

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**FLUJO EN EL RÍO CHANCHAS Y SU RELACION EN
EL CAMBIO DE SECCIÓN EN EL DISTRITO DE
SAPALLANGA, PROVINCIA DE HUANCAYO - 2020**

PRESENTADO POR:

Bach. CHOQUE QUISPE, Edu Yarzino

Línea de investigación institucional: Nuevas tecnologías y
procesos

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

Huancayo – Perú

2022

Ing. HENRY GUSTAVO PAUTRAT EGOAVIL

Asesor

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi mamá Gloria Gladys Quispe Mulato y abuelita Alejandra Mulato Quispe, pues sin ellas no lo había logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y amor de madre y abuelita, las amo.

Bach. CHOQUE QUISPE, Edu Yarzinio

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS, ser divino por darme la vida y guiar mis pasos día a día.

A mi madre que gracias a su esfuerzo y dedicación pude lograr todas mis metas.

A mi abuelita que gracias a su apoyo comprensión y estar día a día a mi lado pude terminar con éxito.

A las personas que estuvieron a mi lado en todo momento, familiares, amigos, colegas, etc.

Bach. CHOQUE QUISPE, Edu Yarzinio

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

Dr. Ruben Dario Tapia Silguera
PRESIDENTE

Mg. Alejandro Benjamín García Ortiz
JURADO

Ing. Yina Milagro Ninahuanca Zavala
JURADO

Ing. Edmundo Muñico Casas
JURADO

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza
SECRETARIO DOCENTE

ÍNDICE

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Formulación del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos	19
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Justificación.....	20
1.4.1. Justificación social.....	20
1.4.2. Justificación teórica	20
1.4.3. Justificación metodológica	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.2. Marco conceptual.....	30
2.2.1. Consideraciones de hidráulica fluvial	30
2.2.2. Transporte de sedimentos.....	44

2.2.3. Avenida.....	64
2.2.4. Software de análisis hidráulico.....	71
2.3. Definición de términos básicos.....	73
2.4. Hipótesis.....	74
2.4.1. Hipótesis general.....	74
2.4.2. Hipótesis específicas.....	74
2.5. Variables.....	75
2.5.1. Variable 1.....	75
2.5.2. Variable 2.....	75
CAPÍTULO III.....	77
METODOLOGÍA.....	77
3.1. Método de investigación.....	77
3.2. Tipo de investigación.....	77
3.3. Nivel de investigación.....	78
3.4. Diseño de investigación.....	79
3.5. Población y muestra.....	79
3.5.1. Población.....	79
3.5.2. Muestra.....	79
3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	80
3.7. Validación e instrumentos de recolección de datos.....	80
3.8. Procesamiento de la información.....	81
3.8.1. Cálculo del caudal del río Chanchas.....	81
3.8.2. Análisis hidráulico del río Chanchas.....	85
3.8.3. Erosión en el río Chanchas.....	91
3.8.4. Socavación en el río Chanchas.....	93
CAPÍTULO IV.....	96
RESULTADOS.....	96
4.1. Presentación de resultados.....	96
4.1.1. Caudal máximo y la socavación del río Chanchas.....	96
4.1.2. Tirante y la socavación del río Chanchas.....	97
4.1.3. Velocidad y la erosión del río Chanchas.....	97

4.1.4. Flujo del río Chanchas y cambio de sección.....	98
4.2. Prueba de hipótesis	98
4.2.1. Caudal máximo y la socavación del río Chanchas	98
4.2.2. Tirante y la socavación del río Chanchas	100
4.2.3. Velocidad y la erosión del río Chanchas	102
4.2.4. Flujo del río Chanchas y cambio de sección.....	103
CAPÍTULO V	106
DISCUSIÓN	106
5.1. Discusión de resultados.....	106
5.1.1. Caudal máximo y la socavación del río Chanchas	110
5.1.2. Tirante y la socavación del río Chanchas	112
5.1.3. Velocidad y la erosión del río Chanchas	113
5.1.4. Flujo del río Chanchas y cambio de sección.....	114
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
ANEXOS	125
PANEL FOTOGRÁFICO	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de corrientes de agua según Veri-Tech, 1998	36
Tabla 2. Valores de F_s	41
Tabla 3. Valores de K_1	42
Tabla 4. Valores de K_s	43
Tabla 5. Tabla de Cowan para determinar el coeficiente n	44
Tabla 6. Tipo de transporte de sedimentos según Breusers y Raudkivi, 1991	46
Tabla 7. Tamaño de partículas	53
Tabla 8. Valores de B	57
Tabla 9. Valores de x y $1/x+1$	57
Tabla 10. Socavación general a largo plazo	59
Tabla 11. Socavación general en suelos heterogéneos	60
Tabla 12. Socavación local en estrechamientos	61
Tabla 13. Socavación local en curvas	63
Tabla 14. Números de curva de escorrentía (AMC II)	68
Tabla 15. Periodo de retorno según tipo de estructura	70
Tabla 16. Operacionalización de variables	76
Tabla 17. Cálculo del caudal del río Chanchas	84
Tabla 18. Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno	85
Tabla 19. Análisis hidráulico del río – 0 años	90
Tabla 20. Cantidad y tipo de material obtenido del río	91
Tabla 21. Tirante y velocidad erosiva en el tramo del río	93
Tabla 22. Profundidad de socavación en el tramo del río	94
Tabla 23. Tasa de erosión en el tramo del río	95
Tabla 24. Caudal y profundidad de socavación del río Chanchas	96
Tabla 25. Tirante normal y profundidad de socavación del río Chanchas	97
Tabla 26. Velocidad erosiva y erosión del río Chanchas	97
Tabla 27. Flujo del río Chanchas y cambio de sección	98
Tabla 28. Estadística de regresión – caudal y socavación	99
Tabla 29. Análisis de varianza – caudal y socavación	99
Tabla 30. Estadística de regresión – tirante y socavación	100

Tabla 31. Análisis de varianza – tirante y socavación	101
Tabla 32. Estadística de regresión – velocidad y erosión	102
Tabla 33. Análisis de varianza – velocidad y erosión	103
Tabla 34. Estadística de regresión – flujo del río y cambio de sección.....	104
Tabla 35. Análisis de varianza – flujo del río y cambio de sección	104
Tabla 36. Valores de Q^2 , T , $T/(T-1)$, X , QxX y X^2	128
Tabla 37. Valores de Q^2 y $\sum Q^2$	131
Tabla 38. Valores de YN y σN	132
Tabla 39. Valores de $N\alpha\sigma m$	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Posición de parámetros de la sección transversal de un río.....	32
Figura 2. Tipos de barras en un cauce	35
Figura 3. Formas típicas de los ríos	40
Figura 4. Diagrama de fuerzas sobre una partícula.....	47
Figura 5. Tipos de erosión hídrica	50
Figura 6. Cambio de sección en un río aguas abajo de un puente.....	55
Figura 7. Cambio de sección de un río aguas debajo de una represa.....	55
Figura 8. Ventana de inicio del HEC – RAS	72
Figura 9. Curva de regresión – función potencial – caudal y socavación	99
Figura 10. Curva de regresión – función potencial – tirante y socavación	101
Figura 11. Curva de regresión – función potencial – velocidad y erosión	102
Figura 12. Curva de regresión – función potencial – flujo del río y cambio de sección ...	104

RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema general: ¿Cómo es la relación entre el flujo en el río Chanchas y el cambio de sección, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020?, el objetivo general fue: Determinar la relación entre el flujo en el río Chanchas y el cambio de sección en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020; y la hipótesis general que se contrastó fue: La relación entre el flujo del río Chanchas y el cambio de sección es directa, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020. El método de la investigación fue científico, de tipo aplicado, con nivel descriptivo – correlacional y diseño no experimental. La población estuvo compuesta por la subcuenca del río Chanchas y la muestra estuvo delimitada por el tramo de 12.500 Km del trayecto del río Chanchas, dentro del distrito de Sapallanga, Huancayo. La conclusión principal es que existe relación directa entre el flujo del río Chanchas y el cambio de sección; ya que se pudo demostrar que el cambio de sección depende del caudal o flujo del río que se estima e incrementando el riesgo de desbordamiento e inundación en ambas márgenes del río.

Palabras clave: Cambio de sección, caudal, desbordamiento, flujo de río, inundación, subcuenca.

ABSTRACT

The general problem of this research was: How is the relationship between the flow in the Chanchas river and the change of section in the district of Sapallanga, province of Huancayo - 2020; the general objective was: To determine the relationship between the flow in the Chanchas river and the change of section in the district of Sapallanga, province of Huancayo - 2020; and the general hypothesis that was tested was: The relationship between the flow of the Chanchas river and the change of section is direct, in the district of Sapallanga, province of Huancayo - 2020. The research method was scientific, of applied type, with descriptive-correlational level and non-experimental design. The population was composed of the Chanchas river sub-basin and the sample was delimited by the 12,500 km section of the Chanchas river course, within the district of Sapallanga, Huancayo. The main conclusion is that there is a direct relationship between the flow of the Chanchas River and the change in section, since it was possible to demonstrate that the change in section depends on the estimated flow of the river and increases the risk of overflow and flooding on both banks of the river.

Key words: Section change, flow, overflow, river flow, flood, sub-basin.

INTRODUCCIÓN

La tesis titulada: Flujo en el río Chanchas y su relación en el cambio de sección en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020, parte de la problemática de que los desastres naturales relacionados con el agua afecta a más a las personas y la sociedad ocasionando daños mayores, debido al cambio del comportamiento del río Chanchas en los últimos años ya sea por las precipitaciones atípicas, actividad antrópica e incluso el material que transporta el mismo río. La investigación tuvo como objetivo general determinar la relación entre el flujo en el río Chanchas y el cambio de sección en el distrito de Sapallanga, Huancayo. Para el cual, se recopiló el registro histórico de precipitación máxima diaria de la estación de Viques para realizar el cálculo del caudal por el método racional donde también fue necesario conocer el área de la subcuenca, la longitud de recorrido del río y la pendiente. Una vez obtenido el caudal, se procedió a estimar los caudales de diseño para los periodos de retorno de 25; 50; 100; 200; 500 y 1 000 años, con los cuales se simuló en el programa HEC-RAS junto con las secciones del levantamiento topográfico. De las simulaciones se pudo observar que el tirante del río se incrementa conforme al caudal estimado a más años. El trabajo continuó con el cálculo de la profundidad de socavación y erosión en el tramo de estudio del río Chanchas, para el cual se emplearon ecuaciones según la bibliografía de (TERÁN, 1998) y (SUÁREZ, 2001); para obtener así el cambio de sección reflejado en el incremento del ancho estable del río y la tasa de erosión que produce en la subcuenca.

El capítulo I, desarrolla el planteamiento del problema, formulando el problema a manera de pregunta, trazando objetivos para lograr la solución del

problema, y a su vez sustenta la importancia en el contexto social, teórico y metodológico.

El capítulo II comprende el marco teórico, en el que se sostiene la investigación considerando estudios realizados anteriormente, tanto dentro del país como del exterior, así mismo se consideraron las bases teóricas y términos básicos para la comprensión de la investigación; a la vez se presenta la hipótesis como una posible respuesta al problema, además se encuentran las variables a nivel conceptual.

El capítulo III, trata sobre la metodología de la investigación, en el que se resalta el método, tipo, nivel y diseño de la investigación, así mismo se resalta la población y muestra de estudio, técnicas e instrumentos de recolección de datos y el procedimiento de la investigación para la obtención de los resultados.

En el capítulo IV, se muestran los resultados en función a los objetivos específicos que permiten hacer posible el objetivo general de la investigación.

En el capítulo V, se desarrolla las discusiones de los resultados obtenidos, donde se mencionan las investigaciones que sirvieron de soporte para el desarrollo de la investigación, obteniendo así un nuevo aporte para trabajos posteriores.

Finalmente se desarrollan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y el anexo en el que se adjunta la matriz de consistencia, fichas de los ensayos realizados en laboratorio.

Bach. CHOQUE QUISPE, Edu Yarzinio

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

De acuerdo con la (Fundación Nueva Cultura del Agua, 2010), donde menciona que los ríos tienen la misión de drenar el agua que cae en su cuenca por lo que no tienen la capacidad de limitar el caudal circulante sobre el lecho principal favoreciendo a que la crecida se desborde o inunde, provocando un tipo de inundación que mientras más alejados del río nos encontremos parece una mera inundación por precipitación. Es así que si la geomorfología de los ríos se encuentra poco alterada se evitan las inundaciones, de lo contrario los desbordamientos ocurrirán cuantas veces sea necesario hasta que el río pueda retomar su curso natural. Del mismo modo, es importante mencionar que las crecidas fluviales son los mecanismos que tiene un río para limpiar periódicamente su propio cauce y de este modo transportar agua, sedimentos, y seres vivos que con su propia geomorfología y ayuda de la vegetación de las riberas el río es capaz de auto-

regular los excesos de crecidas. Razón por la cual es importante no alterar el cauce natural de los ríos.

En las últimas décadas el mundo se ha visto afectado por los diferentes cambios climáticos, siendo una consecuencia de ello las inundaciones debido a la sobrecarga del caudal de los ríos ocasionando pérdidas humanas y materiales, es así que la BBC Mundo mencionó que “Más de 1.200 personas han muerto en la India y Bangladesh y unos 41 millones de personas han sido afectadas por inundaciones desde junio del 2017, de acuerdo con la Federación Internacional de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja”. Además de que algunas partes del Sur de Asia fueron golpeadas por lluvias históricas durante el pico de temporada de monzón del mes de agosto del 2017 (BBC Mundo, 2017).

Situación a la que no es ajena Latinoamérica ya que en los últimos días del mes de diciembre del 2015 cerca de 83 mil personas fueron evacuadas a causa de las lluvias que han dejado inundaciones y desbordes en los ríos en las países e Uruguay, Argentina y Paraguay (TeleSUR , 2015).

Por otro lado, este fenómeno también sucedió en el Perú, generando daños significativos en los últimos años, según (El Comercio, 2016) “En Tumbes, Junín y Pasco las precipitaciones han alcanzado picos comparables a los registrados durante el fenómeno de El Niño de 1997-1998, evento que dejó más de 500.000 personas damnificadas y pérdidas superiores a los US\$3 mil millones en el país”, y como consecuencia del exceso de precipitaciones se desencadenan los huaicos y desbordes de los ríos. Es así que en el año 2016 se pueden mencionar algunos de los departamentos afectados, como el departamento de Piura en el que se tuvieron

50 viviendas damnificadas en los distritos de Castilla, Piura y 26 de Octubre, debido a las lluvias; en el departamento de Huánuco el caudal de los ríos superó 5 veces su volumen normal y en el departamento de Junín quedaron viviendas afectadas y en riesgo, además de que colapsaran los puentes Llaylla en Satipo y Masma en Jauja.

Según la noticia del (Diario El Correo, 2001), en el año 2001 “Centenares de personas, comerciantes y transportistas vieron interrumpidas sus labores cotidianas por la crecida del río Chanchas que cubrió en su totalidad al puente provisional que une la provincia de Huancayo con poblados de la zona sur del Valle del Mantaro”, debido a las persistentes precipitaciones.

En ese sentido la investigación pretende realizar la estimación del caudal de río Chanchas para así poder evaluar la correlación que existe con el cambio de sección del río mencionado y de este modo poder prevenir a la población cercana de posibles inundaciones como consecuencia de las crecidas que puedan suceder en los periodos de retorno para los cuales se estimará el caudal.

El estudio de los fenómenos naturales y sus consecuencias se enriquece con un sistema de registros institucionales, comunitarios y profesionales. Cada uno de ellos con herramientas y métodos característicos, que realizan distinciones de acuerdo al contexto del problema. De este modo el estudio y predicción de fenómenos naturales hidrometeorológicos y en especial las inundaciones, que hace 20 años era un proceso complicado que implicaba una gran cantidad de cálculos, análisis y tiempo en el que no se podía tomar las medidas necesarias para prevenir los desastres de manera satisfactoria. Debido a que en la actualidad los modelos

hidráulicos, hidrológicos y climatológicos han facilitado los cálculos largos, además de simular la realidad de una forma tan cercana que permiten tomar medidas correctivas y de prevención para salvaguardar la vida de las personas, las ciudades y los terrenos de cultivo (TRIGOSO, 2018).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo es la relación entre el flujo en el río Chanchas y el cambio de sección, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo es la relación entre el caudal máximo y la socavación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020?
- ¿Cuál es la relación entre el tirante del caudal y la socavación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020?
- ¿Qué relación existe entre la velocidad y la erosión del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020?
- ¿Cómo se da el efecto de cavitación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la relación entre el flujo en el río Chanchas y el cambio de sección en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la relación entre el caudal máximo y la socavación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.
- Establecer la relación entre el tirante y la socavación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.
- Verificar la relación entre la velocidad y la erosión del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.
- Describir el efecto de cavitación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, distrito de Huancayo – 2020.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación social

Según (BERNAL, 2010), la justificación social o práctica existe cuando el desarrollo de la investigación propone estrategias que al aplicarse pretenden contribuir al problema.

En ese sentido por medio de la investigación, se pretende estimar el flujo del río Chanchas y el cambio de sección, con la finalidad de anticipar y/o prevenir a la población aledaña del posible desbordamiento del río, como consecuencia de la reducción de sección transversal del río en estudio.

1.4.2. Justificación teórica

Según (CASTRO, 2016), la justificación teórica señala la importancia que tiene la investigación de un problema en el desarrollo de una teoría

científica; el cual implica indicar si el estudio permitirá realizar una innovación científica.

De acuerdo con lo mencionado en el párrafo anterior el flujo en ríos o también conocido como caudal el cual se mide en m^3/s será estimado en diferentes periodos de retorno con el aporte de diferentes distribuciones probabilísticas dentro de los cuales se evaluará el cambio de sección del río Chanchas del distrito de Sapallanga.

1.4.3. Justificación metodológica

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

Para este caso, el flujo del río Chanchas o también conocido como caudal será estimado con diferentes distribuciones probabilísticas para obtener el mayor caudal del río, además de evaluar el cambio de sección por medio de la simulación en el programa del HEC-RAS para así poder reconocer la posibilidad de un desbordamiento como consecuencia de las máximas avenidas del río Chanchas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según (LATACUNGA, 2014), previo a la obtención del título de Ingeniero Civil sustentó la tesis titulada “Formas de lecho y resistencia al movimiento en cursos naturales”. Con el objetivo de determinar la medida en que los factores influyen en la resistencia al flujo en cursos naturales. Para el desarrollo de la investigación, el autor realizó estudios fluviométricos de los cursos naturales de Ecuador para determinar el caudal, velocidad, área de sección del tramo, ancho medio, perímetro mojado, radio hidráulico, pendiente, tamaño medio del sedimento, y el coeficiente de rugosidad de un tramo del cauce del Río Monjas; del mismo modo realizó el estudio de transporte de sedimentos, estudio geotécnico, estudios hidrológicos; para finalmente realizar el modelamiento del río Monjas en el programa HEC-

RAS. Como resultado de la investigación obtuvo que las secciones seleccionadas mostraron cambios en su geometría, además de que en la cota 1480 ocurrió socavación como parte de la modelación del río. Llegó a la conclusión de que logró distinguir tres tipos de flujos en cauces de montaña debido a la concentración de carga sólida que transportan los ríos.

Según (SOLANO, y otros, 2013) previo a la obtención del título de Ingeniero Civil sustentó la tesis titulada “Estudio fluviomorfológico del río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del Proyecto Pacalori aplicando HEC-GEORAS”. Con el objetivo de calibrar y obtener los parámetros hidráulicos junto con las zonas de inundación para caudales de diferente periodo de retorno aplicado al tramo del río Quevedo – Vinces enmarcado dentro del Proyecto Control de Agua de la Provincia de los Ríos PACALORI. Para hacer posible la investigación, los autores realizaron el estudio fluviomorfológico de la cuenca del río Quevedo – Vinces para obtener los parámetros hidráulicos necesarios que servirán para la implementación del modelo matemático en el HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analyst System) que junto con el sistema de información geográfica ArcGIS y la incorporación de la extensión HEC-GeoRAS, interactuaron durante todo el proceso desde la generación del modelo digital del terreno, importación de datos geométricos del terreno incluyendo el cauce del río, secciones transversales, entre otros para la obtención de resultados que se verán plasmados en mapas de inundación y zonificación de riesgos. Como resultado de la investigación, el caudal máximo obtenido del hidrograma de crecida del río Quevedo para 100 años

de periodo de retorno es $Q_{\text{máx}}=2495.05\text{m}^3/\text{s}$ y el área efectiva de inundación del tramo analizado es de 7866.50ha para un periodo de retorno de 100 años. Llegó a la conclusión de que se logró cuantificar y visualizar los efectos producidos por la variación del régimen hidrológico en el área de estudio y de este modo poder pronosticar posibilidades de inundación para la toma de decisiones.

Según (TOAPAXI, y otros, 2015) en el artículo de investigación titulado “Análisis de la socavación en cauces naturales”. Donde el objetivo fue presentar procedimientos que permiten el cálculo de diferentes tipos de socavación y la comparación de las recopilaciones de varios autores. Mencionaron que la socavación es un fenómeno que se debe considerar en el diseño hidráulico y estructural de los elementos de apoyo de un puente, donde se puede encontrar dos tipos de socavación como la general y local (para los estrechamientos, curvas, pilas y estribos) los cuales se ven afectados por factores geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos y sedimentológicos. Llegaron a la conclusión de que, en la socavación general la intensidad del flujo determina la capacidad de arrastre de las partículas del fondo, por lo que a mayor intensidad de flujo mayor socavación.

Según (GÓMEZ, 2021) en el artículo de investigación titulado “Análisis de inundación y cambios en la dinámica fluvial del río Magdalena en la zona urbana del Municipio de Puerto Boyacá - Boyacá”. El objetivo de la investigación fue identificar los cambios en la dinámica fluvial del río Magdalena entre los años 2013 a 2021. La investigación se llevó a cabo con el análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 8 por medio del

cálculo del índice NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado), dicho análisis se encuentra en función al comportamiento de masas de agua en estado líquido; así mismo se desarrolló el modelamiento de las zonas susceptibles a inundaciones por medio de programas como ArcGIS y Hec-Ras en la zona urbana del puerto Boyacá. Los resultados de la investigación permitieron obtener una aproximación de la amplitud de lámina de agua en el modelo de inundación debido a los efectos del Fenómeno de La Niña que en Colombia se caracteriza por el incremento de precipitaciones anuales, del mismo modo se pudo correlacionar el cambio de dinámica fluvial del río con eventos de inundación por precipitación y crecientes del río Magdalena. Llegó a la conclusión de que, los cambios en la dinámica fluvial evidencian la vulnerabilidad por erosión que sufrió el río Magdalena en ambas márgenes debido a la deforestación y el uso inadecuado del suelo en zonas ribereñas, donde estas malas prácticas aceleran el fenómeno de socavación, erosión e inestabilidad de taludes.

Según (GONZÁLEZ, y otros, 2021) en el artículo de investigación titulado “Impacto del cambio climático y cambio de uso/cobertura de la tierra en la respuesta hidrológica y erosión hídrica en la subcuenca del río Quiscab”. El objetivo de la investigación fue determinar el impacto del cambio climático y cambio de uso/cobertura de la tierra en la respuesta hidrológica y erosión hídrica de la subcuenca Quiscab. Para el desarrollo de la investigación se consideró una línea base del año 1994 a 2015, donde en el primer escenario se evaluó el cambio climático hasta el año 2050, en el segundo escenario se evaluó el caso hipotético de uso/cobertura del bosque

menor al 80%, y el tercer escenario evaluó el uso/cobertura de bosques mayor al 50%. Los resultados de los escenarios, demuestran que el mayor impacto se debe al cambio climático, en la que la producción de agua y erosión hídrica prevé reducirse hasta 40% y 20% respectivamente. Llegaron a la conclusión de que, los cambios de erosión hídrica se clasifican de leves a moderados debido al cambio relativo de transición de la superficie; razón por la cual la subcuenca Quiscab no garantiza la producción de agua, pero su uso/cobertura (conífera, latifoliado y mixto) regula el flujo del balance hidrológico y erosión hídrica.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según (TORRES, 2019) en la tesis titulada “Flujos en río por cambios de sección por acumulación de demoliciones - Sector: Puente San Martín de la Integración, río Chillón, Lima - 2019”. Con el objetivo de determinar la influencia del flujo en ríos en el cambio de sección por la acumulación de demoliciones. Desarrolló la investigación en el que trabajó con un tramo de 834m para el estudio de su comportamiento en el que usó una ficha de evaluación hidráulica. Como resultado de la aplicación de la ficha obtuvo que el periodo de retorno para la zona de estudio es de 140 años y para hacer comparaciones se trabajó con un periodo de retorno de 500 años de los cuales se obtuvo dos perfiles de sección diferentes; de los cuales el primer perfil se ve afectado por desbordes. Llegó a la conclusión de que con el paso del tiempo la sección transversal del río se reduce y se incrementa el riesgo por inundación.

Según (OYOLA, y otros, 2019) para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola, sustentó la tesis titulada “Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC – RAS, caso río Zarumilla - 2018”. Con el objetivo de determinar áreas con riesgo de inundación para diferentes periodos de retorno utilizando el modelo HEC – RAS y Software ArcGIS. Para hacer posible la investigación realizaron el levantamiento topográfico del río Zarumilla con el que realizaron la modelación digital del terreno, posterior a ello se realizó la estimación de caudales máximos del río Zarumilla, a continuación determinaron el coeficiente de rugosidad del cauce del río y finalmente realizaron simulación de hidráulica del tramo en estudio. Como resultado de la investigación se obtuvo un promedio de los caudales máximos para los periodos de retorno de 2; 5; 10; 25; 50 y 100 años equivalentes a 445.70m³/s; 722.00m³/s; 889.71 m³/s; 1089.76 m³/s; 1231.50 m³/s y 1368.59 m³/s en los respectivos periodos de retorno mencionados. Llegaron a la conclusión de que las zonas más vulnerables ante un desborde de río por motivo de las crecidas son las llanuras que están en ambas márgenes las cuales corresponden a las áreas de cultivo del centro poblado.

Según (MAYTA, y otros, 2001) para optar el título profesional de Ingeniero Civil, los autores sustentaron la tesis titulada “Modelación hidráulica de la defensa de Calana con el fin de determinar la vulnerabilidad ante máximas avenidas”. Con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad de la defensa de Calana mediante modelación hidráulica. Para el desarrollo de la investigación realizaron una simulación numérica la cual es una herramienta

para el análisis y simulación del comportamiento hidráulico de un río y en base a ello evaluar las condiciones de vulnerabilidad, tras determinar el nivel de agua y zonas propensas a inundaciones. Como resultado de la modelación se obtuvieron velocidades máximas de 5.43m/s; 6.07m/s; 6.56m/s; 8.03m/s para los periodos de retorno de 25; 50; 100 y 200 años respectivamente y velocidades mínimas de 1.40m/s; 1.34m/s; 1.31m/s y 1.29m/s en los respectivos periodos de retorno mencionados, de otro lado es importante mencionar que los caudales se incrementaron en 39m³/s; 61m³/s; 94m³/s y 147m³/s para los periodos de retorno de 25; 50; 100 y 200 años respectivamente. Llegaron a la conclusión acorde con los resultados obtenidos que existe una alta vulnerabilidad debido al estrechamiento de la sección de la defensa de Calana específicamente en la sección del puente Calan – Pachía en la progresiva 1+130 km a 1+160 km.

