribuciones probabilísticas**

T (años)	Caudal estimado (m <sup>3</sup> /s)							
	Normal	Log normal 2 parámetros	Log normal 3 parámetros	Gamma 2 parámetros	Gamma 3 parámetros	Log Pearson tipo III	Gumbel	Log Gumbel
10	954.51	972.24	966.42	957.07	967.83		960.47	981.56
20	1049.44	1131.66	1113.58	1084.50	1094.74		1107.04	1240.89
40	1131.75	1290.91	1257.51	1203.29	1212.10	Los datos no se ajustan a la distribución log- Pearson tipo III	1250.80	1561.73
50	1156.24	1342.49	1303.85	1240.13	1248.33		1296.76	1680.86
100	1227.43	1504.41	1447.12	1351.13	1357.08		1438.92	2110.05
140	1259.71	1584.10	1503.94	1390.69	1408.06		1511.96	2355.42
500	1371.52	1894.34	1766.88	1592.23	1591.37		1767.45	3568.75

Por otro lado, en el anexo 4, se adjuntan las capturas de las distribuciones probabilísticas obtenidas del programa Hidroesta 2. Del mismo modo, es necesario mencionar que se consideró la vida útil para defensas ribereñas de 40 años, con un riesgo admisible de 25 %

para un periodo de retorno de 140 años de acuerdo con el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC.

Una vez obtenidos los caudales estimados para diferentes periodos de retorno, se realizó la prueba de normalidad por medio del estadístico de Shapiro Wilk, ya que la cantidad de datos por distribución probabilística fue menor a 24 (el estadístico Kolmogorov – Smirnov, requiere cantidad de datos mayores a 50). La tabla muestra la prueba de normalidad de las distribuciones probabilísticas aplicadas.

**Tabla 7. Prueba de normalidad de distribuciones**

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Distribución normal	.121	7	.200*	.993	7	.998
Log normal 2 parámetros	.131	7	.200*	.985	7	.981
Log normal 3 parámetros	.121	7	.200*	.988	7	.989
Gamma 2 parámetros	.123	7	.200*	.991	7	.994
Gamma 3 parámetros	.110	7	.200*	.993	7	.997
Distribución Gumbel	.126	7	.200*	.989	7	.991
Log gumbel	.184	7	.200*	.919	7	.463

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

De acuerdo a la prueba de normalidad obtenida, es posible afirmar que la distribución normal presenta mayor significancia ( $0.998 > 0.05$ ) a diferencia de las otras distribuciones.

Previo a la introducción de los caudales de diseño y secciones del tramo del río Mantaro en el programa HEC RAS, se realizó el levantamiento topográfico y se obtuvieron las secciones del tramo de 300 metros del río Mantaro en el barrio Mantaro, distrito de Huayucachi. Para el cual se adjunta el plano topográfico de ubicación y los planos de planta y perfil de las secciones dentro del tramo.

Tal como se mencionó, la información de los caudales corresponde a la estación convencional hidrométrica del Puente Stuart, por lo que se optó por calcular el caudal del río Mantaro en el tramo de estudio por medio de la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

**Donde**

Q: caudal en m<sup>3</sup>/s

n: rugosidad = 0.048. Para el cual se empleó la tabla de Cowan para determinar la influencia de diversos factores sobre el coeficiente n

**Tabla 8. Tabla de Cowan**

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n0	0.020
	Roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
	Ligero		0.000
Grado de irregularidad	Menor	n1	0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones en la sección transversal del canal	Gradual	n2	0.000
	Ocasional		0.005
	Frecuente		0.010 - 0.015
	Despreciable		0.000
Efecto relativo de las obstrucciones	Menor	n3	0.010 - 0.015
			0.020 - 0.030
	Apreciable		0.040 - 0.060
			0.005 - 0.010
			0.010 - 0.025
Vegetación	Media	n4	0.025 - 0.050
	Alta		0.050 - 0.100
	Muy alta		1.000
	Menor		1.000
Grado de los efectos por meandro	Apreciable	n5	1.150
	Severo		1.300

Nota: tomada del Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (53)

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m^5$$

$$n = 0.048$$

A: área en m<sup>2</sup>

R: radio hidráulico = área de sección húmeda/perímetro húmedo

S: pendiente en m/m

En la siguiente tabla, se pueden apreciar los componentes de la fórmula de Manning de acuerdo a las secciones del tramo de estudio del río.

**Tabla 9. Caudal del río Mantaro en el tramo del barrio Mantaro**

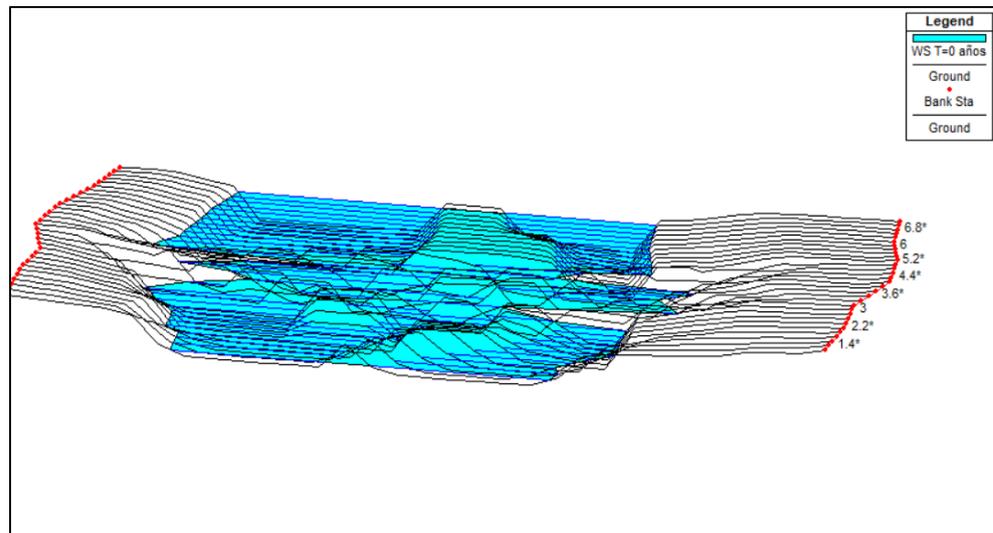
Tramo	Área	Perímetro húmedo	Radio hidráulico	Rugosidad	Pendiente	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1	461.958	307.957	1.500	0.048	0.0046	855.36
2	445.861	309.62	1.440	0.048	0.0008	335.03
3	404.16	310.841	1.300	0.048	0.0104	1022.91
4	393.201	277.836	1.415	0.048	0.0064	826.06
5	355.815	254.532	1.398	0.048	0.0008	262.13
6	341.714	251.023	1.361	0.048	0.0082	791.82
7	410.91	271.536	1.513	0.048	0.0082	1021.78

Posteriormente, se calculó el promedio de los caudales, obteniéndose 730.73 m<sup>3</sup>/s. Ya que el caudal del río en el puente Stuart fue 619.78 m<sup>3</sup>/s, se pudo calcular la variación del caudal siendo este valor 1.179, el mismo que se reconoce como que el caudal en el tramo del barrio Mantaro se incrementa 1.179 veces respecto al caudal en el puente Stuart. En base a lo obtenido, es posible decir que el caudal en el tramo de estudio contiene los afluentes del río Yacus, Apatá, Cunas y Shullcas. Por lo cual, se consideró el valor de 1.179 para obtener los caudales de diseño para los periodos de retorno de 10, 20, 40, 50, 100, 140 y 500 años de la distribución normal, ya que los datos por esta distribución fueron los mayores.

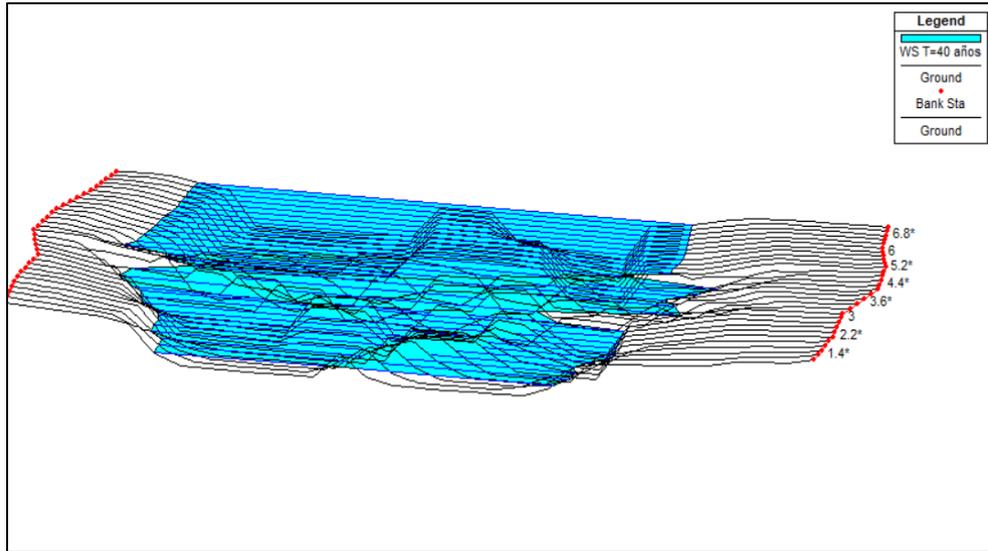
**Tabla 10. Caudales de diseño finales**

Distribución normal	
Qd(10a) =	1125.37 m <sup>3</sup> /s
Qd(20a) =	1237.29 m <sup>3</sup> /s
<b>Qd(40a) =</b>	<b>1334.33 m<sup>3</sup>/s</b>
Qd(50a) =	1363.21 m <sup>3</sup> /s
Qd(100a) =	1447.14 m <sup>3</sup> /s
<b>Qd(140a) =</b>	<b>1485.20 m<sup>3</sup>/s</b>
Qd(500a) =	1617.02 m <sup>3</sup> /s

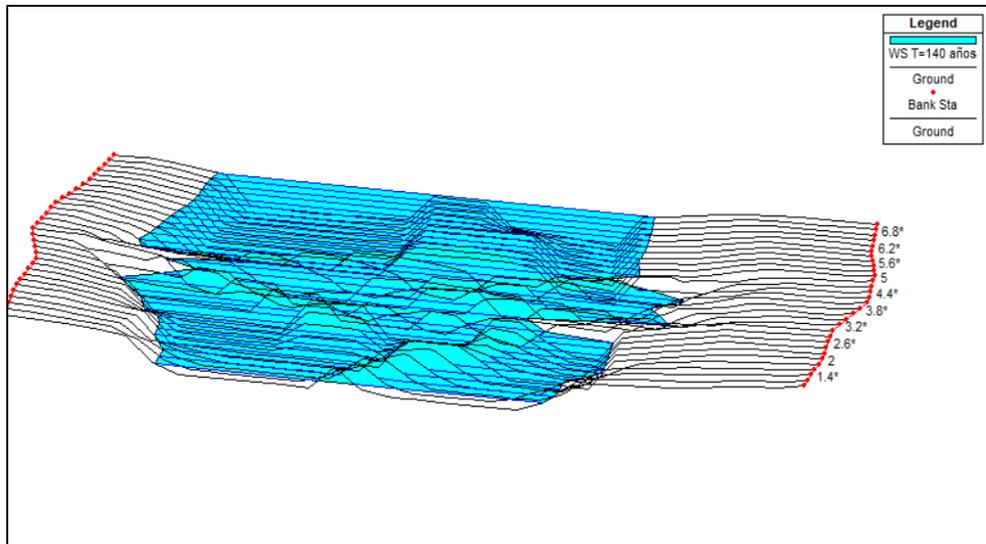
Posteriormente a los cálculos de caudal de diseño mencionados, se simuló el tramo para los 300 metros del río Mantaro junto con las secciones del tramo que requieren de las obras de protección ribereña. En las figuras, se muestra la perspectiva del tramo en estudio para los periodos de retorno de 0, 40 y 140 años; donde se puede apreciar el incremento del nivel de agua en cada caso.



**Figura 8. Periodo de retorno 0 años – río Mantaro**



**Figura 9. Periodo de retorno 40 años – río Mantaro**



**Figura 10. Periodo de retorno 140 años – río Mantaro**

Del mismo modo que se obtuvo la perspectiva del tramo del río Mantaro para los diferentes periodos de retorno, se obtuvieron tablas de salida del perfil para cada periodo de retorno, las cuales se presentan en las siguientes tablas. Es así como, de la tabla para el periodo de retorno de 140 años que es con el que se diseñarán las obras de protección ribereña, se tiene el nivel de agua alcanzada para dicho periodo de retorno de 3.69 m.

**Tabla 11. Salida del perfil para periodo de retorno de 0 años**

Progresiva	Q m <sup>3</sup> /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 m <sup>2</sup>	Espejo de agua (m)	N.º Froude
0+300	619.78	3161.7	3166.25		3166.27	0.000195	0.67	930.13	266.69	0.11
0+290	619.78	3161.78	3166.24		3166.27	0.000227	0.69	892.79	269.89	0.12
0+280	619.78	3161.86	3166.24		3166.26	0.000264	0.72	855.98	272.39	0.13
0+270	619.78	3161.95	3166.23		3166.26	0.000307	0.76	819.76	273.66	0.14
0+260	619.78	3162.03	3166.23		3166.26	0.00032	0.79	787.44	255.21	0.14
0+250	619.78	3162.11	3166.22		3166.25	0.00031	0.79	781.17	243.78	0.14
0+240	619.78	3162.1	3166.22		3166.25	0.000318	0.8	777.09	245.36	0.14
0+230	619.78	3162.09	3166.22		3166.25	0.000325	0.8	772.81	246.15	0.14
0+220	619.78	3162.09	3166.21		3166.25	0.00033	0.81	769.13	246.01	0.15
0+210	619.78	3162.08	3166.21		3166.24	0.000336	0.81	766.22	246.79	0.15
0+200	619.78	3162.07	3166.2		3166.24	0.000341	0.81	763.63	247.58	0.15
0+190	619.78	3162.01	3166.15		3166.23	0.001199	1.23	504.57	226.06	0.26
0+180	619.78	3161.94	3165.99		3166.19	0.006115	1.97	313.84	234.55	0.54
0+170	619.78	3161.88	3165.94		3166.14	0.005068	1.98	313.61	203.38	0.51
0+160	619.78	3161.82	3166.01		3166.08	0.001004	1.14	543.89	238.83	0.24
0+150	619.78	3161.75	3166.03		3166.06	0.000288	0.75	828.51	267.8	0.14
0+140	619.78	3161.86	3165.98		3166.05	0.001171	1.19	522.01	242.09	0.26
0+130	619.78	3161.96	3165.71		3166	0.008941	2.41	257.11	189.51	0.66
0+120	619.78	3162.06	3165.24	3165.24	3165.84	0.022136	3.42	181.11	155.56	1.01
0+110	619.78	3162.17	3164.57	3164.57	3165.07	0.024041	3.13	197.86	206.46	1.02
0+100	619.78	3162.27	3164.66		3164.75	0.001959	1.38	448.49	242.94	0.32
0+090	619.78	3162.28	3164.58		3164.72	0.003851	1.69	366.3	243.59	0.44
0+080	619.78	3162.29	3164.42		3164.66	0.006741	2.19	283.47	195.3	0.58
0+070	619.78	3162.29	3164.35		3164.59	0.006933	2.16	287.13	206.07	0.58
0+060	619.78	3162.3	3164.37		3164.51	0.004019	1.69	367.73	254.36	0.45
0+050	619.78	3162.31	3164.38		3164.47	0.001937	1.34	460.9	258.7	0.32
0+040	619.78	3162.36	3164.32		3164.44	0.003153	1.58	393.42	251.22	0.4
0+030	619.78	3162.4	3164.23		3164.4	0.004727	1.83	337.91	232.81	0.49
0+020	619.78	3162.45	3164.11		3164.34	0.007294	2.11	293.87	227.44	0.59
0+010	619.78	3162.5	3163.94	3163.75	3164.23	0.012817	2.4	257.9	250.57	0.76
0+000	619.78	3162.54	3163.62	3163.62	3164.05	0.023968	2.91	213.11	248.71	1

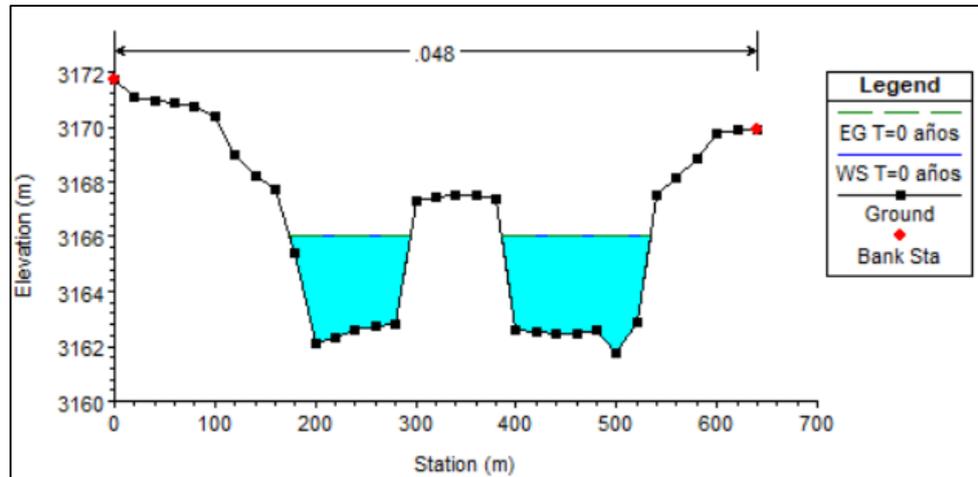
Tabla 12. Salida del perfil para periodo de retorno de 40 años

Progresiva	Q m <sup>3</sup> /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 m <sup>2</sup>	Espejo de agua (m)	N.º Froude	Tirante medio (m)
0+300	1334.33	3161.7	3167.29		3167.35	0.000478	1.08	1233.71	334.88	0.18	3.68
0+290	1334.33	3161.78	3167.28		3167.35	0.000533	1.11	1199.14	338.83	0.19	3.54
0+280	1334.33	3161.86	3167.27		3167.34	0.000595	1.15	1163.83	341.63	0.2	3.41
0+270	1334.33	3161.95	3167.26		3167.33	0.000668	1.18	1127.09	344.06	0.21	3.28
0+260	1334.33	3162.03	3167.25		3167.33	0.000755	1.22	1089.39	346.34	0.22	3.15
0+250	1334.33	3162.11	3167.24		3167.32	0.00086	1.27	1050.45	348.48	0.23	3.01
0+240	1334.33	3162.1	3167.23		3167.31	0.000888	1.28	1044.18	351.71	0.24	2.97
0+230	1334.33	3162.09	3167.22		3167.3	0.000921	1.29	1037.39	355.54	0.24	2.92
0+220	1334.33	3162.09	3167.21		3167.29	0.000938	1.3	1030.37	354.63	0.24	2.91
0+210	1334.33	3162.08	3167.2		3167.28	0.000765	1.3	1025.76	300.59	0.22	3.41
0+200	1334.33	3162.07	3167.19		3167.27	0.000736	1.31	1022.19	289.24	0.22	3.53
0+190	1334.33	3162.01	3167.09		3167.26	0.002164	1.77	752.07	302.29	0.36	2.49
0+180	1334.33	3161.94	3166.9		3167.21	0.005809	2.45	544.61	283.28	0.56	1.92
0+170	1334.33	3161.88	3166.84		3167.15	0.006602	2.46	543.42	310.26	0.59	1.75
0+160	1334.33	3161.82	3166.92		3167.07	0.00165	1.73	770.15	261.73	0.32	2.94
0+150	1334.33	3161.75	3166.96		3167.04	0.000597	1.23	1086.23	287.76	0.2	3.77
0+140	1334.33	3161.86	3166.86		3167.02	0.001989	1.79	746.47	278.63	0.35	2.68
0+130	1334.33	3161.96	3166.51		3166.95	0.010221	2.95	452.38	272.23	0.73	1.66
0+120	1334.33	3162.06	3166.07	3166.07	3166.78	0.021395	3.73	357.55	262.93	1.02	1.36
0+110	1334.33	3162.17	3165.24	3165.24	3166.01	0.020095	3.88	344.1	227.57	1.01	1.51
0+100	1334.33	3162.27	3165.52		3165.72	0.002719	2	668.12	265.93	0.4	2.51
0+090	1334.33	3162.28	3165.41		3165.68	0.004408	2.29	582.11	271.35	0.5	2.15
0+080	1334.33	3162.29	3165.23		3165.61	0.008246	2.75	485.04	275.4	0.66	1.76
0+070	1334.33	3162.29	3165.15		3165.53	0.007824	2.72	490.37	272.22	0.65	1.80
0+060	1334.33	3162.3	3165.17		3165.44	0.004534	2.31	578.85	273.76	0.51	2.11
0+050	1334.33	3162.31	3165.18		3165.38	0.002717	1.97	675.7	274.35	0.4	2.46
0+040	1334.33	3162.36	3165.09		3165.34	0.004052	2.25	593.36	267.86	0.48	2.22
0+030	1334.33	3162.4	3164.94		3165.28	0.006264	2.61	511.78	256.81	0.59	1.99
0+020	1334.33	3162.45	3164.73		3165.19	0.010583	3.01	443.14	265.69	0.74	1.67
0+010	1334.33	3162.5	3164.54	3164.34	3165.07	0.013597	3.22	414.68	271.7	0.83	1.53
0+000	1334.33	3162.54	3164.2	3164.2	3164.88	0.020804	3.67	364.03	269.87	1.01	1.35

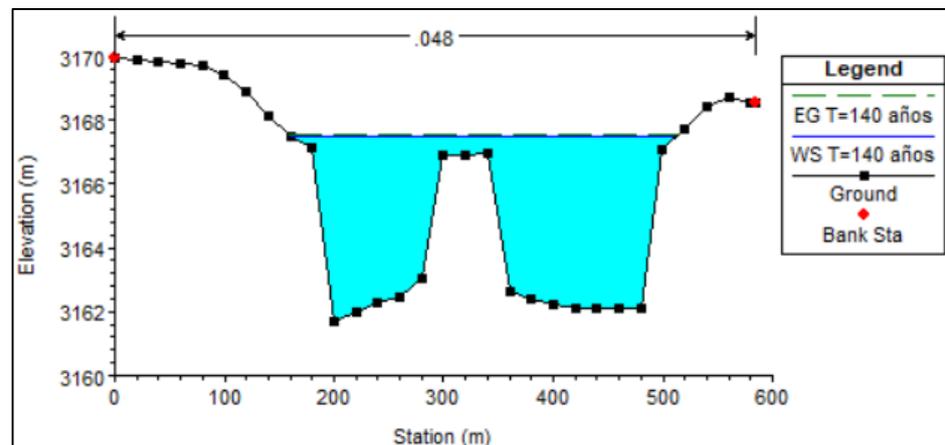
**Tabla 13. Salida del perfil para periodo de retorno de 140 años**

Progresiva	Q m <sup>3</sup> /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 m <sup>2</sup>	Espejo de agua (m)	N.º Froude	Tirante medio (m)
0+300	1485.2	3161.7	3167.47		3167.53	0.000537	1.15	1293.68	350.36	0.19	3.69
0+290	1485.2	3161.78	3167.46		3167.53	0.000592	1.18	1259.17	352.59	0.2	3.57
0+280	1485.2	3161.86	3167.45		3167.52	0.000655	1.21	1223.97	354.72	0.21	3.45
0+270	1485.2	3161.95	3167.43		3167.51	0.00073	1.25	1187.29	356.78	0.22	3.33
0+260	1485.2	3162.03	3167.42		3167.51	0.00082	1.29	1149.65	358.78	0.23	3.20
0+250	1485.2	3162.11	3167.41		3167.5	0.000926	1.34	1110.73	360.59	0.24	3.08
0+240	1485.2	3162.1	3167.4		3167.49	0.000953	1.34	1104.87	363.65	0.25	3.04
0+230	1485.2	3162.09	3167.38		3167.48	0.000981	1.35	1098.42	366.42	0.25	3.00
0+220	1485.2	3162.09	3167.37		3167.47	0.001011	1.36	1091.58	369.02	0.25	2.96
0+210	1485.2	3162.08	3167.36		3167.46	0.001044	1.37	1084.44	371.77	0.26	2.92
0+200	1485.2	3162.07	3167.35		3167.45	0.00108	1.38	1076.4	374.38	0.26	2.88
0+190	1485.2	3162.01	3167.25		3167.42	0.002313	1.86	799.01	314.86	0.37	2.54
0+180	1485.2	3161.94	3167.05		3167.37	0.00601	2.53	586.63	298.02	0.58	1.97
0+170	1485.2	3161.88	3166.99		3167.31	0.006669	2.51	590.66	327.87	0.6	1.80
0+160	1485.2	3161.82	3167.06		3167.23	0.001777	1.84	807.9	265.54	0.34	3.04
0+150	1485.2	3161.75	3167.11		3167.2	0.00066	1.32	1128.95	290.94	0.21	3.88
0+140	1485.2	3161.86	3166.99		3167.18	0.00212	1.89	785.03	282.25	0.36	2.78
0+130	1485.2	3161.96	3166.63		3167.11	0.010466	3.06	485.96	282.23	0.74	1.72
0+120	1485.2	3162.06	3166.18	3166.18	3166.93	0.021026	3.84	386.42	268.31	1.02	1.44
0+110	1485.2	3162.17	3165.36	3165.36	3166.18	0.019952	4.01	370.04	231.12	1.01	1.60
0+100	1485.2	3162.27	3165.66		3165.89	0.002855	2.1	706.14	269.71	0.41	2.62
0+090	1485.2	3162.28	3165.55		3165.84	0.004533	2.4	619.74	275.9	0.51	2.25
0+080	1485.2	3162.29	3165.36		3165.77	0.00818	2.84	523.09	281.54	0.66	1.86
0+070	1485.2	3162.29	3165.29		3165.69	0.007741	2.81	527.85	276.44	0.65	1.91
0+060	1485.2	3162.3	3165.3		3165.6	0.004625	2.41	616.56	277.03	0.52	2.23
0+050	1485.2	3162.31	3165.32		3165.54	0.002841	2.08	713.69	276.93	0.41	2.58
0+040	1485.2	3162.36	3165.22		3165.5	0.004198	2.36	628.71	270.65	0.49	2.32
0+030	1485.2	3162.4	3165.06		3165.44	0.006535	2.74	542.83	261.57	0.61	2.08
0+020	1485.2	3162.45	3164.84		3165.34	0.010806	3.14	472.81	270.22	0.76	1.75
0+010	1485.2	3162.5	3164.64	3164.45	3165.22	0.013726	3.35	443.25	275.21	0.84	1.61
0+000	1485.2	3162.54	3164.3	3164.3	3165.03	0.020366	3.78	392.47	272.94	1.01	1.44

Las figuras muestran las secciones del corte A-A, obtenido de la simulación en el HEC RAS para el periodo de retorno de 0 y 140 años respectivamente. Así mismo, en el anexo 5 se adjuntan las capturas de las secciones del tramo en estudio del río Mantaro.



**Figura 11. Corte A-A, sección con periodo de retorno de 0 años**



**Figura 12. Corte A-A, sección con periodo de retorno de 140 años**

### 3.5.2. Diseño de obras longitudinales

#### 3.5.2.1. Profundidad de socavación

En la siguiente tabla se muestra la profundidad de socavación con el caudal correspondiente a 500 años de retorno. Cabe resaltar que se consideró la misma profundidad de socavación para el diseño de los obras de protección como dique y enrocado. El cálculo de la profundidad de socavación corresponde a la socavación general para

suelos granulares, según el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC.

**Tabla 14. Profundidad de socavación**

<u>Profundidad de socavación</u>		
T	500	Años
Qd	1617.02	m <sup>3</sup> /s
Be	252.20	M
Hm	3.12	M
alfa	0.96	
beta	0.82	
dm	25	Mm
x	0.31	
1/1+x	0.76	
Hs	3.22	M
Vr	1.97	m/s
Ve	1.97	m/s
Socavación	0.10	M
Socavación	0.40	M

### 3.5.2.2. Diseño de diques

El diseño del dique se planteó en tres partes; diseño hidráulico, diseño estructural y características del material para el dique de tierra.

#### A. Diseño hidráulico

##### a. Localización en planta

El dique se ubicó fuera del cauce y paralelo al tramo de estudio del río Mantaro.

##### b. Longitud del dique

El dique se proyectó en una longitud de 300 m, en la margen izquierda del río Mantaro, del barrio Mantaro, distrito de Huayucachi.

##### c. Elevación y pendiente del dique

La elevación o altura del dique se determinó en función del nivel de agua alcanzado para el periodo de retorno de 140 años. El

nivel de agua obtenido de la simulación en el programa HEC RAS fue de 3.69 m. Por lo que se consideró la altura del muro de 5.30 m.

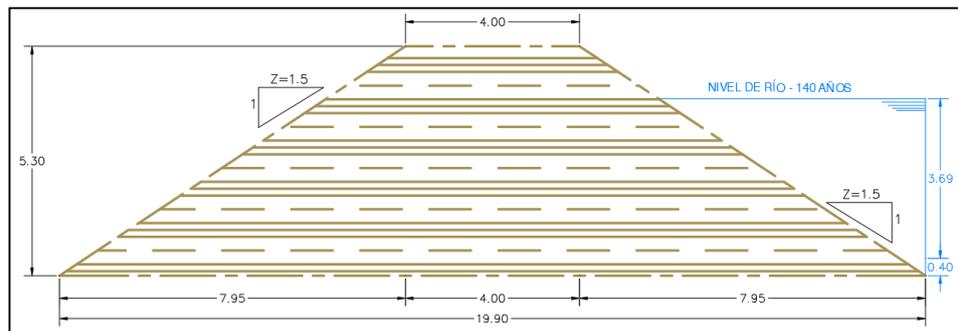
La pendiente del dique está en función al nivel de agua y las condiciones del terreno.

#### d. Taludes de las caras del dique

- Ancho de corona: 4.0 m, el cual permite el paso de un vehículo
- Ancho de base: depende del talud de las caras del dique
- Talud interno y externo: 1.5:1, garantizan la estabilidad del dique de tierra de sección trapezoidal y de tierra compacta.

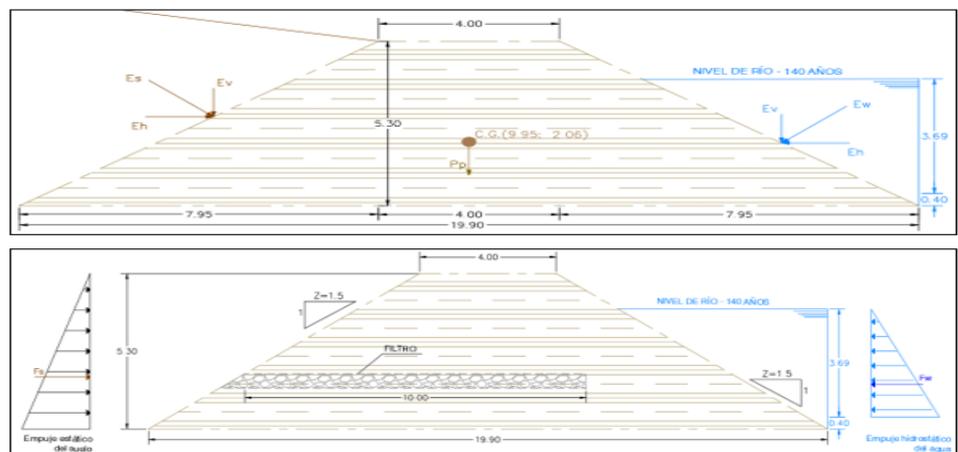
### B. Diseño estructural

#### a. Sección representativa del dique



**Figura 13. Sección representativa del dique**

En la siguiente figura se muestran las fuerzas consideradas para el análisis de estabilidad del dique de tierra.



**Figura 14. Fuerzas consideradas, análisis de dique de tierra**

### ✓ 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).

$$R = W \tan \phi$$

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

$$W = A * \gamma$$

$W$ : peso unitario del dique de tierra

$A$ : área del terraplén por unidad de longitud

$\gamma$ : peso específico del material

Ya que el material del dique es arcilla, se empleó la siguiente tabla que muestra los valores de peso específico y ángulo de fricción diferentes suelos, en este caso se emplearon los datos de una arcilla media.