Según (ESCARCENA, 2014) para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola sustentó la tesis titulada “Determinación de áreas inundables de la parte media de la microcuenca del río Zapatilla - Centro Poblado de Ancoamaya - Ilave”. Con el objetivo de determinar las áreas inundables de la zona para la cuantificación de riesgos causados por la inundación en los diferentes periodos de retorno, en la parte media de la microcuenca del río Zapatilla para el Centro Poblado de Ancoamaya. El desarrollo de la investigación inicia con los trabajos de topografía para un tramo de 3.5Km de longitud para la obtención de los puntos de seccionamiento del río y posteriormente aplicarlo en el software HEC – RAS, posterior a ello se obtuvieron los datos de las estaciones meteorológicas del

SENAMHI para la cuenca del río Zapatilla para realizar el análisis de la precipitaciones y obtener el caudal máximo con un periodo de retorno de 50 años. Como resultado del procesamiento de datos se obtuvo un caudal máximo de $71.76\text{m}^3/\text{s}$ con el modelo de Gumbel, coeficiente de Manning equivalente a 0.0040 por el método de rugosidad compuesta. Llegó a la conclusión de que el río Zapatilla desborda en los 3.5Km debido a que la topografía del terreno es llanura.

Según (ALCÁNTARA, y otros, 2021) en el artículo de investigación titulado “Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de Los Andes. Microcuenca del río Saraus - río La Llanga. Celendín”. El objetivo de la investigación fue identificar zonas de riesgo y desastres por medio de modelos de simulación hidráulica. Para la simulación se trazaron 26 secciones transversales cada 300 m de longitud, en las cuales se emplearon diversas herramientas geoespaciales como el HEC-RAS, RasMapper, datos geométricos de TIN que se obtiene de un modelo de elevación digital, imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG). Los resultados de las simulaciones evidenciaron manchas de inundaciones para los periodos de retorno de 30; 50 y 100 años. Llegaron a la conclusión de que, los riesgos de inundación se identifican en la parte inicial de la zona de estudio debido al incremento de caudales de inicio que conlleva a generar zonas de inundación en espacios de poca pendiente llegando a alcanzar 10 m de altura y 140 m de ancho, así mismo esta dinámica de flujo es la responsable de producir cambios de dirección y erosión en las riberas del río.

Según (CANALES, 2021) para optar el título de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada “Evaluación de riesgos existentes por erosión fluvial en el estribo izquierdo del puente Colpa Alta - 2019”. Con el objetivo de plantear la metodología apropiada para la determinación del nivel de riesgo por erosión fluvial en el estribo izquierdo del puente Colpa Alta mediante una evaluación de las estructuras de encauzamiento en dicho estribo. Para hacer posible la investigación delimitaron la cuenca hidrográfica la cual tiene una extensión de 4 065.1 Km² con 77 conformada además por 77 subcuencas, para posteriormente realizar el modelo hidrológico en el programa HEC-HMS, entre otros de los cuales se obtuvo hidrogramas de salida para los periodos de retorno de 2; 5; 10; 25; 50; 100; 140 y 500 años. De los resultados de los modelos hidrológicos, se pudo obtener los caudales máximos, profundidad de socavación general y local para los periodos de retorno de 140 y 500 años, donde los caudales máximos fueron 801.8 m³/s y 1214.6 m³/s, la profundidad de socavación general fue 2.97 m y 3.58 m, y la profundidad de socavación local fue 4.16 m y 4.88 m respectivamente para los periodos de retorno de 140 y 500 años. Llego a la conclusión de que, se tiene un alto nivel de riesgo debido a la erosión fluvial en el estribo izquierdo y que la estructura tiene eficacia media puesto que en la etapa de diseño no se consideró un modelamiento adecuado.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Consideraciones de hidráulica fluvial

Parte esencial de la hidráulica general, donde se estudian los componentes de los ríos como; movimiento del agua, sedimentos, influencia

de la vegetación y deformación del cauce, obviando la influencia de la vegetación y vida acuática dentro del cauce (OCHOA, 2011).

2.2.1.1. Clasificación morfológica de los ríos

La morfología fluvial representa la forma y estructura de la geografía de los ríos, ya que es el resultado de la erosión transporte y sedimentación de partículas de suelo de la cuenca y vallas por los que transita.

La forma del canal o cauce de los ríos, depende de características hidrológicas, geológicas y propiedades de los sedimentos. Es así que la sección transversal de un cauce depende de la geografía, geometría y sedimentos. Por lo que en curva la sección transversal de un río es más profunda en el lado exterior con un talud lateral prácticamente vertical y poco profundo en la barra que se forma al interior de la curva del río. En sectores rectos la sección transversal de un río tiene forma más trapezoidal o rectangular.

La sección transversal se describe con valores como el ancho, área de sección y profundidad máxima, sin embargo también se debe tomar en cuenta parámetros como; relación ancho – profundidad, perímetro mojado, radio hidráulico, capacidad del canal que se pueden observar en la figura (SUÁREZ, 2001).

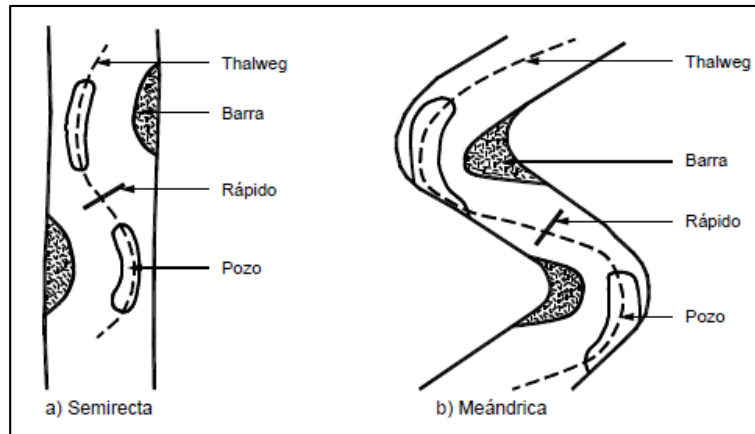


Figura 1. Posición de parámetros de la sección transversal de un río
Fuente: (SUÁREZ, 2001)

2.2.1.2. Propiedades morfológicas de los ríos

El cauce de los ríos, se puede clasificar de acuerdo a la forma semirecta, trenzada o meándrica. Sin embargo se debe tener en cuenta que una corriente presenta diversos cambios a lo largo de todo se recorrido y según el caudal que ocurra en cada época del año. Así mismo, se debe mencionar que los cauces de río se clasifican en lecho simple o múltiple, y según el material de fondo del cauce que puede ser rocoso, aluvial, cohesivo, granular, homogéneo y heterogéneo.

- **Thalweg**

Línea central que une los puntos más bajos de un cauce, donde la velocidad del flujo es mayor y generalmente tiene una tendencia a divagar de un lado a otro del cauce tratando de tomar la línea exterior del cauce en las curvas.

- **Sinuosidad**

Representa la relación entre la longitud total del thalweg en el tramo de corriente y la longitud en línea recta. Se considera un cauce semirecto cuando la sinuosidad es menor a 1.1 y se considera meándrico cuando la sinuosidad es mayor a 1.5. Sin embargo algunos autores consideran que, cuando la relación se encuentre entre los valores de 1.1 a 1.5, el río es sinuoso mientras que otros consideran que un río sinuoso cuando la relación de longitudes es mayor a 1.25.

- **Barras**

Depósitos de sedimentos junto a la orilla o dentro del cauce del río. Generalmente el ancho de la barra se incrementa cuando el ratio de erosión aumenta en la orilla opuesta, formándose una curva que al aumentar de tamaño se puede convertir en un meandro. A continuación, se describen los tipos de barras en un río.

- **Barras laterales**

Se forman junto a la orilla de cauces semirectos o sinuosos, estas barras se pueden mover a lo largo del cauce y migrar, incluso pueden ser precursoras de procesos de meanderización.

- **Barras de punto**

Se forman en la parte interna de las curvas bien desarrolladas y aumentan su tamaño en la medida que la curva se hace más fuerte.

- **Barras en las uniones de corrientes**

Se forman cuando una corriente tributaria se une a un río de menor tamaño, generalmente se forman aguas arriba y aguas debajo de dicha unión.

- **Barras en la mitad del cauce**

Se forman en cauces relativamente anchos y pueden permanecer en su sitio durante años llegando a convertirse en islas.

- **Barras en forma de diamante**

Son barras de mitad de canal de gran tamaño que producen una ramificación en el cauce del río.

- **Barras diagonales**

Se localizan diagonalmente y paralelas, debido a la corriente diagonal en el cauce del río; generalmente se forman en ríos con fondo de grava.

- **Barras en forma de olas**

Son barras que tiene un perfil similar a las dunas con dirección transversal alargada.

En la figura, se puede observar los tipos de barra de un cauce.

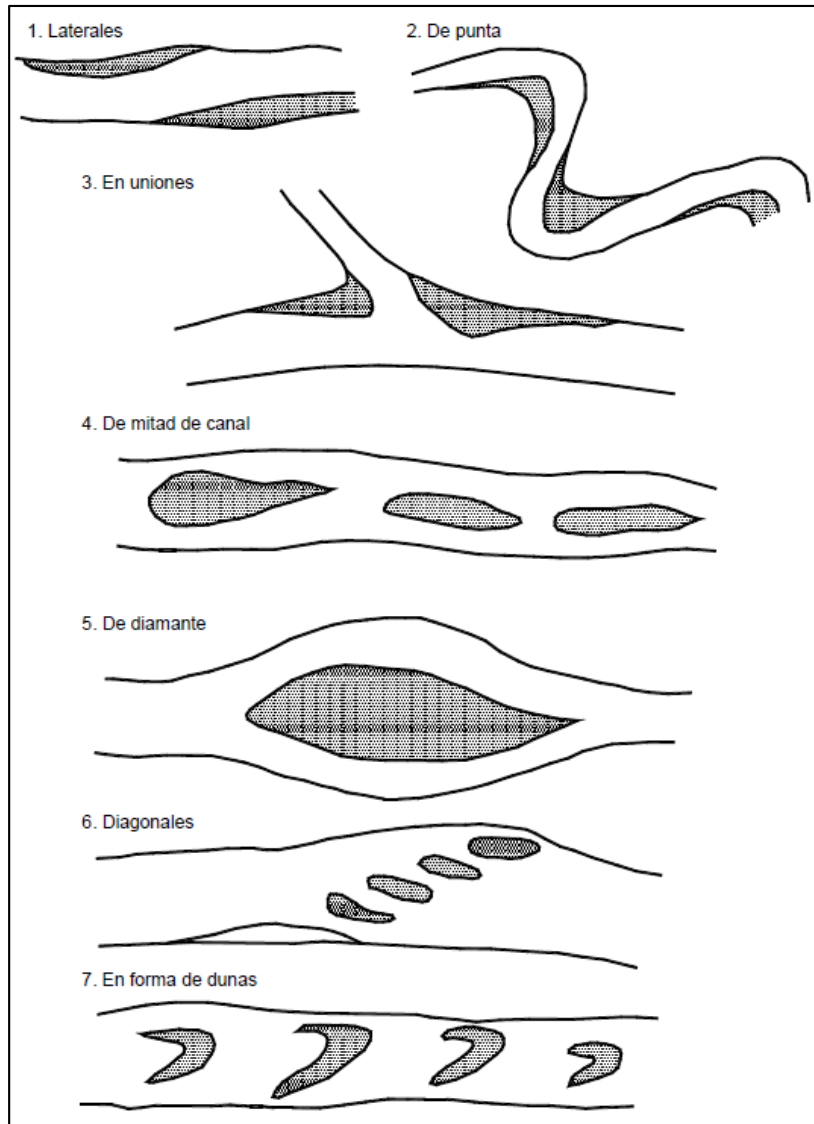


Figura 2. Tipos de barras en un cauce
Fuente: (SUÁREZ, 2001)

2.2.1.3. Clasificación de cauces

Existen diversos sistemas de clasificación de los cauces, siendo la clasificación de Veri-Tech del año 1998 la que mejor representa los tipos de corrientes de agua, como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación de corrientes de agua según Veri-Tech, 1998

PROPIEDADES	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Libertad para moverse	Aluvial	Cambia de tamaño y forma de acuerdo al caudal y a los sedimentos
	No aluvial	Fondo en roca, no puede moverse
Continuidad del flujo en el tiempo	Perenne	Flujo permanente todo el tiempo
	Intermitente	En temporadas secas el flujo desaparece
	Efímero	Solo tiene flujo en el momento de las lluvias
Relación entre erosión y sedimentación	En degradación	El cauce se está profundizando por erosión
	En agradación	El cauce se está levantando por sedimentación
Forma del cauce	Semirecto	Sinuosidad menor a 1.1
	Sinuoso	Sinuosidad de 1.1 a 1.5
	Trenzado	Se forman trenzas e islas de depósitos dentro del cauce
	Anaramificado	Se forman varios canales independientes
	Torrente	Rios de alta montaña
	Delta	Se forman canales dentro de los depósitos en la desembocadura
	Meándrico	La sinuosidad es mayor de 1.5

Fuente: (SUÁREZ, 2001)

- **Canales semirectos**

Cauces rectos son difíciles de observar en la naturaleza, es por eso que los cauces o canales semirectos presentan movimientos laterales por acreción. El fondo de estos cauces, es sinuoso con sectores de pozos o depresiones y otros presentan cambios de pendiente bruscos. En canales semirectos existe tendencia en la profundización del cauce. En este cauce la corriente de agua trata de divagar, sin embargo

las pendientes altas, topografía y geología hacen que el cauce se mantenga recto con algunas curvas. Así mismo, en ambos lados del río se produce sedimentación en playones y barras, a diferencia de aguas mínimas en las que se presentan fenómenos de trenzamiento y pseudo meandros dentro del cauce principal, ocasionando focos de erosión lateral.

- **Canales sinuosos**

Los canales sinuosos se clasifican en tres categorías.

Donde los ríos sinuosos en forma de canal tienden a ser angostos y con espesor de corriente importante, cuya sinuosidad es alta con ratio de erosión lateral baja. Los ríos sinuosos con barras laterales, cuyas barras aumentan respecto al incremento de la erosión en la orilla opuesta que tienen salientes prominentes y se pueden visibilizar con caudales normales. La resistencia a erosión en estos ríos es menor que en ríos sinuosos en forma de canal. El material de estos ríos, generalmente es arena o grava.

Los ríos sinuosos trenzados son el resultado del incremento de la erosión lateral con exceso de sedimentación, que incluso forma islas en ríos sinuosos.

- **Canales trenzados**

Consiste en una serie de canales múltiples interconectados, se formaron debido a la sedimentación de gran magnitud de carga que la corriente no puede transportar.

En zonas con cambio de pendiente fuerte a moderada con caudales grandes y con suelos granulares gruesos como arenas y gravas, se pueden formar trenzas debido a la sedimentación del material grueso y la disminución de la velocidad de la corriente después de la avenida o por el cambio de pendiente. Para que se produzca un cauce trenzado, es necesario una carga sólida alta, caudal alto, pendiente importante y una orilla erosionable y semiplana.

- **Canales anaramificados**

En cauces anaramificados se forman varios cauces principales e independientes dentro del cauce principal, se diferencia del cauce trenzado ya que el flujo está dividido por islas grandes y barras largas respecto al ancho del cauce. Se dice que la anaramificación de los ríos, se debe a la consolidación de islas de cauces trenzados.

- **Corrientes de alta montaña**

Típicas de zonas montañosas, donde el cauce presenta alta pendiente, alta rugosidad de fondo y gran capacidad de transporte de sedimentos. Generalmente el material de fondo se encuentra conformado por partículas gruesas, bloques grandes o cantos de roca, gravas y arenas. El caudal en este tipo de corrientes es variable, con caudales mínimos o inexistentes y en ocasiones el caudal es muy alto con un tiempo de duración corto.

- **Canales delta**

Los canales delta, se forman por el depósito de material aluvial en la entrega de un río al mar o hacia otro río. En este tipo de corrientes, se forman varios canales similares a un cauce trenzado. Se forman debido a que la velocidad y turbulencia disminuyen obligando a la carga a sedimentarse.

- **Canales meándricos**

Se forman en tramos de pendiente suave, con carga de sedimentos finos donde hay equilibrio entre la erosión y capacidad de transporte. Esta formación depende de los valores del caudal, pendiente y disponibilidad de sedimentos. También se debe reconocer como un fenómeno, producto de la divagación en curvas repetidas de dirección contraria dentro de un ancho general o área de divagación.

Los cauces meándricos pueden ser regulares, irregulares, y tortuosos. En cauces meándricos regulares, el patrón de meandro se repite de forma homogénea. Los cauces meándricos irregulares, no presentan repetición del patrón de meandro. Y en los cauces meándricos tortuosos, el patrón de meandro se repite con ángulos mayores a 90° entre el eje de canal y tendencia del valle; siendo un sistema común en ríos tropicales.

En la figura, se puede observar las formas típicas de los ríos según (SUÁREZ, 2001).

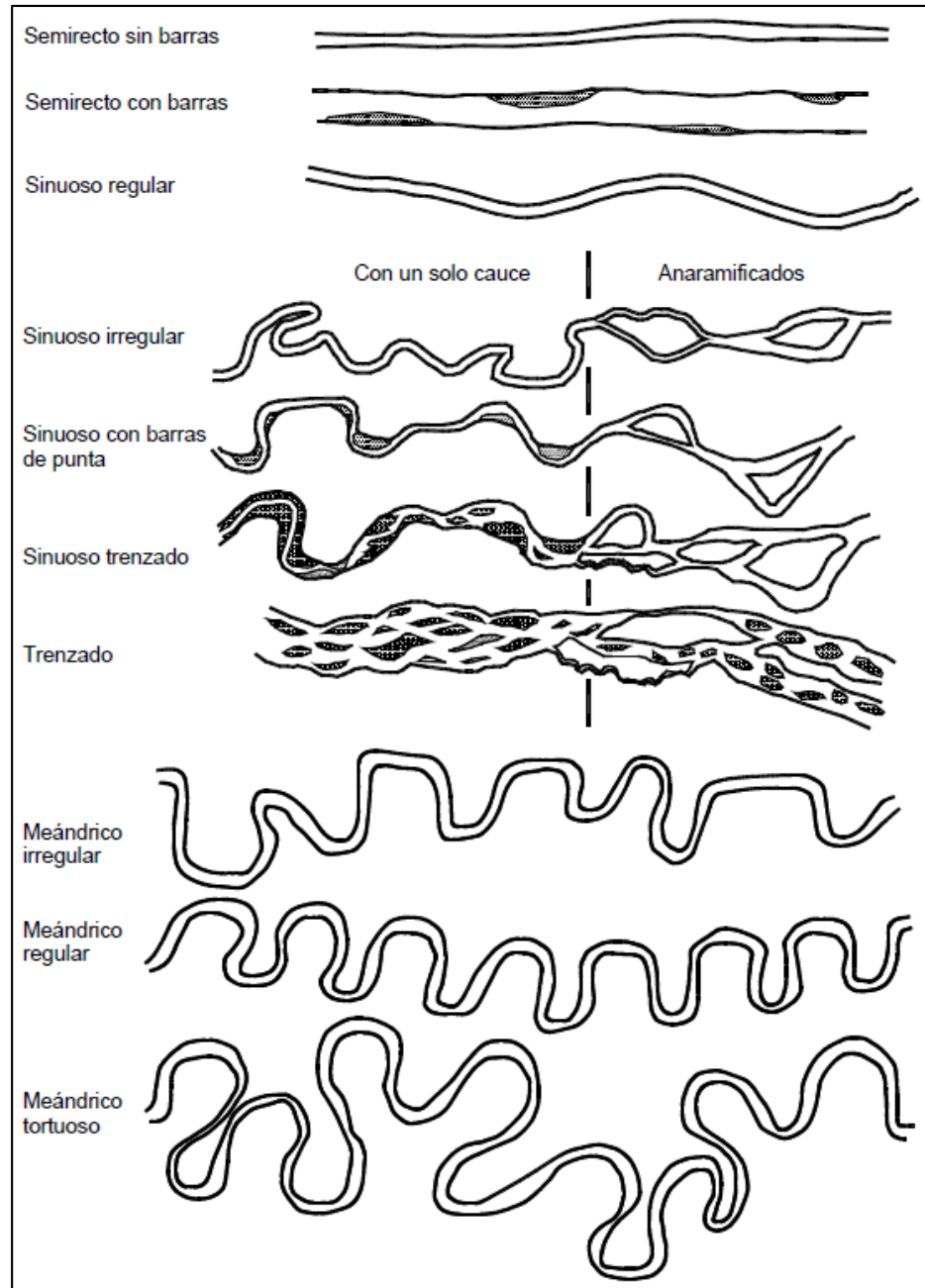


Figura 3. Formas típicas de los ríos
Fuente: (Suárez, 2001)

2.2.1.4. Análisis hidráulico de un río

- **Sección estable del río**

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

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

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en m³/s

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

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

Tabla 2. Valores de Fs

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

Fuente: (TERÁN , 1998)

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

$$b = K_1 * Q^{1/2} \quad (2)$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en m³/s

K₁: Valores de tabla

Tabla 3. Valores de K_1

Condiciones de fondo de río	K1
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas de grava	2.9
Fondo arena y orillas material no cohesivo	2.8

Fuente: (TERÁN , 1998)

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

S: 0.06 a 10%

Q: 0.15 a 250 m³/s

D_m: 0.03 a 80 mm

- **Profundidad media**

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

- **Pendiente hidráulica**

$$S = \frac{\left(\frac{0.55 * F_b^{5/6}}{F_s^{1/12}} \right)}{\left(1 + \frac{C}{233} \right) * (K * Q^{1/6})} \quad (4)$$

$$K = \frac{6.6 * g}{\gamma^{1/4}} \quad (5)$$

Donde:

S: Pendiente hidráulica en %

C: Concentración de material de fondo en 10⁻⁵

K: Factor secundario

D_m : Diámetro mediano

g : Gravedad

γ : Peso específico del agua

- **Tirante normal**

$$t = \left[\frac{Q}{K_s * b_o * S^{1/2}} \right]^{3/5} \quad (6)$$

Donde:

t : Tirante normal

b_o : Ancho estable del río en m

S : Pendiente en %

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

Tabla 4. Valores de K_s

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

Fuente: (TERÁN , 1998)

- **Velocidad media del agua**

$$Vm = K_s * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (7)$$

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (8)$$

Donde:

Q : Caudal de diseño en m^3/s

A : Área de la sección en m^2

R: Radio hidráulico en m

S: Pendiente en %

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

Vm: Velocidad media del agua

n: Coeficiente de rugosidad

Tabla 5. *Tabla de Cowan para determinar el coeficiente n*

Superficie del canal	Tierra	n ₀	0.020
	Roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Irregularidad	Suave	n ₁	0.000
	Menor		0.005
	Moderada		0.010
	Severa		0.020
Variación de la sección	Gradual	n ₂	0.000
	Ocasional		0.005
	Frecuente		0.010 - 0.015
Efecto de la obstrucción	Despreciable	n ₃	0.000
	Menor		0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.030
	Severo		0.040 - 0.060
Vegetación	Bajo	n ₄	0.005 - 0.010
	Medio		0.010 - 0.025
	Alto		0.025 - 0.050
	Muy alto		0.050 - 0.100
Intensidad de meandros	Menor	m ₅	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

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

Fuente: (ROCHA, 2007)

2.2.2. Transporte de sedimentos

(OCHOA, 2011), menciona que el volumen de los sedimentos transportados por el flujo de un cauce es importante, ya que tiene altas

posibilidades de influir en el comportamiento de las diversas estructuras hidráulicas. Además de tener la capacidad de hacer variar el cauce de un río e influir en la optimización de la navegabilidad.

(ROCHA, 1998), menciona que el río se debe estudiar históricamente; pues no basta con conocer las características topográficas, geométricas, hidráulicas y sedimentológicas en un determinado modelo.

Los ríos aluviales se caracterizan por su gran movilidad, entre ellos el movimiento de sólidos, el acarreo que en un momento puede ser total, parcial o nulo según diferentes factores. El lecho de estos ríos, está sujeto a procesos continuos de erosión, sedimentación y transporte de sólidos; por lo que un río sin obra de protección alguna está sujeto a cambios de sección transversal (ESCARCENA, 2014).

El estudio de transporte de sólidos, tiene diferentes criterios para tomar o elegir un diámetro representativo de la muestra. Por lo cual, es frecuente tomar el diámetro que corresponde al 50% del porcentaje acumulado, que se conoce como d_{50} , Einstein considera el d_{65} y Meyer – Peter utiliza el diámetro efectivo conocido como $d_m = \sum \frac{d_i * \Delta p}{100}$.

Los ríos transportan tres tipos de carga, los mismos que se describen en las siguientes líneas.

- **Carga de fondo**

La carga de fondo corresponde al material grueso que es transportado dentro del flujo de agua, este transporte incluye a los sedimentos mayores a 0.064mm.

Las partículas se transportan rodando, deslizándose o dando saltos con velocidades menores a las del flujo del rededor. Este tipo de carga es importante, ya que tiene mayor influencia en el cambio del fondo de los ríos. (McCUEN, 1989) dice que la porción de carga de fondo es menor del 25% de la carga total transportada.

- **Carga en suspensión**

La carga en suspensión consta de partículas de tamaño menor a 0.064 mm, las cuales se transportan suspendidas dentro del flujo y se mantienen dentro del flujo debido a un proceso de mezcla turbulenta. En la tabla se muestra el tipo de transporte de sedimentos.

Tabla 6. *Tipo de transporte de sedimentos según Breusers y Raudkivi, 1991*

Velocidad de caída/velocidad del flujo	Tipo de transporte
0 a 0.7	Suspensión
0.7 a 2	Saltación
2 a 6	Carga de fondo

Fuente: (SUÁREZ, 2001)

El flujo de agua ejerce fuerzas sobre las partículas, que incluyen; fuerza de tracción en la dirección del flujo, fuerza de rozamiento que se opone al movimiento y fuerza de gravedad como se muestra en la figura.

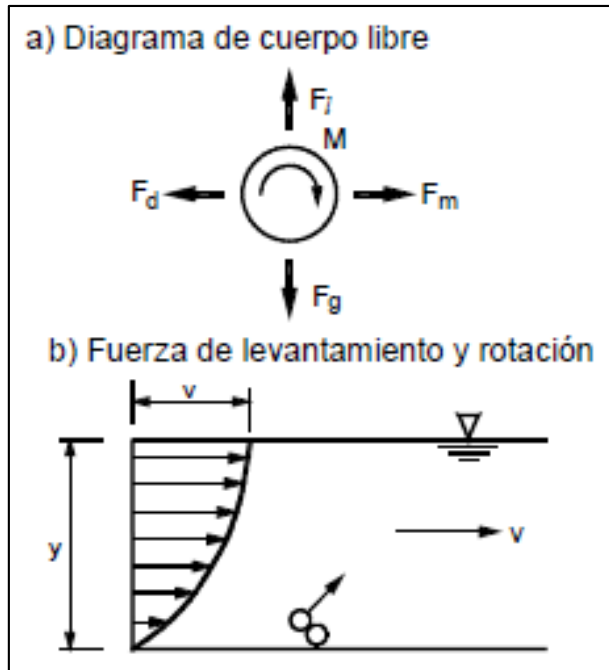


Figura 4. Diagrama de fuerzas sobre una partícula
Fuente: (SUDAS, 2021)

Donde:

F_m : Momento del agua que mueve la partícula en la dirección del flujo

F_d : Fuerza total de tracción

$$F_d = C_d * A_c * \rho * \frac{v^2}{2} \quad (9)$$

Donde:

C_d : coeficiente de tracción

A_c : área de la sección proyectada

V : velocidad del flujo

ρ : densidad

También, se debe mencionar que la partícula suspendida se encuentra sujeta a la fuerza de gravedad F_g , la fuerza de sumergencia F_i y el perfil de velocidades generan movimiento de rotación.

- **Carga disuelta**

La carga disuelta se encuentra compuesta por materiales transportados en solución como arcillas o limos muy finos. La carga total de sedimentos es la suma de las tres cargas anteriormente mencionadas.

En ríos con sedimentos gravosos, el movimiento de granos en el fondo es intermitente. En ríos con fondo de arena, los granos se mueven en grupos generando migración en la forma del fondo; cuyo resultado es el transporte de sedimentos, resistencia y condiciones de flujo en el fondo del cauce.

La tasa de transporte de sedimentos varía considerablemente en las secciones transversales y con el paso del tiempo.

2.2.2.1. Erosión

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

La erosión es una fase del proceso de degradación, cuyas tres fases son; erosión, transporte y sedimentación. La erosión fluvial que realizan las corrientes de agua continuamente sobre la superficie terrestre; considerando el drenaje en la erosión fluvial, esta tiene la capacidad de socavar el valle en forma de V el perfil transversal de un río, provocando la profundización del cauce, ensanchamiento y alargamiento según las condiciones reciente de un río (ESCARCENA, 2014).

(LÓPEZ, y otros, 1990) la erosión es aquel proceso de disgregación de las partículas del suelo a causa del agua que culmina con el depósito de materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, de modo que la capacidad de agua se ve reducida hasta el punto de impedir la continuación en el flujo de las partículas terrosas previamente incorporadas.

La erosión hídrica ocurre de diferentes formas como erosión por salpicadura, erosión laminar, erosión por surcos y erosión en bancos aluviales.

La erosión por salpicadura es debido a las gotas de lluvia que impactan en la superficie con la energía suficiente para ocasionar el desplazamiento de partículas (SUDAS, 2021).

La remoción de capas delgadas y uniformes de suelo sobre el área ocasionada por la duración, frecuencia e intensidad de las precipitaciones es conocida como erosión laminar (FAVIS-MORTLOCK, 2020).

La erosión por surcos sucede como consecuencia de pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno, concentrándose así la escorrentía en determinados sitios llegando a adquirir volumen y velocidad volumen y velocidad necesaria para realizar cortes y formar surcos (FARFÁN, 2002).

La erosión en bancos aluviales ocurre debido a procesos erosivos situados en el lecho de los barrancos o cárcavas provocando que el material de las riberas sea más inestable y el material empiece a desprenderse desde zonas altas (SUDAS, 2021).

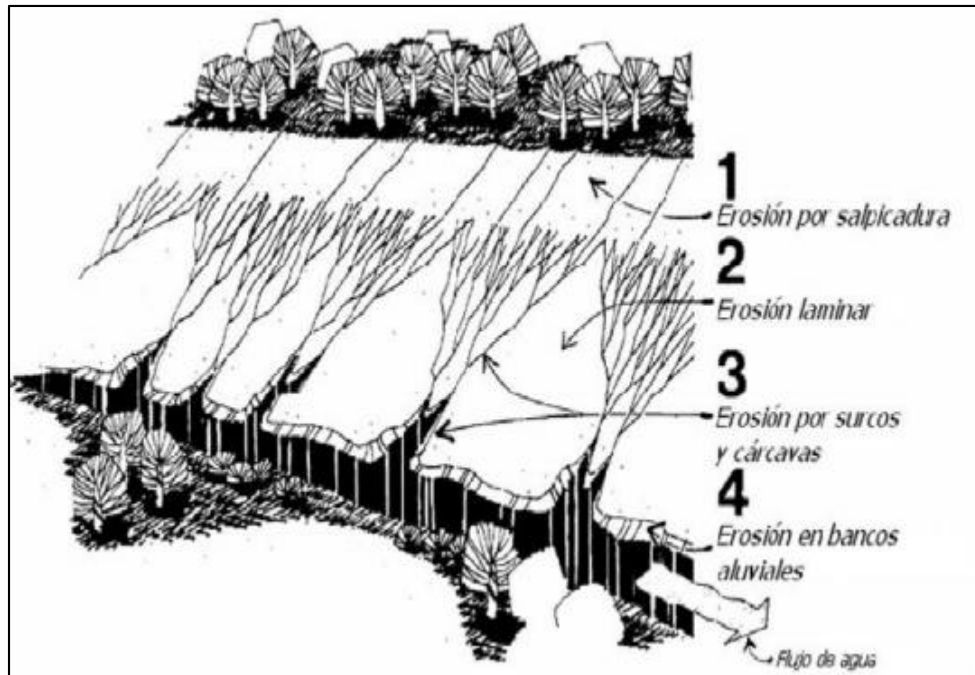


Figura 5. Tipos de erosión hídrica
Fuente: (SUDAS, 2021)

- **Erosión hidráulica**

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

En las partes altas de los ríos, se presentan grandes pendientes y poca cantidad de sedimentos, razón por la cual se tiene exceso en la capacidad de transporte que ataca el fondo de los cauces resultando la erosión; que en las partes bajas de los ríos se tienen mayor cantidad de sedimentos acumulados y elevación del lecho de los ríos (WOLFGANG, 1994).

(SUÁREZ, 2001) menciona que, el agua que circula por el cauce de una corriente de agua produce el desprendimiento y transporte de materiales que conforman el perímetro mojado; ya que

en el río pueden ocurrir dos tipos de erosión que afectan el cauce, las cuales son; erosión lateral que amplía el ancho incrementando la altura de los taludes y profundización del cauce. La erosión en ambos casos depende de factores geotécnicos del material de fondo y de los taludes, geometría, pendiente y flujo de agua. Así mismo, menciona que para cada tipo de suelo la velocidad de arrastre es diferente.

Por otro lado, se debe reconocer que el proceso de erosión es complejo y es posible desarrollar modelos para predecir la cantidad de erosión incluyendo factores hidráulicos y geotécnicos, modelos que son válidos para ríos con pendientes bajas y no aplicables a ríos de alta montaña. Un ejemplo de ello, es el modelo de degradación de un canal desarrollado por Thorne demostró que al colocar un muro de ribera se incrementa la profundidad del cauce del río y que si se intenta controlar la profundidad del cauce el ancho de cauce se incrementa.

- **Propiedades de los sedimentos**

La diversidad espacial de los sedimentos se debe al efecto del clima, vegetación, relieve, geología y procesos antrópicos de erosión. Las fórmulas para el cálculo de transporte de fondo se basan en modelos de laboratorio, ya que la medición de transporte de fondo en ríos reales es poco confiable, sin embargo la medición de carga suspendida es confiable y fácil. Por lo cual, las mediciones se deben realizar combinando las mediciones de campo y fórmulas empíricas.

Así mismo, se debe recordar que la forma irregular y no uniformidades de las corrientes dificultan los cálculos. (SUÁREZ, 2001).

- **Clasificación de sedimentos**

El movimiento de las partículas depende de características físicas como tamaño, forma y densidad. Es así que los sedimentos se clasifican en cohesivos y no cohesivos.

Sedimentos no cohesivos

Conformado por cantos rodados, bloques, gravas y arenas. La fuerza de resistencia a la erosión es su peso sumergido. El análisis de erosión y transporte de sedimentos es más accesible y confiable con este tipo de sedimentos.

Sedimentos cohesivos

Mezclas de limos y arcillas. La fuerza de atracción neta entre las partículas y fuerzas electroquímicas controlan la resistencia a la erosión. Las mismas que controlan el comportamiento hidrodinámico de la suspensión de sedimentos finos.

- **Tamaño de sedimentos**

El tamaño de sedimentos se puede clasificar en arcillas, limos, arenas, gravas, guijarros y cantos como se muestra en la tabla.

Tabla 7. *Tamaño de partículas*

Partículas	Rango de tamaño en mm
Cantos	Más de 256
Guijarros	64 a 256
Grava	2 a 64
Arena	0.064 a 2
Limos	0.004 a 0.064
Arcillas	Menos de 0.004

Fuente: (SUÁREZ, 2001)

Es así que la mayoría parte de las partículas se encuentra conformada por cuarzo cuyo peso específico es 2.65 Kg/m³, que para la mayoría de los casos se usa este valor.

○ **Forma de sedimentos**

La forma de sedimentos se determina con la siguiente fórmula.

$$Factor\ de\ forma = \frac{c}{(ab)^{1/2}} \quad (10)$$

Donde:

a: es la dimensión máxima de la partícula

b: es la dimensión intermedia de la partícula

c: es la dimensión mínima de la partícula.

Correspondiente a los tres ejes de la partícula mutuamente perpendiculares entre sí.

El factor de forma de las partículas de arena posee un factor de forma de 0.7.

○ **Velocidad de caída**

La velocidad de caída de las partículas es importante para el análisis de sedimentación y suspensión, ya que la magnitud de la velocidad de caída refleja el balance entre la fuerza hacia abajo

(debido al peso sumergido) y las fuerzas que se oponen a la caída (debido a la resistencia viscosa del fluido y fuerzas de inercia o tracción de la corriente).

En el caso de las partículas como limos y arcillas, el número de Reynolds es menor a 0.1; donde las fuerzas de inercia son despreciables y es la resistencia viscosa la que controla el flujo.

Para el caso de partículas mayores a los 2 mm, la resistencia por inercia es importante y la viscosidad es despreciable. En el caso de arenas o gravas, la velocidad de caída depende del diámetro de la partícula.

- **Variación del flujo**

Es importante mencionar que en un río los cambios constantes ocurren en; la sección transversal, talud, fondo y rugosidad, los cuales generan cambios en las condiciones de flujo. Razón por la que los ríos tienen geometría variable. Es así que en ríos aluviales, ocurren cambios significativos en la movilidad del fondo y orillas durante y después de las avenidas.

La construcción de obras laterales de protección, cambian de sección aguas abajo y la construcción de puentes ocasiona represamiento aguas arriba y direccionamiento aguas abajo (Suárez, 2001). Tal como se muestra en las siguientes figuras.

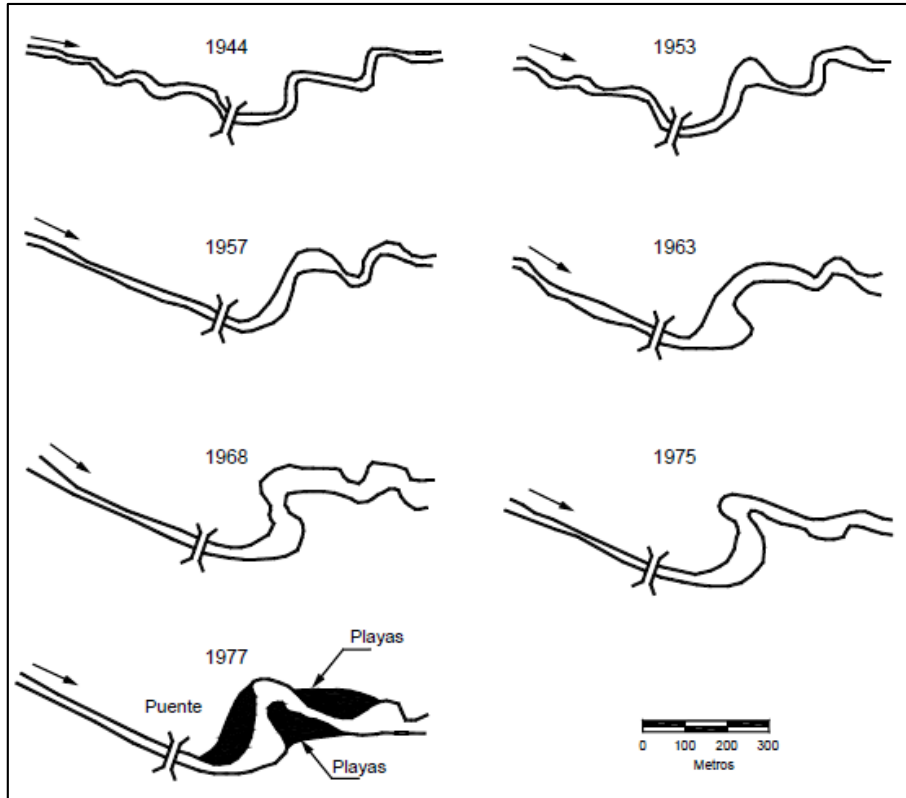


Figura 6. Cambio de sección en un río aguas abajo de un puente
Fuente: (SUÁREZ, 2001)

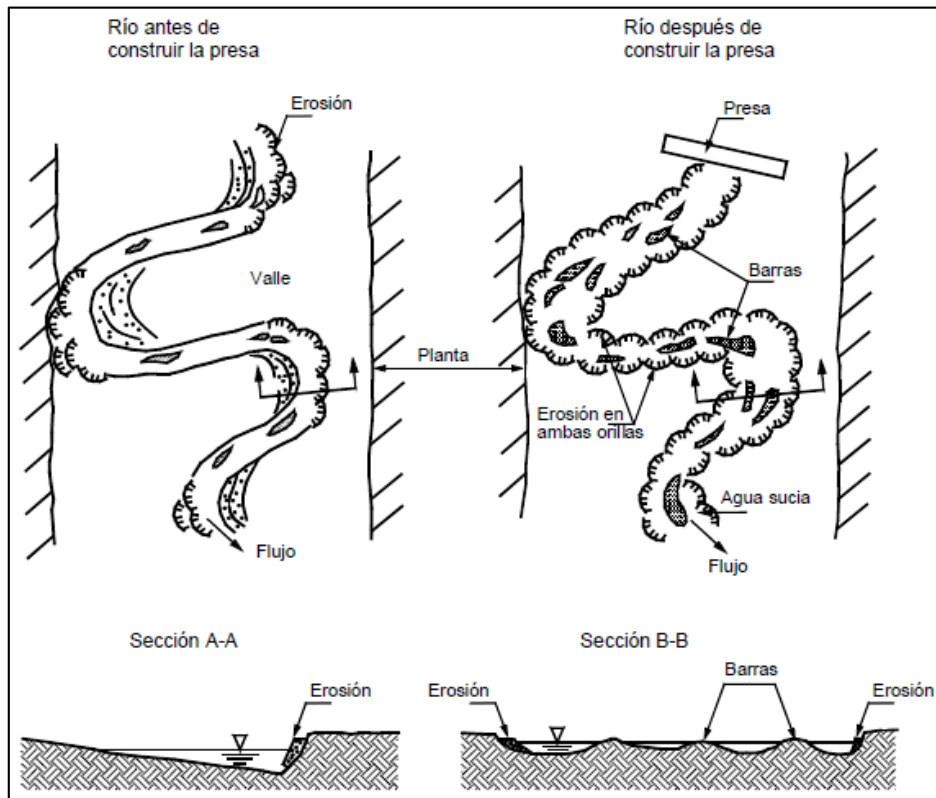


Figura 7. Cambio de sección de un río aguas debajo de una represa
Fuente: (SUÁREZ, 2001)

Un aspecto muy importante a mencionar es el equilibrio y desequilibrio en los ríos, ya que están expuestos a un intercambio continuo de partículas de sedimentos en el fondo y en el flujo. Se dice que cuando la cantidad de material extraído del fondo del río, es igual a la cantidad depositada en un determinado sitio del río; este se encuentra en equilibrio. Y cuando la cantidad de sedimento es diferente a la cantidad arrastrada, se dice que el río se encuentra en desequilibrio.

- **Cálculo de profundidad de erosión y velocidad de erosión**
 - **Tirante que corresponde a la profundidad de la velocidad erosiva**

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

$$t_s = \left(\frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * Dm^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}} \quad (11)$$

Donde:

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

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

$$\alpha = \frac{Q}{b_0 * t^{5/3}} \quad (12)$$

t : Tirante normal en m

Dm : Diámetro medio

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

Tabla 8. Valores de B

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

Fuente: (TERÁN , 1998)

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

Tabla 9. Valores de x y 1/x+1

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

Fuente: (TERÁN , 1998)

○ **Velocidad erosiva**

$$Ve = 0.68 * D_m^{0.28} * B * t_s^x \quad (13)$$

2.2.2.2. Socavación

De acuerdo con (APACLLA, 2014), los tramos de un río se encuentran sujetos a los procesos de erosión y sedimentación; los mismos que se pueden producir mediante un proceso natural o la mano del hombre llegando a reducir el ancho del cauce en el fondo y a la vez generando erosión. Debido

a lo mencionado, se puede incrementar la pendiente, como en consecuencia de esto se producirá una socavación local y en caso de producirse algún cambio en diferentes tramos es posible que el cauce se acelere en otros tramos del recorrido del río.

(Análisis de la Socavación en Cauces Naturales, 2015) Describen tres generalidades de la socavación local de acuerdo al tipo de obstrucción. La primer de ellas es la socavación local en estrechamientos que se encuentran lugares donde el curso del río presenta estrechamientos más o menos bruscos como en los cimientos de los puentes. En segundo lugar, describe la socavación local en curvas, ya que las curvas de los cauces poseen mayor velocidad en la parte exterior aumentando el arrastre de sólidos. Y la socavación local en pilas, este proceso ocurre de manera rápida por la existencia de mayores velocidades alrededor de las pilas de los puentes. Por otro lado, presenta el tipo de socavación general o normal que consiste en la disminución generalizada del fondo por el aumento de arrastre de sedimentos producto del incremento de la capacidad del flujo (crecidas). Asimismo, expone que tanto a la socavación local como la general son afectadas por factores geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos y sedimentológicos.

Para determinar la socavación general se aplican formulaciones semi empíricas. Se aplican las formulas de la siguiente tabla, para calcular la profundidad media de socavación a largo plazo en lechos no cohesivos.

Tabla 10. Socavación general a largo plazo

Socavación general (largo plazo)		
Autor	Ecuación	Observaciones
Lacey (1930)	$h_{ms} = 0.389 \left(\frac{Q^{1/3}}{d_m^{1/6}} \right)$	
Blench (1969)	<p>Para arenas de $0.06\text{mm} < d_{50} < 2\text{mm}$</p> $h_{ms} = 1.2 \left(\frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/6}} \right)$ <hr/> <p>Para arenas de $d_{50} > 2\text{mm}$</p> $h_{ms} = 1.23 \left(\frac{q^{2/3}}{d_{50}^{1/12}} \right)$	<p>Basada en estudios de ríos de grava gruesa</p>
Masa&Echevarría (1973)	$h_{ms} = 0.365 \left(\frac{Q^{0.784}}{B^{0.784} d_{50}^{0.157}} \right)$	<p>Basado en alcances de varios autores, incluyendo estudios en Sudamérica d_{50} en (m)</p>
Lischtvan&Levediev (-)	$h_{ms} = 0.333 \left(\frac{q^{0.710}}{d_{50}^{0.199}} \right)$	<p>Válido para el rango de las arenas d_{50} en (m)</p>
Kellerhals (-)	$h_{ms} = 0.460 \left(\frac{q^{0.800}}{d_{90}^{0.120}} \right)$	<p>Válido para lechos de gravas d_{90} en (m)</p>

Fuente: (Análisis de la Socavación en Cauces Naturales, 2015)

Donde:

B : Ancho de la superficie del agua (m)

$d_{m,50,90}$: Diámetro medio, diámetro donde el 50% y 90% del material es fino, respectivamente (mm)

h_{ms} : Profundidad media de socavación (m)

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

q : Caudal de diseño ($m^3/s.m$)

Además de ello en la tabla 2, se muestran ecuaciones aplicadas en el Método Analítico de Prueba y Error para el cálculo de socavación general en suelos heterogéneos.

Tabla 11. Socavación general en suelos heterogéneos

Socavación general (suelos heterogéneos)		
Autor	Ecuación	Observaciones
Maza (1968)	Para estratos cohesivos: $H_s = \left(\frac{\alpha H_o^{5/3}}{0.60 \beta \gamma_s^{1.18}} \right)^{\frac{1}{1+x}}$	$\alpha = \left(\frac{Q}{H_m^{5/3} W_e \mu} \right)$
	Para estratos no cohesivos: $H_s = \left(\frac{\alpha H_o^{5/3}}{0.68 \beta d_m^{0.28}} \right)^{\frac{1}{1+x}}$	

Fuente: (Análisis de la Socavación en Cauces Naturales, 2015)

Donde:

d_m : Diámetro medio de las partículas (mm)

H_o : Esla diferencia entre el nivel de fondo antes de la socavación (punto de análisis) y el nivel máximo de agua (m)

H_m : Profundidad media de la sección (m)

H_s : Profundidad de socavación en el punto de análisis (m)

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

W_e : Ancho efectivo que depende de la dirección de las pilas (m)

α : Coeficiente de distribución de gasto

γ_s : Peso específico seco del material (t/m^3)

β : Coeficiente de paso, depende de la frecuencia de avenida

μ : Factor de contracción

$\frac{1}{1+x}$: Depende del tipo de material

Para el cálculo de socavación local, las ecuaciones estarán en función de los anchos tanto en la aproximación como en la contracción. A continuación, se presenta las fórmulas para el cálculo de la socavación local en estrechamientos.

Tabla 12. Socavación local en estrechamientos

Socavación local en estrechamientos		
Autor	Ecuación	Observaciones
Laursen (1958, 1960, 1962, 1963)	$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_1}$	Socavación en lecho móvil $Q_2 = Q_{1m}$ (contracción cercana al canal principal) $n_1 = n_2$ (Coeficiente de rugosidad de Manning) $k_1 = 0.59$ para $u^*/w < 0.5$ $k_1 = 0.64$ para $0.5 < u^*/w < 2$ $k_1 = 0.69$ para $u^*/w > 2$
	$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{6/7} \left(\frac{V_1^2}{36y_1^{1/3}d_{50}^{2/3}}\right)^{3/7}$	Socavación en agua clara Unidades S.I.
Parker (1985)	$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_4}$	Socavación en lecho móvil Cauces de grava, no considera el acorazamiento (conservadora) k_4 varía entre 0.675 a 0.825
Richardson & Davis (1995)	$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{Q_1}{Q_{1m}}\right)^{6/7} \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{k_1}$	Socavación en lecho móvil Basada en estudios anteriores incluyendo la ecuación de Laursen (1960)
Richardson & Davis (1995) /HEC – 18	$y_2 = 1.48 \left(\frac{Q_2}{d_m^{1/3}W_2}\right)^{6/7}$	Socavación en agua clara

Fuente: (Análisis de la Socavación en Cauces Naturales, 2015)

Donde:

$d_{m,50}$: Tamaño medio del sedimento (mm)

k_1 : Coeficiente que depende del radio de velocidad de corte (u^*) y la velocidad de caída de las partículas (w)

Q_{1m} : Caudal aguas arriba que transporta sedimentos, generalmente en el cauce principal.

Q_2 : Caudal en la zona contraída (m^3/s)

V_1 : Velocidad del flujo de aproximación (m/s)

W_1 : Ancho del cauce principal de aproximación (m)

W_2 : Ancho del cauce principal en la sección contraída (m)

y_1 : Calado de aproximación a la contracción (m)

y_2 : Calado en la contracción (m)

A continuación, se presentan los cálculos para la socavación en curvas que se encuentran en función del radio de curvatura, el ancho del cauce y la profundidad media de la sección transversal.

Tabla 13. Socavación local en curvas

Socavación local en curvas		
Autor	Ecuación	Observaciones
Apmann (1972)	$\frac{y_{bs}}{y_u} = 1.00 - 2.00 \frac{W}{R_o}$	En base a la expresión de Chatley (1931)
Galay (1987)	$\frac{y_{bs}}{y_u} = 0.90 - 3.70 \frac{W}{R_c}$	Para curvas de 100°
Thorne (1988)	$\frac{y_{bs}}{y_u} = 2.07 - 0.19 \ln \left(\frac{R_c}{W} - 1 \right)$	Válido para $R_c/W > 2$
Lebediev (-)	$y_{bs} = y_{m\grave{a}x} \left(1 + \tau \sqrt{W/R_c} \right)$	Considera el calado máximo que se presenta en la crecida
Altinun (-)	$y_{bs} = y_u^\varepsilon$	Válido cuando no hay estrechamiento en el cauce
Maynard (1996)	$\frac{y_{bs}}{y_u} = 2.57 - 0.36 \ln \left(\frac{R_c}{W} \right)$	
Maynard modificado (1996)	$\frac{y_{bs}}{y_u} = 1.80 - 0.0510 \frac{R_c}{W} + 0.0084 \frac{W}{y_u}$	

Para $1.5 < R_c/W < 10$ y $20 < W/y_u < 125$
 Si $R_c/W < 1.5$: $R_c/W = 1.5$ y si $W/y_u < 20$: $W/y_u = 20$
 Válida para cauces meándricos formados naturalmente,
 tanto con lecho de grava y de arena

Fuente: (Análisis de la Socavación en Cauces Naturales, 2015)

Donde:

R_c : Radio de curvatura en el eje central del cauce (m)

R_o : Radio de curvatura exterior del cauce (m)

ε, τ : Coeficiente en función de W/R_c (-)

W : Ancho del cauce (m)

y_{bs} : Máxima profundidad de la curva (m)

y_{max} : Profundidad máxima en el cauce aguas arriba durante la crecida (m)

y_u : Profundidad promedio en el cauce aguas arriba de la curva (m).

2.2.2.3. Cavitación

(MARCHEGANI, 2006), la cavitación es un fenómeno perteneciente a la mecánica de fluidos. Además de que este término es entendido como la formación de bolsas de vapor localizadas en líquidos, pero usualmente se encuentran ubicados en las proximidades a superficies sólidas que limitan con el líquido.

Por otra parte, la cavitación es aquel cambio físico que ocurre en un fluido y se basa en la formación de cavidades debido a una disminución en la presión que llega a alcanzar la presión de vaporización (GUADARRAMA, 2012).

2.2.3. Avenida

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

- **Avenida máxima**

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

De acuerdo con (PIZARRO, y otros, 1993), se denomina caudal o gasto al volumen de agua que fluye por medio de una sección transversal por unidad de tiempo, siendo la unidad de medida más común y empleada el m^3/s . Siendo así para el Ingeniero Hidrólogo, el caudal una

variable dependiente en la mayoría de los estudios, ya que la ingeniería hidrológica se dedica a estimar volúmenes de flujo o los cambios de estos valores debido a la acción del hombre (LINSLEY, y otros, 1988).

- **Método de determinación de avenida máxima**

Para (TERÁN, 1998), los métodos para determinar la avenida máxima son los siguientes:

- Método empírico.
- Método histórico.
- Método de correlación hidrológica.
- Método directo o hidráulico.
- Método estadístico probabilístico.
- Método hidrológico

Según los métodos mencionados líneas arriba, el método probabilístico es el más usado para estimar los caudales máximos de un río.