**Tabla 15. Peso específico y ángulo de fricción de suelos**

Tipo de terreno	W(kg/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)
Arcilla suave	1440 a 1920	0° a 15°
Arcilla media	1600 a 1920	15° a 30°
Limo seco y suelto	1600 a 1920	27° a 30°
Limo denso	1760 a 1920	30° a 35°
Arena suelta y grava	1600 a 2100	30° a 40°
Arena densa y grava	1920 a 2100	25° a 35°
Arena suelta, seca y bien graduada	1840 a 2100	33° a 35°
Arena densa, seca y bien graduada	1920 a 2100	42° a 46°

*Nota: tomada de Apuntes de geotecnia con énfasis en laderas (54)*

$$\therefore W = (63.335 \text{ m}^2)(1920 \text{ kg/m}^3)$$

$$\therefore W = 121\,603.20 \text{ kg/m}$$

$$\therefore R = 121.60 * \tan(25^\circ)$$

$$\therefore R = 56\,704.50 \text{ kg/m}$$

$$\therefore P = \frac{1000 * 3.69^2}{2}$$

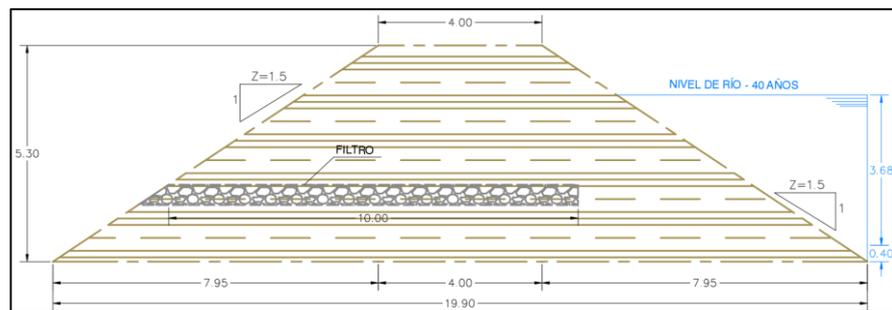
$$\therefore P = 6808.05 \text{ kg/m}$$

Comparando los resultados, se obtuvo que la fuerza resistente es 8.33 veces mayor a la presión del agua.

Es decir  $F. \text{ resistente} > 8.33 P. \text{ agua}$ .

Por lo que el dique de tierra es estable.

### C. Características del material para el dique de tierra



**Figura 15. Sección representativa del dique con filtro**

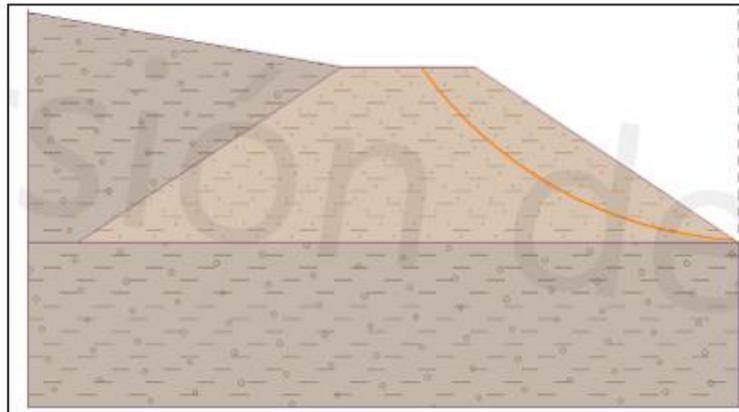
**Filtro:** se propone la colocación del filtro o drenes con material granular permeable para el control de agua infiltrada, ya que el material del dique es arcilla.

Los detalles del dique y su trazo en el tramo de 300 m del río Mantaro, se adjuntan en la sección de planos.

Del mismo modo, se analizó la estabilidad del talud por el método de Bishop, Spencer, Fellenius/Petterson, Janbu y Morgenstern – Price. De los cuales, todos los métodos demostraron estabilidad. En la siguiente figura se muestran los resultados de la

verificación de estabilidad del dique de tierra así como la sección analizada.

Superficie de deslizamiento circular		Verificación de estabilidad de taludes (todos los métodos)	
Centro:	x = 22.03 [m] z = 12.55 [m]	Bishop:	FS = 2.21 > 1.50 ACEPTABLE
Radio:	R = 12.50 [m]	Fellenius / Petterson:	FS = 2.17 > 1.50 ACEPTABLE
Ángulos:	$\alpha_1 = -54.56$ [°] $\alpha_2 = -3.22$ [°]	Spencer:	FS = 2.21 > 1.50 ACEPTABLE
		Janbu:	FS = 2.22 > 1.50 ACEPTABLE
		Morgenstern-Price:	FS = 2.22 > 1.50 ACEPTABLE



**Figura 16. Estabilidad del dique y sección analizada**

### 3.5.2.3. Diseño de enrocado

El diseño del dique se desarrolló en dos partes, diseño estructural y características del enrocado.

#### A. Diseño estructural

##### a. Cálculo de profundidad de socavación

La profundidad de socavación calculada fue 0.40 m, para  $T = 500$  años. No obstante, para conseguir la estabilidad del enrocado se consideró una profundidad de socavación de 1.00 m.

##### b. Cálculo de ancho de uña

$$A_{uña} = 1.5 * P_{uña}$$

$$\therefore A_{uña} = 1.5 * 1.00$$

$$\therefore A_{uña} = 1.50 \text{ m}$$

### c. Cálculo de 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 = 3.69 m (para un periodo de retorno de 140 años)

Bl: bordo libre

v: velocidad media del agua = 2.16 m/s

g: gravedad

$\phi$ : coeficiente en función de la máxima descarga y pendiente. Como el caudal de diseño obtenido fue 1485.20 m<sup>3</sup>/s, se optó por considerar el coeficiente 1.40 para el caudal que oscila entre 1000 y 2000 m<sup>3</sup>/s, para obtener un diseño más conservador.

$$\therefore Bl = 1.40 \left( \frac{2.16^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$\therefore Bl = 0.33 \text{ m}$$

$$\therefore H_m = 3.69 + 0.33$$

$$\therefore H_m = 4.02 \cong 4.50 \text{ m}$$

### d. Cálculo del diámetro medio de la roca (D<sub>50</sub>)

Para el cálculo del diámetro de la roca a usar en la protección, se empleó el método de Maynard según el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (53).

$$d_{50} = C_1(yF^3)$$

$$F = C_2 \left( \frac{V}{\sqrt{gy}} \right)$$

**Donde** $d_{50}$ : diámetro medio de las rocas $y$ : profundidad del flujo $V$ : velocidad media del flujo $F$ : número de Froude $C_1$  y  $C_2$ : coeficiente de corrección**Tabla 16. Coeficientes  $C_1$** 

	0.28	Fondo plano
<b>C1</b>	0.28	Talud 1V: 3H
	0.32	Talud 1V: 2H

*Nota: tomada del Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (51)***Tabla 17. Coeficientes  $C_1$** 

	1.5	Tramos en curva
<b>C2</b>	1.25	Tramos rectos
	2	Extremos de espigones

*Nota: tomada del Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (51)*

$$\therefore F = 1.25 \left( \frac{2.16}{\sqrt{9.81 * 3.69}} \right)$$

$$\therefore F = 0.45$$

$$\therefore d_{50} = 0.32(3.69 * 0.45^3)$$

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

Se calculó el diámetro de la roca (17). Entre ellos, para calcular el diámetro de la roca, primero se calcula el factor de corrección, luego se calcula la densidad relativa del material y finalmente se calcula el diámetro promedio de la roca.

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

**Donde**

f: factor de corrección

$\alpha$ : ángulo de talud = 21.80° (Z=2.5)

$\phi$ : ángulo de fricción interna del material = 34° (peso específico = 2.53 t/m<sup>3</sup>). En el anexo 6 se puede observar el ángulo de fricción del material y en el anexo 7 se adjunta el ensayo de peso específico del material (roca).

$$\therefore f = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2 21.80}{\text{sen}^2 34}}$$
$$\therefore f = 0.75$$

Entonces, se calcula la densidad relativa del material.

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

**Donde**

$\Delta$ : densidad relativa del material

$\gamma_s$ : densidad de la roca en kg/m<sup>3</sup> = 2 530 kg/m<sup>3</sup>

$\gamma$ : densidad del agua en kg/m<sup>3</sup> = 1 000 kg/m<sup>3</sup>

$$\therefore \Delta = \frac{2530 - 1000}{1000}$$

$$\therefore \Delta = 1.53 \text{ Kg/m}^3$$

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.

$$\begin{aligned}\therefore d_{50} &= \frac{1.4}{1.53} * \frac{2.16^2}{2 * 9.81} * \frac{1}{0.75} \\ \therefore d_{50} &= 0.29 \text{ m} \\ \therefore d_{50} &\cong 0.35 \text{ m}\end{aligned}$$

Con la finalidad de que la roca sea estable se consideró el diámetro de 0.35 m, cuya colocación se propone sea en 3 capas.

Probabilidad de que la roca se mueva.

$$\begin{aligned}Froca_{D50} &= 0.56 * \frac{V^2}{2g} * \frac{1}{D50} * \frac{1}{\Delta} \\ \therefore Froca_{D50} &= 0.56 * \frac{2.16^2}{2 * 9.81} * \frac{1}{0.35} * \frac{1}{1.53} \\ \therefore Froca_{D50} &= 0.25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\tau_c}{t} &= \frac{1}{Froca} \\ \frac{\tau_c}{t} &= \frac{1}{0.25} = 4 > 0.99\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}W_{50} &= \Delta * \gamma_s * D_{50}^3 \\ \therefore W_{50} &= 1.53 * 2530 * 0.35^3 \\ \therefore W_{50} &= 165.96 \text{ kg}\end{aligned}$$

### e. 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).

$$R = W \tan \phi$$

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

$$W = A * \gamma$$

$W$ : peso unitario del dique de tierra

$A$ : área del terraplén por unidad de longitud

$\gamma$ : peso específico del material

Se consideró un terraplén de tierra cuyo peso específico es  $1.80 \text{ t/m}^3$  y ángulo de fricción es  $30^\circ$ .

$$\therefore W = \left( \frac{22 + 4}{2} * 4.50 \right) (1800 \text{ kg/m}^3)$$

$$\therefore W = 105\,300 \text{ kg/m}$$

$$\therefore R = 105\,300 * \tan(30^\circ)$$

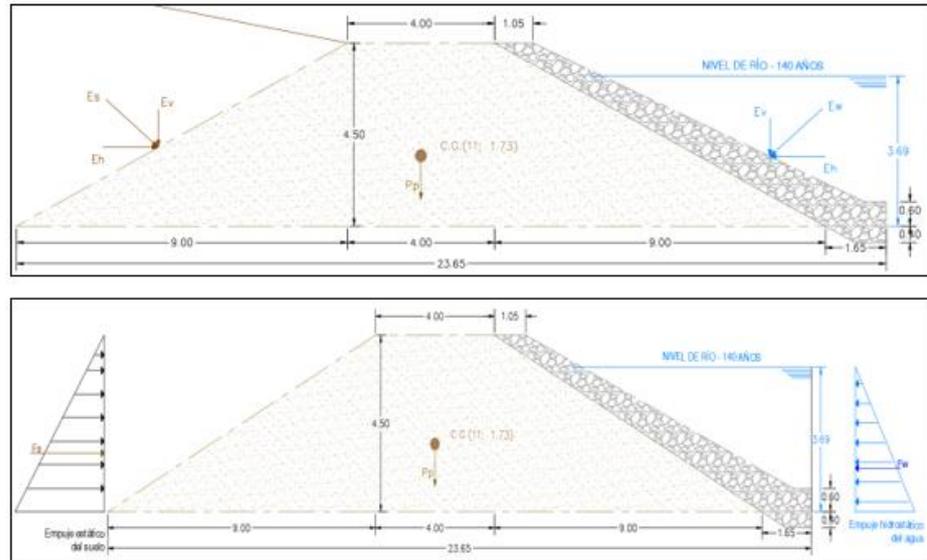
$$\therefore R = 60\,794.98 \text{ kg/m}$$

$$\therefore P = \frac{1000 * 3.69^2}{2}$$

$$\therefore P = 6\,808.05 \text{ kg/m}$$

Comparando los resultados, se obtuvo que la fuerza resistente es 8.93 veces mayor a la presión del agua. Es decir,  $F. \text{ resistente} > 8.93 P. \text{ agua}$ . Por lo que el terraplén es estable.

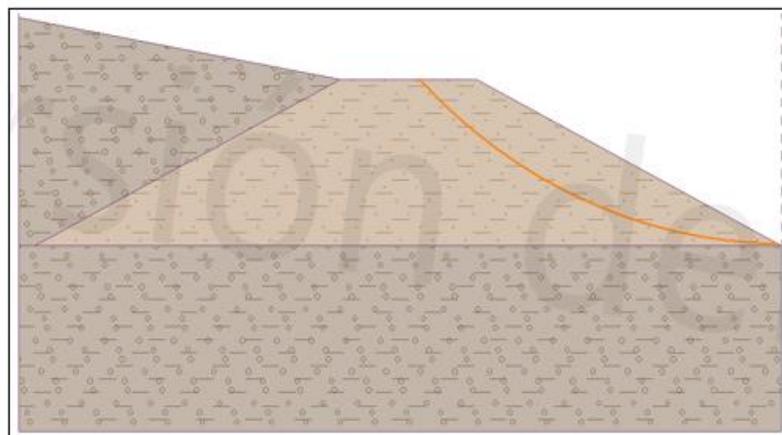
En la siguiente figura, se muestran las fuerzas consideradas para el análisis de estabilidad del enrocado.



**Figura 17. Fuerzas consideradas, análisis de enrocado**

Del mismo modo, se analizó la estabilidad del terraplén por el método de Bishop, Spencer, Fellenius/Petterson, Janbu y Morgenstern – Price. De los cuales, todos los métodos demostraron estabilidad. En la siguiente figura se muestran los resultados de la verificación de estabilidad del terraplén así como la sección analizada.

Superficie de deslizamiento circular		Verificación de estabilidad de taludes (todos los métodos)	
Centro:	x = 22.52 [m] z = 15.19 [m]	Bishop:	FS = 2.94 > 1.50 <b>ACEPTABLE</b>
Radio:	R = 15.13 [m]	Fellenius / Petterson:	FS = 2.90 > 1.50 <b>ACEPTABLE</b>
Ángulos:	$\alpha_1 = -45.05$ [°] $\alpha_2 = -0.61$ [°]	Spencer:	FS = 2.94 > 1.50 <b>ACEPTABLE</b>
		Janbu:	FS = 2.94 > 1.50 <b>ACEPTABLE</b>
		Morgenstern-Price:	FS = 2.94 > 1.50 <b>ACEPTABLE</b>



**Figura 18. Estabilidad del terraplén y sección analizada**

#### f. Estabilidad del enrocado

- Esfuerzo cortante local

$$\tau_0 = \frac{\gamma * v^2}{\left(18 \log \frac{12.2 * y}{D_{50}}\right)^2}$$

$\gamma$ : peso específico del agua (1 000 kg/m<sup>3</sup>)

$v$ : velocidad media del agua (m/s) = 2.16 m/s

$y$ : tirante del río (m) = 3.69 m

$D_{50}$ : diámetro medio de la roca (m) = 0.35 m

$$\tau_0 = 3.24 \text{ kg/m}^2$$

- Esfuerzo cortante para el fondo

$$\tau = \alpha(\gamma_s - \gamma) * D_{50}$$

$\gamma_s$ : peso específico de la roca (2 530 kg/m<sup>3</sup>)

$\gamma$ : peso específico del agua (1 000 kg/m<sup>3</sup>)

$\alpha$ : coeficiente, para canales anchos asumir 0.04

$D_{50}$ : diámetro medio de la roca (m)

$$\tau = 21.42 \text{ kg/m}^2$$

- Esfuerzo cortante en el talud

$$\tau' = \tau * \left(1 - \frac{\text{sen}^2 \theta}{\text{sen}^2 \varphi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$\tau$ : esfuerzo cortante de diseño en los taludes (21.42 kg/m<sup>2</sup>)

$\theta$ : ángulo del talud con la horizontal (Z = 2.5;  $\theta = 21.80^\circ$ )

$\varphi$ : ángulo de reposo del enrocado (34°)

$$\tau' = 16.01 \text{ kg/m}^2$$

Se debe cumplir la siguiente relación:

$$\tau_0 \leq \tau$$

$$3.24 \text{ Kg/m}^2 \leq 16.01 \text{ kg/m}^2$$

- Factor de seguridad al deslizamiento

Se debe cumplir la siguiente condición:

$$FS = \frac{\tan\varphi}{\tan\theta}; FS \geq 1.5$$

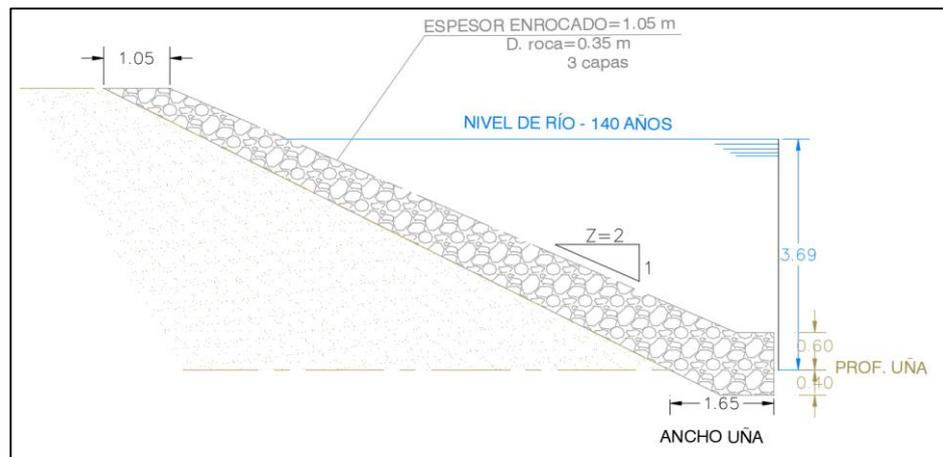
$$FS = \frac{\tan 34^\circ}{\tan 21.8^\circ} = 1.69$$

$$\therefore FS \geq 1.5$$

$$\therefore 1.69 \geq 1.5$$

*\therefore El enrocado es estable al deslizamiento*

## B. Características del enrocado



**Figura 19. Características del enrocado**

Los detalles de diseño del enrocado y su trazo en el tramo de 300 m del río Mantaro, se adjuntan en la sección de planos.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información**

##### **4.1.1. Obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo**

Posterior al diseño de la obra de protección con dique en el tramo de 300 m del río Mantaro, se realizó la simulación en el programa HEC RAS optimizando los datos para obtener un mejor desempeño del dique. Las tablas que se muestran a continuación corresponden a los resultados del caudal de diseño del río Mantaro para el periodo de retorno de 140 años y los resultados con el diseño del dique en el tramo de los 300 m también para el periodo de retorno de 140 años, respectivamente.

Donde se puede apreciar el cambio del caudal del río Mantaro con el dique, ya que los datos se optimizaron; además de notar la disminución de los valores de altura de lámina de agua, altura de energía, pendiente del línea de energía, velocidad, área mojada, espejo de agua, número de Froude y tirante medio del tramo de los 300 m del río Mantaro.

**Tabla 18. Perfil del río Mantaro para periodo de retorno de 140 años**

Progresiva	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)	N.º Froude	Tirante medio (m)
0+300	1485.2	3161.7	3167.47		3167.53	0.000537	1.15	1293.68	350.36	0.19	3.69
0+290	1485.2	3161.78	3167.46		3167.53	0.000592	1.18	1259.17	352.59	0.2	3.57
0+280	1485.2	3161.86	3167.45		3167.52	0.000655	1.21	1223.97	354.72	0.21	3.45
0+270	1485.2	3161.95	3167.43		3167.51	0.00073	1.25	1187.29	356.78	0.22	3.33
0+260	1485.2	3162.03	3167.42		3167.51	0.00082	1.29	1149.65	358.78	0.23	3.20
0+250	1485.2	3162.11	3167.41		3167.5	0.000926	1.34	1110.73	360.59	0.24	3.08
0+240	1485.2	3162.1	3167.4		3167.49	0.000953	1.34	1104.87	363.65	0.25	3.04
0+230	1485.2	3162.09	3167.38		3167.48	0.000981	1.35	1098.42	366.42	0.25	3.00
0+220	1485.2	3162.09	3167.37		3167.47	0.001011	1.36	1091.58	369.02	0.25	2.96
0+210	1485.2	3162.08	3167.36		3167.46	0.001044	1.37	1084.44	371.77	0.26	2.92
0+200	1485.2	3162.07	3167.35		3167.45	0.00108	1.38	1076.4	374.38	0.26	2.88
0+190	1485.2	3162.01	3167.25		3167.42	0.002313	1.86	799.01	314.86	0.37	2.54
0+180	1485.2	3161.94	3167.05		3167.37	0.00601	2.53	586.63	298.02	0.58	1.97
0+170	1485.2	3161.88	3166.99		3167.31	0.006669	2.51	590.66	327.87	0.6	1.80
0+160	1485.2	3161.82	3167.06		3167.23	0.001777	1.84	807.9	265.54	0.34	3.04
0+150	1485.2	3161.75	3167.11		3167.2	0.00066	1.32	1128.95	290.94	0.21	3.88
0+140	1485.2	3161.86	3166.99		3167.18	0.00212	1.89	785.03	282.25	0.36	2.78
0+130	1485.2	3161.96	3166.63		3167.11	0.010466	3.06	485.96	282.23	0.74	1.72
0+120	1485.2	3162.06	3166.18	3166.18	3166.93	0.021026	3.84	386.42	268.31	1.02	1.44
0+110	1485.2	3162.17	3165.36	3165.36	3166.18	0.019952	4.01	370.04	231.12	1.01	1.60
0+100	1485.2	3162.27	3165.66		3165.89	0.002855	2.1	706.14	269.71	0.41	2.62
0+090	1485.2	3162.28	3165.55		3165.84	0.004533	2.4	619.74	275.9	0.51	2.25
0+080	1485.2	3162.29	3165.36		3165.77	0.00818	2.84	523.09	281.54	0.66	1.86
0+070	1485.2	3162.29	3165.29		3165.69	0.007741	2.81	527.85	276.44	0.65	1.91
0+060	1485.2	3162.3	3165.3		3165.6	0.004625	2.41	616.56	277.03	0.52	2.23
0+050	1485.2	3162.31	3165.32		3165.54	0.002841	2.08	713.69	276.93	0.41	2.58
0+040	1485.2	3162.36	3165.22		3165.5	0.004198	2.36	628.71	270.65	0.49	2.32
0+030	1485.2	3162.4	3165.06		3165.44	0.006535	2.74	542.83	261.57	0.61	2.08
0+020	1485.2	3162.45	3164.84		3165.34	0.010806	3.14	472.81	270.22	0.76	1.75
0+010	1485.2	3162.5	3164.64	3164.45	3165.22	0.013726	3.35	443.25	275.21	0.84	1.61
0+000	1485.2	3162.54	3164.3	3164.3	3165.03	0.020366	3.78	392.47	272.94	1.01	1.44

**Tabla 19. Perfil del río Mantaro con dique para periodo de retorno de 140 años**

Progresiva	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)	N.º Froude	Tirante medio (m)
0+300	1485.2	3161.7	3167.44		3167.5	0.000546	1.16	1283.18	347.7	0.19	3.69
	Lat Struct										
0+290	1482.74	3161.78	3167.43		3167.5	0.0006	1.19	1248.72	350.03	0.2	3.57
0+280	1479.77	3161.86	3167.42		3167.49	0.000663	1.22	1213.55	352.25	0.21	3.45
0+270	1476.92	3161.95	3167.4		3167.49	0.000737	1.26	1176.82	354.35	0.22	3.32
0+260	1474.19	3162.03	3167.39		3167.48	0.000825	1.29	1139.11	356.41	0.23	3.20
0+250	1471.61	3162.11	3167.38		3167.47	0.000931	1.34	1100.14	358.26	0.24	3.07
0+240	1469.16	3162.1	3167.37		3167.46	0.000956	1.34	1094.29	361.6	0.25	3.03
0+230	1466.81	3162.09	3167.36		3167.45	0.000982	1.35	1087.86	364.56	0.25	2.98
0+220	1464.56	3162.09	3167.34		3167.44	0.001009	1.35	1081.06	367.32	0.25	2.94
0+210	1462.42	3162.08	3167.33		3167.43	0.00104	1.36	1073.95	370.19	0.26	2.90
0+200	1460.39	3162.07	3167.32		3167.42	0.001073	1.37	1066.06	372.92	0.26	2.86
0+190	1458.85	3162.01	3167.22		3167.39	0.002289	1.84	790.79	312.7	0.37	2.53
0+180	1458.36	3161.94	3167.02		3167.34	0.005972	2.52	579.3	295.4	0.57	1.96
0+170	1458.35	3161.88	3166.96		3167.28	0.006713	2.5	582.19	326.65	0.6	1.78
0+160	1458.34	3161.82	3167.03		3167.2	0.001756	1.82	801.19	264.86	0.33	3.02
0+150	1458.18	3161.75	3167.08		3167.17	0.000649	1.3	1121.42	290.38	0.21	3.86
0+140	1458.11	3161.86	3166.97		3167.15	0.002097	1.87	778.23	281.62	0.36	2.76
0+130	1458.11	3161.96	3166.61		3167.08	0.010429	3.04	479.93	280.46	0.74	1.71
0+120	1458.11	3162.06	3166.16	3166.16	3166.91	0.021083	3.82	381.39	267.48	1.02	1.43
0+110	1458.11	3162.17	3165.34	3165.34	3166.15	0.019773	3.98	366.67	230.66	1.01	1.59
0+100	1458.11	3162.27	3165.64		3165.86	0.002831	2.08	699.41	269.04	0.41	2.60
0+090	1458.11	3162.28	3165.53		3165.82	0.004511	2.38	613.1	275.1	0.51	2.23
0+080	1458.11	3162.29	3165.34		3165.74	0.008199	2.82	516.23	280.52	0.66	1.84
0+070	1458.11	3162.29	3165.26		3165.66	0.007759	2.8	521.11	275.69	0.65	1.89
0+060	1458.11	3162.3	3165.28		3165.57	0.004612	2.39	609.81	276.48	0.51	2.21
0+050	1458.11	3162.31	3165.3		3165.51	0.00282	2.06	706.93	276.47	0.41	2.56
0+040	1458.11	3162.36	3165.19		3165.47	0.004173	2.34	622.43	270.16	0.49	2.30
0+030	1458.11	3162.4	3165.04		3165.41	0.006473	2.71	537.25	260.14	0.6	2.07
0+020	1458.11	3162.45	3164.82		3165.32	0.010782	3.12	467.35	269.4	0.76	1.73
0+010	1458.11	3162.5	3164.62	3164.43	3165.19	0.013753	3.33	437.69	274.53	0.84	1.59
0+000	1458.11	3162.54	3164.29	3164.29	3165.01	0.020345	3.76	388.01	272.46	1.01	1.42

Con el interés de evidenciar la diferencia de los valores obtenidos en los indicadores resaltados de colores, se muestra la tabla de los indicadores afectados por la obra de protección ribereña con dique, con la diferencia entre el resultado obtenido de la tabla 18 y la tabla 19.

**Tabla 20. Diferencia de los indicadores afectados por la obra de protección ribereña con dique**

Progresiva	$\Delta$ Altura lámina de agua	$\Delta$ Altura de energía	$\Delta$ Pendiente de línea de energía	$\Delta$ Velocidad	$\Delta$ Área mojada	$\Delta$ Espejo de agua	$\Delta$ Número de Froude	$\Delta$ Tirante medio
0+300	0.03	0.03	-0.000009	-0.01	10.5	2.66	0.00	0.00
0+290	0.03	0.03	-0.000008	-0.01	10.45	2.56	0.00	0.00
0+280	0.03	0.03	-0.000008	-0.01	10.42	2.47	0.00	0.01
0+270	0.03	0.02	-0.000007	-0.01	10.47	2.43	0.00	0.01
0+260	0.03	0.03	-0.000005	0.00	10.54	2.37	0.00	0.01
0+250	0.03	0.03	-0.000005	0.00	10.59	2.33	0.00	0.01
0+240	0.03	0.03	-0.000003	0.00	10.58	2.05	0.00	0.01
0+230	0.02	0.03	-0.000001	0.00	10.56	1.86	0.00	0.01
0+220	0.03	0.03	0.000002	0.01	10.52	1.7	0.00	0.01
0+210	0.03	0.03	0.000004	0.01	10.49	1.58	0.00	0.02
0+200	0.03	0.03	0.000007	0.01	10.34	1.46	0.00	0.02
0+190	0.03	0.03	0.000024	0.02	8.22	2.16	0.00	0.01
0+180	0.03	0.03	0.000038	0.01	7.33	2.62	0.01	0.01
0+170	0.03	0.03	-0.000044	0.01	8.47	1.22	0.00	0.02
0+160	0.03	0.03	0.000021	0.02	6.71	0.68	0.01	0.02
0+150	0.03	0.03	0.000011	0.02	7.53	0.56	0.00	0.02
0+140	0.02	0.03	0.000023	0.02	6.8	0.63	0.00	0.02
0+130	0.02	0.03	0.000037	0.02	6.03	1.77	0.00	0.01
0+120	0.02	0.02	-0.000057	0.02	5.03	0.83	0.00	0.01
0+110	0.02	0.03	0.000179	0.03	3.37	0.46	0.00	0.01
0+100	0.02	0.03	0.000024	0.02	6.73	0.67	0.00	0.02
0+090	0.02	0.02	0.000022	0.02	6.64	0.8	0.00	0.02
0+080	0.02	0.03	-0.000019	0.02	6.86	1.02	0.00	0.02
0+070	0.03	0.03	-0.000018	0.01	6.74	0.75	0.00	0.02
0+060	0.02	0.03	0.000013	0.02	6.75	0.55	0.01	0.02
0+050	0.02	0.03	0.000021	0.02	6.76	0.46	0.00	0.02
0+040	0.03	0.03	0.000025	0.02	6.28	0.49	0.00	0.02
0+030	0.02	0.03	0.000062	0.03	5.58	1.43	0.01	0.01
0+020	0.02	0.02	0.000024	0.02	5.46	0.82	0.00	0.01
0+010	0.02	0.03	-0.000027	0.02	5.56	0.68	0.00	0.02
0+000	0.01	0.02	0.000021	0.02	4.46	0.48	0.00	0.01

En función a la tabla mostrada, se puede decir que el tirante del río disminuyó con la colocación del dique ente unos 0.01 m a 0.02 m de altura respecto al tirante del río sin obra longitudinal. Así mismo, la altura de lámina de agua disminuyó entre 0.01 a 0.03 m, la velocidad disminuyó entre 0.01 m/s a 0.03 m/s, el área mojada disminuyó entre 5.03 m<sup>2</sup> a 10.59 m<sup>2</sup>, espejo de agua y número de Froude disminuyeron con la colocación del dique en la margen izquierda del río.

#### **4.1.2. Obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo**

Después de diseñar la obra de protección con enrocado en el tramo del río Mantaro, se realizó la simulación en el programa HEC RAS optimizando los datos para obtener un mejor desempeño del enrocado. La tabla que se muestra corresponde a los resultados del caudal de diseño del río Mantaro con el diseño del enrocado en el tramo de los 300 m para el periodo de retorno de 140 años.

Donde también se puede apreciar el cambio del caudal del río Mantaro con el enrocado, ya que los datos se optimizaron; junto a la disminución de los valores de altura de lámina de agua, altura de energía, pendiente del línea de energía, velocidad, área mojada, espejo de agua, número de Froude y tirante medio del tramo de los 300 m del río Mantaro.