Métodos probabilísticos:

La estimación de avenidas máximas, es posible realizar con los registros históricos de las máximas avenidas en un periodo de retorno de todas las máximas avenidas para un determinado periodo de retorno. Se presentan dos casos:

- Registro aceptable de 50 años, ya que en este periodo se han ocurrido avenidas de moderadas a bajas; y al extrapolar un periodo de retorno lo más probable es que de un valor bajo.
- El siguiente registro es para las mismas condiciones de 50 años, pero con avenidas extraordinarias. La excesiva extrapolación

puede traer consigo errores de apreciación en ambos extremos.
(TERÁN, 1998).

Método racional

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

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

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (14)$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía

I: intensidad de precipitación en mm/h

A: área de la cuenca.

- **Área < 10 km²**

$$Q = 0.278 * CIA \quad (15)$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía.

I: intensidad de precipitación en mm/h

A: área de la cuenca

- **Área ≤ 770 km²**

$$Q = 0.278 * CIA * k \quad (16)$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía

I: intensidad de precipitación en mm/h

A: área de la cuenca

k: coeficiente de uniformidad

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

○ **Tiempo de concentración (Tc)**

$$T_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (17)$$

Donde:

L: Longitud del cauce en Km

S: Pendiente del cauce en m/m

○ **Coficiente de uniformidad (k)**

$$k = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14} \quad (18)$$

○ **Coficiente de simultaneidad (KA)**

$$K_A = 1 - \log_{10} \frac{A}{15} \quad (19)$$

Donde:

A: Área de la cuenca en Km²

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

$$P = k_A * P_d \quad (20)$$

Donde:

K_A: Coficiente de simultaneidad

P_d: Precipitación máxima diaria del año

○ **Intensidad de precipitación (I)**

$$I = \frac{P}{24} * 11^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad (21)$$

○ **Coficiente de esorrentía (C)**

$$C = \frac{(P_d - P_o)(P_d + 23P_o)}{(P_d + 11P_o)^2} \quad (22)$$

$$P_o = \frac{5000}{CN} - 50 \quad (23)$$

Donde:

CN: Número de curva

Po: Umbral de escorrentía

Tabla 14. *Números de curva de escorrentía (AMC II)*

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos:	condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques:	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Áreas cubiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50% al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc		98	98	98	98
Calles y carreteras:	pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	grava	76	85	89	91
	tierra	72	82	87	89

Fuente: (CHOW, y otros, 1994)

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

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

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

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

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

2.2.3.1. Periodo de retorno

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

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

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad (24)$$

Donde:

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

T : es el periodo de retorno.

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

Tabla 15. *Periodo de retorno según tipo de estructura*

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

Fuente: (VILLÓN, 2002)

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

Según (PONCE, 2008), el periodo de retorno para obras regionales de control de inundaciones, puede variar entre los 50 y 100 años. Además se debe reconocer que, 100 años significa cuatro generaciones. En la

investigación se trabaja con diferentes periodos de retorno como 25; 50 y 100 años.

2.2.3.2. Inundación

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

2.2.4. Software de análisis hidráulico

2.2.4.1. HEC – RAS

El programa fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos. El HEC – RAS, es un modelo hidráulico diseñado para colaborar con el análisis de canales de flujo y la determinación de la superficie de la inundación. Cabe resaltar, que los resultados obtenidos se pueden aplicar en el manejo de la superficie de inundación, sistemas de alertas tempranas y diseños de obras de protección contra inundaciones (LÓPEZ, 2017).

El procedimiento que utiliza el modelo, para el cálculo de perfiles de agua, parte de la suposición de que el flujo varía gradualmente el cual es conocido como el método del paso directo; siendo el procedimiento de cálculo básico una solución iterativa de la ecuación de la energía. El objetivo del método del paso directo es calcular la elevación de la superficie de agua

en las secciones adyacentes. Es así que si los cálculos proceden de arriba hacia abajo o de forma inversa, depende del régimen del caudal y por último el número de Froude es el que caracteriza el régimen del flujo (LÓPEZ, 2017).

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

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

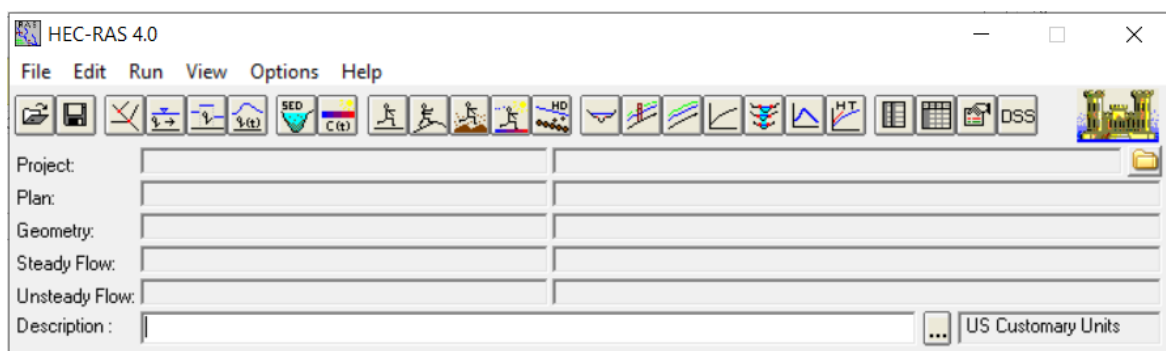


Figura 8. Ventana de inicio del HEC – RAS
Fuente: HEC – RAS

2.2.4.2. Aplicación del HEC – RAS

El software tiene diversas aplicaciones, entre las cuales más destacan: obtención de mapas de inundación, estudios de protección de avenidas y modelamiento de cambio de perfiles de agua en canales debido a mejoramientos.

2.2.4.3. Fundamento teórico

El software HEC – RAS, tiene la capacidad de realizar cálculos de perfiles de la superficie de agua unidimensional, para un flujo uniforme y gradualmente variado en canales naturales (incluyendo ríos) o artificiales. Los perfiles de agua pueden ser calculados para régimen de flujo subcrítico, supercrítico y régimen de flujo mixto (ESCARCENA, 2014).

2.3. Definición de términos básicos

- **Caudal**

Cantidad de agua que mana o corre; cantidad de un líquido o un gas que fluye en un determinado lugar por unidad de tiempo (Real Academia Española - RAE, 2005).

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

- **Erosión**

Proceso de disgregación y transporte de partículas del suelo por agentes erosivos (GILES, y otros, 2015)

- **Encauzamiento**

Conjunto de obras que colocan para fijar límites predeterminados del cauce de un río con la finalidad de que la sección y pendiente permitan el paso del caudal máximo del río (COEN - INDECI, 2015).

- **Inundación**

Acción y efecto de inundar con agua cubriendo los terrenos y a veces las poblaciones (Real Academia Española - RAE, 2005).

- **Transporte de sedimentos**

El transporte de sedimentos por los ríos es un proceso natural, como prueba de ello se tiene la migración de los ríos, formación y destrucción de los bordos e islas, como también los cambios de contorno en playas y costas (Gobierno de México , 2014).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La relación entre el flujo del río Chanchas y el cambio de sección es directa, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La relación entre el caudal máximo y la socavación del río Chanchas es directa, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.
- La relación entre el tirante y la socavación del río Chanchas es directa, en el distrito de Sapallanga, distrito de Huancayo – 2020.
- Existe relación entre la velocidad y la erosión del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.
- El efecto de la cavitación del río Chanchas es mínimo, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.

2.5. Variables

2.5.1. Variable 1

Flujos en ríos

Los flujos en ríos o también reconocidos como caudal y este es el volumen de agua que circula por el cauce de un río y se mide en m^3/s , como también el régimen fluvial es el comportamiento del caudal de agua que en promedio lleva un río cada mes a lo largo del año. Es importante reconocer que el mayor caudal se debe a las altas precipitaciones y deshielos produciendo desbordes e inundaciones, mientras que el menor caudal se llama estiaje el cual se repite cada año en la misma época (Comunidad Planeta Azul – Banco de Occidente, 2017).

2.5.2. Variable 2

Cambio de sección

La modificación de la sección de los ríos afecta las zonas aledañas a esta ya que se cambian las características de los ríos volviéndose irregulares debido a los sedimentos contaminación, residuos de demoliciones y otros (ESCOBAR, 2002).

En la tabla siguiente, se muestra la operacionalización de las variables en estudio.

Tabla 16. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	
Flujo en ríos	Los flujos en ríos o también reconocidos como caudal, es el volumen de agua que circula por el cauce de un río y se mide en m ³ /s, como también el régimen fluvial es el comportamiento del caudal de agua que en promedio lleva un río cada mes a lo largo del año. Es importante reconocer que el mayor caudal se debe a las altas precipitaciones y deshielos, mientras que el menor caudal se llama estiaje el cual se repite cada año en la misma época (Comunidad Planeta Azul – Banco de Occidente, 2017).	El flujo o caudal en el río Chanchas se estimará por medio de distribuciones probabilísticas en diferentes periodos de retorno de 10; 15; 25; 50 y 100 años.	Caudal máximo	Área	Km ²	
				Perímetro	Km	
				Longitud de cauce	Km	
				Ancho promedio	Km	
				Factor de forma de Horton	-	
				Coeficiente de compacidad	-	
				Cota mínima	msnm	
				Cota máxima	msnm	
				Densidad de drenaje	1/Km	
				Pendiente de cauce	m/m	
				Altitud media	msnm	
				Número de curva	mm	
				Intensidad	mm/hr	
				Duración	hr	
				Frecuencia	-	
				Longitud máxima de la cuenca	Km	
Velocidad de caudal máximo	Coeficiente de rugosidad	-				
	Radio hidráulico	m				
	Pendiente	m/m				
Tirante del caudal	Altura de agua	m				
	Tamaño de sedimentos	mm				
Cambio de sección	La modificación de la sección de los ríos afecta las zonas aledañas a esta ya que se cambian las características de los ríos volviéndose irregulares debido a los sedimentos, contaminación, residuos de demoliciones y otros (ESCOBAR, 2002).	Una vez obtenido la estimación de los caudales, se procederá a evaluar el cambio de sección en el río Chanchas ya que a mayor caudal existe mayor probabilidad de desbordamiento como resultado del incremento de sedimentos u otros factores que ocasionen la reducción de la sección en el río, siendo la consecuencia más resaltante la inundación en las zonas más cercanas al río Chanchas.	Erosión	Factor de forma	-	
				Velocidad de caída	m/s	
				Velocidad de flujo	m/s	
				Forma y rugosidad de superficie de fondo	-	
				Socavación	Diámetro medio de la partícula	mm
					Caudal	m ³ /s
				Cavitación	Peso específico del material	gr/cm ³
					Presión de agua	kPa
					Temperatura de agua	°C

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

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

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

3.2. Tipo de investigación

De acuerdo con (RÁMIREZ, 2010), la investigación aplicada utiliza la teoría para la solución de problemas concretos y se encuentra relacionada de manera

directa con la investigación pura, ya que las teorías que descubre esta última permiten la estructuración de soluciones concretas a problemas de la realidad.

Razón por la cual, en la presente investigación se hará uso de los conocimientos para el determinar el flujo del río Chanchas en diferentes periodos de retorno y su relación con el cambio de sección para evitar el riesgo por inundaciones producto de los desbordamientos en las zonas aledañas al río en mención.

3.3. Nivel de investigación

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

(VALDERRAMA, 2002), menciona que el nivel de investigación descriptivo, requiere considerable conocimiento del área de estudio además de ofrecer la posibilidad de predicciones; para el cual el investigador hará uso de los conocimientos adquiridos para desarrollar el tema de investigación y del mismo modo se contará con el aporte de un especialista en el tema para hacer posible la descripción de la información y resultados de la investigación.

(HERNÁNDEZ, y otros, 2014), menciona que la investigación correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población; en este caso la correlación se desarrollará entre el flujo del río Chanchas y el cambio de sección en un determinado periodo de retorno.

3.4. Diseño de investigación

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

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Según (CASTRO, 2016), la población es la totalidad de elementos que conforman la realidad que se va a investigar. En la investigación la población estuvo compuesta por la subcuenca del río Chanchas.

3.5.2. Muestra

Según (CASTRO, 2016), la muestra es parte de la población la cual se selecciona por métodos diversos y representa a la población. Para el cual la muestra de la investigación es no probabilística y por conveniencia ya que se realizaron los estudios del trayecto comprendido por 12.500 Km del río Chanchas que pertenece al distrito de Sapallanga además se hará uso de la información de los registros históricos del caudal del río Chanchas.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación directa

La observación es una técnica que consiste en determinar las propiedades mediante la percepción al momento de la toma de datos; en ese sentido esta técnica tendrá mayor relevancia cuando se realice la visita a campo y se discuta en función a los resultados obtenidos de la investigación.

Análisis de documentos

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

Trabajo en gabinete

Consiste en el procesamiento de datos, propiamente dicho en gabinete, el cual procederá con el ordenamiento de los datos de los caudales del río Chanchas, posteriormente se realizará las estimaciones del caudal del río para diferentes periodos de retorno por medio del programa de apoyo HEC-RAS.

3.7. Validación e instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos son las fichas de registro y las hojas de cálculo para estimar el caudal del río Chanchas y su cambio de sección en diferentes periodos de retorno.

3.8. Procesamiento de la información

3.8.1. Cálculo del caudal del río Chanchas

El cálculo del caudal del río, se realizó por el método racional. Para el cual se necesitó previamente el registro de precipitación de la estación de Viques que es la más cercana a la zona de estudio. En el anexo 2 se puede observar el registro de precipitación máxima diaria, desde el año 1990 a 2020 correspondiente a 31 años de registro.

En las siguientes líneas, se describe el proceso de cálculo del caudal del río Chanchas. Cuya área de subcuenca es 237.86 Km² con una longitud de recorrido promedio de 25488.48 m. Para el cual se empleó la siguiente fórmula.

$$Q = 0.278 * CIA * k \quad (16)$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía.

I: intensidad de precipitación (mm/h).

A: área de la cuenca.

k: coeficiente de uniformidad

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

- **Tiempo de concentración (Tc)**

$$Tc = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (17)$$

Donde:

L: Longitud del cauce en Km = 25.48848

S: Pendiente del cauce en m/m

$$S = \frac{4209 - 3144}{25488.48}$$

$$S = 0.042 \text{ m/m}$$

$$\therefore T_c = 0.3 * \left(\frac{25.48848}{0.0110^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$\therefore T_c = 6.43 \text{ horas}$$

- **Coefficiente de uniformidad (k)**

$$k = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14} \quad (18)$$

$$k = 1.42$$

- **Coefficiente de simultaneidad (K_A)**

$$K_A = 1 - \log_{10} \frac{A}{15} \quad (19)$$

Donde:

A: Área de la cuenca: 237.86 Km²

$$\therefore K_A = 0.20$$

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

$$P = k_A * P_d \quad (20)$$

Donde:

K_A: Coeficiente de simultaneidad

P_d: Precipitación máxima diaria del año

$$\therefore P = 46.91$$

- **Intensidad de precipitación (I)**

$$I = \frac{P}{24} * 11^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad (21)$$

$$\therefore I = 0.61$$

- **Coefficiente de escorrentía (C)**

$$C = \frac{(Pd - Po)(Pd + 23Po)}{(Pd + 11Po)^2} \quad (22)$$

$$Po = \frac{5000}{CN} - 50 \quad (23)$$

Donde:

CN: Número de curva

Po: Umbral de escorrentía

Según la tabla 14, se seleccionó el número de curva (CN) de 62 ya que los terrenos adyacentes al río Chanchas son cultivos y el suelo tiene una alta tasa de infiltración, se seleccionó la tierra cultivada con tratamiento de conservación y el grupo hidrológico A.

$$\therefore Po = \frac{5000}{62} - 50$$

$$\therefore Po = 30.65$$

$$\therefore C = 0.59$$

- **Cálculo del caudal**

$$Q = 0.278 * CIA * k$$

$$\therefore Q = 0.278 * 0.59 * 0.61 * 237.86 * 1.42$$

$$\therefore Q = 33.82 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

Tabla 17. Cálculo del caudal del río Chanchas

Año	PP máx.24h mm	Tc (h) Tiempo de concentración	K Coeficiente de uniformidad	K _A Coef. De simultaneidad	P PP máx. corregida de la cuenca	I Intensidad de la precipitación	C Coeficiente de escorrentía	Q Caudal
1990	234.3	6.43	1.42	0.20	46.91	0.61	0.59	33.82
1991	145.9	6.43	1.42	0.20	29.22	0.38	0.42	15.12
1992	163.9	6.43	1.42	0.20	32.82	0.43	0.46	18.63
1993	215.3	6.43	1.42	0.20	43.11	0.56	0.56	29.54
1994	226.7	6.43	1.42	0.20	45.39	0.59	0.57	32.10
1995	152.4	6.43	1.42	0.20	30.52	0.40	0.44	16.36
1996	226.0	6.43	1.42	0.20	45.25	0.59	0.57	31.94
1997	138.5	6.43	1.42	0.20	27.73	0.36	0.40	13.73
1998	123.3	6.43	1.42	0.20	24.69	0.32	0.36	11.00
1999	167.0	6.43	1.42	0.20	33.44	0.44	0.47	19.25
2000	99.0	6.43	1.42	0.20	19.82	0.26	0.29	7.05
2001	163.7	6.43	1.42	0.20	32.78	0.43	0.46	18.59
2002	127.9	6.43	1.42	0.20	25.61	0.34	0.37	11.81
2003	166.3	6.43	1.42	0.20	33.30	0.44	0.47	19.11
2004	135.3	6.43	1.42	0.20	27.09	0.35	0.39	13.14
2005	108.0	6.43	1.42	0.20	21.62	0.28	0.32	8.45
2006	131.7	6.43	1.42	0.20	26.37	0.35	0.38	12.48
2007	108.1	6.43	1.42	0.20	21.64	0.28	0.32	8.46
2008	123.8	6.43	1.42	0.20	24.79	0.32	0.36	11.09
2009	171.8	6.43	1.42	0.20	34.40	0.45	0.48	20.23
2010	188.6	6.43	1.42	0.20	37.76	0.49	0.51	23.73
2011	298.8	6.43	1.42	0.20	59.83	0.78	0.67	49.01
2012	153.4	6.43	1.42	0.20	30.72	0.40	0.44	16.55
2013	152.4	6.43	1.42	0.20	30.52	0.40	0.44	16.36
2014	173.4	6.43	1.42	0.20	34.72	0.45	0.48	20.56
2015	116.7	6.43	1.42	0.20	23.37	0.31	0.34	9.87
2016	150.3	6.43	1.42	0.20	30.09	0.39	0.43	15.95
2017	183.0	6.43	1.42	0.20	36.64	0.48	0.50	22.55
2018	179.0	6.43	1.42	0.20	35.84	0.47	0.49	21.72
2019	143.0	6.43	1.42	0.20	28.63	0.37	0.41	14.56
2020	94.5	6.43	1.42	0.20	18.92	0.25	0.27	6.38

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se calcula el caudal de diseño actual con el promedio de todos los datos obtenidos y se procede con el cálculo de los caudales de diseño para los periodos de retorno de 0; 25; 50 y 100 años. El cálculo de la estimación de caudales de diseño, se adjunta en el anexo 3.

En la siguiente tabla, se muestran los resultados de la estimación del caudal de diseño por el método Nash y Gumbel.

Tabla 18. Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno	Caudal (m3/s)	
	M. Nash	M. Gumbel
Qd (0a)	6.38	
Qd(10a)	35.49	42.41
Qd(15a)	38.96	45.76
Qd(20a)	41.39	48.15
Qd(25a)	43.27	49.99
Qd(50a)	49.09	55.73
Qd(100a)	54.91	61.47

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el caudal de diseño, se procedió a simular el tramo de estudio en el programa HEC-RAS versión 4.0. Los resultados se adjuntan en los anexos; en el anexo 4 se presentan las secciones transversales del tramo de estudio para los periodos de retorno de 0 y 100 años, en el anexo 5 al 8 se presentan los cuadros de salida de la simulación del río con los periodos de retorno de 0; 25; 50 y 100 años respectivamente en orden.

3.8.2. Análisis hidráulico del río Chanchas

- **Sección estable del río**

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

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

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en $m^3/s = 6.38 m^3/s$

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

Fs: Factor de orillas. Puede ser 0.2 para material ligeramente cohesivo.

De la tabla 2, se seleccionó el valor de Fs igual a 0.1 correspondiente a materiales sueltos como orilla de barro y arena.

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

$$\therefore B = 1.81 \left(\frac{6.38 * 1.2}{0.10} \right)^{1/2}$$

$$\therefore B = 15.84 m$$

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

$$b = K_1 * Q^{1/2} \quad (2)$$

Donde:

B: Ancho medio de la sección en m

Q: Caudal de diseño en $m^3/s = 6.38 m^3/s$

K₁: Valores de tabla.

Se empleó la tabla 3, de la cual se eligió el valor de K₁ igual a 2.8 correspondiente a fondo arena y orillas de material no cohesivo.

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

S: 0.06 a 10%

Q: 0.15 a 250 m³/s

D_m: 0.03 a 80 mm

$$\therefore b = 2.8 * 6.38^{1/2}$$

$$\therefore b = 7.07 \text{ m}$$

De acuerdo a los cálculos realizados, el método de Blench o Altunnin se acerca más a lo observado en campo, por lo cual el ancho estable del río se consideró 15.90 m.

- **Profundidad media**

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

$$\therefore H = 1.02 \left(\frac{6.38 * 0.10}{1.2^2} \right)^{1/3}$$

$$\therefore H = 0.78 \text{ m}$$

- **Pendiente hidráulica**

$$S = \frac{\left(\frac{0.55 * F_b^{5/6}}{F_s^{1/12}} \right)}{\left(1 + \frac{C}{233} \right) * (K * Q^{1/6})} \quad (4)$$

$$K = \frac{6.6 * g}{\gamma^{1/4}} \quad (5)$$

Donde:

S: Pendiente hidráulica en %

C: Concentración de material de fondo en 10⁻⁵=500

K: Factor secundario

D_m : Diámetro mediano = 5 mm

g : Gravedad

γ : Peso específico del agua

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

$$\therefore K = 64.75$$

$$\therefore S = \frac{\left(\frac{0.55 * 1.2^{5/6}}{0.10^{1/12}}\right)}{\left(1 + \frac{500}{233}\right) * (64.75 * 6.38^{1/6})}$$

$$\therefore S = 0.00280 \text{ m/m}$$

$$\therefore S = 0.280\%$$

- **Tirante normal**

$$t = \left[\frac{Q}{K_s * b_o * S^{1/2}} \right]^{3/5} \quad (6)$$

Donde:

t : Tirante normal

b_o : Ancho estable del río en m. = 7.10 m

S : Pendiente en % = 0.280%

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

Según la tabla 4, se seleccionó el valor de 30 para K_s , correspondiente a lechos naturales de río con derrubio e irregularidades.

$$\therefore t = \left[\frac{6.38}{30 * 15.90 * 0.00280^{1/2}} \right]^{3/5}$$

$$\therefore t = 0.44 \text{ m}$$

- **Velocidad media del agua**

$$Vm = Ks * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (7)$$

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad (8)$$

Donde:

Q: Caudal de diseño en m³/s = 6.38 m³/s

A: Área de la sección en m². Según el levantamiento topográfico, se obtuvo el área de la sección transversal de la progresiva 12+500 Km, igual a 9.32 m².

R: Radio hidráulico en m

S: Pendiente en % =0.280%

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

Vm: Velocidad media del agua

n: Coeficiente de rugosidad.

$$n = (0.028 + 0 + 0 + 0 + 0.005) * 1.000$$

$$n = 0.033$$

Según la tabla 5, se obtuvo el coeficiente de rugosidad igual a 0.033.

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

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

$$\therefore R^{2/3} = \frac{6.38 * 0.033}{9.32 * 0.00280^{1/2}}$$

$$R = 0.28 \text{ m}$$

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

$$\therefore Vm = 30 * 0.28^{2/3} * 0.00280^{1/2}$$

$$\therefore Vm = 0.68 \text{ m/s}$$

Los cálculos mostrados corresponden al caudal actual (0 años de periodo de retorno) y a la progresiva 12+500 Km. Por lo cual en la siguiente tabla, se muestran los cálculos correspondientes desde el tramo 12+500 Km al 0+000 Km, para el periodo de retorno de 0 años o actual.

Tabla 19. Análisis hidráulico del río – 0 años

Tramo	Ancho estable (m)		Ancho estable B (m)	Prof. media H (m)	Pendiente hidráulica S (m/m)	Tirante normal t (m)	Área transv. A (m ²)	Radio hidráulico R (m)	Vel. media del agua Vm (m/s)
	Blench o Altunnin	Simons y Henderson							
12+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	9.32	0.28	0.68
12+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	6.76	0.45	0.93
11+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	8.65	0.31	0.73
11+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	17.55	0.11	0.36
10+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	8.08	0.35	0.78
10+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	4.28	0.90	1.48
9+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	4.36	0.87	1.45
9+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	2.03	2.75	3.11
8+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	1.53	4.20	4.13
8+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	0.71	13.28	8.90
7+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	0.86	9.96	7.34
7+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	3.11	1.45	2.03
6+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	2.53	1.97	2.50
6+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	4.88	0.74	1.29
5+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	2.81	1.69	2.25
5+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	2.95	1.57	2.14
4+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	3.07	1.48	2.06
4+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	6.54	0.48	0.97
3+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	11.2	0.21	0.56
3+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	8.95	0.30	0.71
2+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	25.44	0.06	0.25
2+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	7.97	0.35	0.79
1+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	7.98	0.35	0.79
1+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	6.16	0.52	1.03
0+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	5.27	0.66	1.20
0+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	8.69	0.31	0.73

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se debe mencionar que en el anexo 9 se adjuntan las tablas correspondientes al análisis hidráulico del río para los periodos de retorno de 0; 25; 50 y 100 años en el orden descrito.

3.8.3. Erosión en el río Chanchas

3.8.3.1. Granulometría del material de río

Uno de los parámetros importantes para estimar la erosión del río, es conocer el tamaño de las partículas del material del cauce. Para el cual, se realizó el análisis granulométrico en el que se empleó los tamices: 2"; 1 ½"; 1"; ¾"; 3/8"; N°4; N°10; N°20; N°40 y fondo, para caracterizar el material del río. En la tabla e muestra el resultado de la cantidad y tipo de material obtenido del río.

Tabla 20. Cantidad y tipo de material obtenido del río

Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
Grava (3" - N°4)	4676.0	93.52
Arena (N°4 - N°200)	317.0	6.34
Finos (menor a N°200)	7.0	0.14
Total	5000.0	100.000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla, se puede apreciar que el tipo de material predominante del río son gravas ya que el tamaño de sus partículas es menor a 64 mm. Según la clasificación de AASHTO el material es del tipo A-1 con material característico de cantos, grava y arena. Según la clasificación SUCS el suelo es GW, gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos.

En el anexo 10, se adjuntan los resultados del análisis granulométrico del material o suelo obtenido del cauce del río desde el tramo 0+000 Km a 12+500 Km.

3.8.3.2. Erosión en el río

En la tabla, se muestra la velocidad erosiva y su profundidad respectiva o también conocido como tirante erosivo. Los resultados corresponden a los periodos de retorno de 0; 25; 50 y 100 años.