**Tabla 21. Perfil del río Mantaro con enrocado para periodo de retorno de 140 años**

Progresiva	Q m <sup>3</sup> /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 m <sup>2</sup>	Espejo de agua (m)	N.º Froude	Tirante medio (m)
0+300	1485.2	3161.7	3167.29		3167.37	0.000592	1.2	1233.71	334.88	0.2	3.68
	Lat Struct										
0+290	1475.38	3161.78	3167.28		3167.36	0.000652	1.23	1198.74	338.75	0.21	3.54
0+280	1463.26	3161.86	3167.27		3167.35	0.000716	1.26	1163.22	341.52	0.22	3.41
0+270	1451.32	3161.95	3167.26		3167.34	0.000792	1.29	1126.16	343.91	0.23	3.27
0+260	1439.59	3162.03	3167.25		3167.34	0.000882	1.32	1088.15	346.14	0.24	3.14
0+250	1428.09	3162.11	3167.23		3167.33	0.000989	1.36	1049	348.26	0.25	3.01
0+240	1416.8	3162.1	3167.22		3167.32	0.001005	1.36	1042.72	351.41	0.25	2.97
0+230	1405.67	3162.09	3167.21		3167.3	0.001026	1.36	1035.91	355.27	0.25	2.92
0+220	1394.7	3162.09	3167.2		3167.29	0.001006	1.36	1029.11	348.45	0.25	2.95
0+210	1383.89	3162.08	3167.19		3167.29	0.000817	1.35	1024.87	298.18	0.23	3.44
0+200	1373.21	3162.07	3167.19		3167.28	0.00078	1.34	1021.59	289.11	0.23	3.53
0+190	1363.36	3162.01	3167.09		3167.26	0.002271	1.82	750.36	301.82	0.37	2.49
0+180	1355.72	3161.94	3166.89		3167.21	0.006114	2.51	540.32	281.8	0.58	1.92
0+170	1349.93	3161.88	3166.82		3167.14	0.006923	2.51	538.36	308.63	0.61	1.74
0+160	1344.01	3161.82	3166.91		3167.06	0.001692	1.75	767.43	261.45	0.33	2.94
0+150	1337.22	3161.75	3166.95		3167.03	0.000603	1.23	1083.66	287.57	0.2	3.77
0+140	1330.83	3161.86	3166.85		3167.01	0.001997	1.79	744.14	278.41	0.35	2.67
0+130	1327.17	3161.96	3166.5		3166.94	0.010223	2.95	450.51	271.67	0.73	1.66
0+120	1326.63	3162.06	3166.07	3166.07	3166.77	0.021428	3.73	355.99	262.63	1.02	1.36
0+110	1326.63	3162.17	3165.24	3165.24	3166	0.020105	3.87	342.75	227.39	1.01	1.51
0+100	1326.63	3162.27	3165.51		3165.71	0.002711	1.99	666.14	265.73	0.4	2.51
0+090	1326.63	3162.28	3165.41		3165.67	0.004401	2.29	580.18	271.11	0.5	2.14
0+080	1326.63	3162.29	3165.22		3165.6	0.008249	2.75	483.07	275.08	0.66	1.76
0+070	1326.63	3162.29	3165.14		3165.52	0.007828	2.72	488.42	272	0.65	1.80
0+060	1326.63	3162.3	3165.16		3165.43	0.004531	2.3	576.82	273.58	0.51	2.11
0+050	1326.63	3162.31	3165.18		3165.37	0.002711	1.97	673.66	274.21	0.4	2.46
0+040	1326.63	3162.36	3165.08		3165.33	0.004045	2.24	591.45	267.71	0.48	2.21
0+030	1326.63	3162.4	3164.93		3165.28	0.006253	2.6	510.1	256.59	0.59	1.99
0+020	1326.63	3162.45	3164.72		3165.18	0.010579	3	441.48	265.43	0.74	1.66
0+010	1326.63	3162.5	3164.53	3164.34	3165.06	0.01362	3.21	412.9	271.48	0.83	1.52
0+000	1326.63	3162.54	3164.2	3164.2	3164.88	0.020765	3.66	362.91	269.75	1.01	1.35

Del mismo modo, la tabla siguiente muestra la diferencia de los indicadores resaltados de las tablas 18 y 21, que fueron afectados por la obra de protección ribereña con enrocado.

**Tabla 22. Diferencia de los indicadores afectados por la obra de protección ribereña con enrocado**

Progresiva	$\Delta$ Altura lámina de agua	$\Delta$ Altura de energía	$\Delta$ Pendiente de línea de energía	$\Delta$ Velocidad	$\Delta$ Área mojada	$\Delta$ Espejo de agua	$\Delta$ Número de Froude	$\Delta$ Tirante medio
0+300	0.18	0.16	-0.00005	-0.05	59.97	15.48	-0.01	0.01
0+290	0.18	0.17	-0.00006	-0.05	60.43	13.84	-0.01	0.03
0+280	0.18	0.17	-0.00006	-0.05	60.75	13.2	-0.01	0.04
0+270	0.17	0.17	-0.00006	-0.04	61.13	12.87	-0.01	0.05
0+260	0.17	0.17	-0.00006	-0.03	61.5	12.64	-0.01	0.06
0+250	0.18	0.17	0.18	0.16	61.73	12.33	-0.01	0.07
0+240	0.18	0.17	0.18	0.17	62.15	12.24	0	0.07
0+230	0.17	0.18	0.18	0.17	62.51	11.15	0	0.08
0+220	0.17	0.18	0.00001	0	62.47	20.57	0	0.00
0+210	0.17	0.17	0.00023	0.02	59.57	73.59	0.03	-0.52
0+200	0.16	0.17	0.00030	0.04	54.81	85.27	0.03	-0.66
0+190	0.16	0.16	0.00004	0.04	48.65	13.04	0	0.05
0+180	0.16	0.16	-0.00010	0.02	46.31	16.22	0	0.05
0+170	0.17	0.17	-0.00025	0	52.3	19.24	-0.01	0.06
0+160	0.15	0.17	0.00009	0.09	40.47	4.09	0.01	0.11
0+150	0.16	0.17	0.00006	0.09	45.29	3.37	0.01	0.11
0+140	0.14	0.17	0.00012	0.1	40.89	3.84	0.01	0.11
0+130	0.13	0.17	0.00024	0.11	35.45	10.56	0.01	0.06
0+120	0.11	0.16	-0.00040	0.11	30.43	5.68	0	0.08
0+110	0.12	0.18	-0.00015	0.14	27.29	3.73	0	0.09
0+100	0.15	0.18	0.00014	0.11	40	3.98	0.01	0.11
0+090	0.14	0.17	0.00013	0.11	39.56	4.79	0.01	0.11
0+080	0.14	0.17	-0.00007	0.09	40.02	6.46	0	0.10
0+070	0.15	0.17	-0.00009	0.09	39.43	4.44	0	0.11
0+060	0.14	0.17	0.00009	0.11	39.74	3.45	0.01	0.12
0+050	0.14	0.17	0.00013	0.11	40.03	2.72	0.01	0.12
0+040	0.14	0.17	0.00015	0.12	37.26	2.94	0.01	0.11
0+030	0.13	0.16	0.00028	0.14	32.73	4.98	0.02	0.09
0+020	0.12	0.16	0.00023	0.14	31.33	4.79	0.02	0.09
0+010	0.11	0.16	0.00011	0.14	30.35	3.73	0.01	0.09
0+000	0.1	0.15	-0.00040	0.12	29.56	3.19	0	0.09

Respecto a la tabla 22, también se puede observar que la colocación del enrocado en la margen izquierda del río disminuyó valores entre 0.01 m y 0.12 m de tirante. La altura de lámina de agua disminuyó entre 0.11 m a 0.18 m de altura, la velocidad disminuyó entre 0.00 m/s a 0.14 m/s, el área mojada disminuyó entre 27.29 m<sup>2</sup> a 62.51 m<sup>2</sup>, así mismo, disminuyó el espejo de agua y el número de Froude con la colocación del enrocado en el río.

## **4.2. Prueba de hipótesis**

### **4.2.1. Obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo**

La prueba de hipótesis corresponde a determinar la relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro. Para el cual se comprobó la hipótesis de que la relación es directa, por medio de la correlación de Pearson para medir la dependencia lineal entre las dos variables mencionadas.

H<sub>0</sub>: la relación entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro es directa.

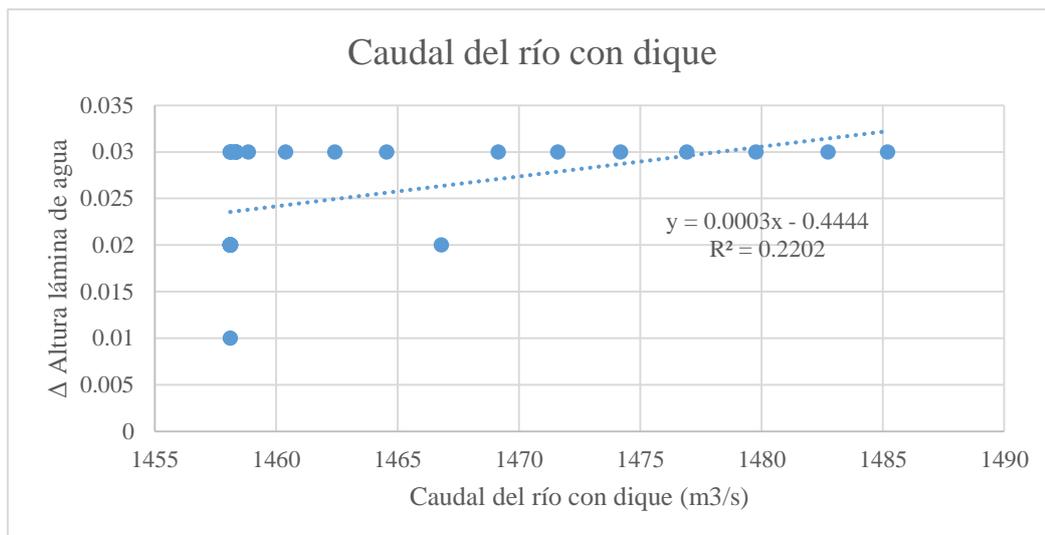
H<sub>1</sub>: la relación entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro no es directa.

Entonces, se determinó la relación entre los indicadores de nivel de agua y caudal del río Mantaro. La tabla muestra la variación del nivel de agua o variación de la altura de lámina de agua y el caudal de diseño del río obtenido de la optimización de datos en el programa HEC RAS con la obra de protección con dique.

**Tabla 23. Variación del nivel de agua y caudal del río con dique**

Progresiva	Caudal del río con dique	$\Delta$ Altura lámina de agua
0+300	1485.2	0.03
0+290	1482.74	0.03
0+280	1479.77	0.03
0+270	1476.92	0.03
0+260	1474.19	0.03
0+250	1471.61	0.03
0+240	1469.16	0.03
0+230	1466.81	0.02
0+220	1464.56	0.03
0+210	1462.42	0.03
0+200	1460.39	0.03
0+190	1458.85	0.03
0+180	1458.36	0.03
0+170	1458.35	0.03
0+160	1458.34	0.03
0+150	1458.18	0.03
0+140	1458.11	0.02
0+130	1458.11	0.02
0+120	1458.11	0.02
0+110	1458.11	0.02
0+100	1458.11	0.02
0+090	1458.11	0.02
0+080	1458.11	0.02
0+070	1458.11	0.03
0+060	1458.11	0.02
0+050	1458.11	0.02
0+040	1458.11	0.03
0+030	1458.11	0.02
0+020	1458.11	0.02
0+010	1458.11	0.02
0+000	1458.11	0.01

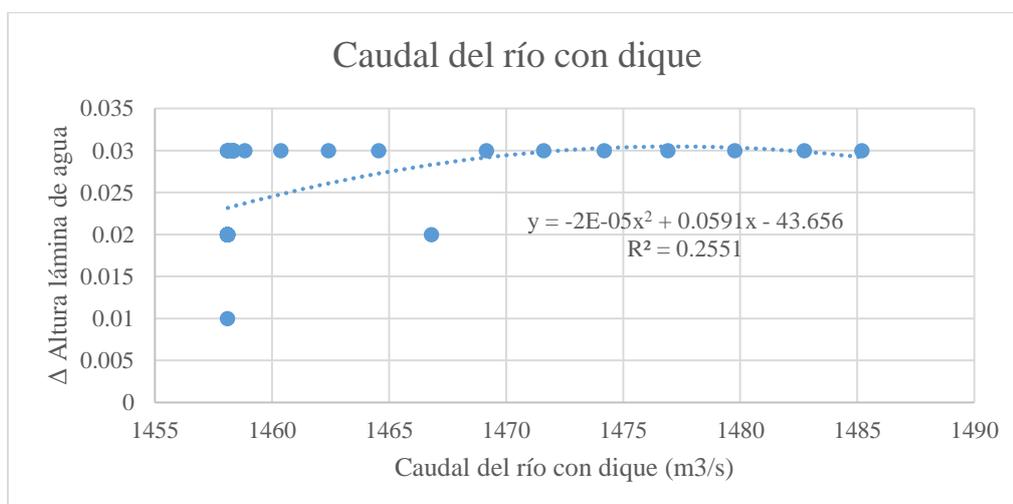
La figura muestra la representación gráfica de los resultados mostrados en la tabla 23, donde la línea de tendencia corresponde a una función lineal. Donde el caudal de 1485.20 m<sup>3</sup>/s corresponde a la progresiva 0+300 (punto alto del tramo) y el caudal de 1458.11 m<sup>3</sup>/s a la progresiva 0+000 que representa la elevación más baja del tramo.



**Figura 20. Correlación de Pearson – función lineal**

De la figura mostrada, se deduce que el 22.02 % de la variación de altura de lámina de agua está relacionada con el caudal del río Mantaro en el tramo de los 300 m, a diferencia del 77.98 % que depende de otros factores. Entonces, como la función lineal presenta una baja correlación, se realizó la función polinómica, obteniendo una mayor correlación igual a 0.2551, como se muestra en la figura.

Entendiendo que el 25.51 % de la variación de altura de lámina de agua está relacionada con el caudal del río Mantaro y el 74.49 % depende de otros factores.



**Figura 21. Correlación de Pearson – función polinómica**

El coeficiente de la correlación de Pearson se obtiene de realizar la estadística de regresión en el programa Ms Excel, a continuación, el resultado de la estadística de regresión y análisis de varianza.

**Tabla 24. Estadística de regresión río Mantaro con dique**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.469
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.220
R <sup>2</sup> ajustado	0.193
Error típico	0.005
Observaciones	31.000

**Tabla 25. Análisis de varianza río Mantaro con dique**

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	0.000214	0.000214	8.187	0.008
Residuos	29	0.000760	0.000026		
Total	30	0.000974			

De la tabla de resultados de estadísticas de regresión, se tiene que el coeficiente de correlación múltiple fue igual a 0.469 que corresponde a una correlación positiva (directa) moderada entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación. De acuerdo con los resultados del análisis de varianza se considera el valor crítico de F para la prueba de hipótesis; ya que el valor crítico de F fue igual a 0.008 y este es menor a 0.05, que señala aceptar la hipótesis nula de que la relación entre la obra de protección con dique y el control de inundación del río Mantaro es directa. Del cual se entiende que la obra de protección con dique garantiza el control de la inundación en el tramo de los 300 m en estudio del río Mantaro, en el barrio Mantaro del distrito de Huayucachi.

#### **4.2.2. Obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo**

La prueba de hipótesis corresponde a determinar la relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro. Para el cual se comprobó la hipótesis por medio de la correlación de Pearson para medir la dependencia lineal entre las dos variables cuantitativas mencionadas.

H<sub>0</sub>: la relación entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro es directa.

H<sub>1</sub>: la relación entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro no es directa.

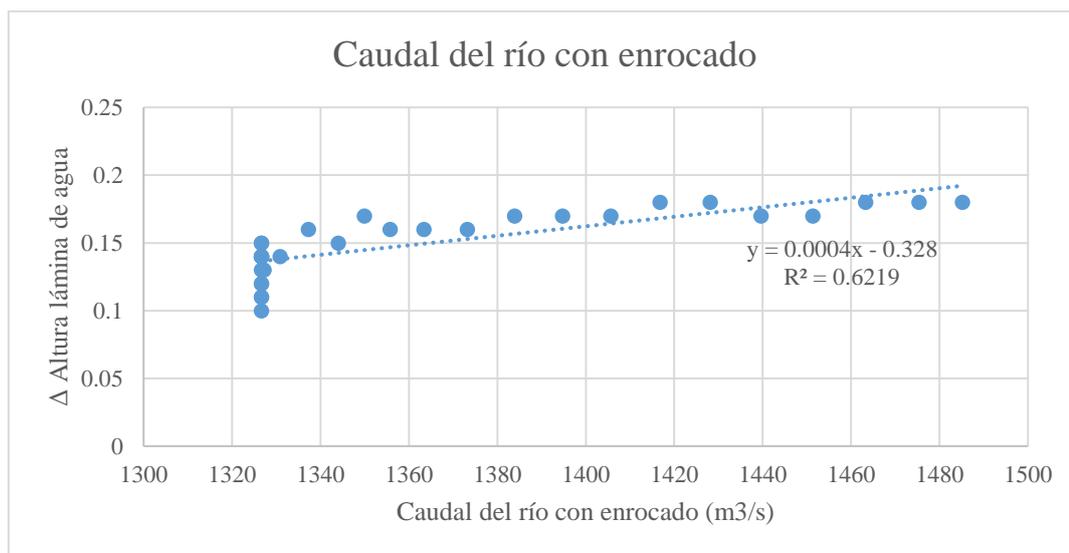
Entonces, se determinó la relación entre los indicadores de nivel de agua y caudal del río Mantaro con enrocado. La tabla muestra la variación de la altura de lámina de agua y el caudal de diseño del río obtenido de la optimización de datos en el programa HEC RAS con la obra de protección con enrocado.

**Tabla 26. Variación del nivel de agua y caudal del río con enrocado**

Progresiva	Caudal del río con dique	$\Delta$ Altura lámina de agua
0+300	1485.2	0.18
0+290	1475.38	0.18
0+280	1463.26	0.18
0+270	1451.32	0.17
0+260	1439.59	0.17
0+250	1428.09	0.18
0+240	1416.8	0.18
0+230	1405.67	0.17
0+220	1394.7	0.17
0+210	1383.89	0.17
0+200	1373.21	0.16
0+190	1363.36	0.16
0+180	1355.72	0.16
0+170	1349.93	0.17
0+160	1344.01	0.15
0+150	1337.22	0.16
0+140	1330.83	0.14
0+130	1327.17	0.13
0+120	1326.63	0.11
0+110	1326.63	0.12
0+100	1326.63	0.15
0+090	1326.63	0.14
0+080	1326.63	0.14
0+070	1326.63	0.15
0+060	1326.63	0.14

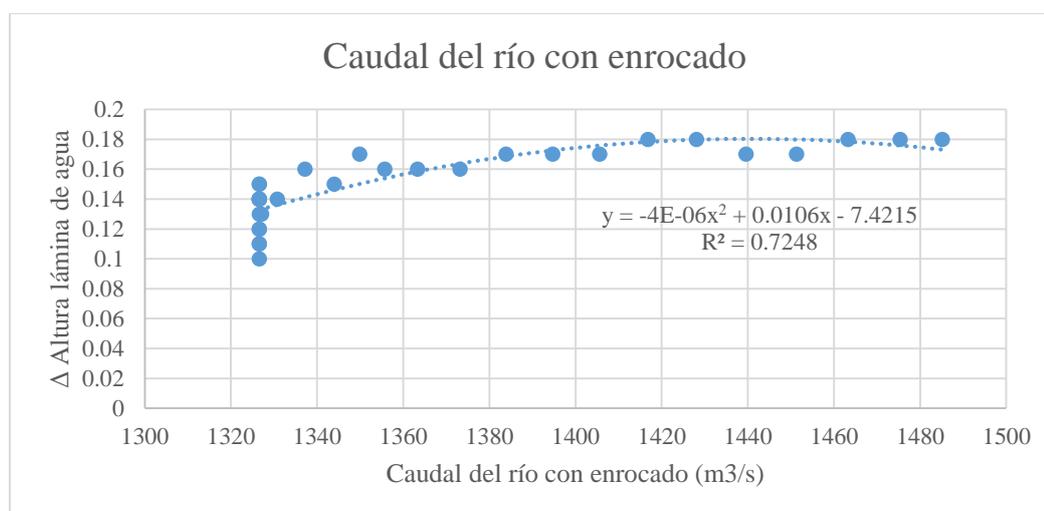
0+050	1326.63	0.14
0+040	1326.63	0.14
0+030	1326.63	0.13
0+020	1326.63	0.12
0+010	1326.63	0.11
0+000	1326.63	0.1

La figura muestra la representación gráfica de los resultados mostrados en la tabla 26, donde la línea de tendencia corresponde a una función lineal. Cabe resaltar que el caudal de 1485.20 m<sup>3</sup>/s corresponde a la progresiva 0+300 donde la elevación es más alta y el caudal de 1326.63 m<sup>3</sup>/s corresponde a la progresiva 0+000 que representa la elevación más baja del tramo, así mismo, se debe mencionar que el caudal del río disminuye aguas abajo con la colocación del enrocado.



**Figura 22. Correlación de Pearson – función lineal**

De la figura, se entiende que el 62.19 % de la variación de altura de lámina de agua está relacionada con el caudal del río Mantaro, a diferencia del 37.81 % que depende de otros factores. Entonces, como la función lineal presenta una baja correlación, se realizó la función polinómica de la cual se obtuvo una mayor correlación igual a 0.7248, como se muestra en la figura. De la cual se entiende que el 72.48 % de la variación de altura de lámina de agua está relacionada con el caudal del río Mantaro y el 27.52 % depende de otros factores.



**Figura 23. Correlación de Pearson – función polinómica**

El coeficiente de la correlación de Pearson se obtiene de realizar la estadística de regresión en el programa Ms Excel, a continuación, los resultados de la estadística de regresión y análisis de varianza.

**Tabla 27. Estadística de regresión río Mantaro con enrocado**

<b>Estadísticas de la regresión</b>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.789
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.622
R <sup>2</sup> ajustado	0.609
Error típico	0.015
Observaciones	31.000

**Tabla 28. Análisis de varianza río Mantaro con enrocado**

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Valor crítico de F</b>
Regresión	1	0.0101	0.0101	47.703	1.3708E-07
Residuos	29	0.0061	0.0002		
Total	30	0.0162			

De la tabla de resultados de estadísticas de regresión, se tiene que el coeficiente de correlación múltiple fue igual a 0.789 que corresponde a una correlación positiva (directa) alta entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación. De acuerdo con los resultados del análisis de varianza se considera el valor crítico de F para la prueba de hipótesis; el valor crítico de F fue igual a 0.00000014 y este es menor a 0.05,

que señala aceptar la hipótesis nula de que la relación entre la obra de protección con enrocado y el control de inundación del río Mantaro es directa. Del cual se entiende que la obra de protección con enrocado permite controlar y evitar en cierta medida la inundación en el tramo de los 300 m en estudio del río Mantaro, en el barrio Mantaro del distrito de Huayucachi.

#### **4.3. Discusión de resultados**

Antes de iniciar con la discusión de los resultados obtenidos, se debe mencionar los datos obtenidos del caudal del río Mantaro en el tramo de estudio. En primer lugar se obtuvo el caudal actual (2020) del río Mantaro el cual fue 619.78 m<sup>3</sup>/s.

Posteriormente, se estimó el caudal del río Mantaro por medio de distribuciones probabilísticas que recomienda el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC, las cuales se muestran en la tabla 6. Tras obtener el caudal estimado por las distribuciones probabilísticas se procedió a realizar la prueba de normalidad con el estadístico Shapiro Wilk, de la cual se obtuvo que la distribución normal presentó mayor significancia frente a las otras distribuciones tal como se muestra en la tabla 7.

Posteriormente, se calculó el caudal del río Mantaro en el tramo del barrio Mantaro, obteniéndose como promedio el caudal de 730.73 m<sup>3</sup>/s y como el caudal del río en el puente Stuart fue 619.78 m<sup>3</sup>/s se pudo calcular la variación de 1.179, del cual se reconoce que el caudal en el tramo del barrio Mantaro es 1.179 veces mayor al caudal en el puente Stuart. Por lo que es posible decir que el caudal en el tramo de estudio contiene el aporte de los afluentes del río Yacus, Apata, Cunas y Shullcas. Así mismo, se consideró el valor de 1.179 para poder obtener los caudales de diseño para los periodos de retorno de 10, 20, 40, 50, 100, 140 y 500 años, que se muestran en la tabla 10.

Es así como se consideró el caudal de diseño de 1485.20 m<sup>3</sup>/s correspondiente al periodo de retorno de 140 años con el cual se diseñaron las obras de protección ribereña.

Así mismo, se debe mencionar que tras la obtención de los caudales de diseño se procedió a simular las secciones del tramo de estudio en el programa HEC RAS. En las figuras 9 a 11 se muestra la vista en perspectiva del tramo del río Mantaro en estudio correspondiente a los periodos de retorno de 0, 40 y 140 años, donde se puede apreciar el incremento del nivel de agua en el tramo.

Antes de iniciar con el diseño de las obras de protección ribereña, se calculó la profundidad de socavación para un periodo de retorno de 500 años cuyo caudal estimado fue 1617.02 m<sup>3</sup>/s, del cual se obtuvo una profundidad de socavación de 0.40 m que se consideró para el diseño del dique de tierra, a diferencia del enrocado en el que se consideró una profundidad de socavación de 1.00 m para garantizar la colocación de las rocas en la margen izquierda en el tramo del río Mantaro.

#### **4.3.1. Obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo**

La tabla 18 muestra los resultados del perfil de salida del río Mantaro para el periodo de retorno de 140 años obtenido de la simulación en el programa HEC RAS para el tramo de 300 m dentro del barrio Mantaro del distrito de Huayucachi. En la tabla, se pueden apreciar indicadores como caudal, cota de fondo, altura de lámina de agua, cota del calado crítico, altura de energía, pendiente de línea de energía, velocidad, área mojada, espejo de agua, número de Froude y tirante medio, por progresiva dentro del tramo en estudio; donde el caudal de diseño se mantiene constante para todo el tramo de estudio. Por otro lado, la tabla 19 muestra los resultados del perfil de salida del río Mantaro con la obra de protección ribereña de dique para el periodo de retorno de 140 años; donde el resultado obtenido corresponde a la optimización de datos (obtener un mejor comportamiento del tramo del río con la obra de protección ribereña) debido a la inclusión o colocación del

dique en todo el tramo de los 300 m del río Mantaro, y los valores obtenidos son diferentes y menores que la tabla 18; donde el caudal de diseño con el dique disminuyó de 1485.20 m<sup>3</sup>/s a 1458.11 m<sup>3</sup>/s desde la progresiva 0+300 con mayor elevación a la progresiva 0+000 con menor elevación. Es así como, se presentó la tabla 20 con la variación o diferencia entre los resultados obtenidos de la tabla 18 y 19, donde se observa claramente la disminución de valores en los indicadores de altura de lámina de agua, altura de energía, pendiente de línea de energía, velocidad que disminuyó valores entre 0.01 m/s y 0.03 m/s en todo el tramo de los 300 m de estudio, área mojada, espejo de agua, número de Froude y tirante medio que se redujo entre 0.01 m y 0.02 m de altura. Del cual se puede deducir que con la obra de protección del dique se reduce la probabilidad de inundación en las zonas cercanas como los terrenos de cultivos encontrados en la margen izquierda del río Mantaro.

Así mismo, se debe reconocer que las dimensiones de la obra de protección propuesta en el diseño, corresponde al periodo de retorno de 140 años. Por lo cual el dique presentó un ancho de base de 19.90 m, altura de 5.30 m y ancho de base de corona de 4.00 m que permite el acceso de un vehículo tipo volquete y compactador para la colocación del material del dique que es una arcilla media, además de colocar un filtro en el interior de material granular para el control de agua que infiltra; y se propone su colocación fuera del cauce del río, paralelo al tramo en estudio y adyacente a la margen izquierda del río, es decir desde la cota de fondo del río que corresponde a la elevación de 3161.70 m s. n. m. para uniformizar en todo el tramo de los 300 m del río Mantaro.

La prueba de hipótesis se realizó con la correlación de Pearson, que mide la relación lineal entre variables cuantitativas, de las cuales se trabajó con los indicadores de nivel de agua y caudal de diseño del río obtenido después de la optimización de datos debido a la inclusión de la obra de protección ribereña de dique. En primer lugar, se determinó la relación entre los indicadores mencionados,

a través de la gráfica de dispersión del cual se obtuvo la línea de tendencia correspondiente a la función lineal. Donde se obtuvo que el 22.02 % de la variación de lámina de agua depende del caudal del río Mantaro, a diferencia del 77.98 % que depende de otros factores; por lo que debido a la baja correlación se realizó la función polinómica de la cual se obtuvo que el 25.51 % de la variación de altura de lámina de agua depende del caudal del río Mantaro y el 74.49 % depende de otros factores. Después de determinar la relación entre los indicadores, se realizó el análisis estadístico en el programa Ms-Excel; del cual obtuvo la estadística de regresión donde el coeficiente de correlación múltiple de Pearson fue de 0.469 que indica una correlación positiva (directa) moderada entre las variables de obra de protección ribereña con dique y control de inundación, de la cual se afirma que la relación entre las variables es directa. Finalmente, se obtuvo el análisis de varianza, del cual se consideró el valor crítico de F para verificar la hipótesis planteada de que existe relación positiva; donde el valor crítico de F fue 0.008 menor a 0.05 que señala aceptar la hipótesis nula de que existe correlación directa entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación en el río Mantaro. De acuerdo con lo mencionado, se entiende que la obra de protección ribereña con dique garantiza el control de inundación del río.

El párrafo anterior tiene respaldo en el antecedente nacional de García (27), donde las obras de protección diseñadas fueron espigones y diques fuera del cauce adyacentes a la ribera derecha del río Balsayacu para solucionar el problema de inundación. El dique diseñado tuvo un ancho de base de 9.40 m, ancho de corona de 4.00 m y altura de 1.80 m debido a que el caudal de diseño fue de 175.70 m<sup>3</sup>/s para el periodo de retorno de 70 años; además de que el dique diseñado comprende dos tramos, el primero de 580.00 m y el segundo tramo de 266.00 m haciendo un total de 846.00 m, que protegen de la inundación a la zona urbana y ribereña del centro poblado de Balsayacu. El diseño del dique en la investigación también consideró un ancho de corona de 4.00 m para permitir el paso de un volquete y

compactador, cuya altura fue 5.30 m, y por el caudal de diseño fue 1485.20 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 140 años.

También se tiene el aporte del antecedente internacional de Villaquirán (23), donde menciona que el riesgo por inundación se debe a las condiciones antrópicas o actividad humana (contaminación e invasión de las zonas de protección del río) y lluvias torrenciales que causan el deslizamiento de tierra de las laderas del río y obstruyen el paso normal del río Molino. El respaldo de la investigación está en que, tanto las condiciones antrópicas como las lluvias torrenciales afectan el cauce natural de los ríos, razón por la cual ocurre el riesgo por inundación de las zonas adyacentes al cauce de los ríos.

#### **4.3.2. Obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo**

En la tabla 18 se muestran los resultados del perfil de salida del río Mantaro para el periodo de retorno de 140 años y sin obra de protección, que se obtuvieron de la simulación en el programa HEC RAS para el tramo de los 300 m del río Mantaro en el barrio Mantaro del distrito de Huayucachi. La tabla permite apreciar los indicadores como caudal, cota de fondo, altura de lámina de agua, cota del calado crítico, altura de energía, pendiente de línea de energía, velocidad, área mojada, espejo de agua, número de Froude y tirante medio, por progresiva dentro del tramo de estudio del río; en la cual el caudal de diseño fue 1485.20 m<sup>3</sup>/s correspondiente al periodo de retorno de 140 años se mantuvo constante en todas las progresivas del tramo de estudio. Así también, la tabla 21 muestra los resultados del perfil de salida del río Mantaro con la obra de protección ribereña de enrocado para el periodo de retorno de 140 años, donde el resultado corresponde a la optimización de datos debido a la colocación del enrocado en el tramo de los 300 m dentro del programa HEC RAS, además se observa que los valores obtenidos son menores que la tabla 18, además de observar que el caudal de diseño disminuyó de 1485.20 m<sup>3</sup>/s a 1326.63 m<sup>3</sup>/s. Entonces se muestra

la tabla 22 con la variación o diferencia de entre los resultados obtenidos de la tabla 18 y 21, donde se observa claramente la disminución de valores en los indicadores antes mencionados, siendo un ejemplo claro de ello la disminución del tirante de agua de valores entre 0.01 m y 0.12 m, así mismo la velocidad disminuyó valores entre 0.00 m/s y 0.14 m/s. Del que se puede interpretar que con la obra de protección ribereña de enrocado se reduce la probabilidad de inundación en las zonas adyacentes al río Mantaro, que según la visita a campo son terrenos de cultivo en la margen izquierda del río donde se propone emplazar las obras de protección ribereña diseñadas.