La profundidad de la velocidad erosiva, se calculó con la siguiente ecuación.

$$t_s = \left(\frac{\alpha * t^{5/3}}{0.68 * Dm^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{x+1}} \quad (11)$$

Donde:

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

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

$$\alpha = \frac{Q}{b_0 * t^{5/3}} \quad (12)$$

$$\therefore \alpha = \frac{6.38}{15.90 * 0.44^{5/3}}$$

$$\therefore \alpha = 1.59$$

t : Tirante normal en m = 0.44 m

Dm : Diámetro medio = 5 mm

B : Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia.

De la tabla 8, se seleccionó el valor para el coeficiente B de 0.82. De la tabla 9, se seleccionó el valor de 0.74 para $1/1+x$

correspondiente al diámetro medio de la partícula de 5mm, cuyo valor de X correspondiente fue 0.36.

$$\therefore t_s = 0.58 \text{ m}$$

Y la velocidad erosiva se calculó con la siguiente ecuación.

$$Ve = 0.68 * Dm^{0.28} * B * t_s^x \quad (13)$$

$$\therefore Ve = 0.72 \text{ m/s}$$

El cálculo presentado corresponde a la velocidad y tirante erosivo del periodo de retorno de 0 años, en el cual se uniformizó para todo el tramo de 12.500 Km al igual que para los otros periodos de retorno.

Tabla 21. Tirante y velocidad erosiva en el tramo del río
Tramo 12+500 a 0+000

Periodo de retorno	Prof. Veloc. Erosiva t_s (m)	Velocidad erosiva Ve (m/s)
TR = 0 años	0.58	0.72
TR = 25 años	1.25	0.95
TR = 50 años	1.30	0.96
TR = 100 años	1.35	0.97
TR = 200 años	1.39	0.99
TR = 500 años	1.45	1.00
TR = 1000 años	1.49	1.01

Fuente: Elaboración propia

3.8.4. Socavación en el río Chanchas

La socavación del río se calcula con la diferencia del tirante erosivo y el tirante normal, como es muestra en la siguiente ecuación.

$$Hs = t_s - t \quad (25)$$

$$\therefore Hs = 0.58 - 0.44$$

$$\therefore Hs = 0.14 \text{ m}$$

El cálculo presentado corresponde a la profundidad de socavación del periodo de retorno actual o 0 años. Por lo que, en la tabla se muestra la profundidad de socavación para los periodos de retorno de 25; 50; 100; 200; 500 y 1 000 años.

Tabla 22. Profundidad de socavación en el tramo del río

Tramo 12+500 a 0+000			
Periodo de retorno	Tirante erosivo t_s (m)	Tirante normal t (m)	Profundidad de socavación (m)
TR = 0 años	0.58	0.44	0.14
TR = 25 años	1.25	0.90	0.34
TR = 50 años	1.30	0.94	0.36
TR = 100 años	1.35	0.97	0.38
TR = 200 años	1.39	1.00	0.39
TR = 500 años	1.45	1.04	0.41
TR = 1000 años	1.49	1.07	0.42

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la profundidad de socavación, se puede obtener la tasa de erosión en ton/ha*año. Considerando lo siguiente:

- Tasa de erosión en m³/s, para convertirla a m³/año
- Densidad del material, el cual se consideró 2.65 Kg/m³ según la bibliografía de (Suárez, 2001).
- Área comprometida, es decir el área de la subcuenca la cual es 237.86 Km² que en hectáreas es 23 786 ha.
- Factores de conversión.

En la tabla, se muestra la tasa de erosión en el tramo de estudio del río Chanchas.

Tabla 23. Tasa de erosión en el tramo del río

Tramo 12+500 a 0+000					
Periodo de retorno	Tasa de erosión (m³/s)	Hs (m)	Peso esp. Material (Kg/m³)	Área comprometida (ha)	Tasa de erosión (ton/ha*año)
TR = 0 años	0.0046	0.14	2.65	23786.00	0.016
TR = 25 años	0.0287	0.34	2.65	23786.00	0.101
TR = 50 años	0.0316	0.36	2.65	23786.00	0.111
TR = 100 años	0.0331	0.38	2.65	23786.00	0.116
TR = 200 años	0.0373	0.39	2.65	23786.00	0.131
TR = 500 años	0.0410	0.41	2.65	23786.00	0.144
TR = 1000 años	0.0438	0.42	2.65	23786.00	0.154

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Caudal máximo y la socavación del río Chanchas

En la tabla, se muestra el caudal de diseño y la profundidad de socavación para los periodos de retorno de 0; 25; 50; 100; 200; 500 y 1 000 años.

Tabla 24. Caudal y profundidad de socavación del río Chanchas

Periodo de retorno	Caudal (m³/s)	Socavación (m)
TR = 0 años	6.38	0.14
TR = 25 años	49.99	0.34
TR = 50 años	55.73	0.36
TR = 100 años	61.47	0.38
TR = 200 años	67.20	0.39
TR = 500 años	74.79	0.41
TR = 1000 años	80.53	0.42

Fuente: Elaboración propia

De los resultados mostrados, se puede apreciar que la profundidad de socavación incrementa conforme el caudal del río en el tramo de estudio aumenta.

4.1.2. Tirante y la socavación del río Chanchas

La siguiente tabla contiene los resultados del tirante normal del río y la profundidad de socavación correspondiente a los periodos de diseño.

Tabla 25. *Tirante normal y profundidad de socavación del río Chanchas*

Periodo de retorno	Tirante normal (m)	Socavación (m)
TR = 0 años	0.44	0.14
TR = 25 años	0.90	0.34
TR = 50 años	0.94	0.36
TR = 100 años	0.97	0.38
TR = 200 años	1.00	0.39
TR = 500 años	1.04	0.41
TR = 1000 años	1.07	0.42

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la tabla, señalan que la profundidad de socavación también incrementa conforme al tirante normal; debido a que los valores de tirante también conforme a la proyección en años del río.

4.1.3. Velocidad y la erosión del río Chanchas

En la siguiente tabla, se muestran los resultados de la velocidad erosiva y la tasa de erosión para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 26. *Velocidad erosiva y erosión del río Chanchas*

Periodo de retorno	Velocidad erosiva (m/s)	Tasa de erosión (ton/ha*año)
TR = 0 años	0.72	0.016
TR = 25 años	0.95	0.101
TR = 50 años	0.96	0.111
TR = 100 años	0.97	0.116
TR = 200 años	0.99	0.131
TR = 500 años	1.00	0.144
TR = 1000 años	1.01	0.154

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se debe mencionar que las tablas mostradas son de importancia para el desarrollo de la prueba de hipótesis de la investigación.

4.1.4. Flujo del río Chanchas y cambio de sección

La tabla, presenta los resultados del ancho estable del río Chanchas para los diferentes periodos de retorno desarrollados.

Tabla 27. *Flujo del río Chanchas y cambio de sección*
Tramo 12+500 a 0+000

Periodo de retorno	Caudal de diseño (m ³ /s)	Ancho estable (m)
TR = 0 años	6.38	15.90
TR = 25 años	49.99	44.35
TR = 50 años	55.73	46.85
TR = 100 años	61.47	49.20
TR = 200 años	67.20	51.40
TR = 500 años	74.79	54.30
TR = 1000 años	80.53	56.30

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se puede apreciar claramente que el ancho estable del río se incrementa conforme el caudal del río aumenta. También se debe mencionar que el ancho estable es un componente importante del río, para detectar el cambio de sección en el tramo de estudio.

4.2. Prueba de hipótesis

Para el desarrollo de la prueba de hipótesis, se empleó la correlación de Pearson para comprobar la hipótesis planteada. Cabe resaltar que la correlación de Pearson se emplea también para estimar el grado o nivel de relación entre variables.

4.2.1. Caudal máximo y la socavación del río Chanchas

Las hipótesis de verificación para este ítem son las que se describen a continuación.

H₀: La relación entre el caudal máximo y socavación del río Chanchas, es directa

H1: La relación entre el caudal máximo y socavación del río Chanchas, es indirecta

De acuerdo con la tabla 24 de caudal y profundidad de socavación, se pudo obtener la estadística de regresión, curva de regresión ajustada y análisis de varianza. Tal como se muestra.

Tabla 28. Estadística de regresión – caudal y socavación

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.987
Coefficiente de determinación R ²	0.974
R ² ajustado	0.969
Error típico	0.017
Observaciones	7.000

Fuente: Elaboración propia

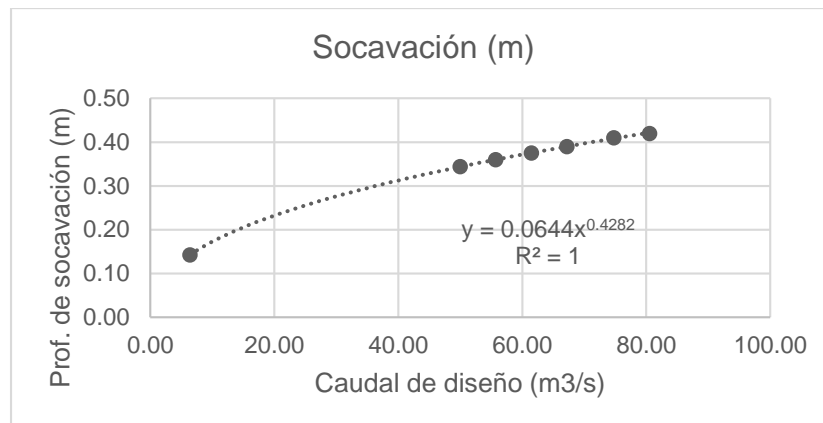


Figura 9. Curva de regresión – función potencial – caudal y socavación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Análisis de varianza – caudal y socavación

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.053	0.053	189.597	0.00004
Residuos	5	0.001	0.000		
Total	6	0.054			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la estadística de regresión, se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.987 que señala una relación

directa alta; el coeficiente de determinación (R^2) fue 0.974 el cual indica que el 97.4% de la profundidad de socavación depende del caudal del río Chanchas y según la curva de regresión donde la función potencial se ajusta mejor a la distribución de los resultados obtenidos, se puede decir que el 100% de la profundidad de socavación del río depende del caudal. En cuanto al análisis de varianza, el valor crítico fue 0.00004 menor a 0.05 lo que indica aceptar la hipótesis nula de que la relación entre el caudal máximo y socavación es directa. De acuerdo a la prueba de hipótesis desarrollada, queda comprobado que la relación entre el caudal y socavación del río Chanchas es directa, además de demostrar que el 100% de la socavación depende del incremento del caudal del río.

4.2.2. Tirante y la socavación del río Chanchas

Las hipótesis de verificación para este ítem son las siguientes.

H0: La relación entre el tirante y socavación del río Chanchas, es directa

H1: La relación entre el tirante y socavación del río Chanchas, es indirecta

Para el desarrollo de prueba de hipótesis de este ítem, se empleó los resultados de la tabla 25 de tirante y socavación.

Tabla 30. *Estadística de regresión – tirante y socavación*

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.9998
Coeficiente de determinación R^2	0.9996
R^2 ajustado	0.9996
Error típico	0.0020
Observaciones	7.0000

Fuente: Elaboración propia

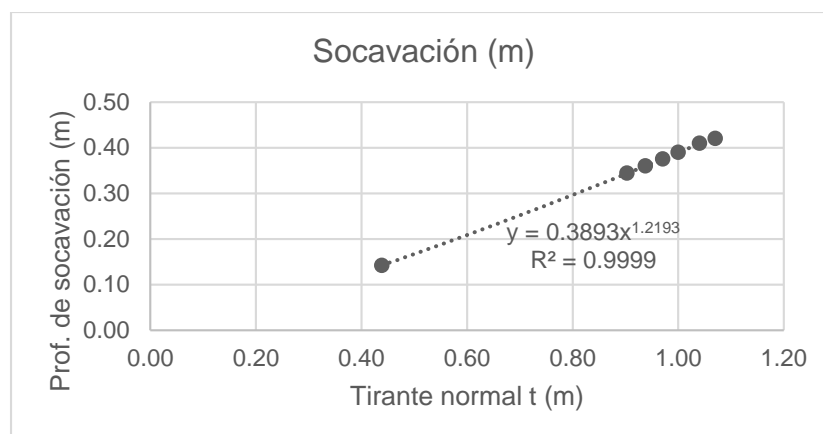


Figura 10. Curva de regresión – función potencial – tirante y socavación
Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Análisis de varianza – tirante y socavación

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.054	0.054	13410.086	0.0000000009
Residuos	5	0.0000201228	0.0000040246		
Total	6	0.054			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la estadística de regresión, se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.9998 que señala una relación directa alta; el coeficiente de determinación (R^2) fue 0.9996 el cual indica que el 99.96% de la profundidad de socavación depende del tirante normal del río Chanchas y según la curva de regresión donde la función potencial se ajusta mejor a la distribución de los resultados obtenidos, se puede decir que el 99.99% de la profundidad de socavación del río depende del tirante normal mientras que el 0.01% depende de otros factores. En cuanto al análisis de varianza, el valor crítico fue 0.00 menor a 0.05 lo que indica aceptar la hipótesis nula de que la relación entre tirante normal y socavación es directa. De acuerdo a la prueba de hipótesis desarrollada, queda comprobado que la relación entre tirante normal y socavación del río Chanchas es directa,

además de demostrar que el 99.99% de la socavación depende del incremento del tirante normal del río.

4.2.3. Velocidad y la erosión del río Chanchas

Las hipótesis de verificación para este ítem son las siguientes.

H0: La relación entre velocidad y erosión del río Chanchas, es directa

H1: La relación entre velocidad y erosión del río Chanchas, es indirecta

Para el desarrollo de prueba de hipótesis de este ítem, se empleó los resultados de la tabla 26 de velocidad y erosión.

Tabla 32. Estadística de regresión – velocidad y erosión

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9786
Coefficiente de determinación R ²	0.9577
R ² ajustado	0.9492
Error típico	0.0103
Observaciones	7.0000

Fuente: Elaboración propia

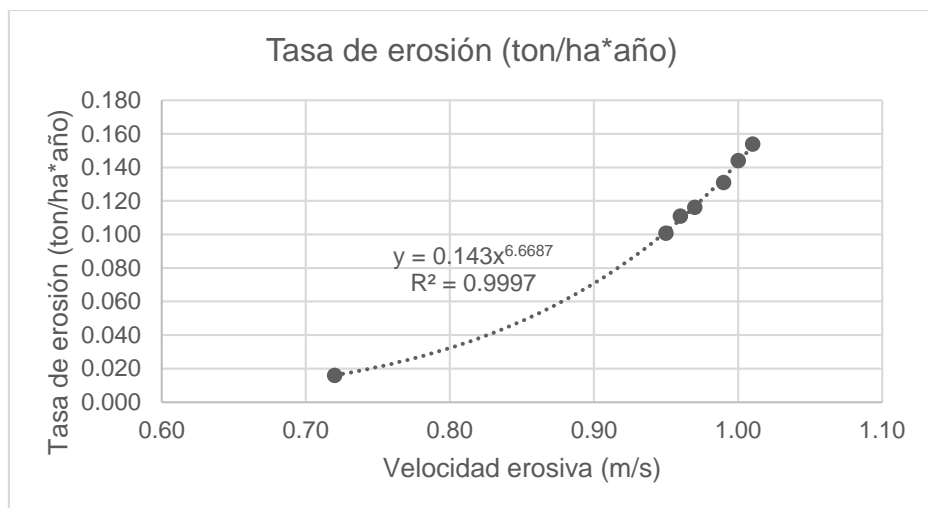


Figura 11. Curva de regresión – función potencial – velocidad y erosión

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. *Análisis de varianza – velocidad y erosión*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.0120	0.0120	113.1993	0.0001
Residuos	5	0.0005	0.0001		
Total	6	0.0125			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la estadística de regresión, se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.9786 que señala una relación directa alta; el coeficiente de determinación (R^2) fue 0.9577 el cual indica que el 95.77% de la tasa de erosión en la zona de estudio depende de la velocidad de erosión del río Chanchas y según la curva de regresión donde la función potencial se ajusta mejor a la distribución de los resultados obtenidos, se puede decir que el 99.97% de la tasa de erosión del río depende de la velocidad erosiva mientras que el 0.03% depende de otros factores. En cuanto al análisis de varianza, el valor crítico fue 0.0001 menor a 0.05 lo que indica aceptar la hipótesis nula de que la relación entre velocidad erosiva y erosión del río es directa. De acuerdo a la prueba de hipótesis desarrollada, queda comprobado que la relación entre velocidad erosiva y erosión del río Chanchas es directa, además de demostrar que el 99.97% de la tasa de erosión depende del incremento de la velocidad erosiva del río.

4.2.4. Flujo del río Chanchas y cambio de sección

Las hipótesis de verificación para este ítem son las siguientes.

H0: La relación entre flujo y cambio de sección del río Chanchas, es directa

H1: La relación entre flujo y cambio de sección del río Chanchas, es indirecta

Para el desarrollo de prueba de hipótesis de este ítem, se empleó los resultados de la tabla 27 de flujo del río Chanchas y cambio de sección.

Tabla 34. *Estadística de regresión – flujo del río y cambio de sección*

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9904
Coefficiente de determinación R ²	0.9809
R ² ajustado	0.9770
Error típico	2.0723
Observaciones	7.0000

Fuente: Elaboración propia

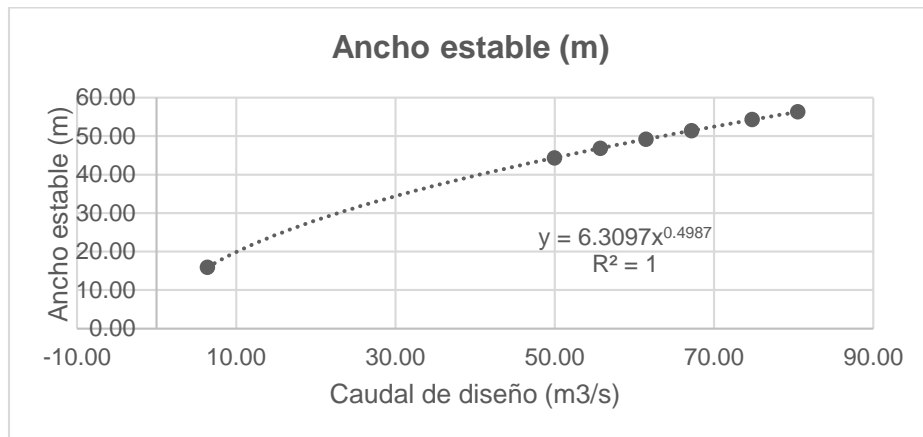


Figura 12. Curva de regresión – función potencial – flujo del río y cambio de sección
Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. *Análisis de varianza – flujo del río y cambio de sección*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1100.407	1100.407	256.242	0.00002
Residuos	5	21.472	4.294		
Total	6	1121.879			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación: De la estadística de regresión, se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.9904 que señala una relación directa alta; el coeficiente de determinación (R²) fue 0.9809 el cual indica que el 98.09% del ancho estable del río depende del incremento de caudal del río Chanchas y según la curva de regresión donde la función potencial se

ajusta mejor a la distribución de los resultados obtenidos, se puede decir que el 100% del ancho estable del río depende del caudal de diseño para diferentes periodos de retorno. En cuanto al análisis de varianza, el valor crítico fue 0.00002 menor a 0.05 lo que indica aceptar la hipótesis nula de que la relación entre flujo de río y cambio de sección es directa. De acuerdo a la prueba de hipótesis desarrollada, queda comprobado que la relación entre el flujo del río y cambio de sección es directa, además de demostrar que el 100% del cambio o variación del ancho estable del río depende del incremento del caudal para los diferentes periodos de retorno.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

El flujo o caudal del río Chanchas, se calculó por el método racional en el cual se requirió de la precipitación máxima diaria, coeficiente de escorrentía, área de la subcuenca que este caso fue 237.86 Km² con una longitud de recorrido promedio de 25.488 Km y coeficiente de uniformidad que está en función al tiempo de concentración. En el ítem 3.8.1., se describe el proceso y cálculo del caudal el río Chanchas donde se adjunta la tabla 17 con el cálculo del caudal del río desde el año 1990 a 2020 conforme al registro histórico de precipitación máxima diaria de la estación de Viques. Lo descrito en este párrafo también se reconoce como el análisis hidrológico de la subcuenca. Del mismo modo, se debe mencionar que se estimó el caudal del río para los periodos de retorno de 0; 25; 50; 100; 200; 500; 1 000 años, los cuales fueron 6.38 m³/s; 49.99 m³/s; 55.73m³/s; 61.47 m³/s; 67.20 m³/s; 74.79 m³/s y 80.53 m³/s respectivamente, tal como se muestra en la tabla 18 donde se puede apreciar que el método de Gumbel proporcionó los valores más

altos que el método de Nash. Es así que se empleó los valores del método de Gumbel para los cálculos posteriores.

Por otro lado, se debe mencionar que una vez obtenido el caudal de diseño para los diferentes periodos de retorno se simuló en el programa HEC RAS el cauce y el caudal de diseño de los periodos de retorno de 0; 25; 50 y 100 años. De la simulación se pudo obtener las secciones del río con el nivel de agua para el periodo de retorno de 0 a 100 años, tal como se muestra en el anexo 4. En dichas imágenes se pudo observar que el nivel de agua a los 25; 50 y 100 años se incrementa debido a que el caudal de diseño para dichos periodos de retorno es mayor que el actual, siendo evidente el comportamiento del nivel del agua.

Posteriormente se realizó el análisis hidráulico del río para el tramo de estudio que comprende 12.500 Km, en el cual se calculó el ancho estable del río Chanchas que fue 15.90 según lo observado en campo, la profundidad media fue 0.78 m, con pendiente hidráulica de 0.00280 m/m, tirante normal de 0.44 m, coeficiente de rugosidad de 0.033 según la tabla de Cowan de rugosidad compuesta y la velocidad media en el cauce fue 0.68 m/s para el periodo de retorno de 0 años o la actualidad en la progresiva 12+500Km que es el punto o cota de elevación más alta mientras que la progresiva 0+000 Km es el punto más bajo del tramo de estudio. Es así que en la tabla 19 se puede observar el análisis hidráulico del río con todos los componentes mencionados, desde la progresiva 12+500 Km a 0+000 Km. Así mismo, se debe mencionar que se realizaron los mismos cálculos para los periodos de retorno de 25; 50; 100; 200; 500 y 1 000 años, los cuales se encuentran adjuntos en el anexo 9 donde se puede apreciar que el ancho estable,

tirante normal y velocidad media incrementan conforme se incrementa el caudal para los diferentes periodos de retorno.

En cuanto a la erosión del río Chanchas, en primer lugar se determinó el tamaño de las partículas del material del cauce por medio del análisis granulométrico para caracterizar el material del río. Del análisis granulométrico se obtuvo que el material predominante son las gravas, ya que el tamaño de sus partículas se encuentran entre los 2mm a 64mm y según la tabla 7 de tamaño de partículas de (SUÁREZ, 2001) las partículas del río son gravas quedando comprobado con el análisis granulométrico. Así mismo se debe mencionar que la predominancia de gravas se observó en todas las progresivas del tramo de estudio, como se adjunta en el anexo 10. Posteriormente se obtuvo la profundidad a la que se produce la velocidad erosiva o tirante erosivo y la velocidad erosiva, los cuales dependen del tirante normal, diámetro medio de las partículas ancho estable y coeficiente de frecuencia con que se repite la avenida. En la tabla 21, se puede observar el tirante erosivo y velocidad erosiva correspondiente a los diferentes periodos de retorno, también se observa que el tirante erosivo es mayor al tirante normal y velocidad erosiva es menor respecto a la velocidad media del río en los mismos periodos de retorno.

Por otro lado, se debe mencionar que según la velocidad media del agua o también conocida como velocidad del flujo en promedio fue 1.89 m/s (en la actualidad) que corresponde a un tipo de transporte de sedimentos por saltación según la tabla 6 de (SUÁREZ, 2001) y para los diferentes periodos de retorno la velocidad del flujo promedio se incrementa hasta superar el límite establecido de tal forma que corresponde a un tipo de transporte de sedimentos con carga de

fondo. Lo que señala y permite comprobar que los sedimentos del río son gravas que generan saltación y carga de fondo. Respecto a la velocidad erosiva obtenida para los diferentes periodos de retorno esta se presentó valores entre 0.72 a 1.01 m/s que según la tabla 6 de tipos de transportes según Breusers y Raudkivi el tipo de transporte de sedimentos es de saltación y no de suspensión que es típico de materiales finos o menores a los 0.064 mm.

Respecto a la socavación, esta se obtuvo con la profundidad de socavación que resulta de la diferencia del tirante erosivo y el tirante normal, tal como se muestra en la tabla 22, en la que la profundidad de socavación se incrementa con el paso de los años que a la vez se debe al incremento del caudal de diseño para los diferentes periodos de retorno.

Regresando al tema de erosión, se calculó la tasa de erosión del río en las unidades de ton/ha*año la cual representa la pérdida de material debido a factores como la precipitación, la actividad antrópica y el mismo comportamiento del río. Para el cálculo de la tasa de erosión, se requirió de la densidad del material que fue 2.65 Kg/m³ según (Suárez, 2001) y el área comprometida para la que se consideró el área de la subcuenca de 23 786 ha. En la tabla 23 se muestra la tasa de erosión del río Chanchas correspondiente a los periodos de retorno de 0 a 1 00 años, donde se aprecia que en la actualidad la tasa de erosión es de 0.016 ton/ha*año, para 25; 50; 100; 200; 500 y 1 000 años a futuro la tasa de erosión fue 0.101 ton/ha*año; 0.111 ton/ha*año; 0.116 ton/ha*año; 0.131 ton/ha*año; 0.144 ton/ha*año y 0.154 ton/ha*año, demostrando que la tasa de erosión se incrementa conforme pasan los años. Según (SUDAS, 2021) la erosión hídrica se debe a la salpicadura de las gotas de lluvia que impactan en la superficie que ocasionan el desplazamiento de

partículas para que posteriormente ocurra la erosión laminar, por surcos y cárcavas; y según (FAVIS-MORTLOCK, 2020) la erosión se debe a la remoción de capas delgadas del suelo debido a la duración, frecuencia e intensidad de las precipitaciones. Por lo que queda demostrado que la erosión del río se debe a las precipitaciones que ocasionan el desprendimiento del material que cae en los cauces y afectan el fondo de los ríos, ocasionando la acumulación de sedimentos en las partes bajas y elevación del lecho de los ríos de acuerdo con (WOLFGANG, 1994). Así mismo, se pudo comprobar que la circulación del agua en río también produce el desprendimiento y transporte de materiales en el perímetro mojado ocasionando la erosión lateral que amplía el ancho del río y profundiza su cauce tal como se obtuvo en los resultados del ancho estable del río y la profundidad de socavación, los cuales dependen de factores como el material de fondo, geometría, pendiente y flujo de agua. De este modo se demostró que el cambio de sección del río Chanchas se debe al flujo de agua, pendiente, geometría y material de fondo del río; según (SUÁREZ, 2001). También se debe mencionar que la predicción de erosión se obtiene con mayor facilidad cuando los ríos tienen pendientes bajas como es caso del río Chanchas cuya pendiente fue 0.042 m/m.