Las dimensiones de la obra de protección con enrocado propuesto en el diseño, corresponde al periodo de retorno de 140 años. Por lo cual el enrocado presentó un ancho de base de 4.00 m, altura total de 4.50 m, profundidad de socavación de 1.00 m que funcionará como cimentación de la estructura del enrocado, con rocas de diámetro de 0.35 m que componen el recubrimiento del enrocado cuyo espesor se consideró 1.05 m que corresponde a 3 capas de rocas; por lo que se propone su colocación fuera del cauce del río, paralelo al tramo en estudio y adyacente a la margen izquierda del río Mantaro, es decir desde la cota de fondo del río que corresponde a la elevación de 3161.70 m s. n. m. para uniformizar la colocación del enrocado en todo el tramo de los 300 m del río Mantaro.

La prueba de hipótesis se realizó con la correlación de Pearson, que mide la relación lineal entre variables cuantitativas, de las cuales se trabajó con los indicadores de nivel de agua y caudal de diseño del río obtenido después de la optimización de datos debido a la colocación de la obra de protección ribereña de dique. Primero, se determinó la relación entre los indicadores mencionados, a través de la gráfica de dispersión del cual se obtuvo la línea de tendencia correspondiente a la función lineal. Donde se obtuvo que el 62.19 % de la variación de altura de lámina de agua depende del caudal del río Mantaro, a diferencia del 37.81 % que depende de otros factores; por lo que debido a la baja correlación se realizó la función

polinómica de la cual se obtuvo que el 72.48 % de la variación de altura de lámina de agua depende del caudal del río Mantaro y el 27.52 % depende de otros factores. Después de determinar la relación entre los indicadores, se realizó el análisis estadístico en el programa Ms-Excel; del cual obtuvo la estadística de regresión donde el coeficiente de correlación múltiple de Pearson fue de 0.789 que indica una correlación positiva (directa) alta entre las variables de obra de protección ribereña con enrocado y control de inundación, de la cual se afirma que la relación entre las variables es directa. Finalmente, se obtuvo el análisis de varianza, del cual se consideró el valor crítico de F para la verificar la hipótesis planteada de que existe relación directa o positiva; donde el valor crítico de F fue 0.00000014 menor a 0.05 que señala aceptar la hipótesis nula de que existe correlación directa entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación en el río Mantaro. De acuerdo con lo mencionado, se entiende que la obra de protección ribereña con enrocado permite el control y evita en cierta medida la inundación en la margen izquierda del tramo de 300 m del río, ya que la colocación del enrocado permitió disminuir el tirante y velocidad del agua en el río, permitiendo así también proteger los terrenos de cultivos del barrio Mantaro, distrito de Huayucachi, que se encuentran cerca del río Mantaro.

Asimismo, lo mencionado en el párrafo anterior se sustenta en los antecedentes nacionales de Maldonado (26), quien diseñó la presa de enrocamiento para proteger los relaves La Esperanza adyacentes al río Tulumayo en el distrito de Vitoc de la provincia de Chanchamayo. Determinando los parámetros hidráulicos del río y utilizando el programa HEC RAS para el modelado del canal, seguido de la ubicación del enrocamiento para el diseño estructural. El enrocado diseñado presentó una profundidad de socavación de 2.40 m, altura de 5.50 m, 6.00 m y 6.50 m en tres tramos, diámetro de medio de roca de 0.60 m y espesor mínimo de enrocado de 0.90 m, cumpliendo con la estabilidad al deslizamiento; diseño que protege la relavera La Esperanza y previene el desbordamiento del río Tulumayo. La investigación se respalda en este antecedente, ya que el

diseño del enrocado es estable y previene el desbordamiento del río Tulumayo; por lo que el diseño del enrocado se realizó considerando este antecedente y el resultado del diseño también fue estable, de tal modo que la altura del enrocado en el río Mantaro fue de 4.50 m garantizando el control de inundación y cuyo espesor de enrocado fue 1.05 m equivalente a tres capas del diámetro de la roca calculada, cumpliendo con la estabilidad del enrocado.

Así mismo, se tiene el respaldo del antecedente internacional de López (22) para el cual la autora utilizó datos topográficos y características del caudal del río Chinautla del que obtuvo los resultados hidráulicos como el nivel de crecida del río con el que diseñó la geometría de los bordos u obras de protección para luego incluirlos en la simulación del programa HEC RAS, cabe resaltar que los bordos corresponden a un tipo de obra de protección de enrocado con una longitud de 170 m, altura de 2.60 m y espesor de roca de 0.75 m que evita la inundación del área estudiada del río Chinautla debido a su colocación en ambas márgenes del río. Este antecedente sirvió de respaldo en el uso del programa HEC RAS para una simulación inicial del caudal de diseño del río Mantaro para los periodos de retorno de 0, 40 y 140 años; observándose el incremento del nivel de agua o altura de lámina de agua para cada periodo de retorno simulado; como también para una simulación con la inclusión de la obra de protección ribereña de enrocado y dique en la margen izquierda del cual se tuvo un comportamiento diferente del río, ya que los indicadores o parámetros obtenidos de las tablas de salida de perfil para ambos casos (tramo de 300 m del río Mantaro con obra de protección ribereña de enrocado y dique) fueron menores a diferencia de los resultados obtenidos de la simulación inicial. Del cual se puede decir que las obras de protección ribereña tienen un impacto positivo en el tramo de los 300 m del río Mantaro, ya que el caudal se reduce ligeramente al igual que los otros parámetros; razón por la cual es válido mencionar que las obras de protección ribereña permiten el control de inundación del río Mantaro.

Según el análisis de costos realizado, se obtuvo que la colocación del dique tiene un costo de S/ 3 873 727.85 y la colocación del enrocado tiene un costo de S/ 735 784.73. Siendo el enrocado la obra longitudinal más conveniente de colocar por el costo bajo de inversión. El análisis de costos para el dique y enrocado, se adjunta en el anexo 8 y 9 respectivamente.

## CONCLUSIONES

- La relación entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación es directa debido a que el comportamiento del río Mantaro fue más moderado en el tramo de 300 m donde se colocó la obra de protección ribereña del dique. Lo cual se pudo demostrar con la disminución del tirante de agua en promedio del 0.53 % con la colocación del dique en el margen izquierdo del río.
- La relación entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación es directa, porque el comportamiento del río Mantaro también fue más moderado en el tramo donde se colocó el enrocado, ya que la altura de lámina de agua disminuyó al igual que los otros parámetros de medición del comportamiento del río. Siendo el porcentaje promedio de disminución el 1.42 % respecto al tirante del río sin obra de protección.
- La relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundación en el río Mantaro es directa, ya que las obras de protección ribereña diseñadas tuvieron impacto en el comportamiento del tramo de 300 m del río Mantaro, logrando reducir los valores de los indicadores o parámetros de medición del comportamiento hidráulico del río. Por lo que se puede decir que las obras de protección ribereña permiten el control de inundación del río Mantaro, evitando así el desprendimiento de material de ladera del cauce del río y las pérdidas materiales en los terrenos de cultivo adyacentes al margen izquierdo del río Mantaro.

## RECOMENDACIONES

- La recomendación para la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación es referente al diseño del dique, para el cual se sugiere considerar el peso específico propio y ángulo de fricción del material como la arcilla media, como puede ser el estudio de una arcilla media de una cantera cercana a la zona de estudio, para tener un cálculo de diseño y estabilidad más cercano a la realidad y que pueda brindar estabilidad a la obra de protección ribereña.
- Para la obra de protección ribereña con enrocado y control de inundación, se recomienda conservar el talud interno del enrocado para una adecuada colocación de las rocas con el diámetro obtenido en el diseño, que también se puede lograr con la colocación de un geotextil para evitar el desprendimiento de las rocas y así permitir un buen funcionamiento del enrocado. Referente a la simulación de las obras de protección ribereña en el programa HEC RAS, se recomienda considerar la altura de dichas obras para facilitar la obtención de resultados de salida lo más cercanos a la realidad.
- La recomendación general para las obras de protección ribereña y el control de inundaciones en el río Mantaro es referente a la recopilación y uso de información histórica de registros de caudales cercanos a la zona de estudio con la finalidad de acercarse a la información de la realidad. Por otro lado, se recomienda el mantenimiento de las obras de protección propuestas en épocas de estiaje como la descolmatación de sedimentos, entre otros. Así mismo, se recomienda realizar estudios futuros con la colocación de obras de protección ribereña en ambos márgenes del cauce de un río, ya que en la investigación el tirante del río disminuyó y con obras en ambos márgenes de un río el comportamiento del río sería diferente o mejor.

## **LISTA DE REFERENCIAS**

1. **CENEPRED.** *Escenarios de riesgo ante la probabilidad de ocurrencia del fenómeno El Niño.* Lima, Perú : CENEPRED: Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres, 2012.
2. **GRADE: Grupo de análisis para el desarrollo.** GRADE: Grupo de análisis para el desarrollo. *GRADE: Grupo de análisis para el desarrollo.* [En línea] 20 de Junio de 2014. <http://www.grade.org.pe/areas-de-investigacion/urbanizacion-y-ciudades-sostenibles/>.
3. **TRUJILLO, H y VELÁSQUEZ, J.** *Estudio de hidraulica fluvial y simulación del comportamiento, en avenidas máximas del río Jequetepeque tramo Infiernillo-Pellejito de 19km de longitud, Provincia de Pacasmayo, Departamento de La Libertad.* Trujillo, La Libertad : Universidad Privada Antenor Orrego, 2015.
4. **CIDBINEMA.** Capítulo II: Los efectos físicos y las amenazas asociadas a las variaciones climáticas. *Capítulo II: Los efectos físicos y las amenazas asociadas a las variaciones climáticas.* 2005.
5. **SENAMHI.** *Caracterización espacio temporal de la sequía en los departamentos altoandinos del Perú.* Lima, Perú : SENAMHI, 2019.
6. **SOTO, D.** *Informe Nacional del Perú.* Lima, Perú : Autoridad Nacional del Agua, 2013.
7. **ANA: Autoridad Nacional del Agua.** *ANA identifica zonas vulnerables ante el fenómeno El Niño en la cuenca del Mantaro.* Huancayo, Perú : ANA - Autoridad Nacional del Agua, 2015.
8. **JICA: Agencia de Cooperación Internacional del Japón.** *Estudio sobre los daños de inundaciones y de deslizamientos y sobre las necesidades de reconstrucción.* Lima, Perú : JICA:Agencia de Cooperación Internacional del Japón, 2017.
9. **INEI.** *Junín - Resultados definitivos.* Lima, Perú : INEI, 2018.
10. **TABORI, A.** *Construcción de defensas ribereñas del río Supe ante posibles desastres naturales.* Huacho, Lima : Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión , 2019.
11. **CESEL Ingenieros.** *Estudio de Impacto Ambiental y Social del Proyecto "Línea de Transmisión en 220 kV Central Hidroeléctrica Curibamba - Subestación Oroya Nueva".* La Oroya, Junín : CESEL Ingenieros, 2011.
12. **Gobierno Regional de Junín.** *Memoria descriptiva del estudio hidrobiológico del departamento de Junín a escala 1:100000.* Huancayo, Junín : Comisión Técnica Regional Junín - Zonificación Ecológica y Económica de la Región Junín, 2015.
13. **ANA - Autoridad Nacional del Agua.** Reporte N°078-2021 - Periodo de crecidas. *Estado situacional de los ríos y embalses del 13 de Abril de 2021.* Lima, Perú : Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego , 2021.
14. **Red Muqui.** Desborde del río Mantaro: Riesgos por metales tóxicos para población afectada. *Desborde del río Mantaro: Riesgos por metales tóxicos para población afectada.* [En línea] 14 de

Febrero de 2019. [Citado el: 06 de Abril de 2021.] <https://muqui.org/noticias/muqui-informa/desborde-de-rio-mantaro-riesgos-por-metales-toxicos-para-poblacion-afectada/>.

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

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

17. **TERÁN, E.** *Diseño y construcción de defensas ribereñas*. Lima, Perú : Escuela Superior de Administración de Aguas CHARLES SUTTON , 1998.

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

19. **Flood Resilience Portal.** Ficha técnica: Controladores para defensas ribereñas. *Ficha técnica: Controladores para defensas ribereñas*. [En línea] 2015. [Citado el: 27 de Marzo de 2021.] [http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/2101/1/1887642016229124337%20\(1\).pdf](http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/2101/1/1887642016229124337%20(1).pdf).

20. **ROBAYO, L.** *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.

21. **MIRANDA, J.** *Identificación y evaluación de la zona de riesgo de inundación en la cuenca baja Arroyo Xhosda, San Juan del Río, Querétaro*. Santiago de Querétaro, México : Universidad Autónoma de Querétaro , 2017.

22. **LÓPEZ, K.** *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.

23. **VILLAQUIRÁN, L.** *Identificación de las condiciones naturales y antrópicas, que generan riesgo por inundación en el río Molino en el Municipio de Popayán - Colombia*. Manizales, Colombia : Universidad de Manizales, 2017.

24. *Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac.*

**HERNÁNDEZ, R, BARRIOS, H y RAMÍREZ, A.** 3, Monterrey, México : Tecnología y Ciencias del Agua - Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, 2017, Vol. VIII. ISSN: 0187-8336.

25. **ALVARADO, C.** *Modelación de avenidas a paso diario (1964 - 2014), con enfoque semidistribuido usando GR4J, en la cuenca del río Camaná, Arequipa - Perú*. Lima, Perú : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2021.

26. **MALDONADO, G.** *Diseño de enrocados de protección de la relavera La Esperanza - Río Tulumayo*. Lima, Perú : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2016.

27. **GARCÍA, A.** *Diseño hidráulico y estructural de obras de protección frente a erosión e inundaciones del río Balsayacu en el Centro Poblado de Balsayacu, Distrito de Campilla, Provincia de Mariscal Cáceres - Región San Martín.* Tarapoto, Perú : Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, 2017.
28. *Estudio de máximas avenidas para la protección de zonas de posible inundación ubicada en el tramo La Oroya - 40 Km aguas abajo Cuenca del Río Mantaro.* **SARANGO, D, y otros.** 39, Lima, Perú : Universidad Mayor de San Marcos, 2017, Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG - UNMSM, Vol. 20, págs. 27 - 38.
29. **BARABOZA, J.** *Influencia de las defensas ribereñas en el nivel de vulnerabilidad de las viviendas aledañas al Río Chillón, Callao.* Lima, Perú : Universidad César Vallejo, 2018.
30. **OCHOA, T.** *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos.* Bogotá, Colombia : Ecoe, 2012.
31. **VILLÓN, M.** *Hidrología.* Cartago, Cost Rica : s.n., 2002.
32. **USGS .** El ciclo del agua. *El ciclo del agua.* [En línea] 7 de Octubre de 2019.  
[https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects).
33. **CAHUANA, A y YUGAR, W.** *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233.* Cochabamba, Bolivia : Universidad Mayor de San Simón, 2009.
34. **FATORELLI, S y FERNÁNDEZ, P.** *Diseño hidrológico.* Zaragoza, España : WASA - GN, 2011.  
ISBN:978-987-05-2738-2.
35. **SUÁREZ, J.** *Control de erosión en zonas tropicales.* Bucaramanga, Colombia : Instituto de Investigaciones sobre la Erosión y Deslizamientos - Ingeniería de suelos Ltda., 2001.
36. **TERÁN, R.** *Diseño y construcción de defensas ribereñas .* Lima, Perú : Escuela Superior de Administración de Aguas CHARLES SUTTON, 1998.
37. **CCONISLLA, J.** *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.
38. **MEF: Ministerio de Economía y Finanzas.** *Protección frente a inundaciones - Guía simplificada para PIP de servicios de protección frente a inundaciones.* Lima, Perú : MEF: Ministerio de Economía y Finanzas, 2013.
39. **GARCÍA, A.** *Diseño hidráulico y estructural de obras de protección frente a erosión e inundaciones del río Balsayacu, Distrito de Campanilla, Provincia de Mariscal Cáceres - Región San Martín.* Tarapoto, Perú : Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, 2018.
40. **HUARCAYA SEGOVIA, J. M.** *Diseño de defensa ribereña de las márgenes del río Pativilca a la altura del puente Simón Bolívar en la panamericana norte.* 2005.

41. **QUISPE ALANYA, J. M.** *Diseño de defensa ribereña para la central Chimay - río Tulumayo*. Universidad Nacional de Ingeniería. 2005.
42. **FLORES APAZA, O. O.** *Propuesta y análisis de diseño de defensas ribereñas en el río llave zona rural, centro poblado de Santa Rosa de Huayllata - llave*. 2015.
43. **Gobierno Regional de Arequipa.** [En línea] 2015. [Citado el: 24 de Mayo de 2021.] <https://www.regionarequipa.gob.pe/Obras/ObrasDetalle/ObraMantenimiento/?TipoObra=U3329FDYYFST645M>.
44. **CHOW, V, MAIDMENT, D y MAYS, L.** *Hidrología aplicada*. Colombia : McGraw-Hill, 1994.
45. **AGUILAR, A.** *Diseño hidráulico y estructural de defensa ribereña del río Chicama Tramo Puente Punta Moreno - Pampas de Jaguey aplicando el programa River*. Trujillo, Perú : Universidad Privada Antenor de Orrego, 2014.
46. **ESCARCENA, F.** *Determinación de áreas inundables de la parte media de la microcuenca del río Zapatilla - Centro Poblado de Ancoamaya - llave*. Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2014.
47. **ROCHA, A.** *Hidráulica de canales y tuberías*. Lima, Perú : Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.
48. **PONCE, V.** 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](http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html).
49. **SÁNCHEZ, H y REYES, C.** *Metodología y diseños de la investigación científica*. Lima, Perú : Business Support Aneth, 2015. 978-612-46842-2-7.
50. **HERNÁNDEZ, R, FERNÁNDEZ, C y BAPTISTA, P.** *Metodología de la investigación*. México : McGraw-Hill, 2014. 978-1-4562-2396-0.
51. **RAMÍREZ, R.** *Proyecto de investigación. Cómo se hace una tesis*. Lima, Perú : Fondo Editorial AMADP. Lima, Perú, 2010. DERECHOS RESERVADOS.
52. **ORELLANA, E.** *Diseños de experimentos aplicados en ciencias forestales y ambientales*. Huancayo, Perú : Industria Gráfica MARSANTS, 2014. 978-612-00-1143-0.
53. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011.
54. **Geotecnia-sor.** Apuntes de geotecnia con énfasis en laderas . [En línea] 23 de Enero de 2012. <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2012/01/historia-de-la-geotecnia-precursores-de.html>.

55. **PARI, R.** *Evaluación geomecánica de la cantera Pumpunya y su influencia en el diseño de enrocados para el drenaje de aguas subterráneas en los accesos del puente comuneros Huancayo 2019*. Huancayo, Perú : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

56. **MAZA, J y FRANCO, V.** *Obras de protección para control de inundaciones*. México : UNAM, 1993.

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><b>Problema general:</b> ¿Qué relación existe entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro, en el tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi - Huancayo?</p> <p><b>Problemas específicos:</b> - ¿Qué relación existe entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi - Huancayo? - ¿Qué relación existe entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi - Huancayo?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar la relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundaciones del río Mantaro, tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> - Determinar la relación entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo. - Determinar la relación entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> La relación entre las obras de protección ribereña y el control de inundación del río Mantaro es directa, en el tramo barrio Mantaro, distrito de Huayucachi – Huancayo.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b> - La relación entre la obra de protección ribereña con dique y el control de inundación del río Mantaro es directa, distrito de Huayucachi – Huancayo. - La relación entre la obra de protección ribereña con enrocado y el control de inundación del río Mantaro es directa, distrito de Huayucachi – Huancayo.</p>	<p><b>Variable 1:</b> Obras de protección ribereña</p> <p><b>Variable 2:</b> Control de inundación</p> <p><b>Dimensiones:</b> - Dique - Enrocado</p> <p><b>Dimensiones:</b> Caudal del río</p>	<p><b>Método:</b> Científico <b>Tipo:</b> Aplicada <b>Nivel:</b> Correlacional. <b>Diseño:</b> No experimental.</p> <p><b>Población y muestra:</b> <b>Población:</b> Recorrido del río Mantaro dentro de la provincia de Huancayo, departamento de Junín. <b>Muestra:</b> No probabilística y por conveniencia, tramo de 500 m de trayecto del río Mantaro que pasa por el barrio Mantaro, que pertenece al distrito de Huayucachi, provincia de Huancayo, Junín.</p> <p><b>Técnicas e instrumentos:</b> Recolección de información histórica del caudal del río, levantamiento topográfico, etc.</p> <p><b>Técnicas de procesamiento de datos:</b> El procesamiento de datos se desarrollará empleando el programa HEC-RAS, River, MS-Excel 2013</p>

## Anexo 2

Registro de caudales 1975 – 2020, estación convencional hidrométrica del puente Stuart

N.º	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	1975	229.0	579.0	954.0	331.0	254.0	149.0	104.0	100.0	83.0	106.0	136.0	256.0
2	1976	703.0	913.0	822.0	376.0	144.0	142.0	110.0	103.0	160.0	93.0	86.0	93.0
3	1977	198.0	713.0	629.0	226.0	188.0	98.0	90.0	88.0	82.0	82.0	278.0	225.0
4	1978	612.0	829.0	417.0	227.0	123.0	89.0	89.0	85.0	90.0	107.0	211.0	283.0
5	1979	223.0	728.0	942.0	546.0	162.0	94.0	94.0	88.0	85.0	86.0	78.0	94.0
6	1980	271.0	305.0	464.0	375.0	90.0	82.0	85.0	81.0	81.0	191.0	126.0	188.0
7	1981	379.0	987.0	1274.0	366.0	134.0	110.0	111.0	110.0	117.0	152.0	235.0	801.0
8	1982	761.0	1212.0	522.0	376.0	171.0	115.0	116.0	103.0	96.0	170.0	394.0	300.0
9	1983	334.0	166.0	309.0	291.0	116.0	100.0	100.0	100.0	93.0	99.0	66.0	94.0
10	1984	351.0	1137.0	828.0	740.0	127.0	113.0	116.0	116.0	107.0	119.0	289.0	425.0
11	1985	271.9	489.0	411.0	491.6	194.6	162.5	137.4	120.4	160.7	123.1	124.7	299.3
12	1986	509.9	851.5	934.2	720.5	721.2	200.5	162.8	140.3	136.3	130.0	136.3	288.3
13	1987	837.3	602.2	375.1	175.5	134.0	117.1	109.6	102.2	90.7	93.4	118.8	189.9
14	1988	706.5	762.3	443.2	606.1	190.4	130.5	127.6	118.5	74.1	99.2	103.9	192.6
15	1989	473.8	569.5	772.1	497.4	193.5	144.7	125.6	119.4	116.6	135.3	197.2	110.1
16	1990	332.6	255.3	213.5	99.9	90.2	95.1	84.3	91.4	91.2	171.1	287.2	351.2
17	1991	319.0	196.5	566.7	224.5	225.0	105.1	102.4	99.4	114.5	105.8	103.5	106.0
18	1992	118.3	161.9	240.7	78.9	53.5	58.0	60.4	56.1	50.9	57.4	59.5	56.3
19	1993	282.8	729.7	508.8	255.3	241.4	93.5	90.1	82.0	83.1	110.4	341.9	455.0
20	1994	827.9	982.3	753.4	756.2	274.6	153.4	142.0	117.9	117.7	109.5	104.7	133.5
21	1995	208.7	326.8	656.0	305.6	94.6	92.0	95.2	101.0	77.8	75.2	143.3	203.1
22	1996	381.2	451.5	595.5	347.6	126.2	99.2	100.9	90.3	86.4	84.3	94.1	138.7
23	1997	336.8	620.6	435.5	107.1	77.7	72.7	74.0	79.6	93.6	96.9	152.3	386.0
24	1998	522.7	615.1	496.8	405.7	108.9	88.4	93.1	111.2	94.5	98.9	112.4	137.7
25	1999	242.2	818.8	648.9	482.8	223.8	96.2	102.5	104.8	107.0	127.8	111.8	206.3
26	2000	484.9	790.1	686.3	477.0	193.2	113.8	110.3	115.5	107.4	146.7	110.6	319.8
27	2001	622.4	535.5	737.0	475.0	164.0	114.6	105.2	104.6	104.0	120.3	162.8	227.6
28	2002	150.9	386.8	495.4	396.1	143.3	113.6	116.9	104.3	106.2	120.8	215.2	336.3
29	2003	296.3	504.6	812.8	531.9	176.6	135.7	106.6	108.9	117.4	109.4	113.7	207.0
30	2004	195.1	659.7	368.2	184.6	96.5	94.8	90.1	110.5	95.4	103.7	179.0	258.7
31	2005	334.4	282.5	274.5	347.0	144.0	98.9	95.1	92.8	88.3	103.5	136.2	193.4
32	2006	316.1	414.9	456.4	345.1	142.2	98.0	94.5	92.3	87.6	102.9	134.5	190.4
33	2007	310.9	402.8	447.6	343.1	140.3	97.2	93.9	91.8	86.9	102.3	132.9	187.5

34	2008	265.2	390.7	438.9	341.2	138.4	96.3	93.4	91.4	86.2	101.7	131.2	184.5
35	2009	262.9	378.7	430.1	339.2	136.6	95.5	92.8	90.0	85.5	101.0	129.6	181.5
36	2010	295.4	366.5	421.3	337.3	134.7	94.7	92.2	90.4	84.8	100.4	127.9	178.6
37	2011	290.2	354.5	412.5	335.3	132.8	93.8	91.6	90.0	84.1	99.8	126.3	175.6
38	2012	256.1	342.4	403.8	333.4	131.0	93.0	91.0	89.5	83.4	99.1	124.6	172.7
39	2013	280.0	330.3	395.0	331.4	129.1	92.1	90.5	89.0	82.7	98.5	123.0	169.7
40	2014	251.6	318.2	386.2	329.5	127.2	91.3	89.0	88.6	82.0	97.9	121.3	166.8
41	2015	269.6	306.1	377.4	327.5	125.4	90.5	89.3	88.1	81.3	97.3	119.7	163.8
42	2016	264.5	48.4	368.7	325.6	123.5	89.6	88.7	70.9	56.5	67.4	62.5	64.5
43	2017	230.1	283.0	323.0	285.9	124.1	122.2	78.3	59.8	72.7	80.2	71.8	63.7
44	2018	161.4	163.5	346.0	268.2	90.3	59.1	94.2	106.3	82.9	128.0	261.3	115.2
45	2019	322.5	367.1	344.5	222.2	88.7	74.2	66.9	68.7	67.7	80.0	90.1	243.5
46	2020	133.0	184.1	287.0	348.5	126.4	75.7	78.2	73.1	70.1	93.1	64.9	99.2

### Anexo 3

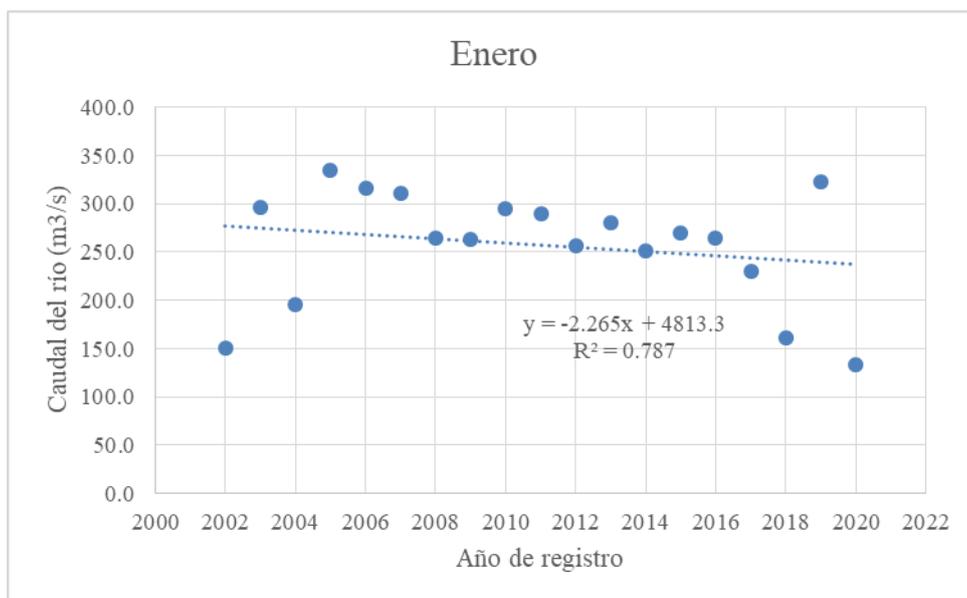
Regresión aritmética para el cálculo de valores faltantes en el registro histórico de caudales del Río Mantaro

#### 1. Ordenamiento de datos

Año	Enero
2002	<b>150.9</b>
2003	<b>296.3</b>
2004	<b>195.1</b>
2005	<b>334.4</b>
2006	<b>316.1</b>
2007	<b>310.9</b>
2008	
2009	
2010	<b>295.4</b>
2011	<b>290.2</b>
2012	
2013	<b>280.0</b>
2014	
2015	<b>269.6</b>
2016	<b>264.5</b>
2017	<b>230.1</b>
2018	<b>161.4</b>
2019	<b>322.5</b>
2020	<b>133.0</b>

#### 2. Creación de un gráfico de dispersión y obtención de la función:

Para la creación del gráfico de dispersión se emplearon los datos de la primera y tercera columna.



3. Introducción de la función para el cálculo de valores faltantes

$$y = -2.265x + 4813.3$$

y: Representa el valor que falta

x: Representa el número de registro

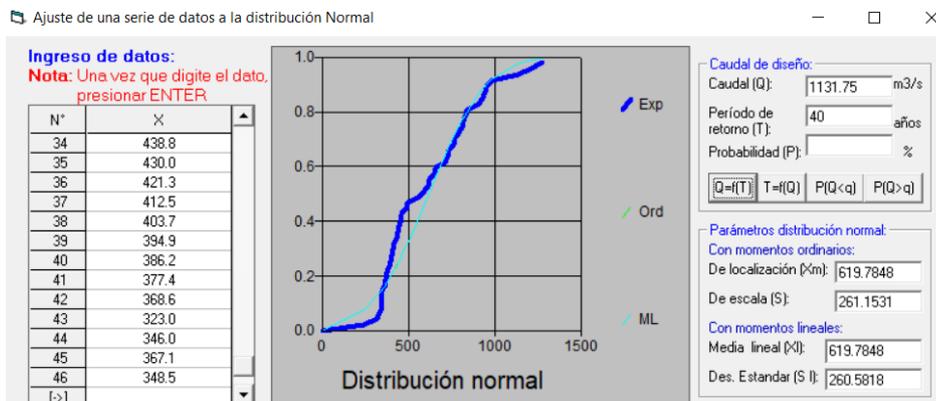
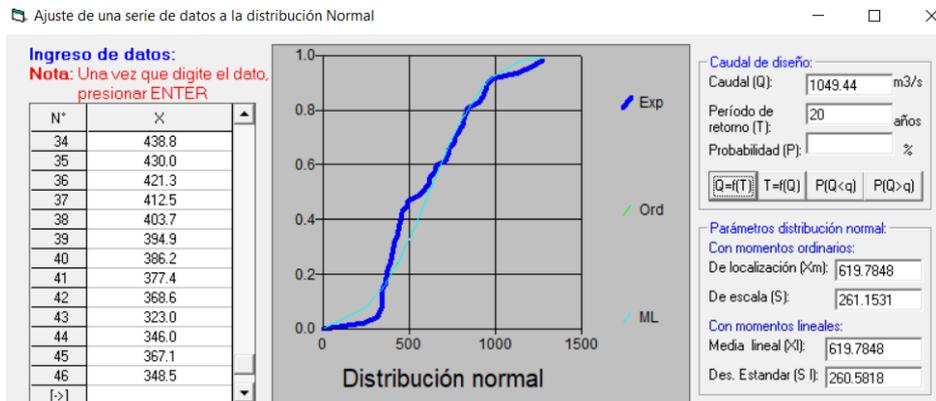
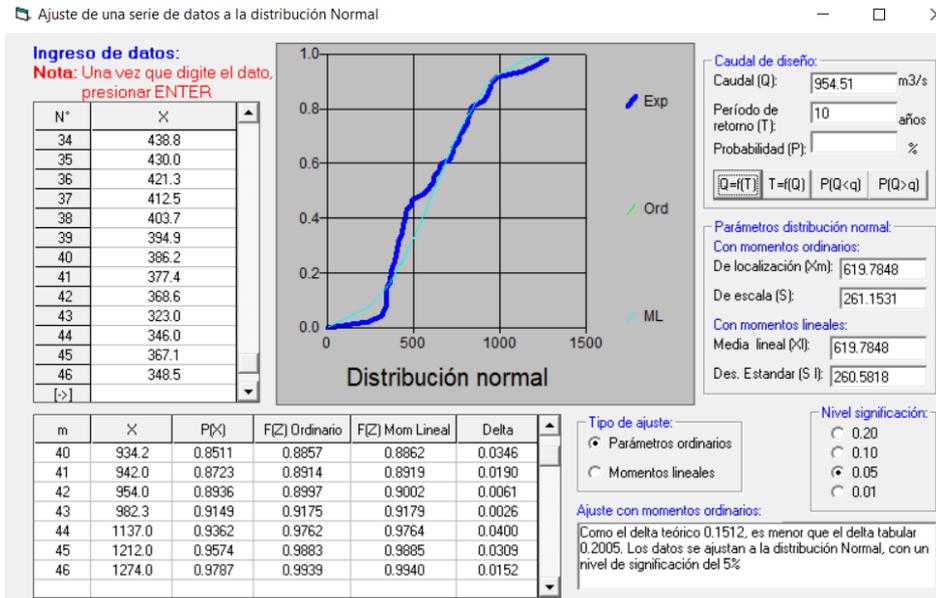
Entonces reemplazando los datos se obtienen los valores faltantes del registro histórico.