5.1.1. Caudal máximo y la socavación del río Chanchas

En la tabla 24, se muestran los resultados organizados del caudal de diseño y profundidad de socavación para los periodos de retorno de 0 a 1 000 años, donde se puede apreciar que el caudal aumenta conforme se incrementa el periodo de retorno y así mismo la profundidad de socavación también se incrementa desde 0.14 m para 0 años de periodo de retorno hasta 0.42 m para el periodo de retorno de 1 000 años.

Es así que se realizó la prueba de hipótesis para comprobar la relación entre caudal y socavación del río Chanchas, donde se empleó la correlación de Pearson de la cual se obtuvo la estadística de regresión, curva de regresión ajustada y análisis de varianza. De la estadística de regresión se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.987 que señala una relación alta directa, el coeficiente de determinación (R^2) fue 0.974 el cual indica que 97.4% de la profundidad de socavación depende del caudal del río y de acuerdo con la curva de regresión que más se ajusta a la distribución de datos, la función potencial demuestra que el 100% de la profundidad de socavación del cauce depende del caudal de diseño estimado para los diferentes periodos de retorno. Según el análisis de varianza, valor crítico de F fue 0.00004 el cual es menor a 0.05 por lo que se acepta la hipótesis nula de que la relación entre el caudal y socavación del río es directa.

De acuerdo con la tesis “Flujos en río por cambios de sección por acumulación de demoliciones - Sector: Puente San Martín de la Integración, río Chillón, Lima - 2019” de (TORRES, 2019). En la que evaluó el comportamiento del río a través de una ficha de evaluación hidráulica, de la cual obtuvo el periodo de retorno de 140 años y para realizar las comparaciones trabajó con el periodo de retorno de 500 años; donde el resultado de la simulación demostraron el cambio de sección en ambos casos con desbordes, además de que la sección transversal del río se reduce y se incrementa el riesgo por inundación. En la investigación se estimó el caudal de diseño para los periodos de retorno de 25 años a 1000 años, obteniendo en todos los casos el incremento del ancho estable del río

que incide en el cambio de sección y el riesgo por inundación; tal como el antecedente descrito en este párrafo.

5.1.2. Tirante y la socavación del río Chanchas

La tabla 25, muestra los resultados del tirante normal y profundidad de socavación según los periodos de retorno estimados. En la tabla, se puede observar que el tirante normal del río y la profundidad e socavación incrementan conforme se estiman mayores periodos de retorno. El tirante normal para 0 años de retorno fue 0.44 m, para 100 años de retorno fue 0.97 y para 1 000 años de periodo de retorno fue 1.07 m, lo que señala que el tirante del agua se incrementa conforme al caudal de diseño estimado a futuro.

De la prueba de hipótesis por la correlación de Pearson, se obtuvo la estadística de regresión, curva de regresión y análisis de varianza para comprobar la hipótesis planteada. De la estadística de regresión se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.9998 que señala una relación directa alta, el coeficiente de determinación fue 0.9996 el cual indica que el 99.96% de la profundidad de socavación del río depende del tirante normal y según la curva de regresión ajusta la función potencial que se ajusta a la distribución de los datos señala que el 99.99% de la profundidad de socavación del río depende del tirante normal del río Chanchas. Así mismo se debe mencionar que la profundidad de socavación se obtiene de la diferencia del tirante erosivo y el tirante normal. En cuanto al análisis de varianza el valor crítico de F fue 0.00 el cual es menor a 0.05, lo que señala

aceptar la hipótesis nula de que la relación entre el tirante normal y socavación es directa.

5.1.3. Velocidad y la erosión del río Chanchas

En la tabla 26 se puede observar los resultados de la tasa de erosión y velocidad erosiva del río Chanchas, donde también se puede apreciar que tanto la velocidad erosiva como la tasa de erosión se incrementan conforme se proyecta el periodo de retorno del río. Se debe mencionar que la tasa de erosión se obtuvo del producto del ancho estable, pendiente hidráulica, velocidad erosiva y profundidad de socavación; cuya unidad fue el m³/s que posteriormente se transformó en ton/ha*año con la información de la densidad del material y el área afectada. Es así que se obtuvo la tasa de erosión de 0.016 ton/ha*año para el periodo de retorno de 0 años, para 100 años de retorno la tasa de erosión fue 0.116 ton/ha/*año y para el periodo de retorno de 1 000 años la tasa de erosión fue 0.154 ton/ha*año.

En cuanto a la prueba de hipótesis de la cual se obtuvo la estadística de regresión, curva de regresión ajustada y análisis de varianza para comprobar la hipótesis planteada; por medio de la correlación de Pearson. De la estadística de regresión se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.9786 que corresponde a una relación alta directa entre erosión y velocidad de erosión en el río; el coeficiente de determinación (R²) fue 0.9577 el cual indica que el 95.77% de la erosión depende de la velocidad erosiva y según la curva de regresión la función potencial se ajusta mejor a la distribución de los datos la cual señala que el 99.97% de la tasa de erosión depende de la velocidad erosiva. Según el análisis de varianza, el valor

crítico de F fue 0.0001 el cual es menor a 0.05 y señala aceptar la hipótesis nula de que la relación entre velocidad de erosión y erosión es directa.

5.1.4. Flujo del río Chanchas y cambio de sección

La tabla 27 contiene los resultados del caudal de diseño y ancho estable del río para los periodos de retorno estimados, donde se puede apreciar que el ancho estable del río se incrementa conforme aumenta el caudal estimado del río. Así mismo se debe mencionar que el ancho estable del río es un componente importante para reconocer el cambio de sección; ya que con el ancho estable se puede obtener el área del río y tirante para cada periodo de retorno estimado.

De acuerdo con la prueba de hipótesis realizada con la correlación de Pearson de la cual se pudo obtener la estadística de regresión, curva de regresión ajustada y análisis de varianza. De la estadística de regresión se pudo obtener el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.9904 que indica una relación alta directa entre flujo de río y cambio de sección; el coeficiente de determinación (R^2) fue 0.9809 el cual señala que el 98.09% del ancho estable del río depende del caudal estimado y según la curva de regresión fue la función potencial que más se ajusta a la distribución de los datos obtenidos, donde el valor de R^2 señala que el 100% del ancho estable del río depende directamente del caudal de diseño. En cuanto al análisis de varianza, el valor crítico de F fue 0.00002 menor a 0.05 lo que implica aceptar la hipótesis nula de que la relación entre el flujo y cambio de sección del río Chanchas es directa, comprobando lo mencionado en el párrafo anterior y

demostrando que cuando el ancho estable aumenta entonces la sección del río también cambia.

La investigación cuenta con soporte bibliográfico basado en los antecedentes de investigación, los cuales se describen a continuación. En la tesis titulada “Formas de lecho y resistencia al movimiento en cursos naturales” de (LATACUNGA, 2014). Donde el objetivo fue determinar la medida en que los factores influyen en la resistencia al flujo de cursos naturales, para el cual se realizaron estudios fluviométricos para determinar el caudal, velocidad, área de sección del tramo, ancho medio, perímetro mojado, radio hidráulico, pendiente, tamaño medio del sedimento y coeficiente de rugosidad de un tramo de cauce del río Monjas para posteriormente modelar en el programa HEC-RAS; de los cuales obtuvo que las secciones cambiaron de geometría y ocurrió socavación en el río. De acuerdo con la tesis mencionada, en la investigación también se realizaron los estudios fluviométricos con el nombre de análisis hidráulico del río, como también se obtuvo el cambio de geometría de las secciones con la variación del ancho estable del río para los periodos de retorno estimados.

Según la tesis “Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC – RAS, caso río Zarumilla - 2018” de (OYOLA, y otros, 2019). Donde mencionan que las zonas más vulnerables son las llanuras de ambas márgenes del río, lugar donde se encuentran las zonas de cultivo del centro poblado. Así mismo, conforme al incremento de ancho estable del río en la investigación, se puede decir también que las zonas vulnerables son ambas márgenes del río

donde se emplazan zonas de cultivo y esparcimiento; donde es inevitable el desbordamiento del río en ambas márgenes.

En la tesis “Modelación hidráulica de la defensa de Calana con el fin de determinar la vulnerabilidad ante máximas avenidas” de (MAYTA, y otros, 2001). Los autores llegaron a la conclusión de que tras el modelamiento para 25; 50; 100 y 200 años del río, su caudal incrementa respectivamente, la vulnerabilidad se debe al estrechamiento de la sección del río debido a la presencia de la defensa Calana. En ese sentido, se puede comprobar lo descrito en las bases teóricas sobre la variación del flujo de los ríos, debido a la presencia de obras laterales de protección que dan origen al cambio de sección del río aguas abajo y la construcción de puentes que ocasionan el represamiento aguas arriba y el cambio de dirección del río aguas abajo (SUÁREZ, 2001).

CONCLUSIONES

- Respecto a la relación entre el caudal máximo y socavación, se concluye que existe relación directa entre ellas, ya que se pudo demostrar que la profundidad de socavación depende directamente del caudal máximo o de diseño, que a la vez ambos se incrementan conforme a la estimación del caudal del río para los diferentes periodos de retorno.
- En cuanto al tirante y socavación del río Chanchas, se concluye que también existe relación directa y alta entre ellas. Donde se demostró que la profundidad de socavación depende del tirante normal y erosivo del río, los cuales se incrementan respecto a la proyección futura del caudal del río. Así mismo se debe mencionar que la profundidad de socavación se obtuvo de la diferencia del tirante erosivo y tirante normal del río.
- Referente a la velocidad y erosión del río, se concluye que existe relación alta directa entre ellas, ya que la prueba de hipótesis demostró que la tasa de erosión depende directamente de la velocidad erosiva. Sin dejar de mencionar que la tasa de erosión se obtuvo del producto de la velocidad erosiva, profundidad de socavación, ancho estable, pendiente hidráulica del río, área afectada y densidad del material del cauce del río Chanchas, cuyo material predominante fueron las gravas entre 2 mm a 64 mm de tamaño. Así mismo se debe mencionar que de acuerdo a la velocidad erosiva obtenida el tipo de transporte de sedimentos es por saltación característico del material de fondo compuesto por gravas que se trasladan por saltación y tienen más incidencia en el cambio de sección del río.

- Como conclusión general, es posible decir que la relación entre el flujo del río Chanchas y el cambio de sección es altamente directa; ya que se pudo comprobar con la prueba de hipótesis que el cambio de sección depende directamente del caudal o flujo del río. Además conforme a los resultados obtenidos se pudo observar que el cambio de sección se debe al incremento del ancho estable del río según las proyecciones de caudal de diseño obtenidas, los cuales indican que en el tramo de estudio del río es susceptible a desborde con ambas márgenes vulnerables debido a la acumulación de sedimentos que presentan.

RECOMENDACIONES

- Respecto al caudal máximo y profundidad de socavación, se recomienda proyectar el caudal de diseño para más periodos de retorno con la finalidad de observar el incremento o descenso del caudal del río, ya que en la estimación del caudal se pudo observar el incremento constante de 5.74 m³/s para la proyección de 25 años a 200 años, mientras que para la proyección de 500 años el caudal incrementó en 7.58 m³/s y para la proyección de 1 000 años el caudal incrementó en 5.74 m³/s.
- En cuanto al tirante y socavación del río se recomienda tener en cuenta la presencia de obras laterales o transversales en el tramo de estudio ya que estas afectan el comportamiento del río tanto aguas arriba como aguas abajo y alteran las dimensiones de la sección del río. En la investigación no se observó alguna obra lateral o transversal que afecte el cauce del río.
- Referente a la velocidad de erosión y tasa de erosión, se recomienda determinar la granulometría del material del cauce con muestras secas para obtener con más detalle y precisión el contenido de finos que no se pudo apreciar debido a la muestra húmeda extraída del cauce; ya que así se podrá determinar el tipo de carga de los sedimentos en el cauce del río. Lo mencionado, no tiene el interés de quitar importancia a lo desarrollado en la investigación.
- De forma general, se recomienda realizar un adecuado levantamiento topográfico del cauce del río con la finalidad de obtener a más detalle las secciones transversales del tramo en estudio. También se sugiere reportar a la municipalidad de Sapallanga el incremento del caudal del río Chanchas

en el futuro, para que puedan tomar medidas de prevención y así evitar el desbordamiento del río y los daños que pueda ocasionar. Por otro lado, se recomienda considerar la investigación como un referente para estimar el flujo y cambio de sección de otros ríos en futuras investigaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Análisis de la Socavación en Cauces Naturales*. **TOAPAXI, J, y otros. 2015.** 3, Quito : s.n., Febrero de 2015, Revista Politécnica, Vol. 35, pág. 11.
- APACLLA, R. 2014.** *Hidráulica fluvial*. Perú : UNALM, 2014.
- ARISTIZÁBAL, V, BOTERO, B y VÉLEZ, J. 2014.** *Manual de hidrología para obras viales basado en el uso de sistemas de información geográfica*. Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- BBC Mundo. 2017.** *"Un desastre ignorado": las inundaciones en India, Bangladesh y Nepal que han dejado 1.200 muertos y millones de desplazados*. 30 de Agosto de 2017.
- BERNAL, C. 2010.** *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia : s.n., 2010.
- CASTRO, E. 2016.** *Teoría y práctica de la investigación científica*. Huancayo, Perú : PERUGRAPH SRL, 2016. Propiedad del autor.
- CHOW, V, MAIDMENT, D y MAYS, L. 1994.** *Hidrología aplicada*. Colombia : McGraw-Hill, 1994.
- COEN - INDECI. 2015.** *Desastres naturales. Inundaciones afectan distritos de la Provincia de Tumbes*. Tumbes, Perú : s.n., 2015.
- Comunidad Planeta Azul – Banco de Occidente. 2017.** Planeta azul. [En línea] 01 de Junio de 2017. [Citado el: 15 de Julio de 2020.] <https://comunidadplanetaazul.com/el-caudal-de-los-rios/>.
- Diario El Correo. 2001.** Río Chanchas amenaza. *Río Chanchas amenaza - incremento de caudal paralizó tránsito vehicular*. Huancayo : Diario El Correo, 2001.
- El Comercio. 2016.** Lluvias a causa de El Niño afectan a catorce regiones. *Lluvias a causa de El Niño afectan a catorce regiones*. [En línea] 27 de Febrero de 2016. [Citado el: 03 de Setiembre de 2020.] <https://elcomercio.pe/peru/lluvias-causa-nino-afectan-catorce-regiones-277268-noticia/>.
- ESCARCENA, F. 2014.** *Determinación de áreas inundables de la parte media de la microcuenca del río Zapatilla - Centro Poblado de Ancoamaya - Ilave*. Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2014.
- ESCOBAR, J. 2002.** *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago de Chile, Chile : Naciones Unidas, 2002. ISBN: 9213220901.

- FARFÁN, J. 2002.** *Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdidas de suelo, para dos estaciones pluviométricas de la VII región de Maule.* Talca : s.n., 2002. pág. 123, Tesis.
- FAVIS-MORTLOCK, D. 2020.** Soil Erosion Site: Erosion Processes. *The Soil Erosion Site.* [En línea] 1 de enero de 2020. [Citado el: 19 de agosto de 2021.] <http://soilerosion.net/>.
- Fundación Nueva Cultura del Agua. 2010.** Las crecidas de los ríos y las inundaciones: Fenómenos naturales a gestionar. *Las crecidas de los ríos y las inundaciones: Fenómenos naturales a gestionar.* [En línea] 2010. [Citado el: 03 de Setiembre de 2020.] <https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/agua-ecosistemas/las-crecidas-de-los-rios-y-las-inundaciones-fenomenos-naturales-a-gestionar?&imprimir=1>.
- GILES, R, LIU, C y EVETT, J. 2015.** *Mecánica de los fluidos e hidráulica.* Madrid, España : McGraw - Hill, 2015.
- Gobierno de México . 2014.** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.* [En línea] 19 de Diciembre de 2014. [Citado el: 05 de Setiembre de 2020.] <https://www.gob.mx/imta/articulos/procesos-de-transporte-de-sedimentos>.
- GUADARRAMA, J. 2012.** *Prevención de cavitación en bombas.* Ciudad de México : s.n., 2012. pág. 126, Tesis para obtención de título.
- HERNÁNDEZ, R, FERNÁNDEZ, C y BAPTISTA, P. 2014.** *Metodología de la investigación.* México : McGraw-Hill, 2014. 978-1-4562-2396-0.
- LATACUNGA, A. 2014.** *Formas de lecho y resistencia al movimiento en cursos naturales.* Quito, Ecuador : Universidad Central del Ecuador, 2014.
- LINSLEY, R, KOHLER, M y PAULUS, J. 1988.** *Hidrología para ingenieros.* México : McGraw-Hill, 1988.
- LÓPEZ, F y MINTEGUI, J. 1990.** *La ordenación agrohidrológico en la planificación.* Primera. Bilbao : Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 1990. pág. 308.
- LÓPEZ, K. 2017.** *Estudio hidrológico para el diseño de obras de protección contra inundaciones del río Chinautla, Aldea Santa Cruz, Chinautla, Guatemala.* Chinautla, Guatemala : Universidad San Carlos de Guatemala, 2017.
- LUJANO, E. 2019.** *Análisis regional de frecuencia para la estimación de caudales máximos en la cuenca amazónica del Perú.* Puno, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2019.
- MARCHEGANI, A. 2006.** *Cavitación.* Buenos Aires : s.n., 2006. pág. 27.
- MARTÍN, J. 2001.** *Ingeniería de ríos.* España : Alfa Omega, 2001.

- MAYTA, C y MAMANI, E. 2001.** *Modelación hidráulica de la defensa de Calana con el fin de determinar la vulnerabilidad ante máximas avenidas.* Tacna, Perú : Universidad Privada de Tacna, 2001.
- OCHOA, R. 2011.** *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos.* Colombia : OCOE, 2011.
- ORELLANA, E. 2014.** *Diseños de experimentos aplicados en ciencias forestales y ambientales.* Huancayo, Perú : Industria Gráfica MARSANTS, 2014. 978-612-00-1143-0.
- OYOLA, A y MEDINA, O. 2019.** *Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso río Zarumilla - 2018.* Tumbes, Perú : Univeridad Nacional de Tumbes, 2019.
- PIZARRO, R, y otros. 1993.** *Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional sobre el uso y conservación del recurso hídrico en áreasde América Latina y el Caribe.* Chile : UNESCO. Universidad de Talca, 1993.
- PONCE, V. 2008.** Preguntas y respuestas sobre el periodo de retorno a ser usado para diseño. *Preguntas y respuestas sobre el periodo de retorno a ser usado para diseño.* [En línea] Mayo de 2008. [Citado el: 03 de Marzo de 2021.] http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html.
- RÁMIREZ, R. 2010.** *Proyecto de investigación. Cómo se hace una tesis.* Lima, Perú : Fondo Editorial AMADP. Lima, Perú, 2010. DERECHOS RESERVADOS.
- Real Academia Española - RAE. 2005.** *Diccionario de la lengua española.* Lima, Perú : QUEBECOR WORLD PERÚ S.A., 2005. ISBN: 9972-58-138-1.
- ROCHA, A. 2007.** *Hidráulica de canales y tuberías.* Lima, Perú : Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.
- . **1998.** *Introducción a la hidraulica fluvial.* Lima, Perú : Facultad de Ingenieria Civil - Universidad Nacional de Ingeniería, 1998.
- SÁNCHEZ, H y REYES, C. 2015.** *Metodología y diseños de la investigación cinetífica.* Lima, Perú : Business Support Aneth, 2015. 978-612-46842-2-7.
- SOLANO, T y VINTIMILLA, N. 2013.** *Estudio fluviomorfológico del río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del Proyecto Pacalori aplicando HEC-GEORAS.* Cuenca, Ecuador : Universidad de Cuenca, 2013.
- SUÁREZ, J. 2001.** *Control de erosión en zonas tropicales.* Bucaramanga, Colombia : Instituto de Investigaciones sobre la Erosión y Deslizamientos - Ingniería de suelos Ltda., 2001.
- SUDAS. 2021.** Statewide Urban Design and Specifications Program. *Iowa State University.* [En línea] 2021. [Citado el: 19 de Agosto de 2021.]

https://intrans.iastate.edu/app/uploads/sites/15/2020/12/SUDAS_Design_2021_Edition.pdf.

TeleSUR . 2015. Noticias - Latinoamérica y Caribe. *Noticias - Latinoamérica y Caribe*. [En línea] 24 de Diciembre de 2015. [Citado el: 03 de Setiembre de 2020.] <https://www.telesurtv.net/news/83-mil-evacuados-por-inundaciones-en-3-paises-de-America-Latina-20151224-0014.html>.

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

TERÁN, R. 1998. *Diseño y consrucción de defensas ribereñas*. Lima, Perú : Escuela Superio de Administración de Aguas CHARLES SUTTON, 1998.

TORRES, B. 2019. *Flujos en río por cambios de sección por acumulación de demoliciones - Sector: Puente San Martín de la Integración, río Chillón, Lima - 2019*. Lima, Perú : Univeridad César Vallejo, 2019.

TRIGOSO, B. 2018. *Modelamiento hidráulico de la Quebrada Calispuquio - Tramo Ciudad de Cajamarca - Ciudad*. Cajamarca, Perú : Universidad Nacional de Cajamarca, 2018.

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

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

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

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

WOLFGANG, F. 1994. *Aplied Modeling in Hydrology Series*. Colorado, Estados Unidos : Colorado University, 1994.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p>Problema general: ¿Cómo es la relación entre el flujo en el río Chanchas y el cambio de sección, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo es la relación entre el caudal máximo y la socavación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020? • ¿Cuál es la relación entre el tirante del caudal y la socavación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020? • ¿Qué relación existe entre la velocidad y la erosión del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020? • ¿Cómo se da el efecto de cavitación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo - 2020? 	<p>Objetivo general: Determinar la relación entre el flujo en el río Chanchas y el cambio de sección en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la relación entre el caudal máximo y la socavación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020. • Establecer la relación entre el tirante y la socavación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020. • Verificar la relación entre la velocidad y la erosión del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020. • Describir el efecto de cavitación del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, distrito de Huancayo – 2020. 	<p>Antecedente nacional: Según (TORRES, 2019) en la tesis titulada “Flujos en río por cambios de sección por acumulación de demoliciones - Sector: Puente San Martín de la Integración, río Chillón, Lima - 2019”. Con el objetivo de determinar la influencia del flujo en ríos en el cambio de sección por la acumulación de demoliciones. Desarrolló la investigación en el que trabajó con un tramo de 834m para el estudio de su comportamiento en el que usó una ficha de evaluación hidráulica. Como resultado de la aplicación de la ficha obtuvo que el periodo de retorno para la zona de estudio es de 140 años y para hacer comparaciones se trabajó con un periodo de retorno de 500 años de los cuales se obtuvo dos perfiles de sección diferentes; de los cuales el primer perfil se ve afectado por desbordes. Llegó a la conclusión de que con el paso del tiempo la sección transversal del río se reduce y se incrementa el riego por inundación.</p> <p>Antecedente internacional : Según (LATACUNGA, 2014), en la tesis titulada “Formas de lecho y resistencia al movimiento en cursos naturales”. Con el objetivo de determinar la medida en que los factores influyen en la resistencia al flujo en cursos naturales. Como resultado de la investigación obtuvo que las secciones seleccionadas mostraron cambios en su geometría, además de que en la cota 1480 ocurrió socavación como parte de la modelación del río. Llegó a la conclusión de que logró distinguir tres tipos de flujos en cauces de montaña debido a la concentración de carga sólida que transportan los ríos.</p> <p>Marco teórico referencial:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hidrología • Caudal • Sección transversal • Desbordamiento • Ríos 	<p>Hipótesis general: La relación entre el flujo del río Chanchas y el cambio de sección es directa, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La relación entre el caudal máximo y la socavación del río Chanchas es directa, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020. • La relación entre el tirante y la socavación del río Chanchas es directa, en el distrito de Sapallanga, distrito de Huancayo – 2020. • Existe relación entre la velocidad y la erosión del río Chanchas, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020. • El efecto de la cavitación del río Chanchas es mínimo, en el distrito de Sapallanga, provincia de Huancayo – 2020. 	<p>Variable 1: Flujo en ríos</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caudal máximo • Velocidad de caudal máximo • Tirante del caudal <p>Variable 2: Cambio de sección</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erosión • Socavación • Cavitación 	<p>Método: Científico Tipo: Aplicada Nivel: Descriptivo - Correlacional Diseño: No experimental - Transversal</p> <p>Población y muestra: Población: La población de la investigación está compuesta por toda la subcuenca del río Chanchas. Muestra: La muestra de la investigación es no probabilística por lo que se encuentra delimitada por los 5 km de longitud del río Chanchas.</p> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos: La recolección de datos de la zona a estudiar se obtendrá de la base de datos de SENAMHI y de la visita a campo.</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos: El procesamiento de datos se desarrollará empleando el programa HEC – RAS y MS-Excel 2013.</p>

Anexo 2: Registro histórico de precipitación: 1990 – 2020 (Estación Viques)

Precipitación máxima diaria (mm)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	212.1	137.3	81.8	14.6	110.2	135.9	6.8	31.1	74.0	158.5	234.3	133.6
1991	84.7	66.8	145.9	40.5	23.1	0.0	0.0	0.0	66.7	75.7	90.6	18.8
1992	130.7	163.9	154.6	44.6	0.0	14.4	96.1	35.0	8.0	83.0	25.5	9.1
1993	215.3	214.6	41.1	24.7	0.0	0.0	0.2	10.1	25.2	94.8	173.8	142.7
1994	198.8	226.7	77.7	43.7	13.1	0.0	0.0	3.9	19.6	75.1	52.2	46.1
1995	76.1	145.0	152.4	42.9	3.5	0.0	0.0	0.0	11.2	45.9	49.4	90.8
1996	226.0	85.9	66.5	22.3	3.4	5.9	0.1	10.0	50.5	32.2	51.3	72.2
1997	126.3	134.5	74.3	34.1	1.3	0.0	21.1	11.7	69.9	41.3	38.8	138.5
1998	123.3	122.7	23.8	22.5	0.0	2.7	0.0	10.4	5.6	112.3	69.0	34.9
1999	89.4	167.0	59.2	29.7	0.0	3.4	5.8	0.0	36.1	22.9	50.7	46.8
2000	85.5	99.0	89.3	18.3	13.0	2.8	5.8	35.1	36.1	68.4	34.2	84.3
2001	163.7	103.8	143.1	29.3	23.0	0.0	23.6	8.8	53.5	116.9	47.0	104.6
2002	121.4	127.9	81.3	19.6	0.0	1.1	20.8	0.0	41.6	72.4	98.2	51.2
2003	75.4	166.3	129.3	43.0	14.2	0.0	0.0	7.4	30.4	26.0	79.9	90.8
2004	22.0	135.3	67.1	40.5	25.8	23.5	11.1	14.2	29.6	33.0	52.3	89.7
2005	54.1	74.2	61.8	21.2	11.9	0.0	0.0	17.5	32.4	108.0	51.1	80.6
2006	131.7	81.0	87.8	34.8	0.0	4.4	0.0	27.7	21.6	51.8	39.9	110.3
2007	84.1	42.1	108.1	25.1	0.0	0.0	9.2	0.0	23.4	31.2	37.2	35.0
2008	123.8	109.2	69.1	0.0	2.1	9.6	0.0	0.0	38.0	78.4	52.8	104.8
2009	87.8	57.5	114.7	39.9	22.1	0.0	5.8	21.4	9.9	59.0	83.1	171.8
2010	149.0	89.5	103.5	38.0	0.0	22.1	0.0	6.8	15.4	28.8	59.2	188.6
2011	202.6	298.8	180.7	96.7	17.3	0.0	8.4	11.0	69.4	53.4	56.0	128.6
2012	115.5	153.4	92.1	122.1	20.2	19.7	5.6	6.2	55.7	42.9	42.2	144.3
2013	110.4	152.4	77.8	9.0	18.3	15.2	5.8	23.5	40.2	50.5	22.4	143.1
2014	173.4	134.5	160.8	55.6	31.3	16.3	2.0	3.1	63.3	74.6	73.1	116.5
2015	105.4	116.7	75.1	30.9	16.3	26.1	7.2	13.5	46.1	56.7	60.4	92.2
2016	114.7	150.3	25.7	35.8	22.8	0.0	0.0	0.0	26.9	59.3	50.1	74.2
2017	183.0	137.6	82.9	43.5	9.6	0.0	0.0	3.0	52.5	37.6	41.7	65.4
2018	157.6	86.0	179.0	30.6	9.5	3.6	4.1	13.1	18.0	96.0	47.2	67.8
2019	143.0	91.7	72.2	21.9	27.2	0.1	0.0	0.0	4.9	31.3	62.2	141.9
2020	68.0	94.5	84.6	5.9	40.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Anexo 3: Estimación del caudal de diseño