Año	Enero
2002	150.9
2003	296.3
2004	195.1
2005	334.4
2006	316.1
2007	310.9
2008	265.2
2009	262.9
2010	295.4
2011	290.2
2012	256.1
2013	280.0
2014	251.6
2015	269.6
2016	264.5
2017	230.1
2018	161.4
2019	322.5
2020	133.0

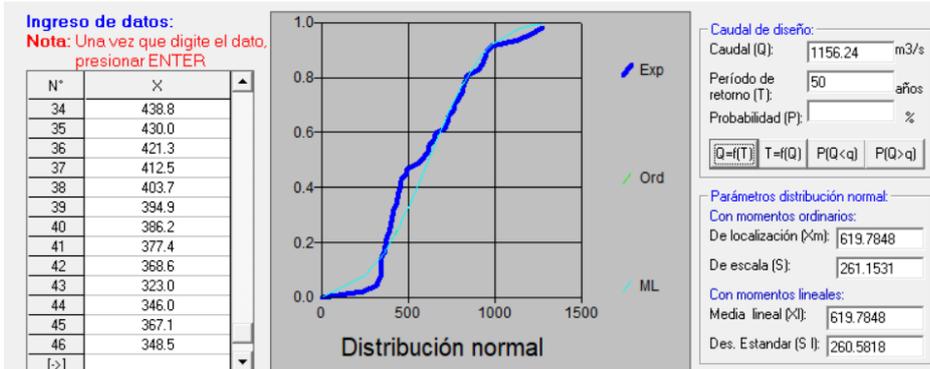
## Anexo 4

### Distribuciones probabilísticas

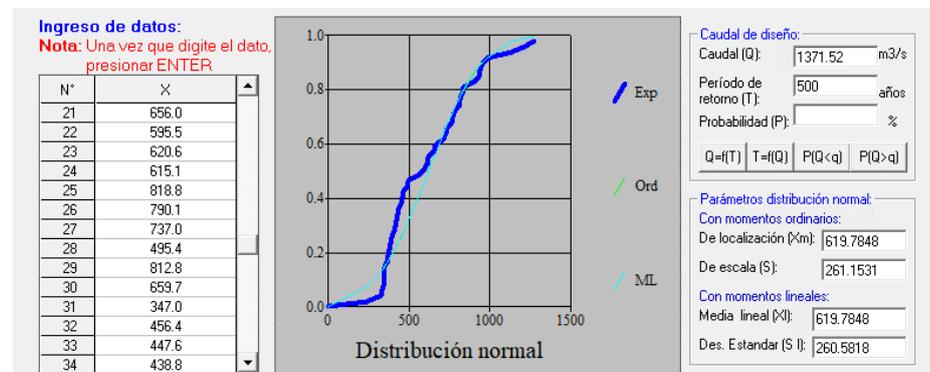
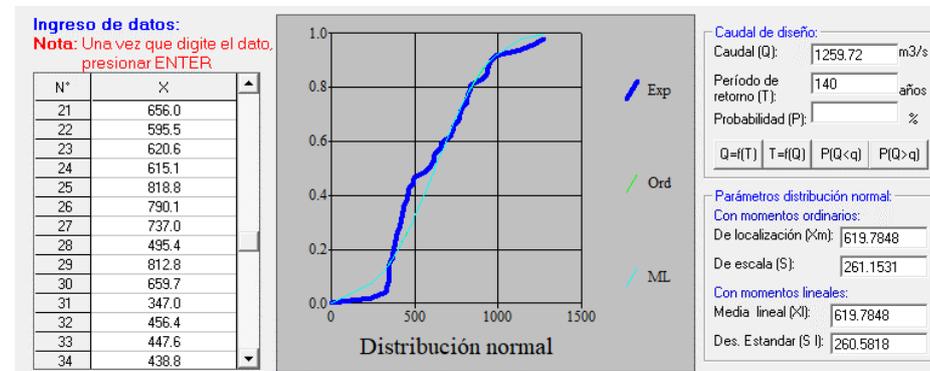
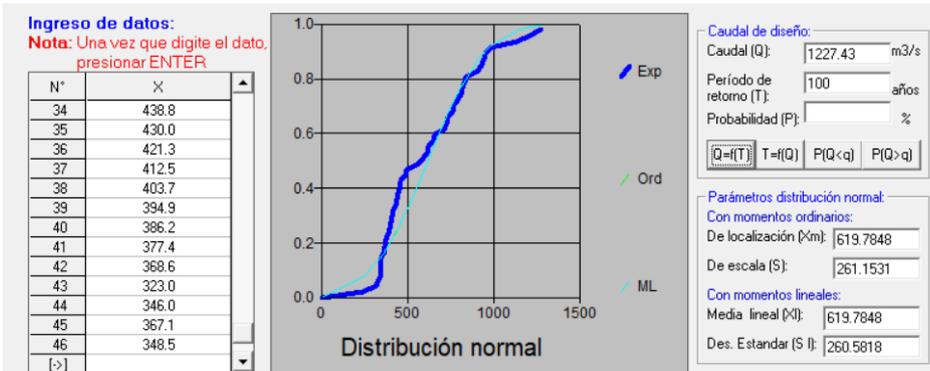
#### 1. Distribución normal



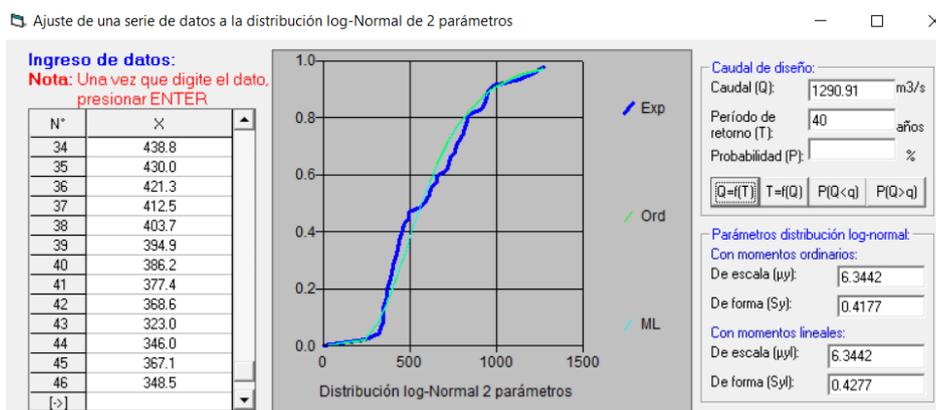
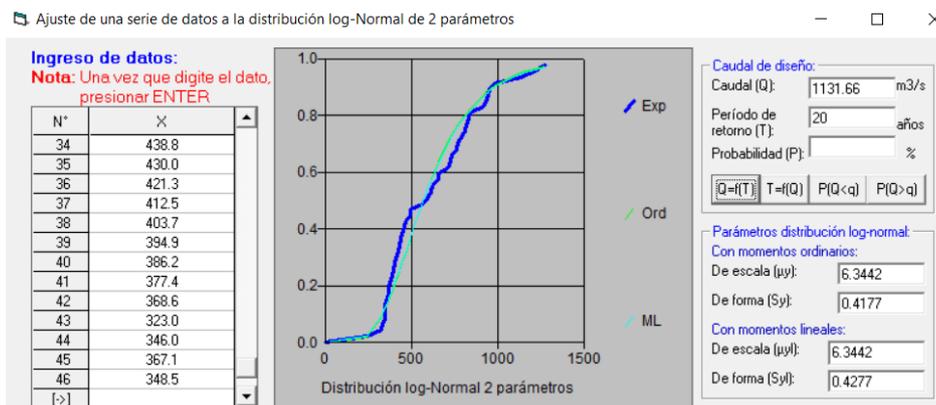
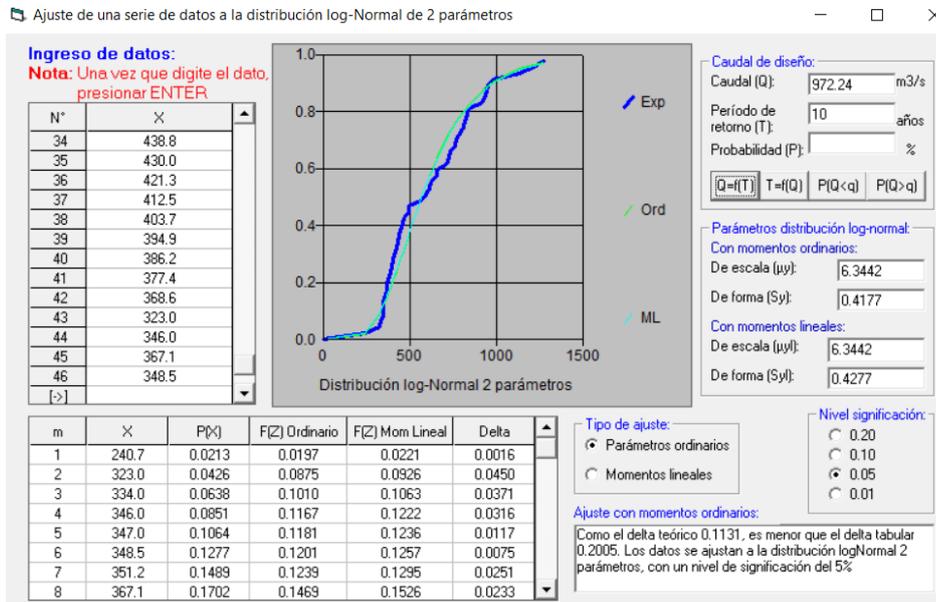
Ajuste de una serie de datos a la distribución Normal



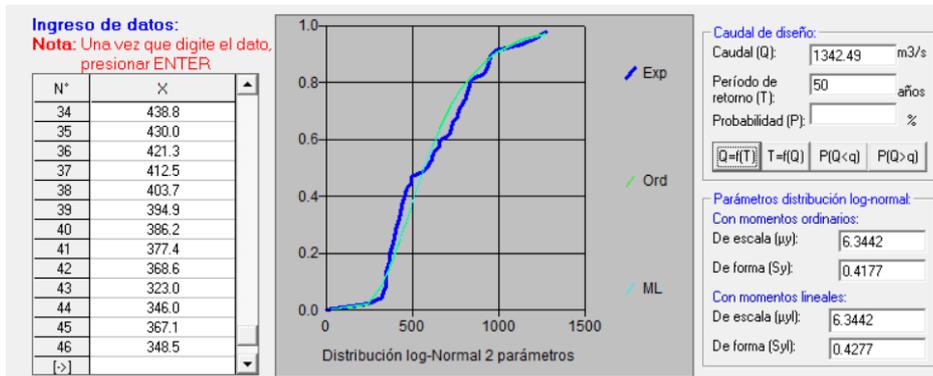
Ajuste de una serie de datos a la distribución Normal



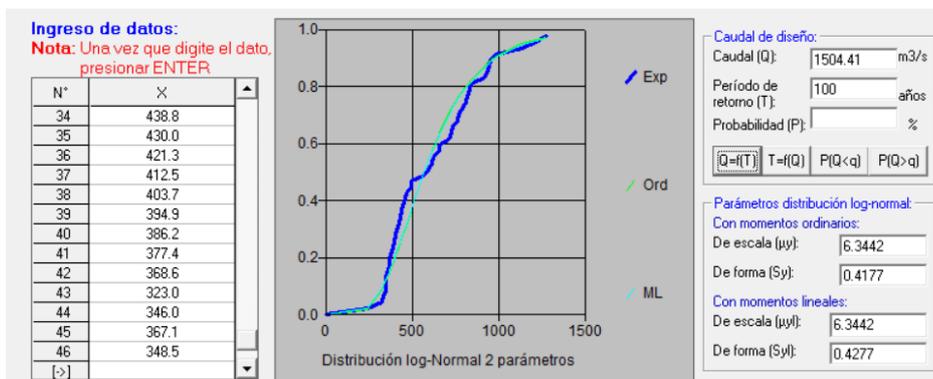
## 2. Distribución Log Normal 2 parámetros



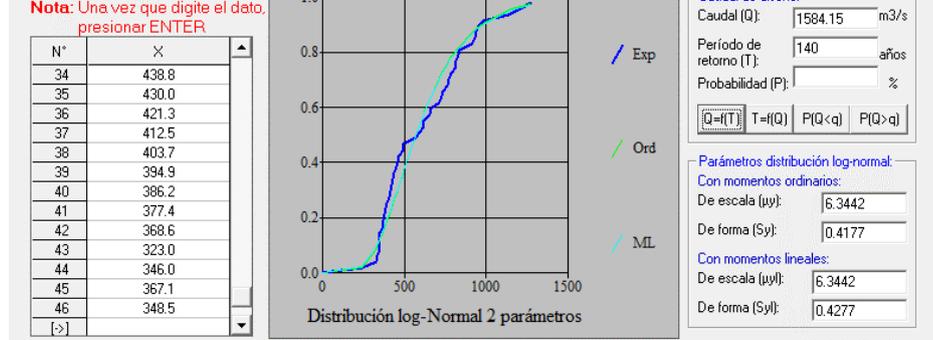
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 2 parámetros



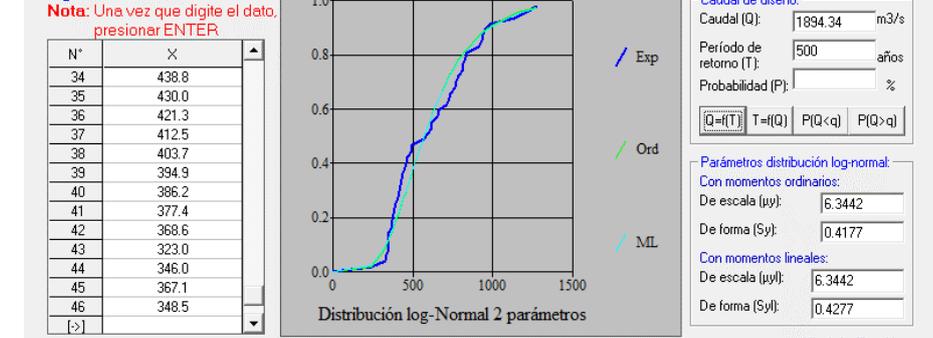
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 2 parámetros



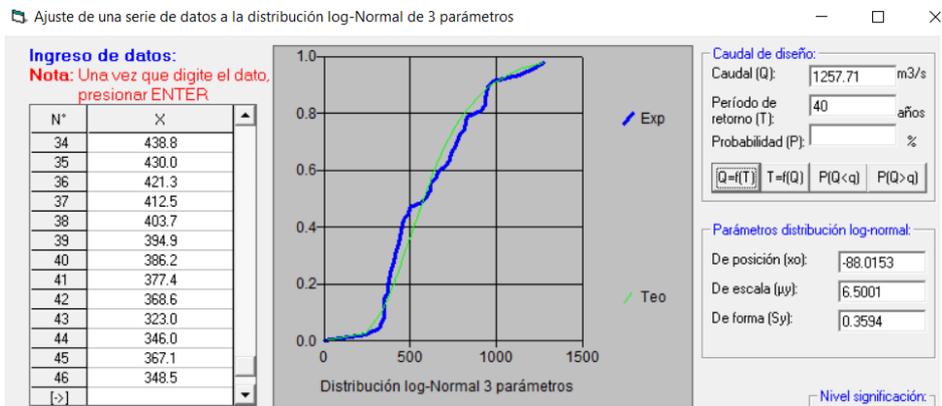
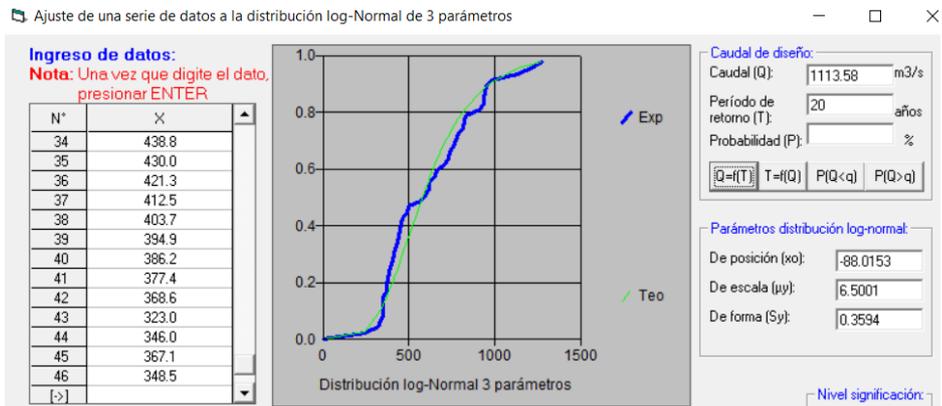
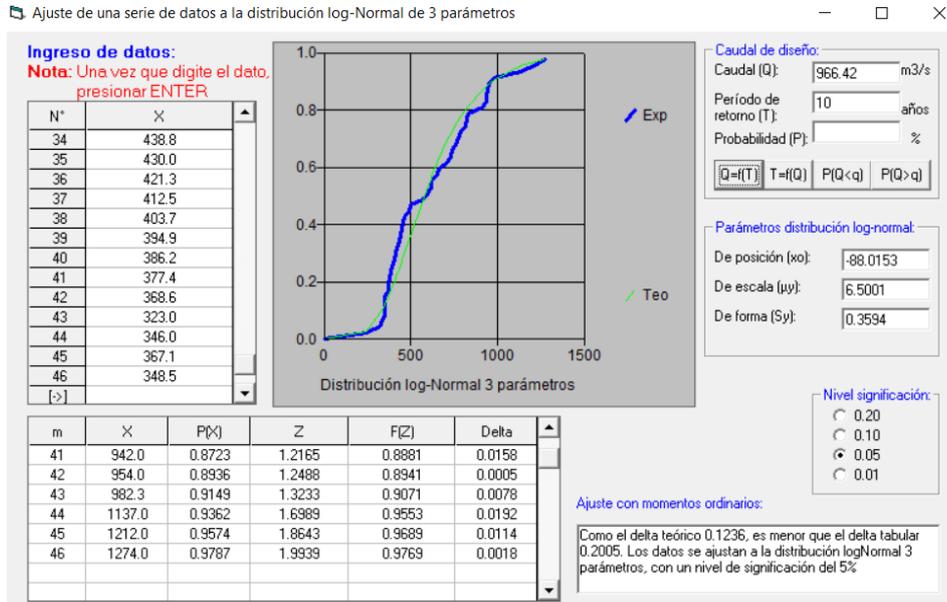
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 2 parámetros



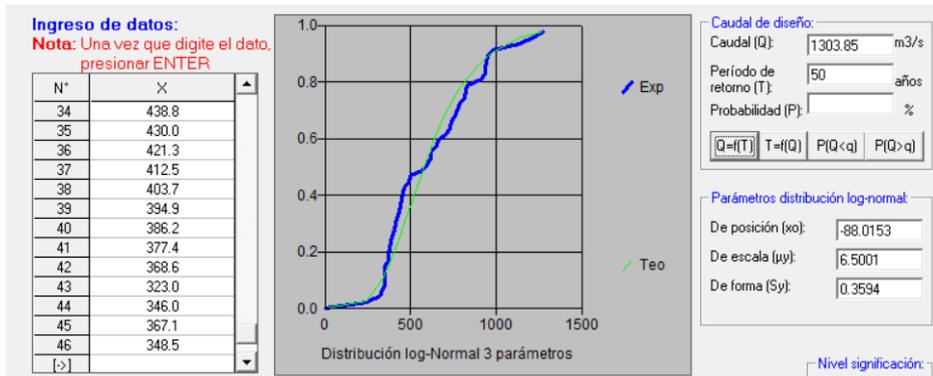
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 2 parámetros



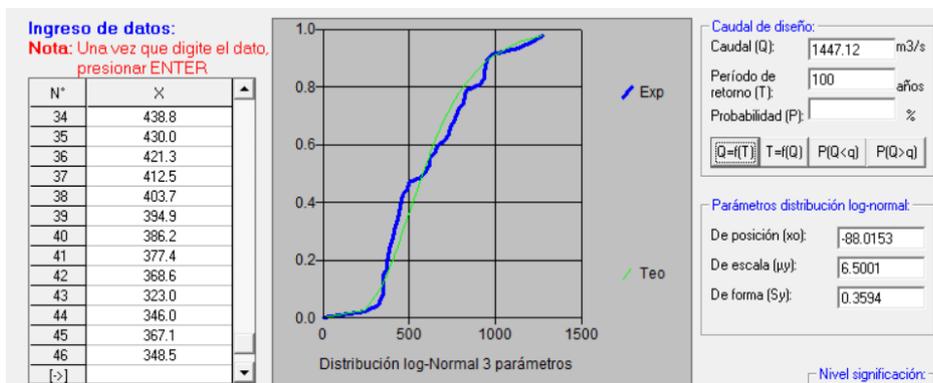
### 3. Distribución Log Normal 3 parámetros



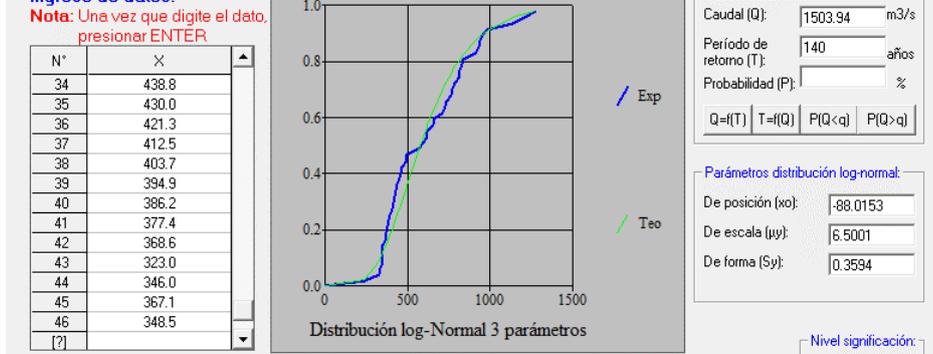
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 3 parámetros



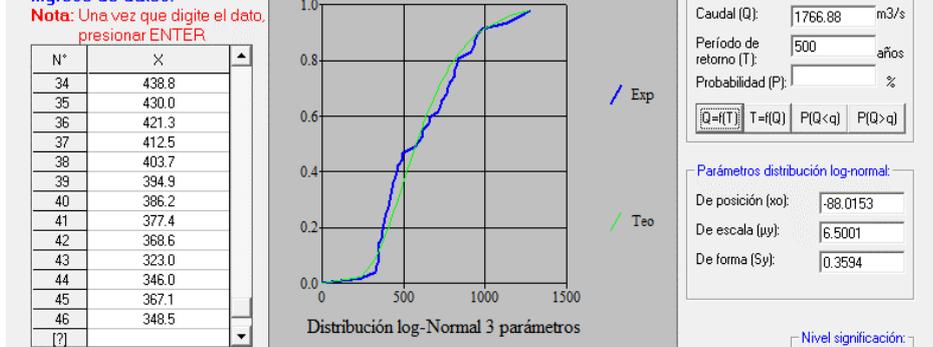
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 3 parámetros



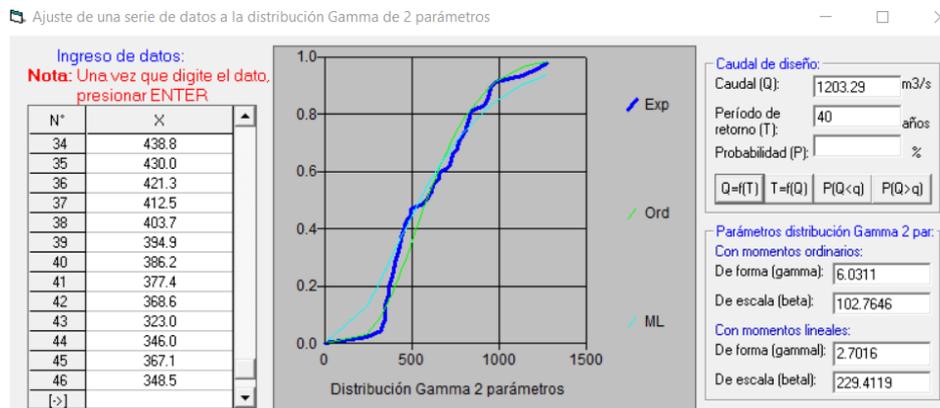
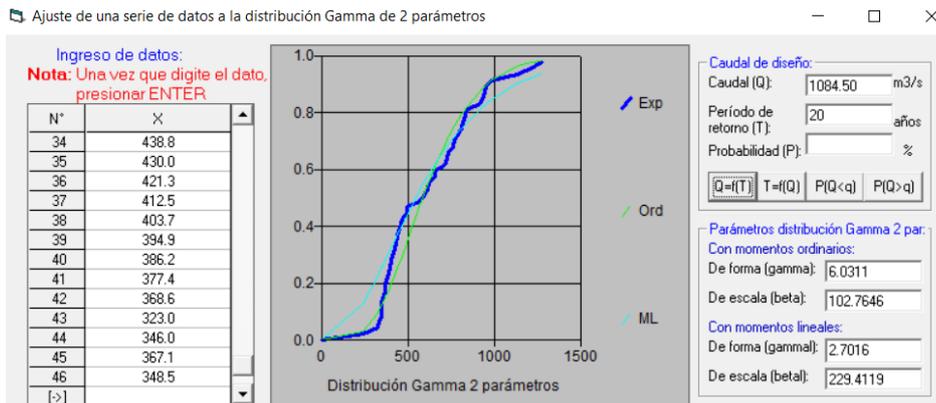
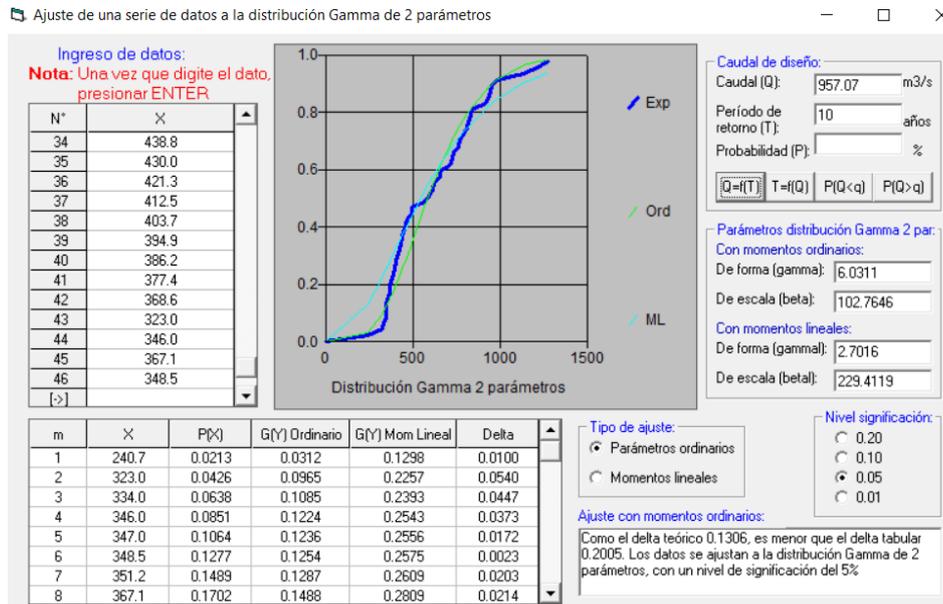
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 3 parámetros



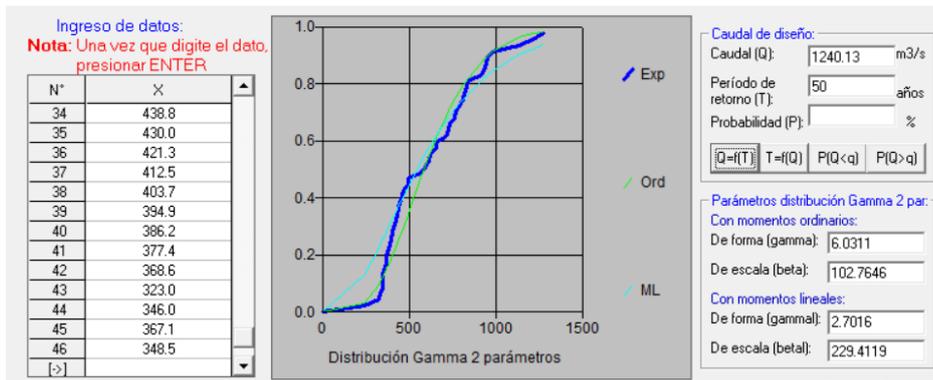
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Normal de 3 parámetros



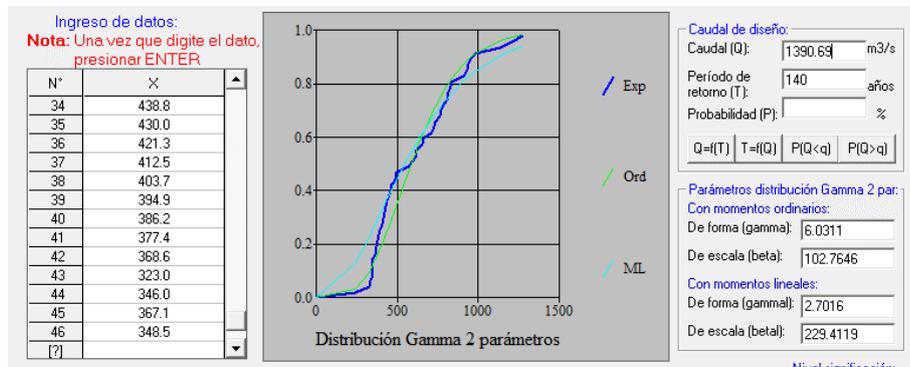
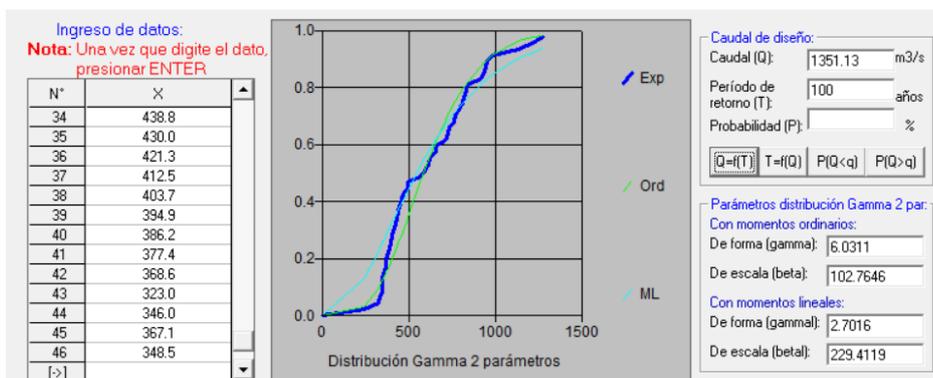
#### 4. Distribución Gamma 2 parámetros



Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 2 parámetros

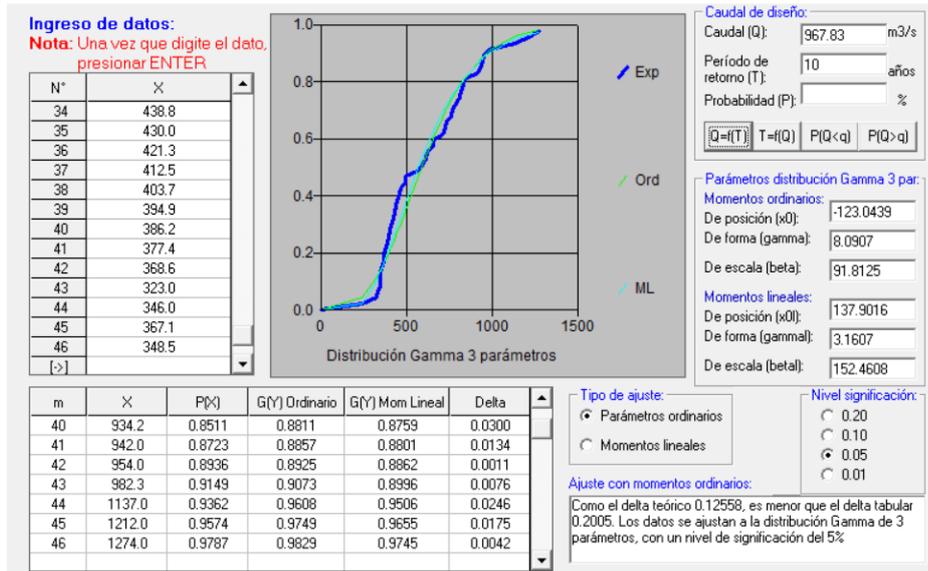


Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 2 parámetros

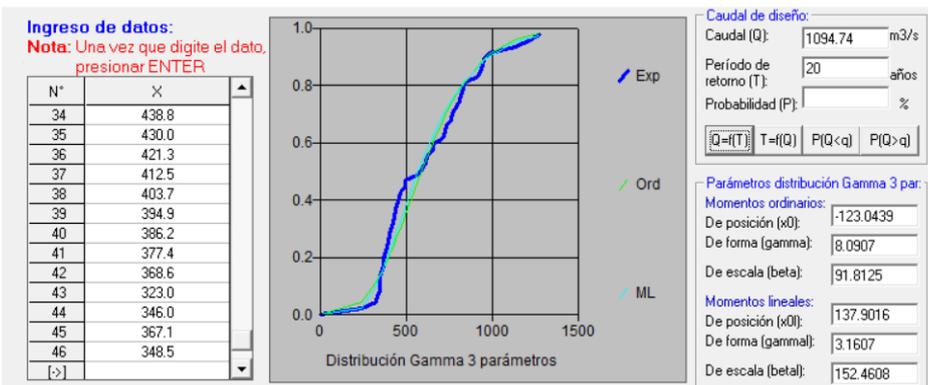


## 5. Distribución Gamma 3 parámetros

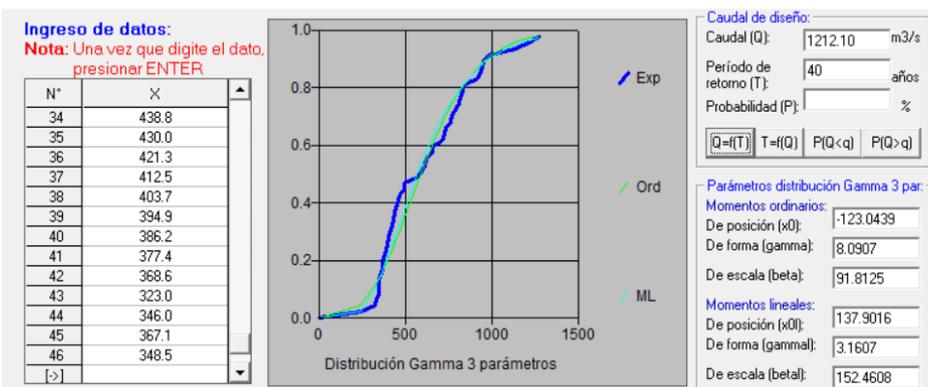
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 3 parámetros



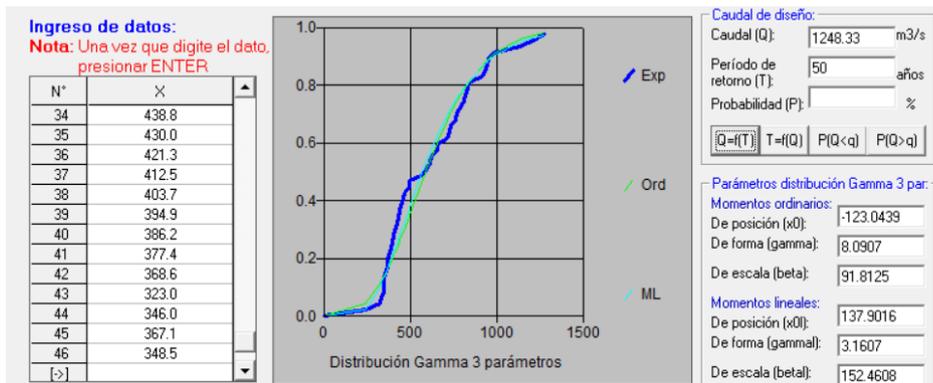
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 3 parámetros



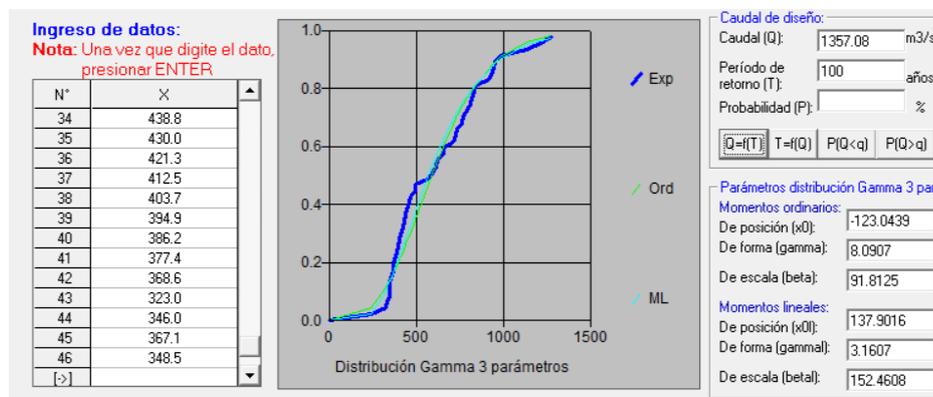
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 3 parámetros



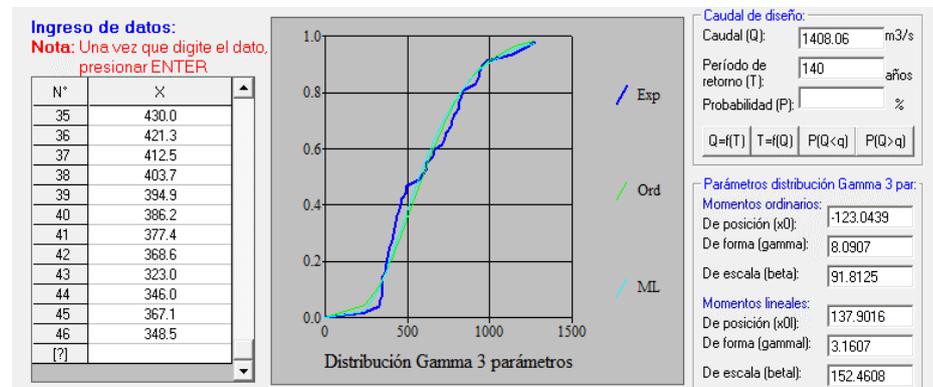
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 3 parámetros



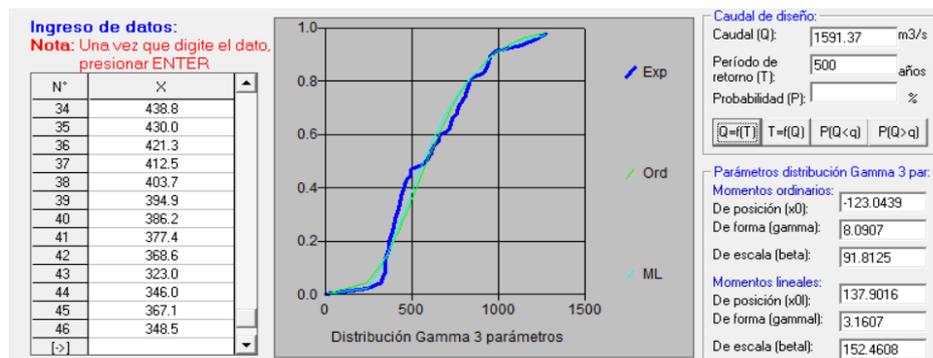
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 3 parámetros



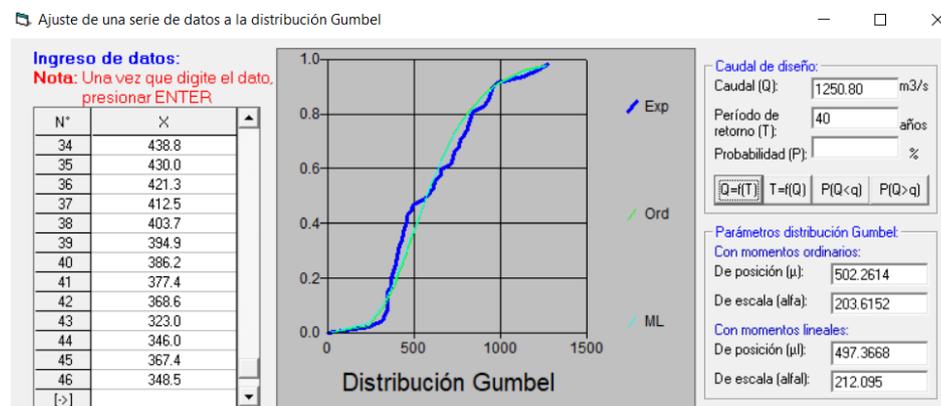
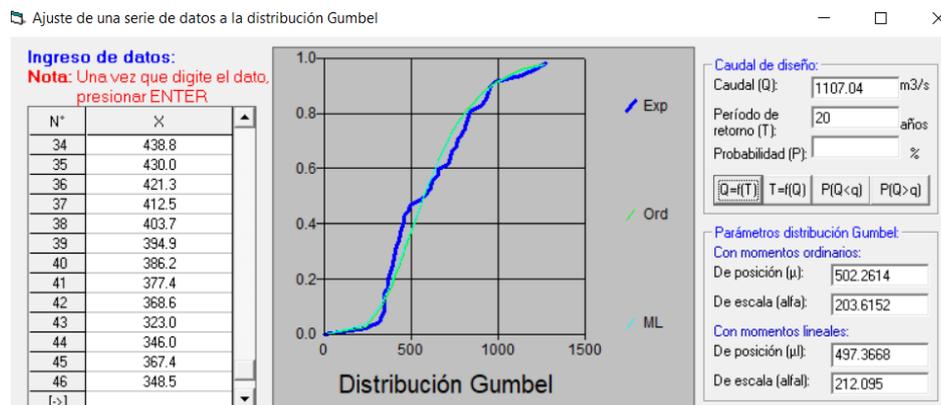
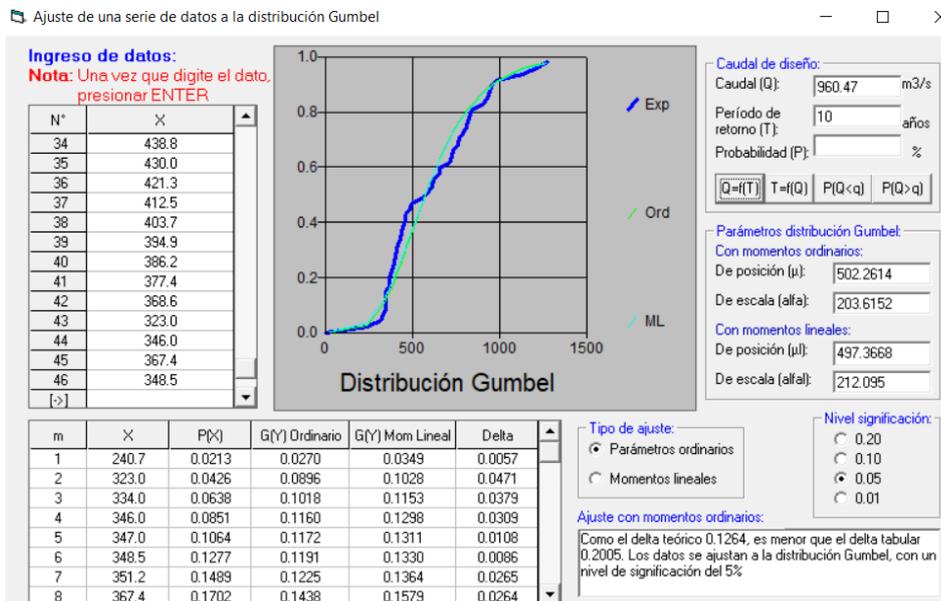
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 3 parámetros



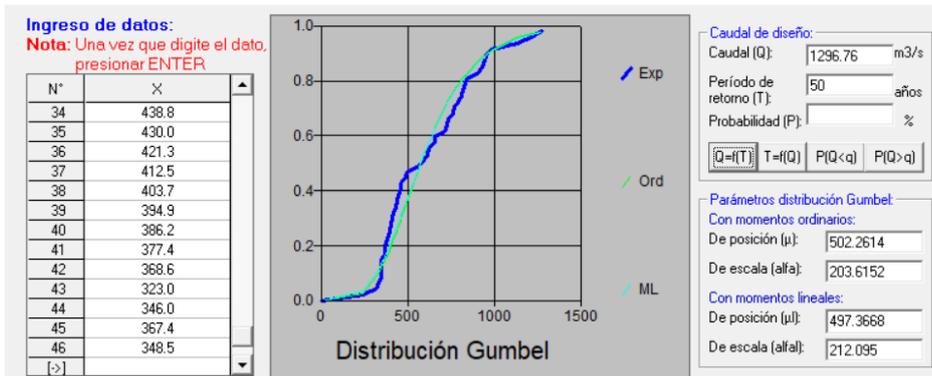
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma de 3 parámetros



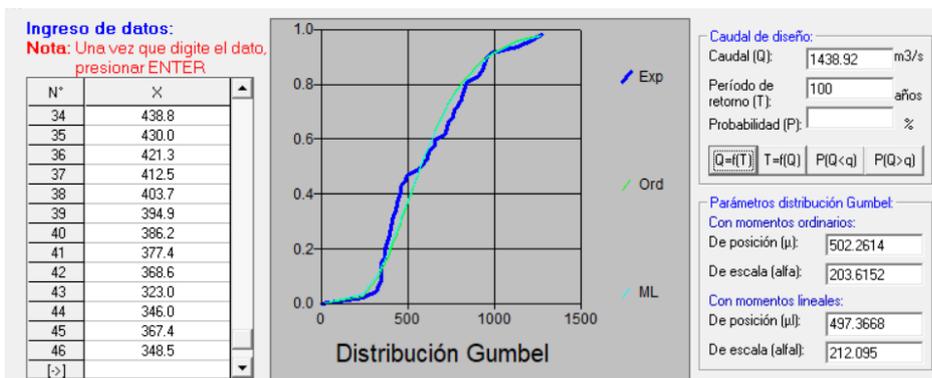
## 6. Distribución Gumbel



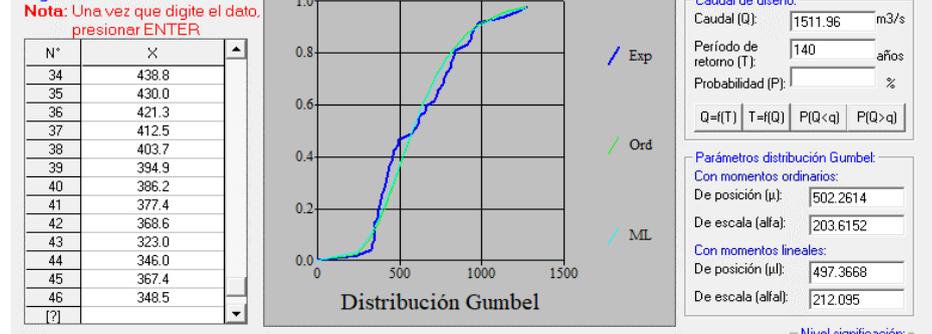
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel



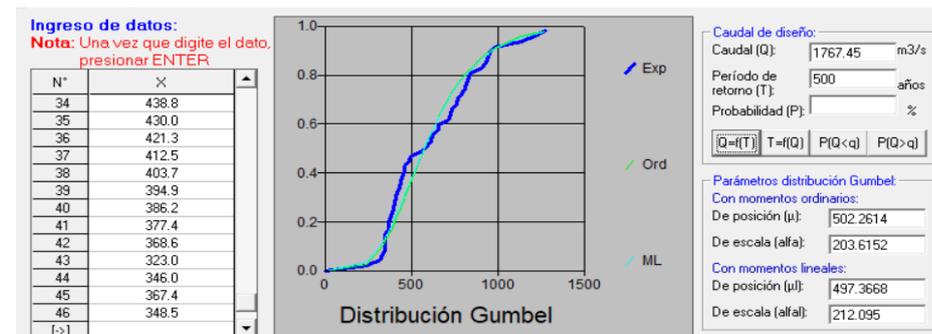
Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel



Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

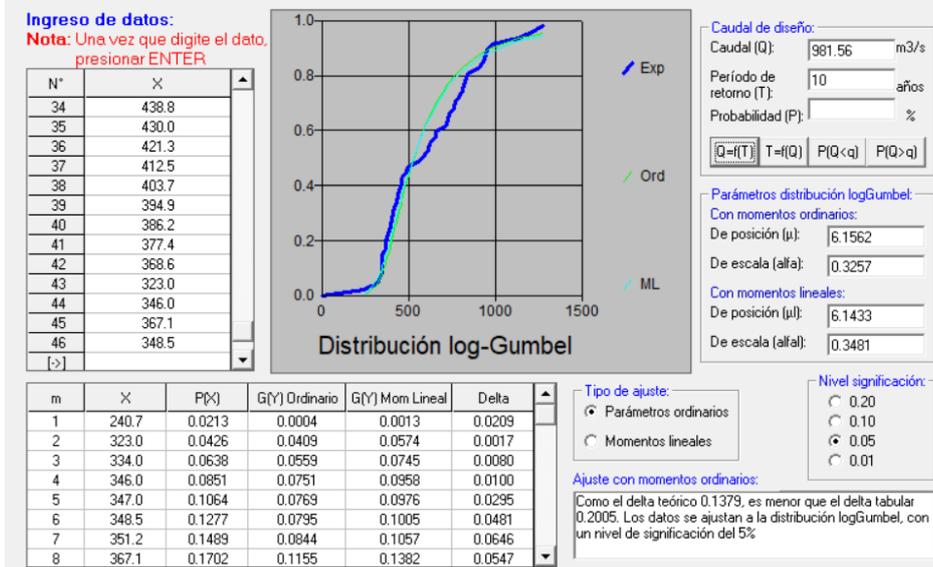


Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel

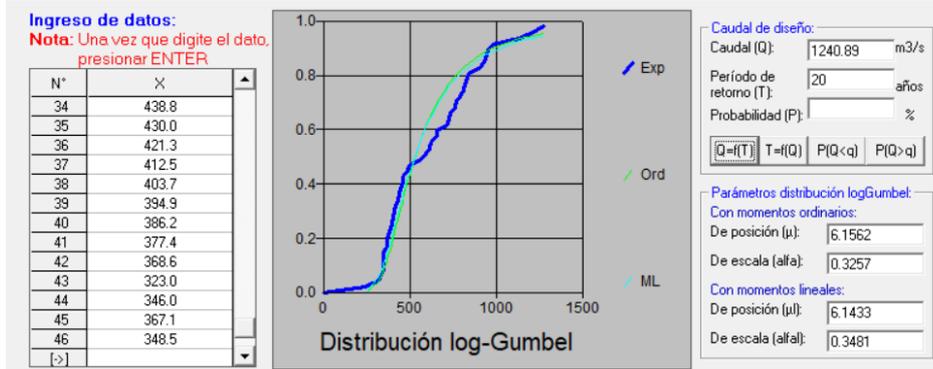


## 7. Distribución Log Gumbel

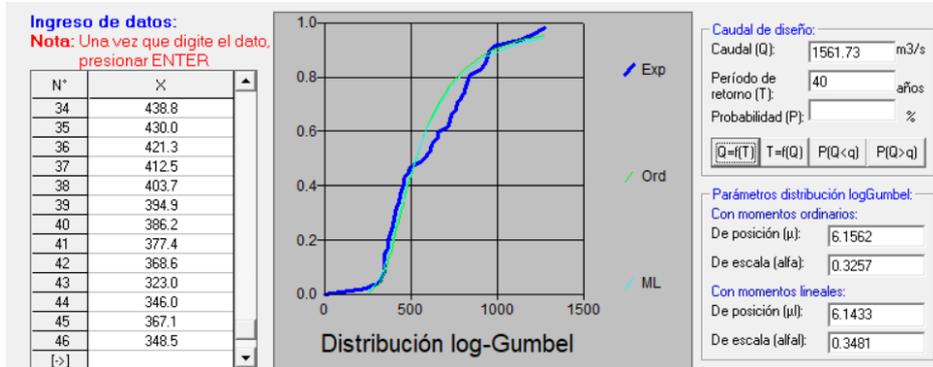
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Gumbel o distribución de Fréchet



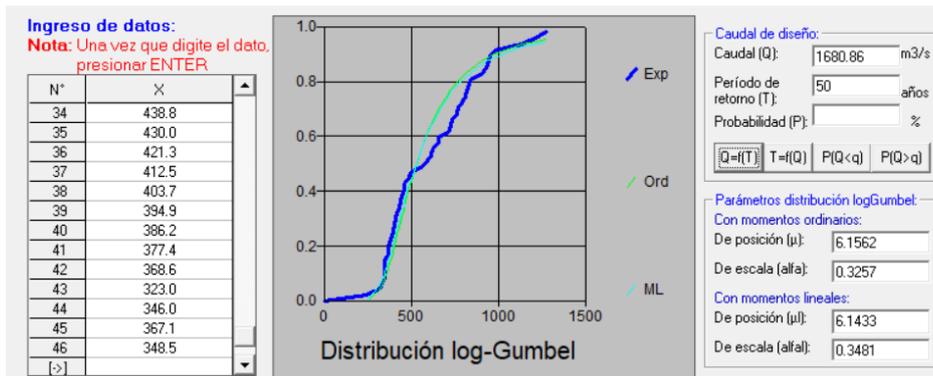
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Gumbel o distribución de Fréchet



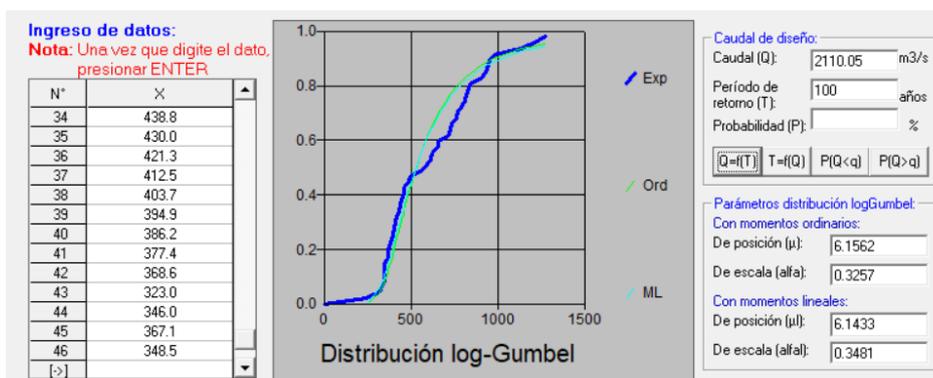
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Gumbel o distribución de Fréchet



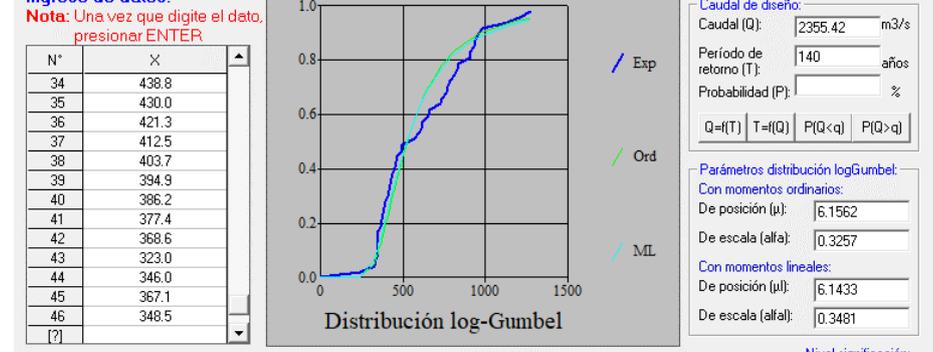
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Gumbel o distribución de Fréchet



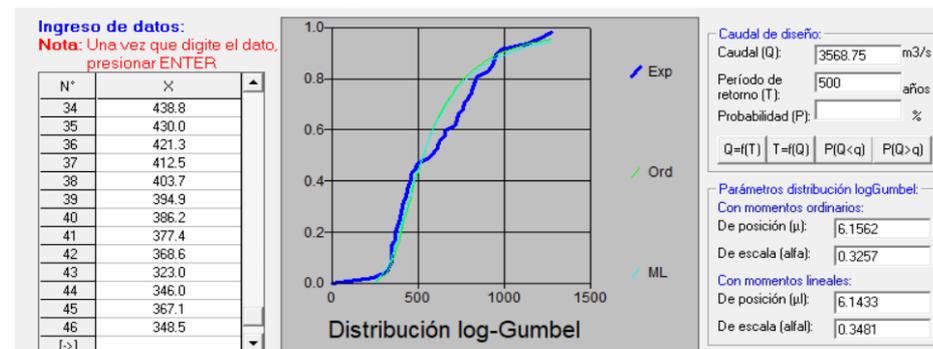
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Gumbel o distribución de Fréchet



Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Gumbel o distribución de Fréchet



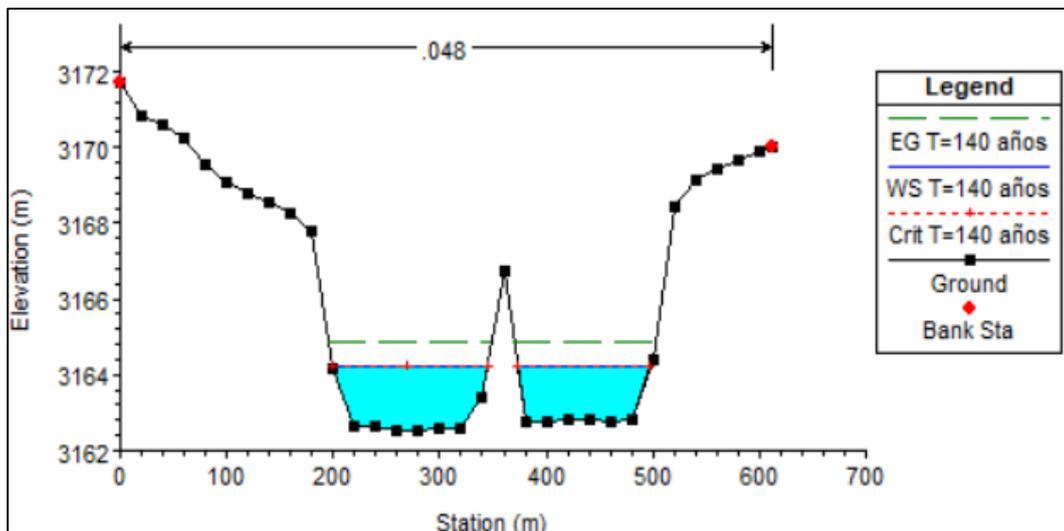
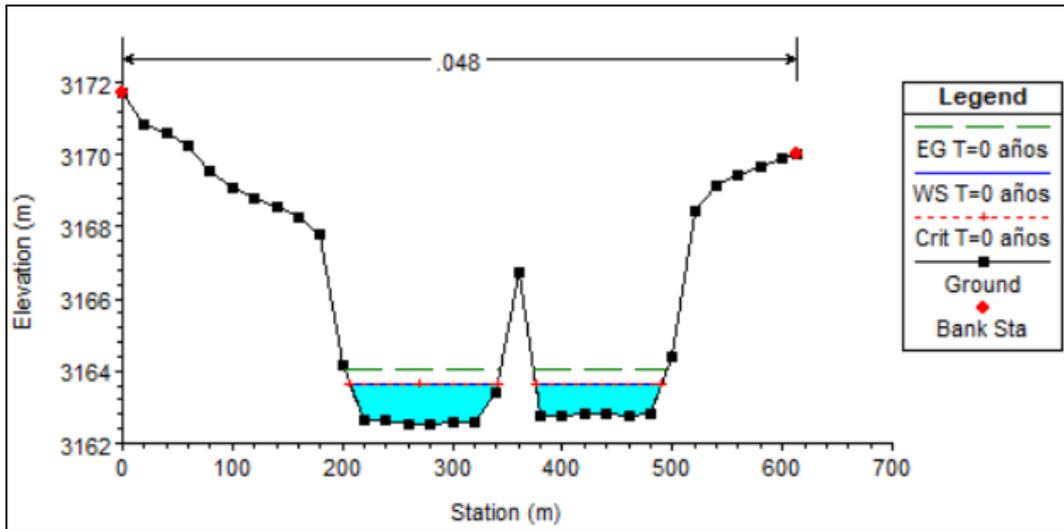
Ajuste de una serie de datos a la distribución log-Gumbel o distribución de Fréchet



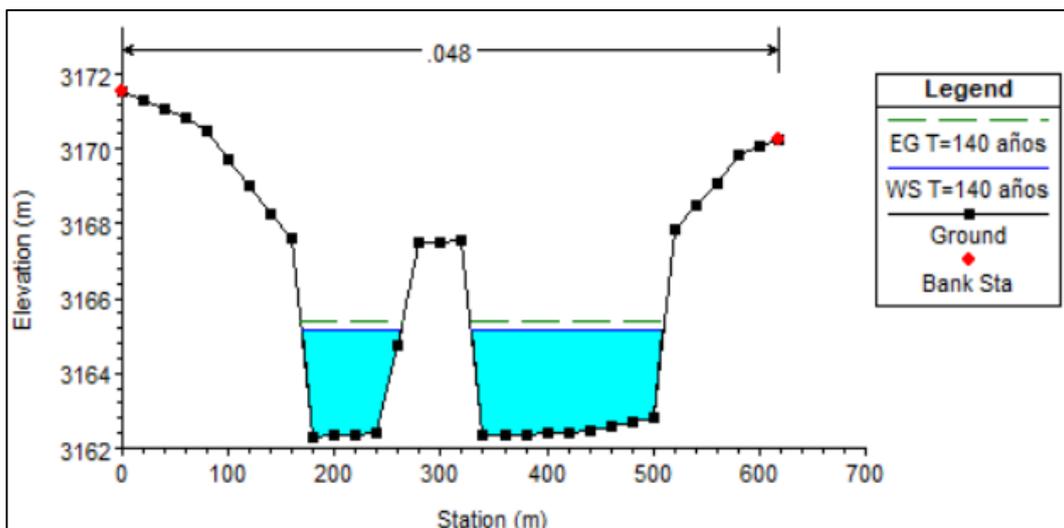
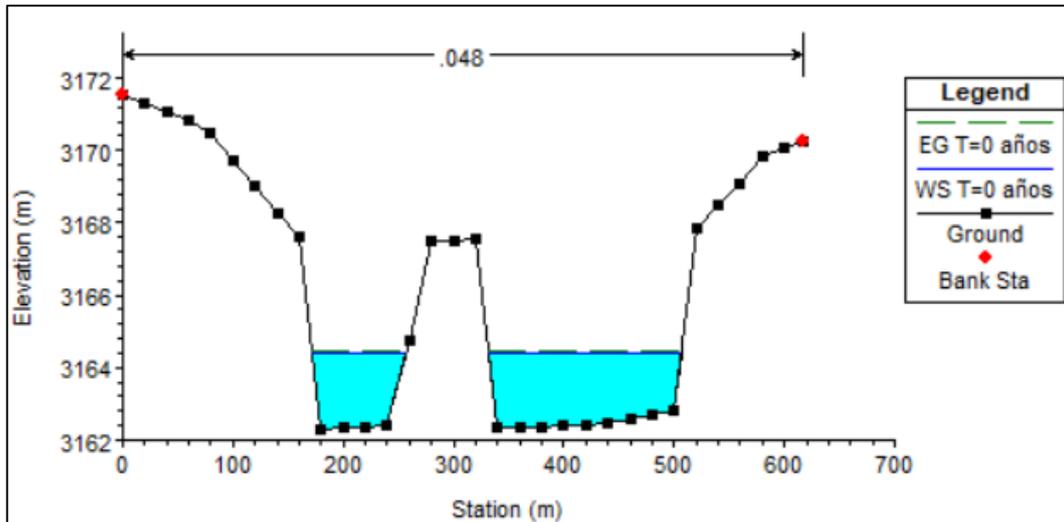
## Anexo 5

### Secciones de corte

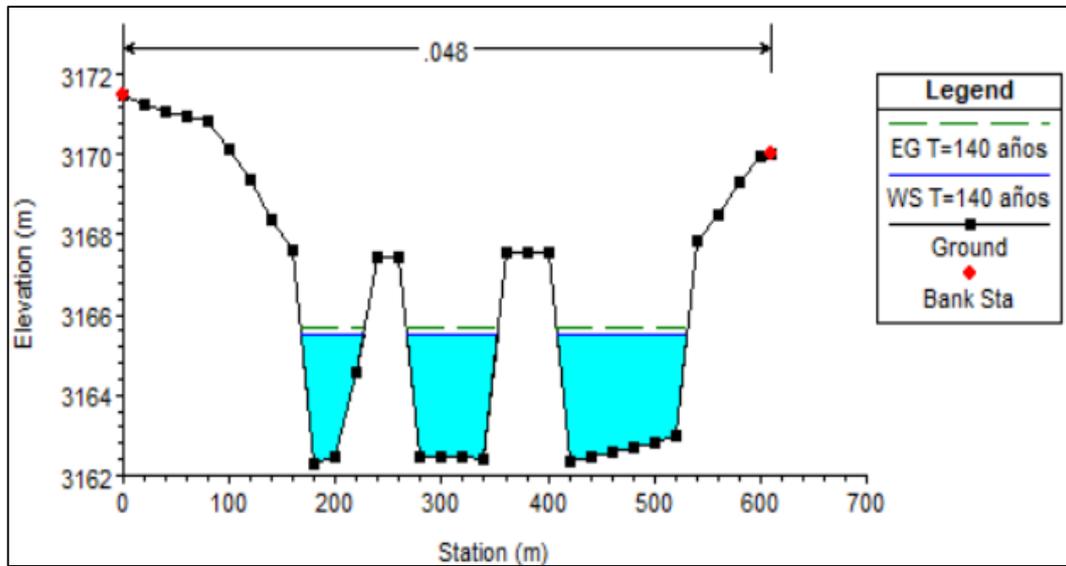
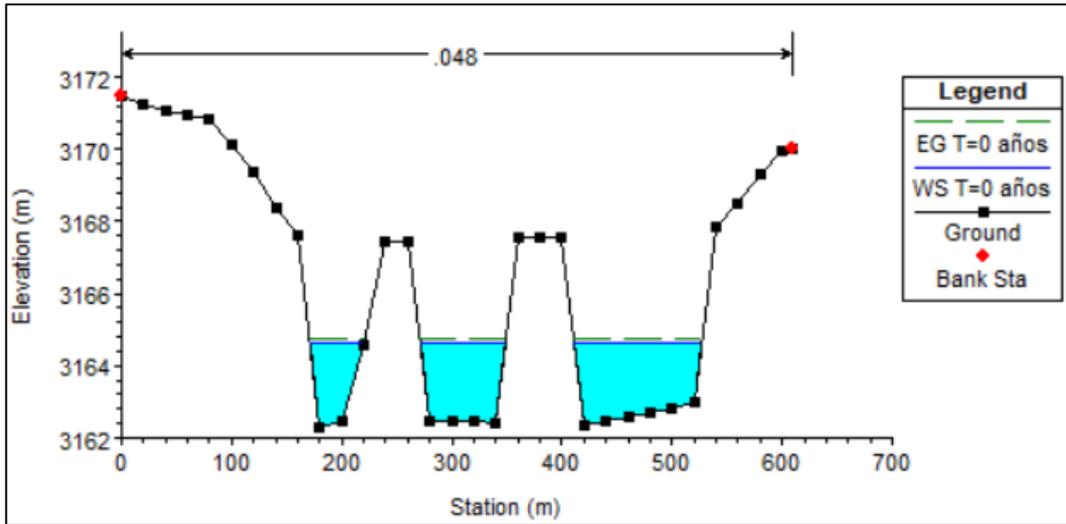
1. Secciones del corte D-D, periodo de retorno de 0 y 140 años



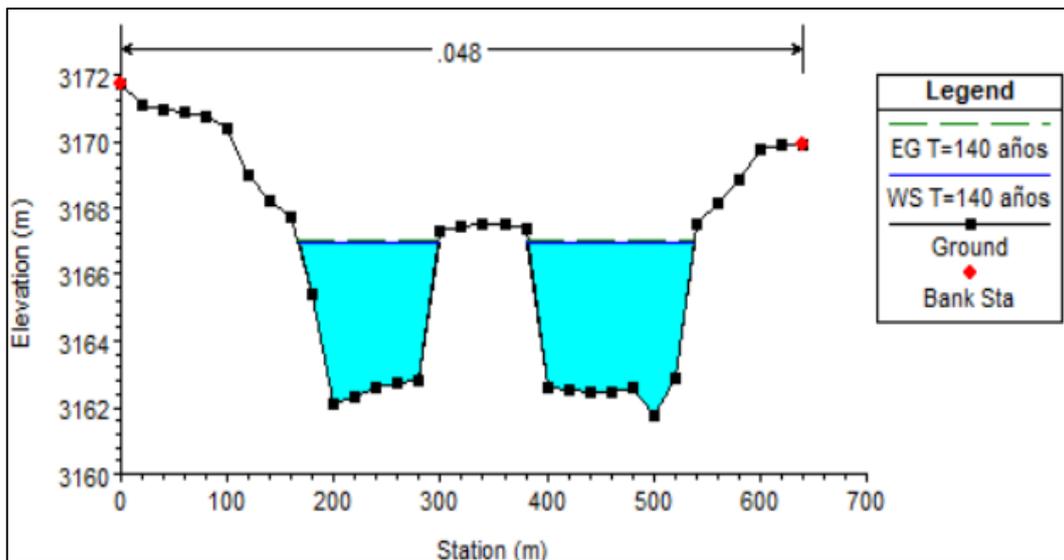
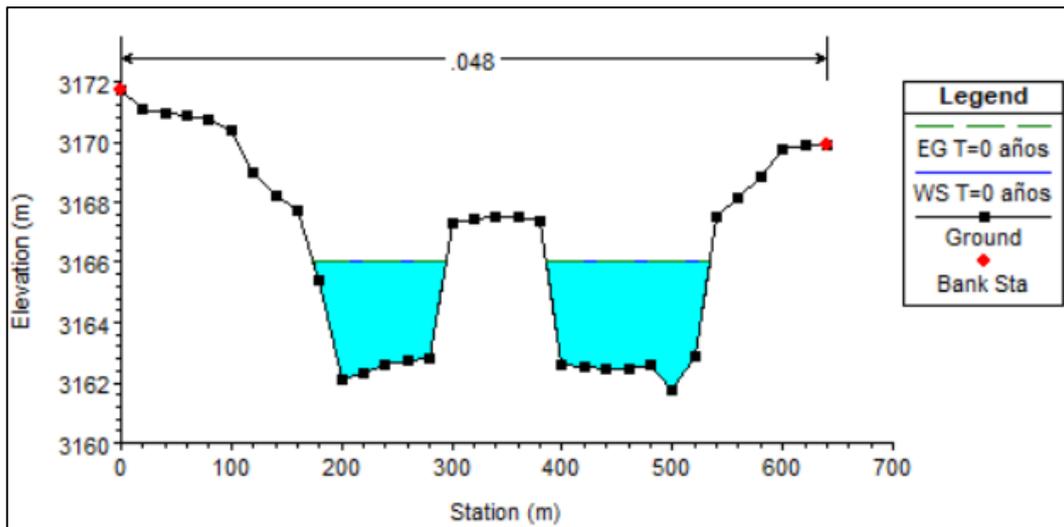
2. Secciones del corte C-C, periodo de retorno de 0 y 140 años



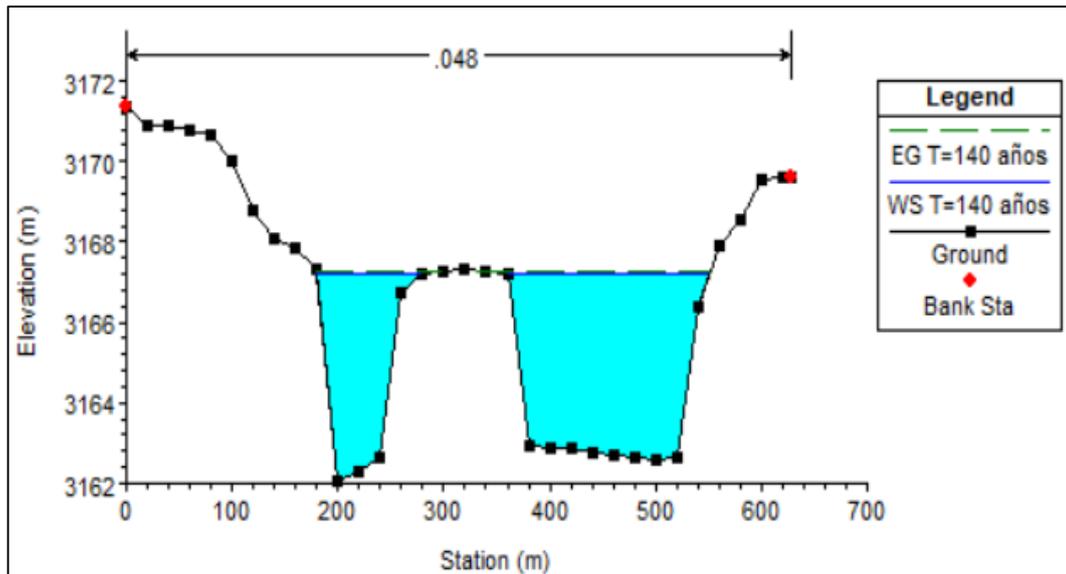
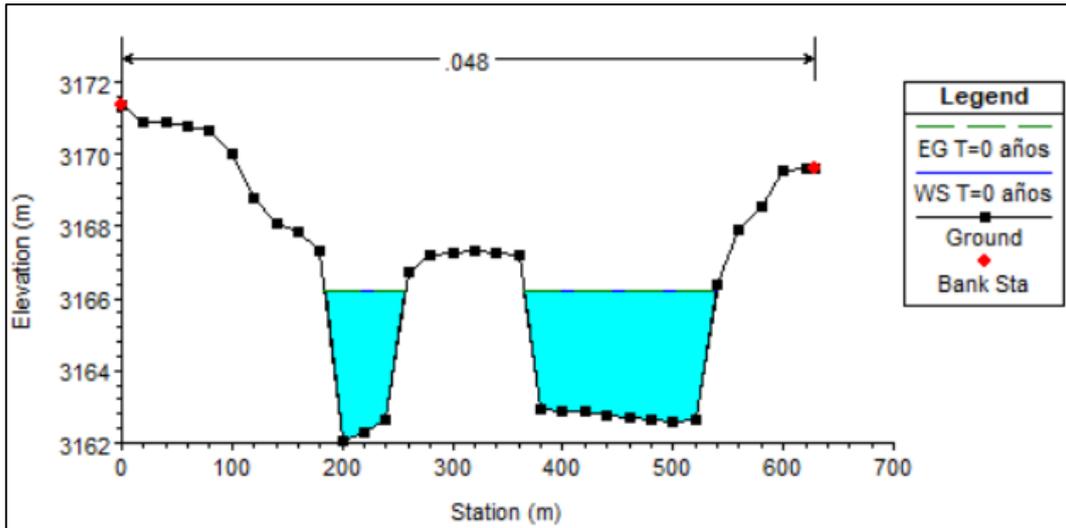
3. Secciones del corte B-B, periodo de retorno de 0 y 100 años



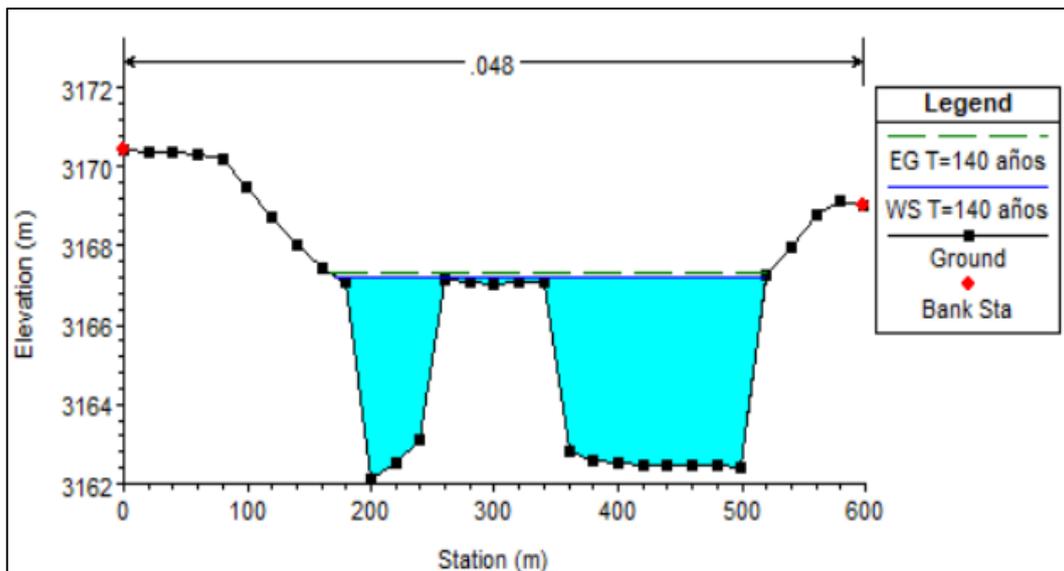
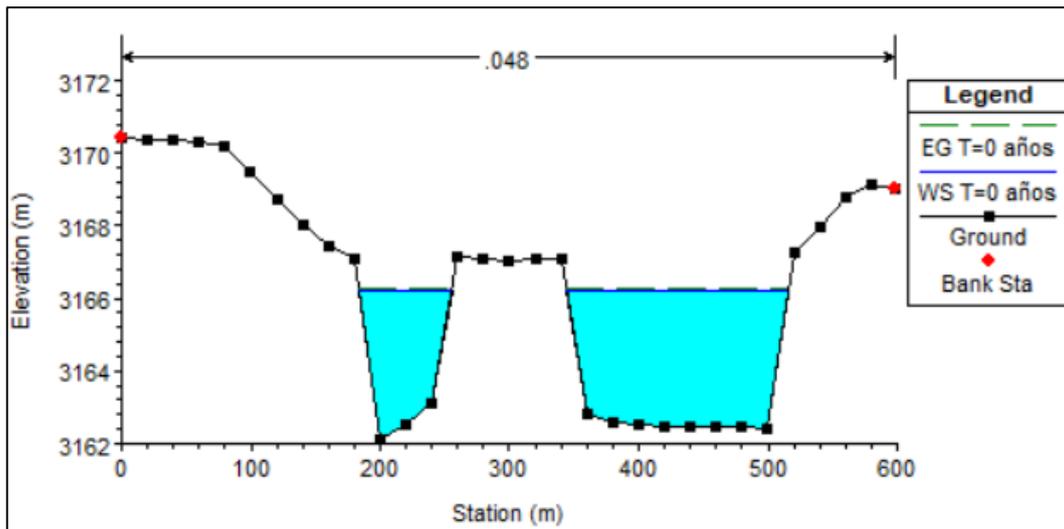
4. Secciones del corte A-A, periodo de retorno de 0 y 100 años



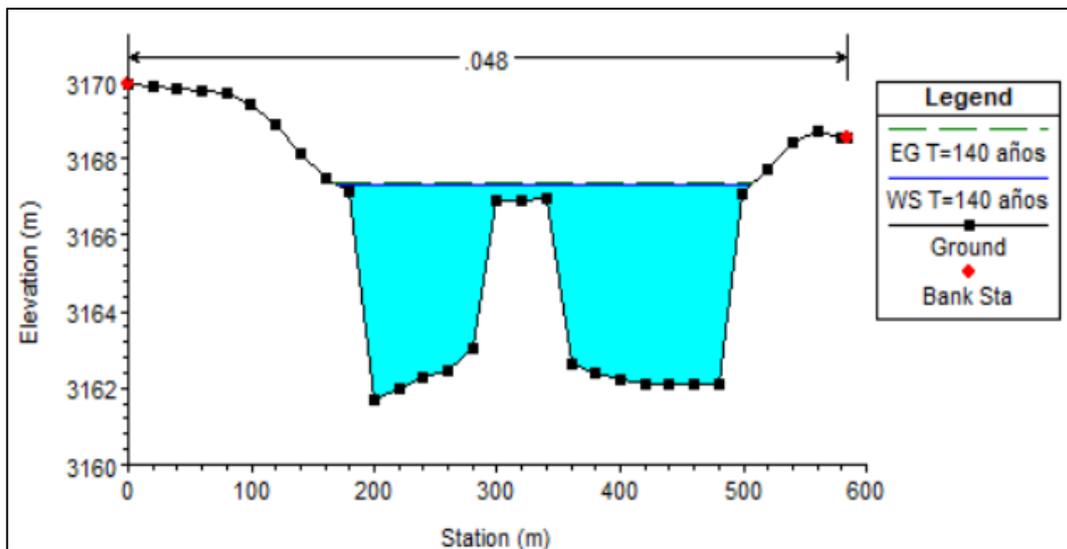
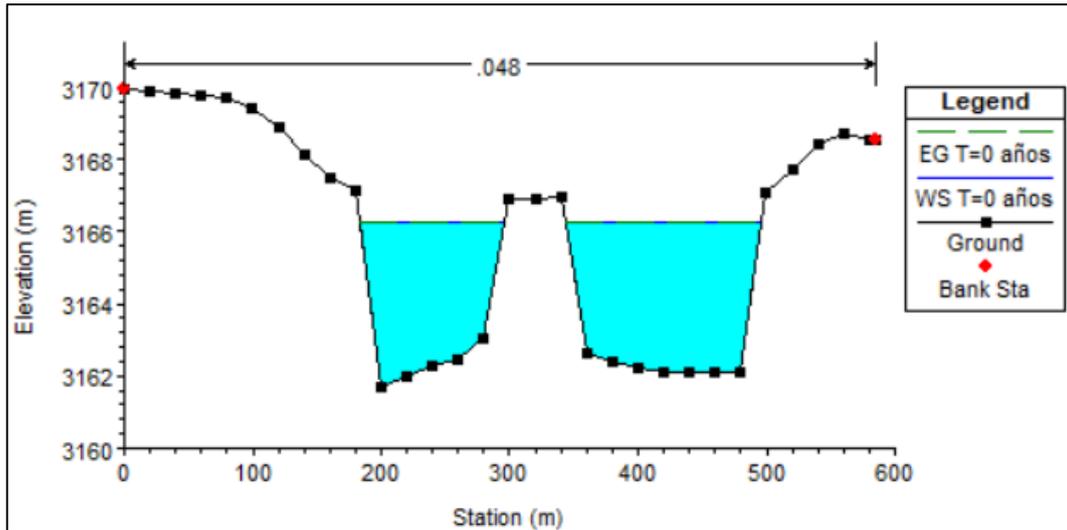
5. Secciones del corte E-E, periodo de retorno de 0 y 100 años



6. Secciones del corte F-F, periodo de retorno de 0 y 100 años



7. Secciones del corte G-G, periodo de retorno de 0 y 100 años



## Anexo 6

### Ángulo de fricción del material enrocado

ENSAYO DE DENSIDAD "ρ"

MUESTRA	PESO (g)	VOLUMEN (ml)	VOLUMEN CORREGIDO (ml)
ZONA 1	866.88	980	380
ZONA 2	782.09	940	340
ZONA 3	545.87	850	250
ZONA 4	655.28	890	290

VASO DE PRECIPITACION



V<sub>inicial</sub> = 600 ml

CALCULO DE DENSIDAD

ZONA 1

$$\rho = \frac{m}{v} \times 9.81 = \frac{866.88g}{380 ml} \times 9.81 = 22.38 \frac{KN}{m^3}$$

$$\rho = 22.38 \text{ KN/m}^3$$

ZONA 2

$$\rho = \frac{m}{v} \times 9.81 = \frac{782.09g}{340 ml} \times 9.81 = 22.57 \frac{KN}{m^3}$$

$$\rho = 22.57 \text{ KN/m}^3$$

ZONA 3

$$\rho = \frac{m}{v} \times 9.81 = \frac{545.87g}{250 ml} \times 9.81 = 21.42 \frac{KN}{m^3}$$

$$\rho = 21.42 \text{ KN/m}^3$$

ZONA 4

$$\rho = \frac{m}{v} \times 9.81 = \frac{655.28g}{290 ml} \times 9.81 = 22.17 \frac{KN}{m^3}$$

$$\rho = 22.17 \text{ KN/m}^3$$

MUESTRA	PESO (g)	VOLUMEN CORREGIDO (ml)	DENSIDAD KN/m <sup>3</sup>
ZONA 1	866.88	380	22.38
ZONA 2	782.09	340	22.57
ZONA 3	545.87	250	21.42
ZONA 4	655.28	290	22.17

MUESTRA	ENSAYO	ρ BASICO	DIAMETRO X LONGITUD
ZONA 1	Tilt Test	30	5 cm x 10cm
ZONA 2	Tilt Test	34	5 cm x 10cm
ZONA 3	Tilt Test	29	5 cm x 10cm
ZONA 4	Tilt Test	31	5 cm x 10cm

Nota: tomada de Pari (55)

## Anexo 7

### Ensayo de laboratorio

#### LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS CENTAURO INGENIEROS

**SERVICIOS DE:**

- ENSAYOS PARA MECÁNICA DE SUELOS
- ENSAYOS EN AGREGADOS PARA CONCRETO Y ASFALTO
- ENSAYOS EN ROCAS
- ENSAYOS QUÍMICOS EN SUELOS Y AGUA
- ENSAYOS SPT, DPL, DPHS
- ESTUDIOS Y ENSAYOS GEOFÍSICOS
- PERFORACIONES Y EXTRACCIÓN DIAMANTINAS
- ESTUDIOS GEOTÉCNICOS
- CONTROL DE CALIDAD EN SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
- EXTRACCIÓN Y TRASLADO DE MUESTRAS INSITU



Inscrito en el Registro de Marcas y Servicio de INDECOPI con CERTIFICADO N° 00114425 con Resolución N° 007184-2019-/DSD-INDECOPI

#### LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CENTAURO INGENIEROS LABORATORIO DE AGREGADOS Y CONCRETO INFORME

EXPEDIENTE N° : 009-2021-AR  
 PETICIONARIO : BACH. YESSENIA YOSHIRIN RIOS PRIETO  
 ATENCION : BACH. YESSENIA YOSHIRIN RIOS PRIETO  
 PROYECTO : OBRAS DE PROTECCIÓN RIBEREÑA Y CONTROL DE INUNDACIÓN DEL RÍO MANTARO, TRAMO BARRIO MANTARO, DISTRITO DE HUAYUCACHI - HUANCAYO  
 UBICACIÓN : BARRIO MANTARO, RIO MANTARO, DISTRITO DE HUAYUCACHI, PROVINCIA DE HUANCAYO - REGIÓN DE JUNIN  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 26 DE MAYO DEL 2021  
 FECHA DE EMISIÓN : 03 DE JUNIO DEL 2021

#### PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Tipo de muestra: Roca Norma Referencial: NTP. 400.022  
 Código de trabajo: P-102-2021 Muestra: R-1  
 Procedencia: CALICATA SUPERFICIAL, UBICADO EN PUMPUNYA-DISTRITO DE CHUPURO

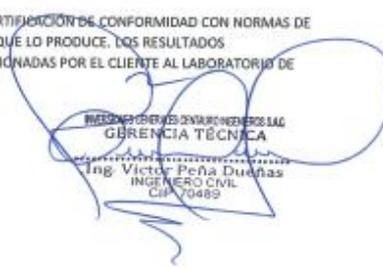
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	439,62
PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA DENTRO DEL AGUA + CANASTILLA	267,72
PESO DE LA CANASTILLA DENTRO DEL AGUA	0,00
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA	267,72
PESO DE LA MUESTRA SECA	434,80
<b>PESO ESPECÍFICO DE MASA (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,53</b>
PESO ESPECÍFICO DE MASA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO	2,56
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2,60
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	1,11%

HC-A5-035 REV.00 FECHA: 2019/09/05

**OBSERVACION : Muestra remitidas por el Peticionario.**

\*EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DEBEN SER UTILIZADOS COMO UNA CERTIFICACIÓN DE CONFORMIDAD CON NORMAS DE PRODUCTOS O COMO CERTIFICADO DEL SISTEMA DE CALIDAD DE LA ENTIDAD QUE LO PRODUCE. LOS RESULTADOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LAS MUESTRAS PROPORCIONADAS POR EL CLIENTE AL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS.

  
 GERENCIA TÉCNICA  
 Ing. Víctor Peña Dueñas  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 70489

## Anexo 8

### Análisis de costos del dique de tierra

#### 1. Análisis de precios unitarios

Corte de material suelto			Rendimiento: 570 m <sup>3</sup> /día			
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Capataz	hh	0.200	0.003	18.91	0.05	
Operador	hh	0.200	0.003	22.55	0.06	
Peón	hh	1.650	0.023	16.23	0.38	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>0.49</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Tractor D7-G	hm	1.000	0.014	393.66	5.53	
Herramientas manuales	%MO		0.050	0.49	0.02	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>5.55</b>	
						<b>6.04</b>
Conformación de dique con material de cantera			Rendimiento: 300 m <sup>3</sup> /día			
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Oficial	hh	1.000	0.027	18.91	0.50	
Operador	hh	1.000	0.027	22.55	0.60	
Peón	hh	1.000	0.027	16.23	0.43	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>1.54</b>	
<b>Materiales</b>						
Tierra para dique	m <sup>3</sup>		2.500	35.00	87.50	
Agua	m <sup>3</sup>		0.100	15.00	1.50	
<b>Costo de materiales</b>					<b>89.00</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Camión volquete 15 m <sup>3</sup>	hm	1.000	0.027	296.52	7.91	
Rodillo pata de cabra autopropulsado 8 - 10 t	hm	1.000	0.027	91.25	2.43	
Camión cisterna 4X2 (Agua) 1500 gl.	hm	1.000	0.027	140.15	3.74	
Herramientas manuales	%MO		0.030	1.54	0.05	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>14.12</b>	
						<b>104.66</b>

<b>Perfilado y refine de talud de dique</b>			Rendimiento:	1200	m <sup>2</sup> /día
---	--	--	--------------	------	---------------------

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Oficial	hh	1.000	0.007	18.91	0.13	
Operador	hh	1.000	0.007	22.55	0.15	
Peón	hh	1.000	0.007	16.23	0.11	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>0.38</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Excavadora sobre orugas 115 - 165 HP	hm	1.000	0.007	255.26	1.70	
Herramientas manuales	%MO		0.050	0.38	0.02	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>1.72</b>	
						2.11

<b>Eliminación de material excedente</b>			Rendimiento:	400	m <sup>3</sup> /día
--	--	--	--------------	-----	---------------------

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Operador	hh	0.500	0.010	22.55	0.23	
Peón	hh	2.000	0.040	16.23	0.65	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>0.87</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Cargador sobre llantas 200 - 250 HP	hm	1.000	0.020	268.52	5.37	
Camión volquete 15 m <sup>3</sup>	hm	2.000	0.040	296.52	11.86	
Herramientas manuales	%MO		0.050	0.87	0.04	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>17.27</b>	
						18.15

## 2. Metrados

DIQUE DE TIERRA						
<b>ACTIVIDAD: Corte de material suelto</b>						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 Km	m <sup>3</sup>	1	332.138	9.95	5.30	17515.30
TOTAL						17515.30
<b>ACTIVIDAD: Conformación de dique con material de cantera</b>						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 Km	m <sup>3</sup>	1	332.138	19.90	5.30	35030.59
TOTAL						35030.59
<b>ACTIVIDAD: Perfilado y refine de talud de dique</b>						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 Km: Cara interna	m <sup>2</sup>	1	338.567	7.95		2691.61
TOTAL						2691.61
<b>ACTIVIDAD: Eliminación de material excedente</b>						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT.	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 Km	m <sup>3</sup>	1	332.138	3.00	5.30	5280.99
TOTAL						5280.99

## 3. Presupuesto

DIQUE DE TIERRA					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PRECIO	PARCIAL
1	Corte de material suelto	m <sup>3</sup>	17515.30	6.04	105,825.60
2	Conformación de dique con material de cantera	m <sup>3</sup>	35030.59	104.66	3,666,386.79
3	Perfilado y refine de talud de dique	m <sup>2</sup>	2691.61	2.11	5,667.35
4	Eliminación de material excedente	m <sup>3</sup>	5280.99	18.15	95,848.12
TOTAL					3,873,727.85

## Anexo 9

### Análisis de costos del enrocado

#### 1. Análisis de precios unitarios

Corte de material suelto				Rendimiento:	570 m <sup>3</sup> /día	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Oficial	hh	0.200	0.003	18.91	0.05	
Operador	hh	0.200	0.003	22.55	0.06	
Peón	hh	1.650	0.023	16.23	0.38	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>0.49</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Tractor sobre orugas 190 - 240 HP	hm	1.000	0.014	393.66	5.53	
Herramientas manuales	%MO		0.050	0.49	0.02	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>5.55</b>	
						<b>6.04</b>

<b>Conformación de dique semicompactado con material propio</b>			Rendimiento:	1800	m <sup>3</sup> /día
---	--	--	--------------	------	---------------------

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Oficial	hh	1.000	0.004	18.91	0.08	
Operador	hh	0.500	0.002	22.55	0.05	
Peón	hh	1.000	0.004	16.23	0.07	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>0.21</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Tractor sobre orugas 190 - 240 HP	hm	1.130	0.005	393.66	1.98	
Herramientas manuales	%MO		0.050	0.21	0.01	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>1.99</b>	
						2.19

<b>Conformación de dique con material de cantera</b>			Rendimiento:	300	m <sup>3</sup> /día
--	--	--	--------------	-----	---------------------

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Oficial	hh	1.000	0.027	18.91	0.50	
Operador	hh	1.000	0.027	22.55	0.60	
Peón	hh	1.000	0.027	16.23	0.43	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>1.54</b>	
<b>Materiales</b>						
Afirmado	m3		1.500	35.00	52.50	
Agua	m3		0.100	15.00	1.50	
<b>Costo de materiales</b>					<b>54.00</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Camión volquete 15 m <sup>3</sup>	hm	1.000	0.027	296.52	7.91	
Rodillo liso vibratorio autopropulsado 101 - 135 HP	hm	1.000	0.027	177.10	4.72	
Camión cisterna 4X2 (Agua) 1500 gl.	hm	1.000	0.027	140.15	3.74	
Herramientas manuales	%MO		0.030	1.54	0.05	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>16.41</b>	
						71.95

<b>Perfilado y refino de talud de dique</b>			Rendimiento:	1200	m <sup>2</sup> /día
---	--	--	--------------	------	---------------------

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Oficial	hh	1.000	0.007	18.91	0.13	
Operador	hh	1.000	0.007	22.55	0.15	
Peón	hh	1.000	0.007	16.23	0.11	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>0.38</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Excavadora sobre orugas 115 - 165 HP	hm	1.000	0.007	255.26	1.70	
Herramientas manuales	%MO		0.050	0.38	0.02	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>1.72</b>	
						<b>2.11</b>

<b>Eliminación de material excedente</b>			Rendimiento:	400	m <sup>3</sup> /día
--	--	--	--------------	-----	---------------------

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Operador	hh	0.500	0.010	22.55	0.23	
Peón	hh	2.000	0.040	16.23	0.65	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>0.87</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Cargador sobre llantas 200 - 250 HP	hm	1.000	0.020	268.52	5.37	
Camión volquete 15 m <sup>3</sup>	hm	2.000	0.040	296.52	11.86	
Herramientas manuales	%MO		0.050	0.87	0.04	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>17.27</b>	
						<b>18.15</b>

<b>Carguío y transporte de roca (6.9 km)</b>			Rendimiento:	350	m <sup>3</sup> /día
--	--	--	--------------	-----	---------------------