1. Método de Nash

Tabla 36. Valores de Q^2 , T , $T/(T-1)$, X , $Q \times X$ y X^2

N°	Año	Q Caudal	Q ordenado de mayor a menor	Q^2	T	$T/(T-1)$	X	Q*X	X ²
1	1990	33.82	49.01	2401.94	32.00	1.03	-1.86	-91.18	3.46
2	1991	15.12	33.82	1144.10	16.00	1.07	-1.55	-52.51	2.41
3	1992	18.63	32.10	1030.36	10.67	1.10	-1.37	-43.95	1.87
4	1993	29.54	31.94	1020.24	8.00	1.14	-1.24	-39.50	1.53
5	1994	32.10	29.54	872.84	6.40	1.19	-1.13	-33.44	1.28
6	1995	16.36	23.73	563.32	5.33	1.23	-1.04	-24.80	1.09
7	1996	31.94	22.55	508.59	4.57	1.28	-0.97	-21.87	0.94
8	1997	13.73	21.72	471.58	4.00	1.33	-0.90	-19.62	0.82
9	1998	11.00	20.56	422.62	3.56	1.39	-0.84	-17.34	0.71
10	1999	19.25	20.23	409.24	3.20	1.45	-0.79	-15.95	0.62
11	2000	7.05	19.25	370.69	2.91	1.52	-0.74	-14.20	0.54
12	2001	18.59	19.11	365.27	2.67	1.60	-0.69	-13.19	0.48
13	2002	11.81	18.63	347.04	2.46	1.68	-0.65	-12.02	0.42
14	2003	19.11	18.59	345.55	2.29	1.78	-0.60	-11.20	0.36
15	2004	13.14	16.55	274.04	2.13	1.88	-0.56	-9.29	0.31
16	2005	8.45	16.36	267.65	2.00	2.00	-0.52	-8.53	0.27
17	2006	12.48	16.36	267.65	1.88	2.13	-0.48	-7.90	0.23
18	2007	8.46	15.95	254.53	1.78	2.29	-0.44	-7.10	0.20
19	2008	11.09	15.12	228.50	1.68	2.46	-0.41	-6.16	0.17
20	2009	20.23	14.56	212.12	1.60	2.67	-0.37	-5.40	0.14
21	2010	23.73	13.73	188.39	1.52	2.91	-0.33	-4.58	0.11
22	2011	49.01	13.14	172.59	1.45	3.20	-0.30	-3.90	0.09
23	2012	16.55	12.48	155.86	1.39	3.56	-0.26	-3.23	0.07
24	2013	16.36	11.81	139.38	1.33	4.00	-0.22	-2.60	0.05
25	2014	20.56	11.09	122.91	1.28	4.57	-0.18	-2.00	0.03
26	2015	9.87	11.00	120.99	1.23	5.33	-0.14	-1.52	0.02
27	2016	15.95	9.87	97.48	1.19	6.40	-0.09	-0.92	0.01
28	2017	22.55	8.46	71.63	1.14	8.00	-0.04	-0.37	0.00
29	2018	21.72	8.45	71.36	1.10	10.67	0.01	0.10	0.00
30	2019	14.56	7.05	49.69	1.07	16.00	0.08	0.57	0.01
31	2020	6.38	6.38	40.72	1.03	32.00	0.18	1.13	0.03
Sumatorias:		569.15	569.15	13008.89	128.87	128.87	-18.46	-472.47	18.27

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del caudal medio (Q_m) y X_m**

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

$$\therefore Q_m = \frac{569.15}{31}$$

$$\therefore Q_m = 18.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$\therefore X_m = \frac{-18.46}{31}$$

$$\therefore X_m = -0.60$$

- **Cálculo de los parámetros a y b**

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

$$\therefore b = -18.3410$$

$$a = Q_m - bX_m$$

$$\therefore a = 7.4380$$

- **Cálculo del caudal máximo**

$$Q_{m\acute{a}x} = a + b \log \log \frac{T}{T-1}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(10 \text{ años}) = 32.10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(15 \text{ años}) = 35.38 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(20 \text{ años}) = 37.74 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(25 \text{ años}) = 39.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(50 \text{ años}) = 45.16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{m\acute{a}x}(100 \text{ años}) = 50.72 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo de desviación estándar y covarianza**

$$S_{xx} = N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$$

$$S_{qq} = N \sum Q_i^2 - (\sum Q_i)^2$$

$$S_{xq} = N \sum Q_i X_i - (\sum Q_i) (\sum X_i)$$

$$\therefore S_{xx} = 225.71$$

$$\therefore S_{qq} = 79339.23$$

$$\therefore S_{xq} = -4139.80$$

- **Cálculo del intervalo de confianza**

$$\Delta Q = \pm 2 \sqrt{\frac{S_{qq}}{N^2(N-1)} + (X - X_m)^2 \frac{1}{N-2} \frac{1}{S_{xx}} \left(S_{qq} - \frac{S_{xq}^2}{S_{xx}} \right)}$$

$$X = \text{loglog} \frac{T}{T-1}$$

$$\therefore X (10 \text{ años}) = \text{loglog} \frac{10}{10-1} = -1.3395$$

$$\therefore X (15 \text{ años}) = \text{loglog} \frac{10}{10-1} = -1.5234$$

$$\therefore X (20 \text{ años}) = \text{loglog} \frac{20}{20-1} = -1.6522$$

$$\therefore X (25 \text{ años}) = \text{loglog} \frac{10}{10-1} = -1.7513$$

$$\therefore X (50 \text{ años}) = \text{loglog} \frac{50}{50-1} = -2.0568$$

$$\therefore X (100 \text{ años}) = \text{loglog} \frac{100}{100-1} = -2.3600$$

$$\therefore \Delta Q (10 \text{ años}) = 3.4874 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \Delta Q (15 \text{ años}) = 3.5781 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \Delta Q (20 \text{ años}) = 3.6517 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \Delta Q (25 \text{ años}) = 3.7138 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \Delta Q (50 \text{ años}) = 3.9318 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore \Delta Q (100 \text{ años}) = 4.1831 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo del caudal de diseño**

$$Q_d = Q_{\text{máx}} \pm \Delta Q$$

$$\therefore Q_d (10 \text{ años}) = 35.49 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d (15 \text{ años}) = 38.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d (20 \text{ años}) = 41.39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d (25 \text{ años}) = 43.27 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d (50 \text{ años}) = 49.09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_d (100 \text{ años}) = 54.91 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. Método de Gumbel

- Cálculo del caudal medio

$$\sum Q = 569.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$\therefore Q_m = \frac{569.15}{31}$$

$$\therefore Q_m = 18.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Cálculo de la desviación estándar

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

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

Tabla 37. Valores de Q^2 y $\sum Q^2$

N°	Año	Q	Q ²
		Caudal	
1	1990	33.82	1144.10
2	1991	15.12	228.50
3	1992	18.63	347.04
4	1993	29.54	872.84
5	1994	32.10	1030.36
6	1995	16.36	267.65
7	1996	31.94	1020.24
8	1997	13.73	188.39
9	1998	11.00	120.99
10	1999	19.25	370.69
11	2000	7.05	49.69
12	2001	18.59	345.55
13	2002	11.81	139.38
14	2003	19.11	365.27
15	2004	13.14	172.59
16	2005	8.45	71.36
17	2006	12.48	155.86
18	2007	8.46	71.63
19	2008	11.09	122.91
20	2009	20.23	409.24
21	2010	23.73	563.32
22	2011	49.01	2401.94
23	2012	16.55	274.04
24	2013	16.36	267.65
25	2014	20.56	422.62
26	2015	9.87	97.48

27	2016	15.95	254.53
28	2017	22.55	508.59
29	2018	21.72	471.58
30	2019	14.56	212.12
31	2020	6.38	40.72
Sumatorias:		569.15	13008.89

Fuente: Elaboración propia

$$\therefore \sigma_Q = 9.24 m^3/s$$

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

Los coeficientes \bar{Y}_N y σ_N , se obtienen según el número de registros que se tienen; y en la investigación se tuvieron 31 años de registro.

Tabla 38. Valores de \bar{Y}_N y σ_N

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

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

En la investigación se propuso estimar el caudal del río para los periodos de retorno de 10; 15; 20; 25; 50 y 100 años. Se usó la siguiente ecuación, en la cual la variable T corresponde a los periodos de retorno.

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

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(10 \text{ a\~{n}os}) = 32.97 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(15 \text{ a\~{n}os}) = 36.33 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(20 \text{ a\~{n}os}) = 38.71 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(25 \text{ a\~{n}os}) = 40.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(50 \text{ a\~{n}os}) = 46.29 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Q_{m\acute{a}x}(100 \text{ a\~{n}os}) = 52.03 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

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

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

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

$$\therefore \phi (15 \text{ a\~{n}os}) = 1 - \frac{1}{15} = 0.93$$

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

$$\therefore \phi (25 \text{ a\~{n}os}) = 1 - \frac{1}{25} = 0.96$$

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

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

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

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

Nota:

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

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

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

Tabla 39. Valores de $\sqrt{N\alpha\sigma_m}$

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

- **Cálculo del intervalo de confianza**

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

$$\therefore \Delta Q = \pm 9.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Cálculo del caudal de diseño**

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

$$\therefore Qd (10 \text{ a\~{n}os}) = 42.41 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Qd (15 \text{ a\~{n}os}) = 45.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

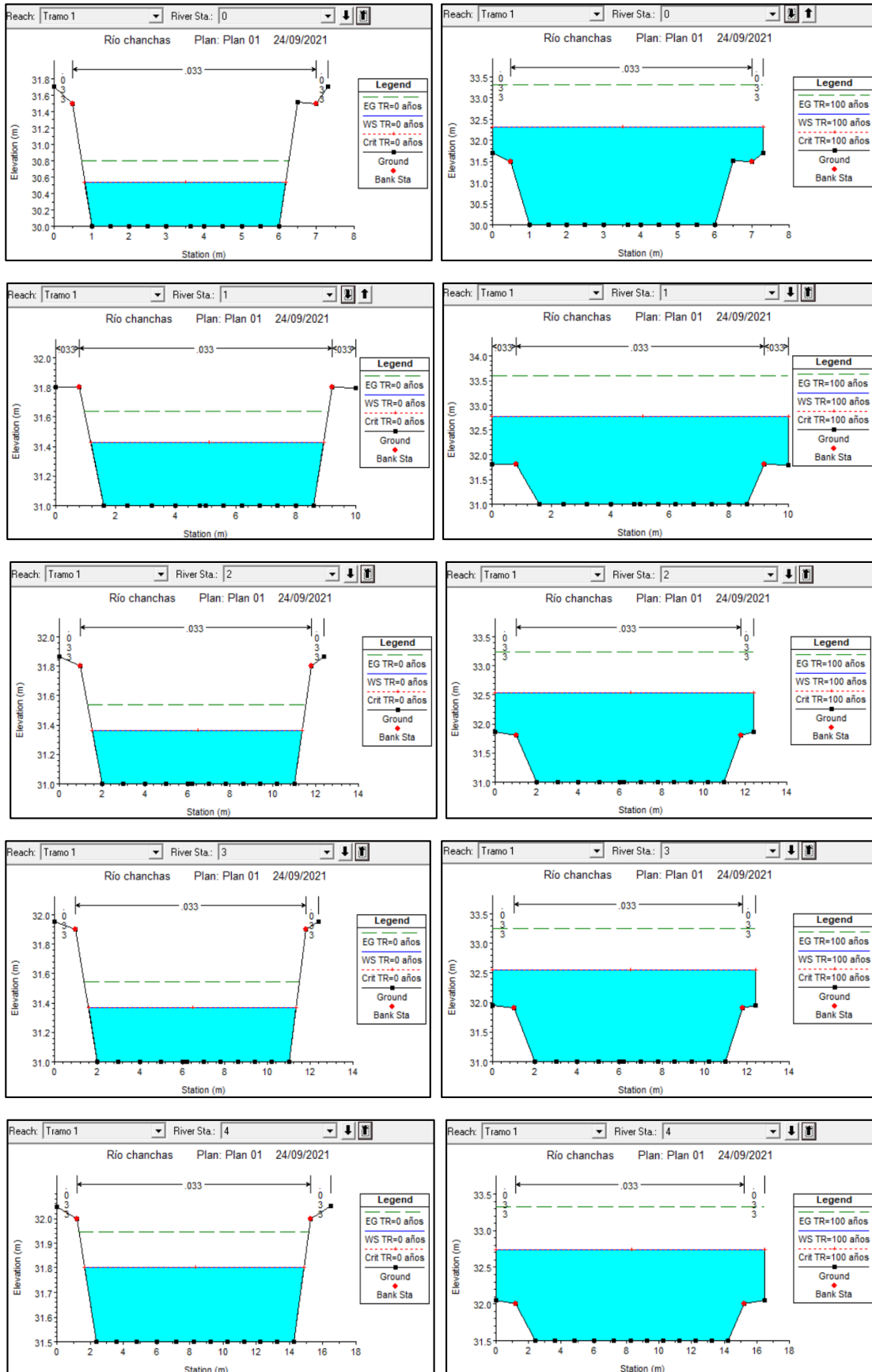
$$\therefore Qd (20 \text{ a\~{n}os}) = 48.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

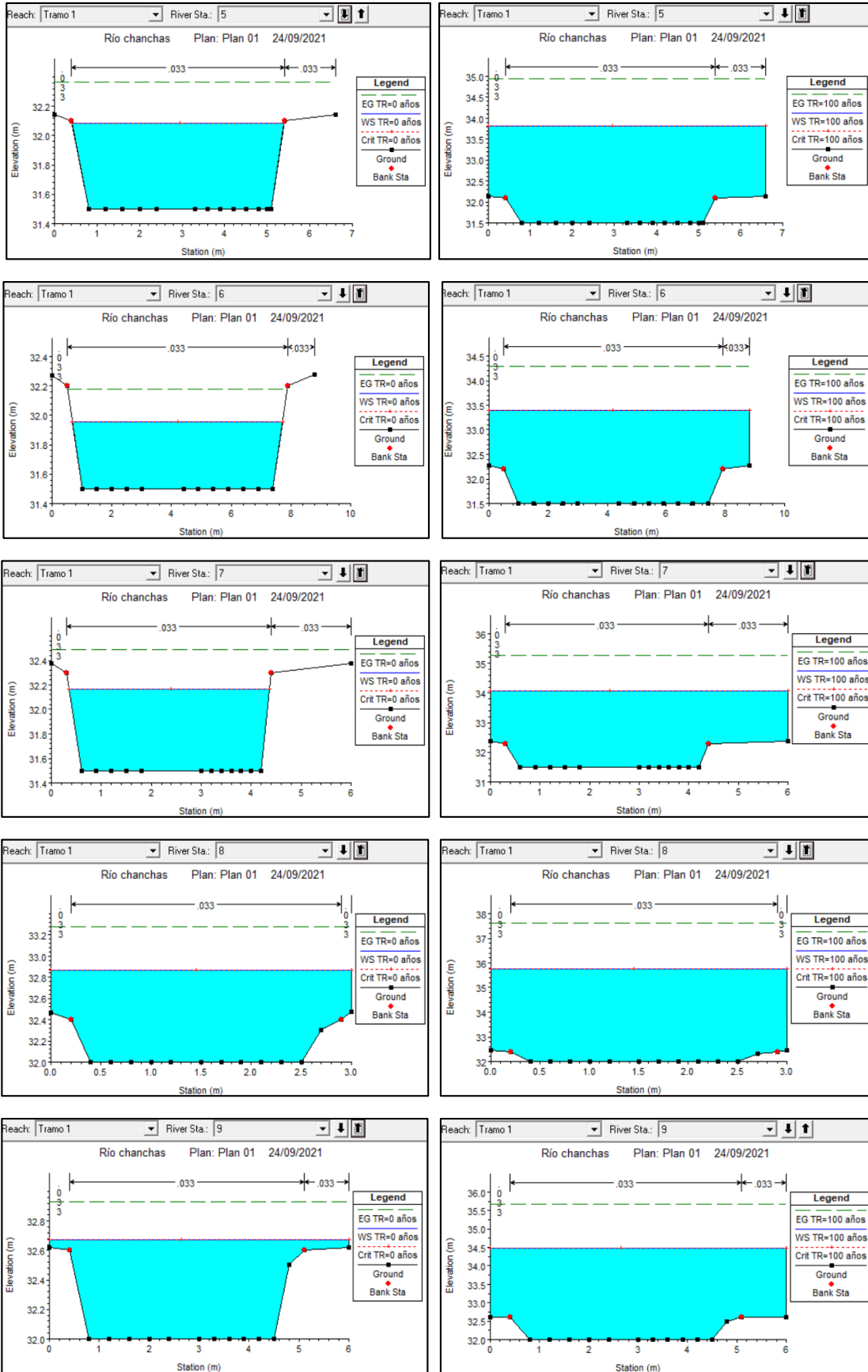
$$\therefore Qd (25 \text{ a\~{n}os}) = 49.99 \text{ m}^3/\text{s}$$

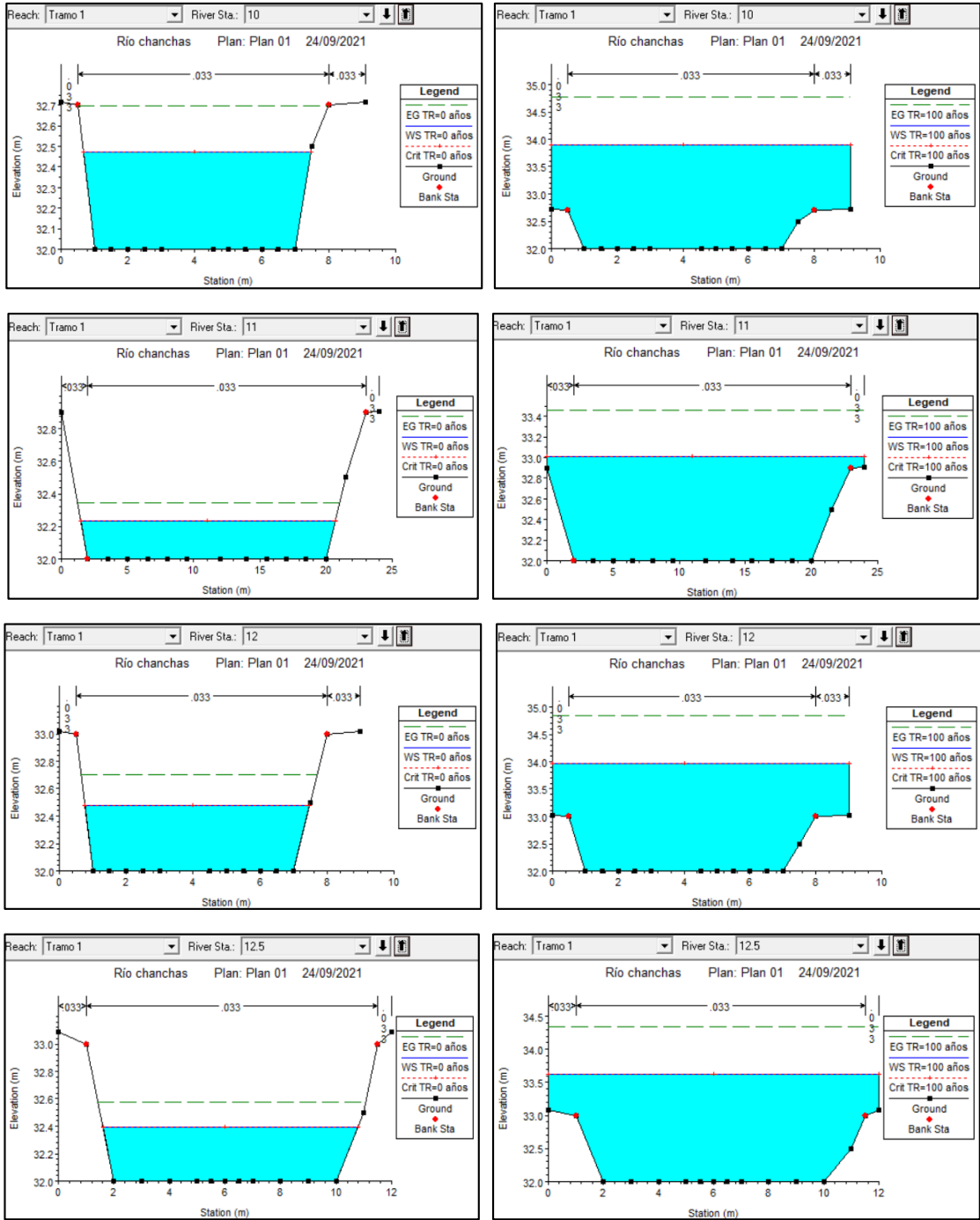
$$\therefore Qd (50 \text{ a\~{n}os}) = 55.73 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\therefore Qd (100 \text{ a\~{n}os}) = 61.47 \text{ m}^3/\text{s}$$

Anexo 4: Secciones transversales del tramo en estudio del río Chanchas







Anexo 5: Resultados de salida, simulación periodo de retorno 0 años

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
12+500	6.38	32	34.49		34.49	0.000023	0.25	27.16	12	0.05
12+000	6.38	32	34.47		34.47	0.000048	0.34	19.95	9	0.07
11+500	6.38	32	34.45		34.45	0.000029	0.27	24.61	11	0.06
11+000	6.38	32	34.45		34.45	0.000005	0.12	55.53	24	0.02
10+500	6.38	32	34.45		34.45	0.000006	0.14	49.81	22	0.03
10+000	6.38	32	34.43		34.44	0.000044	0.34	20.41	9.1	0.07
9+500	6.38	32	34.42		34.42	0.000023	0.25	27.38	12.2	0.05
9+000	6.38	32	34.38		34.4	0.000124	0.54	13.16	6	0.11
8+500	6.38	32	34.3		34.32	0.000175	0.64	10.89	5	0.14
8+000	6.38	32	34.1		34.17	0.000651	1.13	6.04	3	0.25
7+500	6.38	32	33.81		33.86	0.000575	0.99	7.37	4.4	0.24
7+000	6.38	31.5	33.66		33.68	0.00023	0.64	11.16	6	0.14
6+500	6.38	31.5	33.47		33.51	0.000549	0.9	7.88	4.6	0.21
6+000	6.38	31.5	33.38		33.39	0.00011	0.45	15.18	8.8	0.11
5+500	6.38	31.5	33.26		33.29	0.000459	0.82	8.4	5.3	0.2
5+000	6.38	31.5	33.03		33.06	0.000466	0.78	8.89	6.6	0.2
4+500	6.38	31.5	32.72		32.76	0.000781	0.88	7.92	7.8	0.26
4+000	6.38	31.5	32.58		32.59	0.000184	0.42	15.94	16.5	0.13
3+500	6.38	31	32.52		32.53	0.000072	0.32	20.59	15.3	0.08
3+000	6.38	31	32.47		32.48	0.00013	0.41	15.98	12.4	0.11
2+500	6.38	31	32.47		32.47	0.000012	0.13	51.1	39.4	0.03
2+000	6.38	31	32.44		32.45	0.000134	0.42	15.84	12.4	0.11
1+500	6.38	31	32.37		32.38	0.000159	0.44	15.05	12.5	0.12
1+000	6.38	31	32.24		32.26	0.000389	0.63	10.56	10	0.19
0+500	6.38	31	31.95		31.98	0.000874	0.8	8.27	10.6	0.27
0+000	6.38	30	30.54	30.54	30.81	0.016085	2.28	2.8	5.36	1.01

Anexo 6: Resultados de salida, simulación periodo de retorno 25 años

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
12+500	49.99	32	38.99		39.01	0.000041	0.67	81.18	12	0.08
12+000	49.99	32	38.94		38.98	0.000087	0.94	60.17	9	0.11
11+500	49.99	32	38.92		38.94	0.000052	0.74	73.72	11	0.09
11+000	49.99	32	38.92		38.93	0.000009	0.33	162.89	24	0.04
10+500	49.99	32	38.92		38.92	0.000012	0.37	148.15	22	0.05
10+000	49.99	32	38.86		38.91	0.000083	0.94	60.72	9.1	0.11
9+500	49.99	32	38.85		38.87	0.000043	0.7	81.4	12.2	0.09
9+000	49.99	32	38.71		38.82	0.000237	1.51	39.1	6	0.19
8+500	49.99	32	38.52		38.68	0.000324	1.76	31.98	5	0.22
8+000	49.99	32	37.85		38.36	0.001269	3.16	17.29	3	0.42
7+500	49.99	32	37.45		37.77	0.000909	2.61	23.36	4.4	0.36
7+000	49.99	31.5	37.22		37.38	0.000524	1.86	32.55	6	0.25
6+500	49.99	31.5	36.64		36.97	0.001308	2.66	22.47	4.6	0.38
6+000	49.99	31.5	36.58		36.66	0.000236	1.29	43.34	8.8	0.18
5+500	49.99	31.5	36.14		36.43	0.001049	2.4	23.7	5.3	0.36
5+000	49.99	31.5	35.68		35.91	0.000943	2.2	26.41	6.6	0.35
4+500	49.99	31.5	35.2		35.41	0.001032	2.15	27.26	7.8	0.36
4+000	49.99	31.5	35.15		35.19	0.000174	0.93	58.34	16.5	0.16
3+500	49.99	31	35.07		35.11	0.000147	0.9	59.51	15.3	0.14
3+000	49.99	31	34.94		35.01	0.000261	1.15	46.62	12.4	0.19
2+500	49.99	31	34.96		34.97	0.000022	0.35	149.36	39.4	0.06
2+000	49.99	31	34.86		34.93	0.000273	1.17	45.86	12.4	0.19
1+500	49.99	31	34.71		34.79	0.000308	1.21	44.37	12.5	0.2
1+000	49.99	31	34.42		34.56	0.000692	1.69	32.36	10	0.29
0+500	49.99	31	34		34.16	0.000932	1.83	30	10.6	0.34
0+000	49.99	30	32.06	32.06	32.94	0.012409	4.16	12.26	7.3	0.98

Anexo 7: Resultados de salida, simulación periodo de retorno 50 años

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
12+500	55.73	32	39.39		39.42	0.000042	0.71	86.01	12	0.08
12+000	55.73	32	39.34		39.38	0.00009	0.99	63.77	9	0.12
11+500	55.73	32	39.32		39.35	0.000053	0.78	78.12	11	0.09
11+000	55.73	32	39.32		39.33	0.00001	0.35	172.52	24	0.04
10+500	55.73	32	39.32		39.32	0.000012	0.39	156.97	22	0.05
10+000	55.73	32	39.26		39.31	0.000085	0.99	64.33	9.1	0.12
9+500	55.73	32	39.24		39.27	0.000044	0.73	86.24	12.2	0.09
9+000	55.73	32	39.09		39.22	0.000244	1.6	41.41	6	0.19
8+500	55.73	32	38.9		39.07	0.000334	1.86	33.85	5	0.23
8+000	55.73	32	38.17		38.73	0.001321	3.34	18.25	3	0.43
7+500	55.73	32	37.76		38.12	0.000939	2.76	24.74	4.4	0.37
7+000	55.73	31.5	37.54		37.71	0.000547	1.97	34.44	6	0.26
6+500	55.73	31.5	36.91		37.28	0.001371	2.81	23.72	4.6	0.39
6+000	55.73	31.5	36.87		36.96	0.000245	1.36	45.85	8.8	0.19
5+500	55.73	31.5	36.39		36.71	0.001095	2.54	25.02	5.3	0.37
5+000	55.73	31.5	35.92		36.17	0.000979	2.33	27.96	6.6	0.36
4+500	55.73	31.5	35.43		35.66	0.001059	2.26	28.99	7.8	0.37
4+000	55.73	31.5	35.38		35.42	0.000176	0.98	62.16	16.5	0.16
3+500	55.73	31	35.3		35.34	0.000152	0.95	63.01	15.3	0.15
3+000	55.73	31	35.17		35.24	0.000269	1.22	49.38	12.4	0.19
2+500	55.73	31	35.19		35.19	0.000023	0.37	158.28	39.4	0.06
2+000	55.73	31	35.08		35.16	0.000282	1.24	48.56	12.4	0.2
1+500	55.73	31	34.93		35.01	0.000317	1.28	47.03	12.5	0.21
1+000	55.73	31	34.62		34.77	0.000711	1.78	34.35	10	0.3
0+500	55.73	31	34.19		34.36	0.000941	1.92	32.02	10.6	0.35
0+000	55.73	30	32.19	32.19	33.14	0.012186	4.32	13.22	7.3	0.99

Anexo 8: Resultados de salida, simulación periodo de retorno 100 años

Sección	Q m3/s	Cota de fondo	Altura de lámina de agua (m)	Cota del calado crítico (m)	Altura de energía (m)	Pendiente de la línea de energía (m/m)	Velocidad m/s	Área mojada m2	Espejo de agua (m)	Nro. Froude
12+500	61.47	32	39.78		39.8	0.000044	0.74	90.63	12	0.09
12+000	61.47	32	39.72		39.77	0.000092	1.03	67.2	9	0.12
11+500	61.47	32	39.7		39.73	0.000054	0.82	82.32	11	0.09
11+000	61.47	32	39.71		39.71	0.00001	0.37	181.71	24	0.04
10+500	61.47	32	39.7		39.71	0.000012	0.41	165.39	22	0.05
10+000	61.47	32	39.64		39.69	0.000088	1.04	67.76	9.1	0.12
9+500	61.47	32	39.62		39.65	0.000046	0.77	90.86	12.2	0.09
9+000	61.47	32	39.46		39.6	0.000252	1.68	43.61	6	0.2
8+500	61.47	32	39.26		39.44	0.000344	1.95	35.64	5	0.23
8+000	61.47	32	38.47		39.1	0.00137	3.51	19.15	3	0.44
7+500	61.47	32	38.06		38.46	0.000967	2.89	26.06	4.4	0.38
7+000	61.47	31.5	37.84		38.03	0.000568	2.08	36.23	6	0.26
6+500	61.47	31.5	37.17		37.58	0.00143	2.97	24.9	4.6	0.4
6+000	61.47	31.5	37.14		37.24	0.000252	1.43	48.24	8.8	0.19
5+500	61.47	31.5	36.63		36.98	0.001138	2.67	26.27	5.3	0.38
5+000	61.47	31.5	36.14		36.42	0.001013	2.45	29.43	6.6	0.36
4+500	61.47	31.5	35.64		35.89	0.001084	2.37	30.63	7.8	0.37
4+000	61.47	31.5	35.6		35.65	0.000178	1.02	65.81	16.5	0.16
3+500	61.47	31	35.52		35.57	0.000157	0.99	66.37	15.3	0.15
3+000	61.47	31	35.38		35.46	0.000277	1.28	52.02	12.4	0.2
2+500	61.47	31	35.4		35.41	0.000024	0.39	166.85	39.4	0.06
2+000	61.47	31	35.29		35.37	0.00029	1.3	51.16	12.4	0.2
1+500	61.47	31	35.13		35.22	0.000325	1.34	49.59	12.5	0.21
1+000	61.47	31	34.81		34.98	0.000727	1.86	36.26	10	0.31
0+500	61.47	31	34.37		34.56	0.000947	2	33.98	10.6	0.35
0+000	61.47	30	32.32	32.32	33.33	0.011993	4.47	14.15	7.3	0.99

Anexo 9: Análisis hidráulico del río Chanchas

1. Periodo de retorno de 0 años

Tramo	Ancho estable (m)		Ancho estable B (m)	Profundidad media H (m)	Pendiente hidráulica S (m/m)	Tirante normal t (m)	Área transversal A (m ²)	Radio hidráulico R (m)	Velocidad media del agua Vm (m/s)
	Blench o Altunnin	Simons y Henderson							
12+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	9.32	0.28	0.68
12+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	6.76	0.45	0.93
11+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	8.65	0.31	0.73
11+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	17.55	0.11	0.36
10+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	8.08	0.35	0.78
10+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	4.28	0.90	1.48
9+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	4.36	0.87	1.45
9+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	2.03	2.75	3.11
8+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	1.53	4.20	4.13
8+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	0.71	13.28	8.90
7+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	0.86	9.96	7.34
7+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	3.11	1.45	2.03
6+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	2.53	1.97	2.50
6+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	4.88	0.74	1.29
5+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	2.81	1.69	2.25
5+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	2.95	1.57	2.14
4+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	3.07	1.48	2.06
4+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	6.54	0.48	0.97
3+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	11.2	0.21	0.56
3+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	8.95	0.30	0.71
2+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	25.44	0.06	0.25
2+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	7.97	0.35	0.79
1+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	7.98	0.35	0.79
1+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	6.16	0.52	1.03
0+500	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	5.27	0.66	1.20
0+000	15.84	7.07	15.90	0.78	0.00280	0.44	8.69	0.31	0.73

2. Periodo de retorno de 25 años

Tramo	Ancho estable (m)		Ancho estable B (m)	Profundidad media H (m)	Pendiente hidráulica S (m/m)	Tirante normal t (m)	Área transversal A (m ²)	Radio hidráulico R (m)	Velocidad media del agua Vm (m/s)
	Blench o Altunnin	Simons y Henderson							
12+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	9.32	7.92	5.31
12+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	6.76	12.82	7.32
11+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	8.65	8.86	5.72
11+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	17.55	3.07	2.82
10+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	8.08	9.81	6.13
10+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	4.28	25.46	11.56
9+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	4.36	24.76	11.35
9+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	2.03	77.93	24.38
8+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	1.53	119.10	32.35
8+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	0.71	376.77	69.71
7+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	0.86	282.62	57.55
7+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	3.11	41.10	15.91
6+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	2.53	56.01	19.56
6+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	4.88	20.91	10.14
5+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	2.81	47.85	17.61
5+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	2.95	44.49	16.78
4+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	3.07	41.90	16.12
4+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	6.54	13.48	7.57
3+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	11.20	6.01	4.42
3+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	8.95	8.42	5.53
2+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	25.44	1.76	1.95
2+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	7.97	10.02	6.21
1+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	7.98	10.00	6.20
1+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	6.16	14.74	8.03
0+500	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	5.27	18.63	9.39
0+000	44.33	19.80	44.35	1.54	0.00198	0.90	8.69	8.80	5.70

3. Periodo de retorno de 50 años

Tramo	Ancho estable (m)		Ancho estable B (m)	Profundidad media H (m)	Pendiente hidráulica S (m/m)	Tirante normal t (m)	Área transversal A (m ²)	Radio hidráulico R (m)	Velocidad media del agua Vm (m/s)
	Blench o Altunnin	Simons y Henderson							
12+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	9.32	9.45	5.92
12+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	6.76	15.30	8.16
11+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	8.65	10.57	6.38
11+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	17.55	3.66	3.14
10+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	8.08	11.71	6.83
10+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	4.28	30.37	12.89
9+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	4.36	29.54	12.65
9+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	2.03	92.98	27.18
8+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	1.53	142.10	36.06
8+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	0.71	449.51	77.71
7+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	0.86	337.19	64.15
7+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	3.11	49.03	17.74
6+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	2.53	66.83	21.81
6+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	4.88	24.95	11.31
5+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	2.81	57.09	19.63
5+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	2.95	53.08	18.70
4+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	3.07	49.99	17.97
4+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	6.54	16.08	8.44
3+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	11.20	7.17	4.93
3+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	8.95	10.04	6.16
2+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	25.44	2.10	2.17
2+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	7.97	11.95	6.92
1+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	7.98	11.93	6.91
1+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	6.16	17.59	8.96
0+500	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	5.27	22.23	10.47
0+000	46.81	20.90	46.85	1.60	0.00195	0.94	8.69	10.50	6.35

4. Periodo de retorno de 100 años

Tramo	Ancho estable (m)		Ancho estable B (m)	Profundidad media H (m)	Pendiente hidráulica S (m/m)	Tirante normal t (m)	Área transversal A (m ²)	Radio hidráulico R (m)	Velocidad media del agua Vm (m/s)
	Blench o Altunnin	Simons y Henderson							
12+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	9.32	11.08	6.53
12+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	6.76	17.94	9.00
11+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	8.65	12.40	7.04
11+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	17.55	4.29	3.47
10+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	8.08	13.73	7.53
10+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	4.28	35.61	14.22
9+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	4.36	34.64	13.96
9+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	2.03	109.03	29.98
8+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	1.53	166.63	39.77
8+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	0.71	527.10	85.71
7+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	0.86	395.40	70.76
7+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	3.11	57.50	19.57
6+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	2.53	78.36	24.05
6+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	4.88	29.25	12.47
5+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	2.81	66.95	21.66
5+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	2.95	62.24	20.63
4+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	3.07	58.62	19.82
4+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	6.54	18.85	9.30
3+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	11.20	8.41	5.43
3+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	8.95	11.78	6.80
2+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	25.44	2.46	2.39
2+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	7.97	14.01	7.64
1+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	7.98	13.99	7.63
1+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	6.16	20.63	9.88
0+500	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	5.27	26.07	11.55
0+000	49.16	21.95	49.20	1.65	0.00192	0.97	8.69	12.31	7.00

5. Periodo de retorno de 200 años

Tramo	Ancho estable (m)		Ancho estable B (m)	Profundidad media H (m)	Pendiente hidráulica S (m/m)	Tirante normal t (m)	Área transversal A (m ²)	Radio hidráulico R (m)	Velocidad media del agua Vm (m/s)
	Blench o Altunnin	Simons y Henderson							
12+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	9.32	12.81	7.14
12+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	6.76	20.74	9.84
11+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	8.65	14.33	7.69
11+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	17.55	4.96	3.79
10+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	8.08	15.87	8.23
10+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	4.28	41.17	15.54
9+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	4.36	40.04	15.26
9+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	2.03	126.03	32.77
8+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	1.53	192.61	43.48
8+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	0.71	609.28	93.70
7+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	0.86	457.04	77.36
7+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	3.11	66.46	21.39
6+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	2.53	90.58	26.30
6+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	4.88	33.81	13.63
5+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	2.81	77.38	23.68
5+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	2.95	71.94	22.55
4+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	3.07	67.76	21.67
4+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	6.54	21.79	10.17
3+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	11.20	9.72	5.94
3+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	8.95	13.61	7.43
2+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	25.44	2.84	2.62
2+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	7.97	16.20	8.35
1+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	7.98	16.17	8.34
1+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	6.16	23.84	10.80
0+500	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	5.27	30.13	12.62
0+000	51.40	22.95	51.40	1.70	0.00189	1.00	8.69	14.23	7.66

6. Periodo de retorno de 500 años

Tramo	Ancho estable (m)		Ancho estable B (m)	Profundidad media H (m)	Pendiente hidráulica S (m/m)	Tirante normal t (m)	Área transversal A (m ²)	Radio hidráulico R (m)	Velocidad media del agua Vm (m/s)
	Blench o Altunnin	Simons y Henderson							
0+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	9.32	15.24	7.94
0+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	6.76	24.68	10.95
1+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	8.65	17.05	8.56
1+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	17.55	5.90	4.22
2+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	8.08	18.88	9.16
2+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	4.28	48.98	17.30
3+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	4.36	47.64	16.98
3+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	2.03	149.96	36.47
4+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	1.53	229.19	48.39
4+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	0.71	725.00	104.28
5+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	0.86	543.85	86.10
5+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	3.11	79.08	23.81
6+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	2.53	107.78	29.27
6+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	4.88	40.23	15.17
7+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	2.81	92.08	26.35
7+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	2.95	85.60	25.10
8+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	3.07	80.63	24.12
8+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	6.54	25.93	11.32
9+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	11.20	11.57	6.61
9+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	8.95	16.20	8.27
10+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	25.44	3.38	2.91
10+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	7.97	19.28	9.29
11+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	7.98	19.24	9.28
11+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	6.16	28.37	12.02
12+000	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	5.27	35.85	14.05
12+500	54.22	24.21	54.30	1.77	0.00186	1.04	8.69	16.93	8.52

7. Periodo de retorno de 1000 años

Tramo	Ancho estable (m)		Ancho estable B (m)	Profundidad media H (m)	Pendiente hidráulica S (m/m)	Tirante normal t (m)	Área transversal A (m ²)	Radio hidráulico R (m)	Velocidad media del agua Vm (m/s)
	Blench o Altunnin	Simons y Henderson							
0+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	9.32	17.19	8.55
0+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	6.76	27.83	11.79
1+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	8.65	19.23	9.22
1+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	17.55	6.65	4.54
2+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	8.08	21.30	9.87
2+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	4.28	55.24	18.63
3+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	4.36	53.73	18.29
3+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	2.03	169.11	39.27
4+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	1.53	258.45	52.11
4+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	0.71	817.57	112.29
5+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	0.86	613.29	92.70
5+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	3.11	89.18	25.63
6+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	2.53	121.54	31.51
6+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	4.88	45.37	16.34
7+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	2.81	103.84	28.37
7+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	2.95	96.53	27.03
8+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	3.07	90.93	25.97
8+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	6.54	29.24	12.19
9+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	11.20	13.05	7.12
9+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	8.95	18.27	8.91
10+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	25.44	3.81	3.13
10+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	7.97	21.74	10.00
11+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	7.98	21.70	9.99
11+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	6.16	31.99	12.94
12+000	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	5.27	40.43	15.13
12+500	56.27	25.13	56.30	1.81	0.00183	1.07	8.69	19.09	9.17

Anexo 10: Análisis granulométrico del material del cauce del río Chanchas

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0	Grava (3" - N°4)	4676.0	93.52
1 1/2"	38.100	912.0	18.2	18.2	81.8	Arena (N°4 - N°200)	317.0	6.34
1"	25.400	1253.0	25.1	43.3	56.7	Finos (menor a N°200)	7.0	0.14
3/4"	19.050	1010.0	20.2	63.5	36.5	Total	5000.0	100.000
0+000	3/8"	9.520	1070.0	21.4	84.9	15.1		
	N°4	4.750	431.0	8.6	93.5	6.5	Tipo de material - Cauce de río	GRAVAS
	N°10	2.000	246.0	4.9	98.4	1.6	AASHTO	A - 1 Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	37.0	0.7	99.2	0.8	SUCS	GW Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	34.0	0.7	99.9	0.1		
	Fondo	7.0	0.1	100.0	0.0			
	Total	5000.0						
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	730.0	14.6	14.6	85.4	Grava (3" - N°4)	4499.0	90.18
1 1/2"	38.100	616.0	12.3	27.0	73.0	Arena (N°4 - N°200)	490.0	9.82
1"	25.400	1221.0	24.5	51.5	48.5	Finos (menor a N°200)	0.0	0.00
3/4"	19.050	713.0	14.3	65.7	34.3	Total	4989.0	100.000
1+000	3/8"	9.520	773.0	15.5	81.2	18.8		
	N°4	4.750	446.0	8.9	90.2	9.8	Tipo de material - Cauce de río	GRAVAS
	N°10	2.000	358.0	7.2	97.4	2.6	AASHTO	A - 1 Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	132.0	2.6	100.0	0.0	SUCS	GW Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	0.0	100.0	0.0		
	Fondo	0.0	0.0	100.0	0.0			
	Total	4989.0						

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	799.0	16.0	16.0	84.0	Grava (3" - N°4)	4800.0	96.00
1 1/2"	38.100	336.0	6.7	22.7	77.3	Arena (N°4 - N°200)	188.0	3.76
1"	25.400	1050.0	21.0	43.7	56.3	Finos (menor a N°200)	12.0	0.24
3/4"	19.050	914.0	18.3	62.0	38.0	Total	5000.0	100.00
2+000	3/8"	9.520	1258.0	25.2	87.1			
	N°4	4.750	443.0	8.9	96.0	Tipo de material - Cauce de río		GRAVAS
	N°10	2.000	152.0	3.0	99.0	AASHTO	A - 1	Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	36.0	0.7	99.8	SUCS	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	0.0	99.8			
	Fondo	12.0	0.2	100.0	0.0			
	Total	5000.0						
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	204.0	4.1	4.1	95.9	Grava (3" - N°4)	4862.0	97.24
1 1/2"	38.100	1459.0	29.2	33.3	66.7	Arena (N°4 - N°200)	126.0	2.52
1"	25.400	1518.0	30.4	63.6	36.4	Finos (menor a N°200)	12.0	0.24
3/4"	19.050	588.0	11.8	75.4	24.6	Total	5000.0	100.00
3+000	3/8"	9.520	841.0	16.8	92.2			
	N°4	4.750	252.0	5.0	97.2	Tipo de material - Cauce de río		GRAVAS
	N°10	2.000	92.0	1.8	99.1	AASHTO	A - 1	Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	34.0	0.7	99.8	SUCS	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	0.0	99.8			
	Fondo	12.0	0.2	100.0	0.0			
	Total	5000.0						

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	113.0	2.3	2.3	97.7	Grava (3" - N°4)	4209.0	84.18
1 1/2"	38.100	379.0	7.6	9.8	90.2	Arena (N°4 - N°200)	780.0	15.6
1"	25.400	857.0	17.1	27.0	73.0	Finos (menor a N°200)	11.0	0.22
3/4"	19.050	873.0	17.5	44.4	55.6	Total	5000.0	100.000
4+000	3/8"	9.520	1016.0	20.3	64.8	35.2		
	N°4	4.750	971.0	19.4	84.2	15.8	Tipo de material - Cauce de río	GRAVAS
	N°10	2.000	629.0	12.6	96.8	3.2	AASHTO	A - 1 Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	151.0	3.0	99.8	0.2	SUCS	GW Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	0.0	99.8	0.2		
	Fondo	11.0	0.2	100.0	0.0			
	Total	5000.0						
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0	Grava (3" - N°4)	4668.0	93.36
1 1/2"	38.100	1060.0	21.2	21.2	78.8	Arena (N°4 - N°200)	321.0	6.42
1"	25.400	1385.0	27.7	48.9	51.1	Finos (menor a N°200)	11.0	0.22
3/4"	19.050	1426.0	28.5	77.4	22.6	Total	5000.0	100.000
5+000	3/8"	9.520	323.0	6.5	83.9	16.1		
	N°4	4.750	474.0	9.5	93.4	6.6	Tipo de material - Cauce de río	GRAVAS
	N°10	2.000	250.0	5.0	98.4	1.6	AASHTO	A - 1 Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	71.0	1.4	99.8	0.2	SUCS	GW Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	0.0	99.8	0.2		
	Fondo	11.0	0.2	100.0	0.0			
	Total	5000.0						

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	164.0	3.3	3.3	96.7	Grava (3" - N°4)	4873.0	97.46
1 1/2"	38.100	2235.0	44.7	48.0	52.0	Arena (N°4 - N°200)	119.0	2.38
1"	25.400	1053.0	21.1	69.0	31.0	Finos (menor a N°200)	8.0	0.16
3/4"	19.050	1055.0	21.1	90.1	9.9	Total	5000.0	100.000
6+000	3/8"	9.520	2.9	93.1	6.9			
	N°4	4.750	4.4	97.5	2.5	Tipo de material - Cauce de río		GRAVAS
	N°10	2.000	2.2	99.6	0.4	AASHTO	A - 1	Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	0.2	99.8	0.2	SUCS	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	99.8	0.2			
	Fondo	8.0	0.2	100.0	0.0			
	Total	5000.0						
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0	Grava (3" - N°4)	4365.0	87.3
1 1/2"	38.100	149.0	3.0	3.0	97.0	Arena (N°4 - N°200)	624.0	12.48
1"	25.400	317.0	6.3	9.3	90.7	Finos (menor a N°200)	11.0	0.22
3/4"	19.050	1273.0	25.5	34.8	65.2	Total	5000.0	100.000
7+000	3/8"	9.520	33.2	68.0	32.0			
	N°4	4.750	19.3	87.3	12.7	Tipo de material - Cauce de río		GRAVAS
	N°10	2.000	11.9	99.2	0.8	AASHTO	A - 1	Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	0.6	99.8	0.2	SUCS	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	99.8	0.2			
	Fondo	11.0	0.2	100.0	0.0			
	Total	5000.0						

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	376.0	7.5	7.5	92.5	Grava (3" - N°4)	4643.0	92.86
1 1/2"	38.100	835.0	16.7	24.2	75.8	Arena (N°4 - N°200)	349.0	6.98
1"	25.400	1212.0	24.2	48.5	51.5	Finos (menor a N°200)	8.0	0.16
3/4"	19.050	926.0	18.5	67.0	33.0	Total	5000.0	100.000
8+000	3/8"	9.520	19.2	86.2	13.8			
	N°4	4.750	6.6	92.9	7.1	Tipo de material - Cauce de río		GRAVAS
	N°10	2.000	5.5	98.4	1.6	AASHTO	A - 1	Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	1.5	99.8	0.2	SUCS	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	99.8	0.2			
	Fondo	8.0	0.2	100.0	0.0			
	Total	5000.0						
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0	Grava (3" - N°4)	4478.0	89.58
1 1/2"	38.100	798.0	16.0	16.0	84.0	Arena (N°4 - N°200)	514.0	10.28
1"	25.400	1392.0	27.8	43.8	56.2	Finos (menor a N°200)	7.0	0.14
3/4"	19.050	854.0	17.1	60.9	39.1	Total	4999.0	100.00
9+000	3/8"	9.520	17.0	77.9	22.1			
	N°4	4.750	11.7	89.6	10.4	Tipo de material - Cauce de río		GRAVAS
	N°10	2.000	9.1	98.7	1.3	AASHTO	A - 1	Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	1.2	99.9	0.1	SUCS	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	99.9	0.1			
	Fondo	7.0	0.1	100.0	0.0			
	Total	4999.0						

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)	
2"	50.800	355.0	7.1	7.1	92.9	Grava (3" - N°4)	4995.0	99.92	
1 1/2"	38.100	652.0	13.0	20.1	79.9	Arena (N°4 - N°200)	0.0	0.00	
1"	25.400	1415.0	28.3	48.4	51.6	Finos (menor a N°200)	4.0	0.08	
3/4"	19.050	703.0	14.1	62.5	37.5	Total	4999.0	100.00	
10+000	3/8"	9.520	1160.0	23.2	85.7	14.3			
	N°4	4.750	710.0	14.2	99.9	0.1	Tipo de material - Cauce de río	GRAVAS	
	N°10	2.000	0.0	0.0	99.9	0.1	AASHTO	A - 1	Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	0.0	0.0	99.9	0.1	SUCS	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	0.0	99.9	0.1			
	Fondo	4.0	0.1	100.0	0.0				
	Total	4999.0							
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)	
2"	50.800	397.0	7.9	7.9	92.1	Grava (3" - N°4)	4842.0	96.86	
1 1/2"	38.100	920.0	18.4	26.3	73.7	Arena (N°4 - N°200)	151.0	3.02	
1"	25.400	1641.0	32.8	59.2	40.8	Finos (menor a N°200)	6.0	0.12	
3/4"	19.050	652.0	13.0	72.2	27.8	Total	4999.0	100.00	
11+000	3/8"	9.520	877.0	17.5	89.8	10.2			
	N°4	4.750	355.0	7.1	96.9	3.1	Tipo de material - Cauce de río	GRAVAS	
	N°10	2.000	151.0	3.0	99.9	0.1	AASHTO	A - 1	Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	0.0	0.0	99.9	0.1	SUCS	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	0.0	99.9	0.1			
	Fondo	6.0	0.1	100.0	0.0				
	Total	4999.0							

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	353.0	7.1	7.1	92.9	Grava (3" - N°4)	4987.0	99.94
1 1/2"	38.100	1598.0	32.0	39.1	60.9	Arena (N°4 - N°200)	3.0	0.06
1"	25.400	1057.0	21.2	60.3	39.7	Finos (menor a N°200)	0.0	0.00
3/4"	19.050	1860.0	37.3	97.6	2.4	Total	4990.0	100.00
12+000	3/8"	9.520	105.0	2.1	99.7	0.3		
	N°4	4.750	14.0	0.3	99.9	0.1	Tipo de material - Cauce de río	GRAVAS
	N°10	2.000	0.0	0.0	99.9	0.1	AASHTO	A - 1 Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	0.0	0.0	99.9	0.1	SUCS	GW Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	3.0	0.1	100.0	0.0		
	Fondo	0.0	0.0	100.0	0.0			
	Total	4990.0						
Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Material	Cantidad (gr)	Proporción (%)
2"	50.800	329.0	6.6	6.6	93.4	Grava (3" - N°4)	4539.0	90.78
1 1/2"	38.100	1072.0	21.4	28.0	72.0	Arena (N°4 - N°200)	453.0	9.06
1"	25.400	1185.0	23.7	51.7	48.3	Finos (menor a N°200)	8.0	0.16
3/4"	19.050	478.0	9.6	61.3	38.7	Total	5000.0	100.00
12+500	3/8"	9.520	990.0	19.8	81.1	18.9		
	N°4	4.750	485.0	9.7	90.8	9.2	Tipo de material - Cauce de río	GRAVAS
	N°10	2.000	453.0	9.1	99.8	0.2	AASHTO	A - 1 Cantos, grava y arena
	N°20	0.841	0.0	0.0	99.8	0.2	SUCS	GW Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos
	N°40	0.420	0.0	0.0	99.8	0.2		
	Fondo	8.0	0.2	100.0	0.0			
	Total	5000.0						

PANEL FOTOGRAFICO

1. Levantamiento topográfico





2. recolección de material del cauce del río