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Oficial (controlador)	hh	1.000	0.023	18.91	0.43	
Peón	hh	1.000	0.023	16.23	0.37	
<b>Costo de mano de obra</b>					<b>0.80</b>	
<b>Materiales</b>						
Roca median (D=0.35m)	m <sup>3</sup>		1.000	150	150.00	
<b>Costo de materiales</b>					<b>150.00</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Camión volquete 15 m <sup>3</sup>	hm	1.000	0.023	296.52	6.78	
Herramientas manuales	%MO		0.050	0.80	0.04	
<b>Costo de equipo y herramientas</b>					<b>6.82</b>	
						<b>157.62</b>

Acomodo de roca en el talud						
			Rendimiento:	160	m <sup>3</sup> /día	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio unitario	Parcial	Total
<b>Mano de obra</b>						
Operario	hh	1.000	0.050	22.55	1.13	
Peón	hh	4.000	0.200	16.23	3.25	
			<b>Costo de mano de obra</b>		<b>4.37</b>	
<b>Equipo y herramientas</b>						
Excavadora sobre orugas 115 - 165 HP	hm	1.000	0.050	255.26	12.76	
Herramientas manuales	%MO		0.050	4.37	0.22	
			<b>Costo de equipo y herramientas</b>		<b>12.98</b>	
						17.36

## 2. Metrados

ACTIVIDAD: Corte de material suelto						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 km	m <sup>3</sup>	1	332.138	4.00	4.50	5978.48
<b>TOTAL</b>						<b>5978.48</b>
ACTIVIDAD: Conformación de dique semicompactado con material propio						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 km	m <sup>3</sup>	1	332.138	14.75	4.00	19596.14
<b>TOTAL</b>						<b>19596.14</b>
ACTIVIDAD: Conformación de dique con material de cantera						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 km	m <sup>3</sup>	1	332.138	7.38	2.50	6123.79
<b>TOTAL</b>						<b>6123.79</b>
ACTIVIDAD: Perfilado y refine de talud de dique						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 km: Cara interna	m <sup>2</sup>	1	338.567	4.00		1354.27
<b>TOTAL</b>						<b>1354.27</b>
ACTIVIDAD: Eliminación de material excedente						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 km	m <sup>3</sup>	1	332.138	2.00	2.50	1660.69
<b>TOTAL</b>						<b>1660.69</b>
ACTIVIDAD: Carguío y transporte de roca						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 km	m <sup>3</sup>	1	332.138	0.70	4.50	1046.23
<b>TOTAL</b>						<b>1046.23</b>
ACTIVIDAD: Acomodo de roca						
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	LARGO	ANCHO	ALTO	PARCIAL
Progresiva 0+000 - 0+300 km	m <sup>3</sup>	1	332.138	0.70	4.50	1046.23
<b>TOTAL</b>						<b>1046.23</b>

### 3. Presupuesto

ENROCADO					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	PRECIO	PARCIAL
1	Corte de material suelto	m <sup>3</sup>	5978.48	6.04	36,121.38
2	Conformación de dique semicompactado con material propio	m <sup>3</sup>	19596.14	2.19	42,987.10
3	Conformación de dique con material de cantera	m <sup>3</sup>	6123.79	71.95	440,617.73
4	Perfilado y refine de talud de dique	m <sup>2</sup>	1354.27	2.11	2,851.50
5	Eliminación de material excedente	m <sup>3</sup>	1660.69	18.15	30,140.92
6	Carguío y transporte de roca	m <sup>3</sup>	1046.23	157.62	164,908.52
7	Acomodo de roca	m <sup>3</sup>	1046.23	17.36	18,157.59
				<b>TOTAL</b>	<b>735,784.73</b>

## Anexo 10

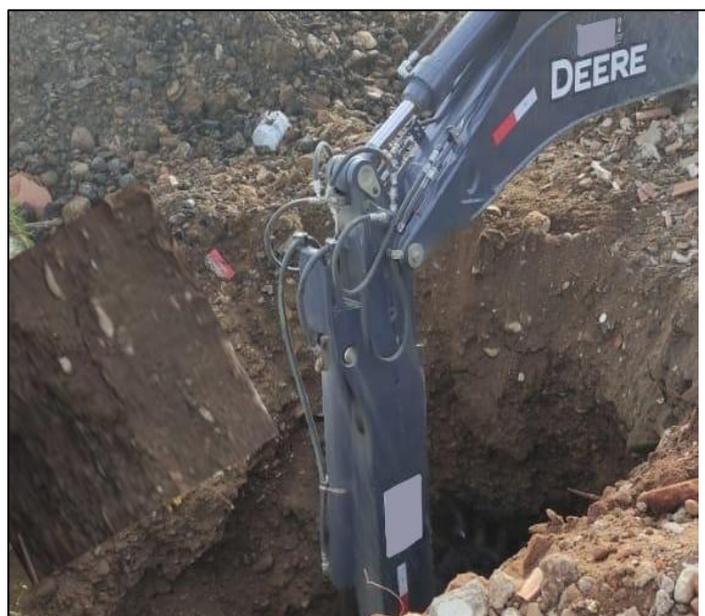
### Panel fotográfico

#### 1. Levantamiento topográfico

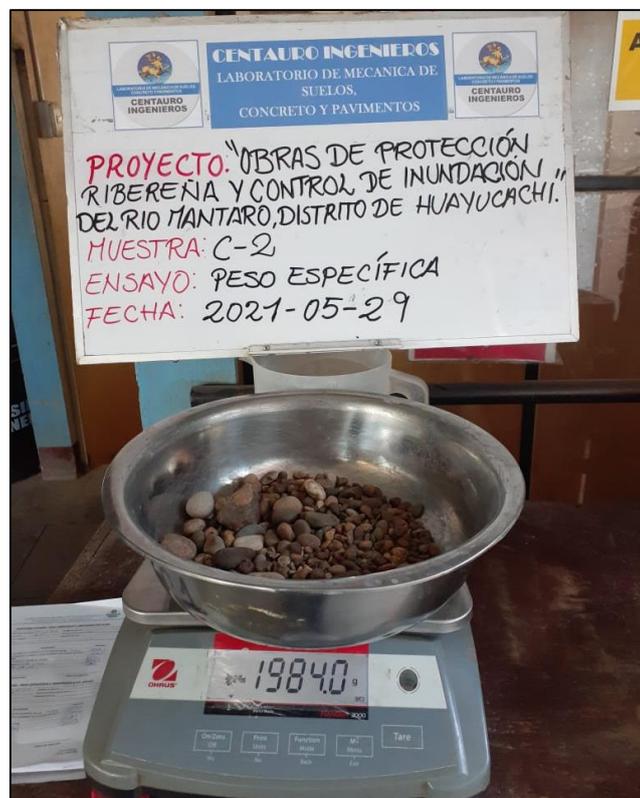
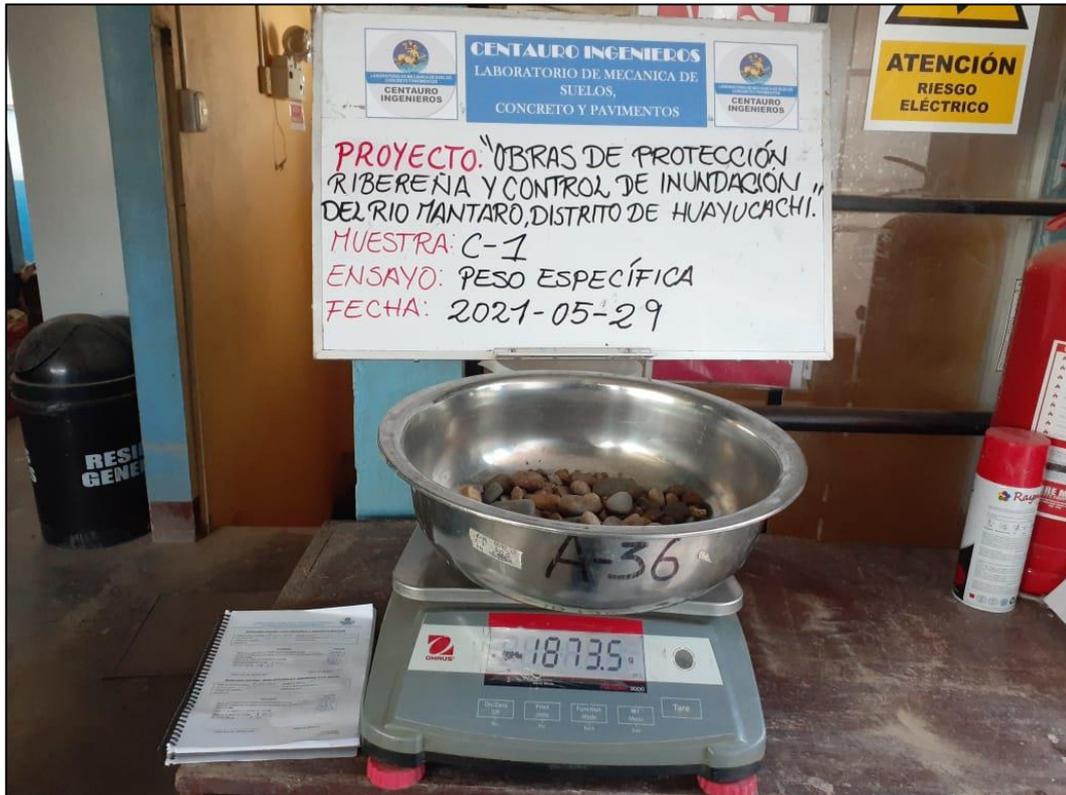




## 2. Cantera Pumpunya – suelo adyacente al río Mantaro

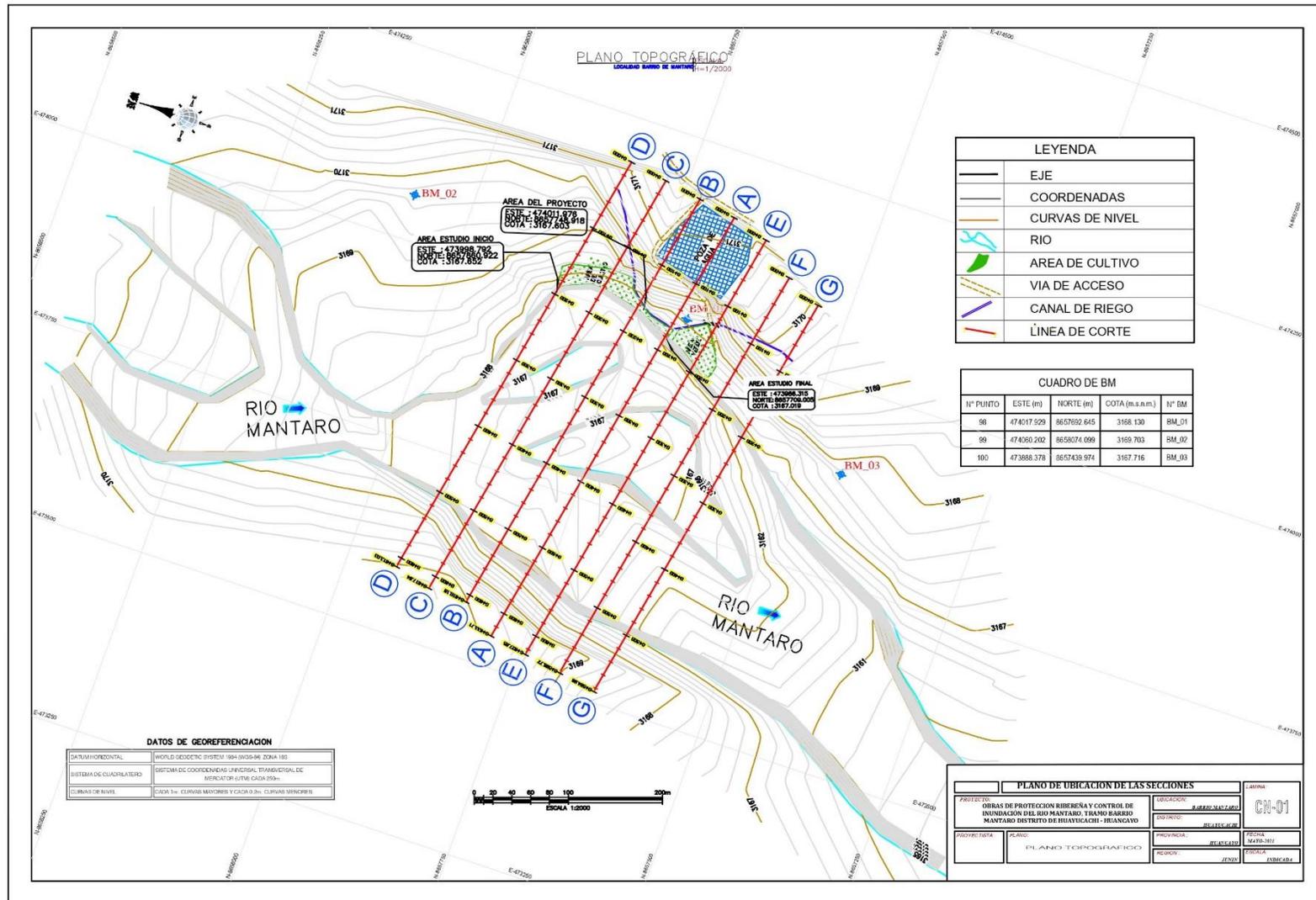


### 3. Ensayos de laboratorio

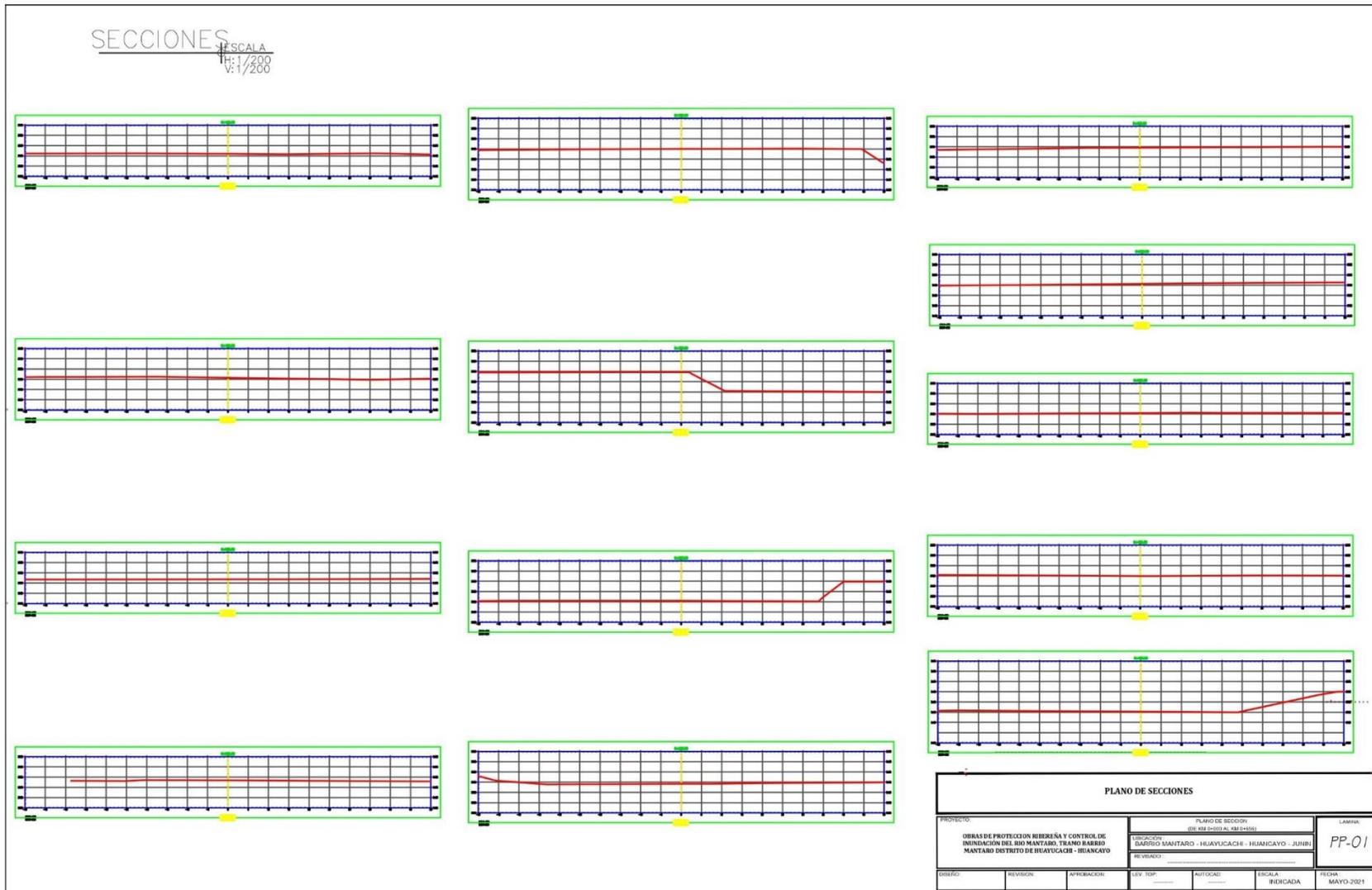




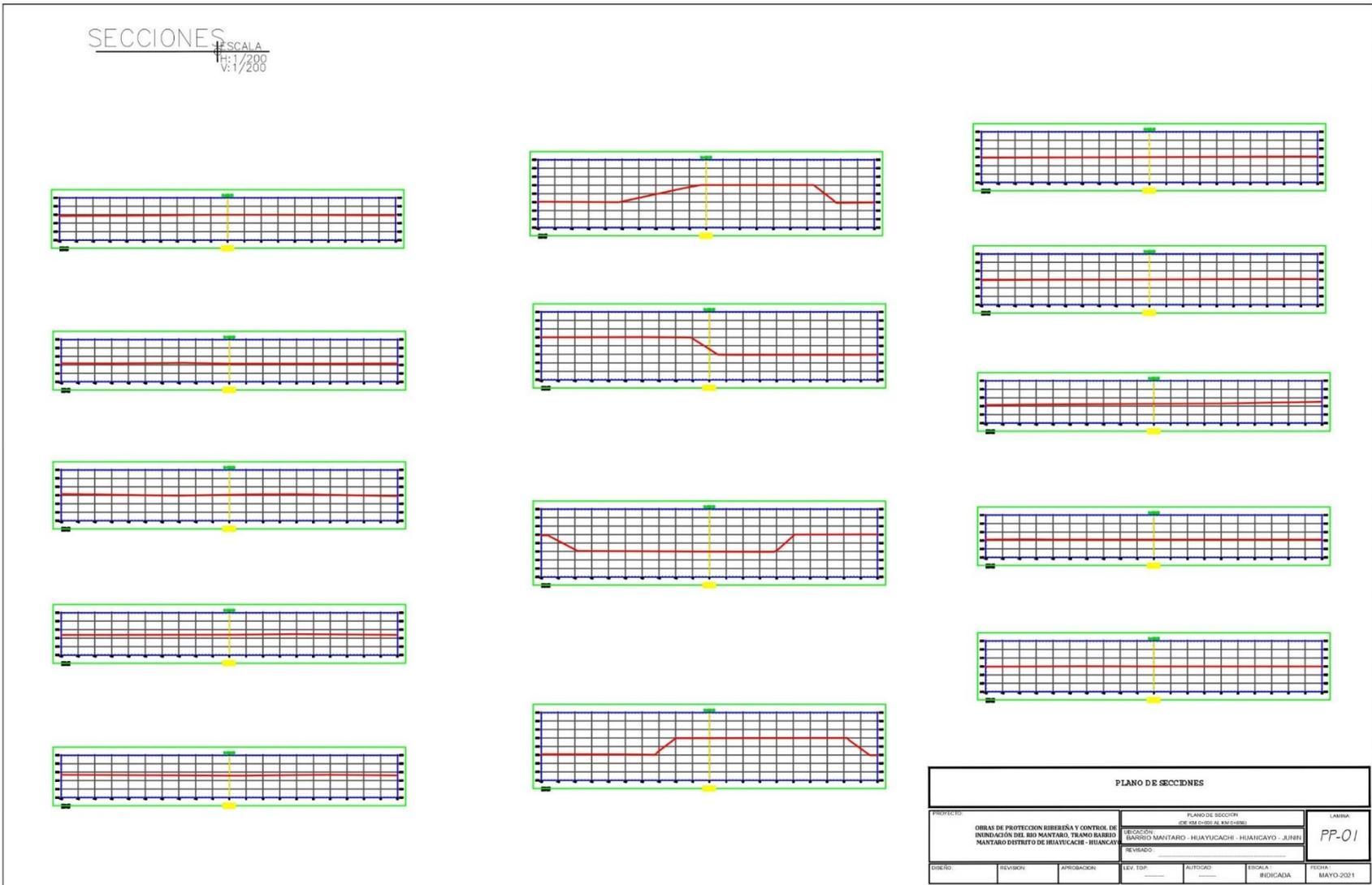
2. Plano de ubicación de las secciones



3. Plano de secciones 1

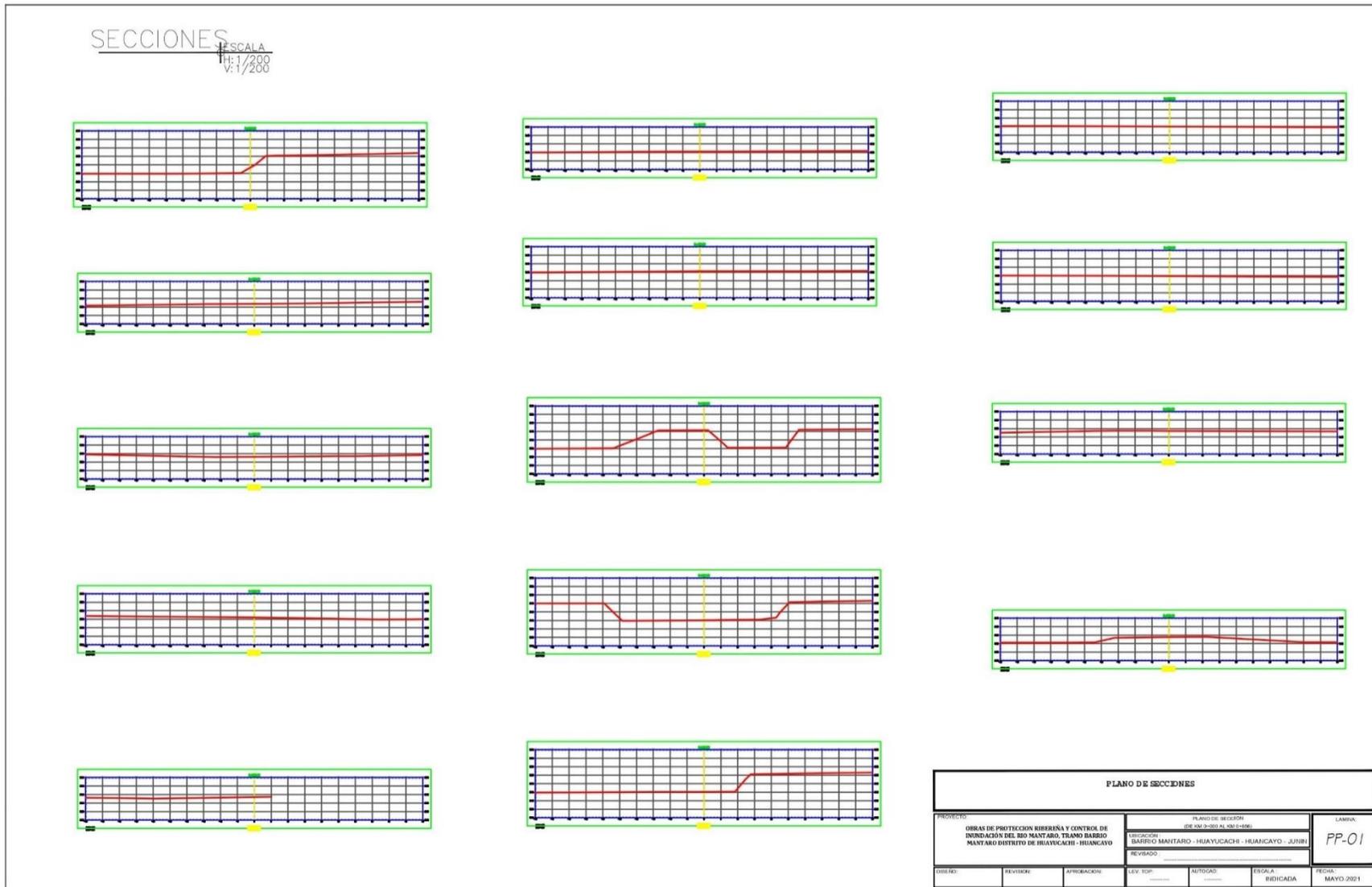


4. Plano de secciones 2





6. Plano de secciones 4



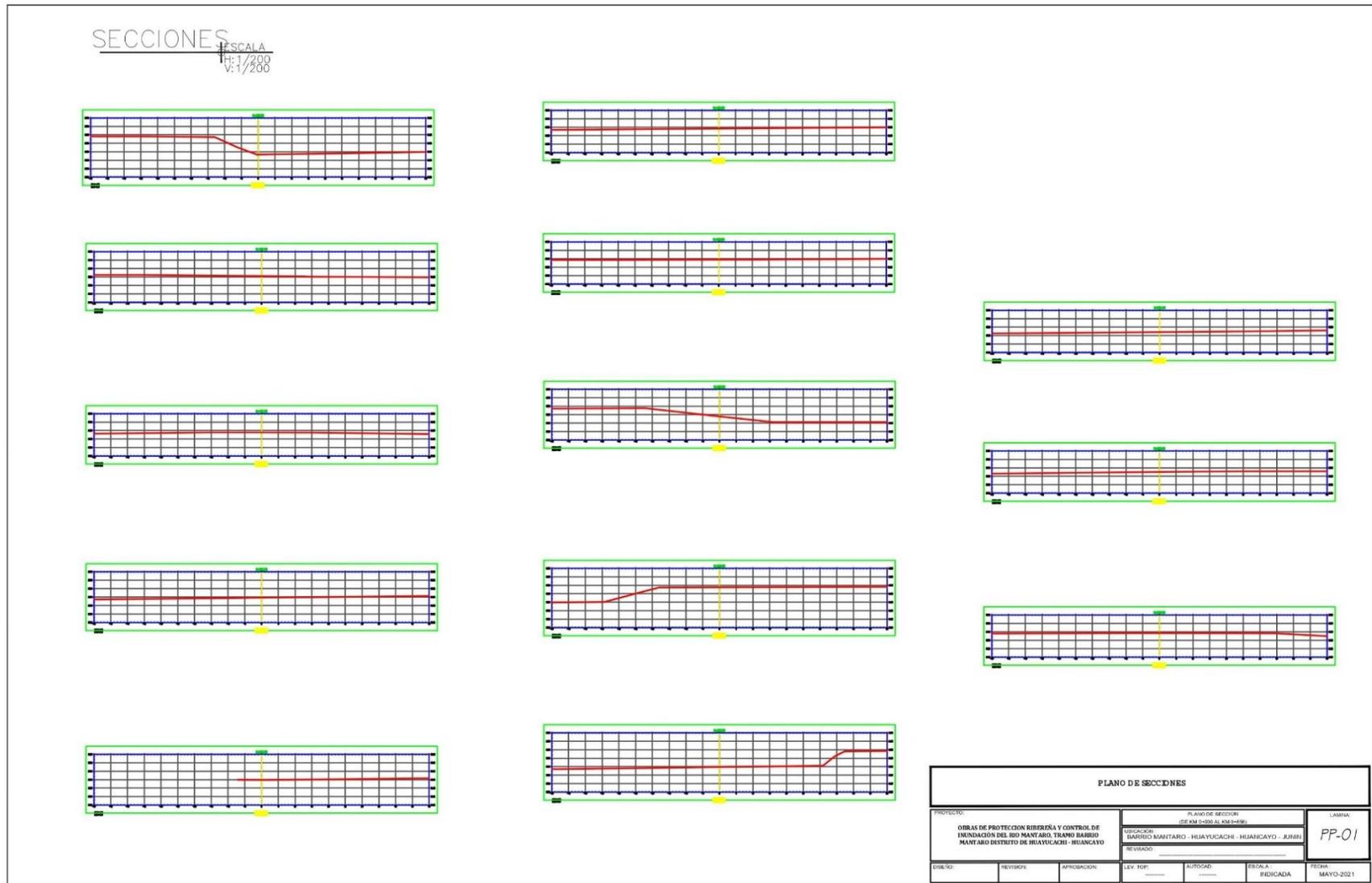
7. Plano de secciones 5



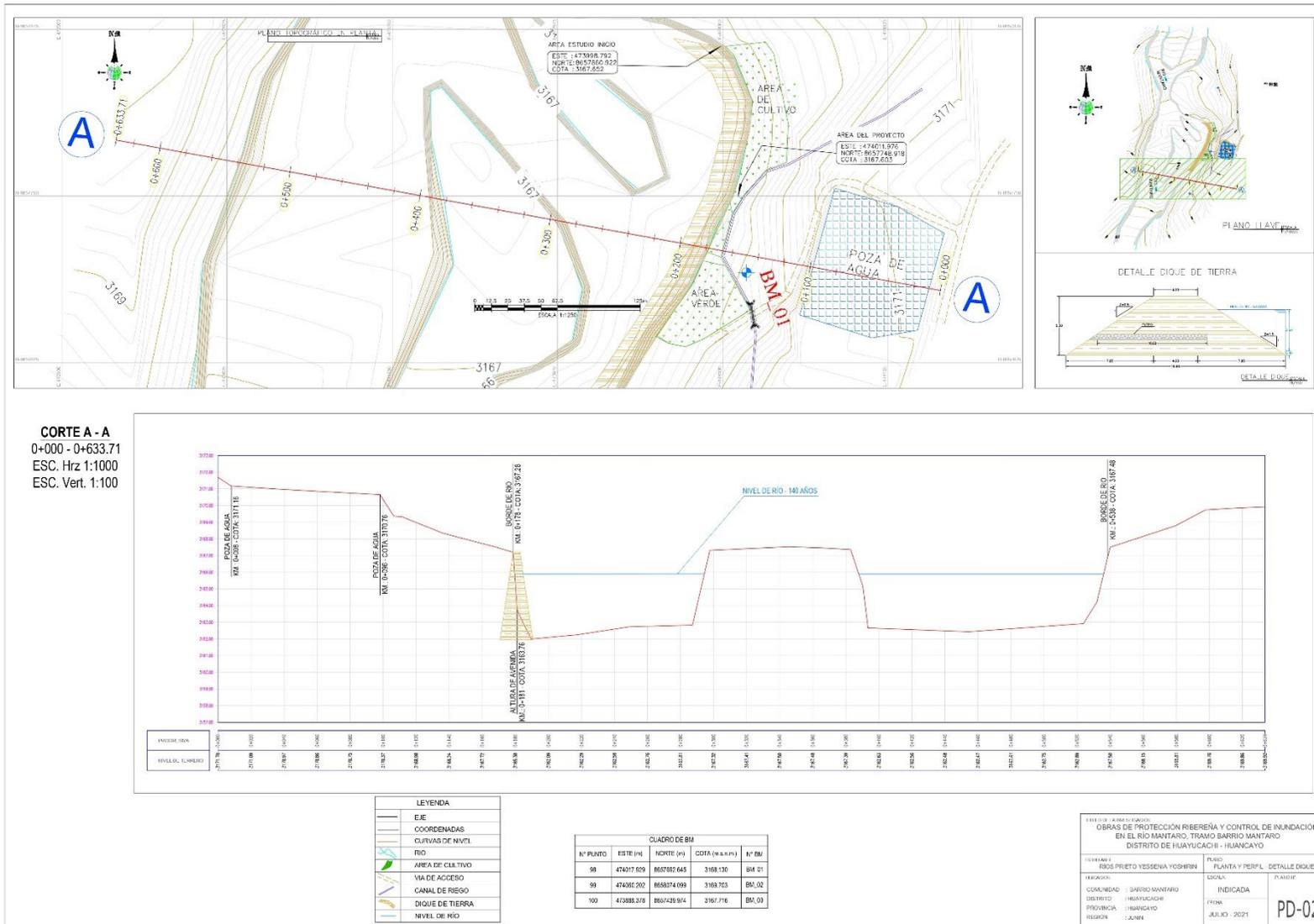
8. Plano de secciones 6



9. Plano de secciones 7



# 10. Plano de planta – Detalle dique A



11. Plano de planta y perfil detalle enrocado - A

