Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO - PERU

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.
Vea una copia de esta licencia en http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

Obra publicada con autorización del autor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Instalación de un sistema de defensa ribereña ante la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del río Yuracyacu localidad de Yuracyacu

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Luis Iván Lozano Marín

Katherine Lizbeth Lozada Oliva

ASESOR:

Ing. Dr. José Del Carmen Pizarro Baldera

Tarapoto – Perú

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Instalación de un sistema de defensa ribereña ante la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del río Yuracyacu localidad de Yuracyacu

AUTOR:

Luis Iván Lozano Marín

Katherine Lizbeth Lozada Oliva

Sustentada y aprobada el 25 de octubre del 2019, ante el honorable jurado:

.....	.....
Ing. Santiago Chávez Cachay	**Ing. Carlos Enrique Chung Rojas**
Presidente	**Secretario**
.....	.....
Ing. Ernesto Eliseo García Ramírez	**Ing. Dr. José Del Carmen Pizarro Baldera**
Vocal	**Asesor**

Declaratoria de autenticidad

Luis Iván Lozano Marín, con DNI N° 76362063 y **Katherine Lizbeth Lozada Oliva**, con DNI N° 71256140, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Instalación de un sistema de defensa ribereña ante la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del río Yuracyacu localidad de Yuracyacu.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de nuestro accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 25 de octubre del 2019.

Bach. Luis Iván Lozano Marín
DNI N° 76362063

Bach. Katherine Lizbeth Lozada Oliva
DNI N° 71256140

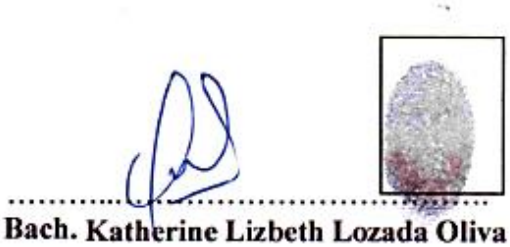
Declaración jurada

Luis Iván Lozano Marín, con DNI N° 76362063 y **Katherine Lizbeth Lozada Oliva**, con DNI N° 71256140, Domiciliados en el Jirón Jr. Elías Soplín Vargas S/N, en Yuracyacu - Rioja - San Martin, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martin – Tarapoto, **Declaramos bajo juramento que,** todos los documentos, datos e información en la presente tesis, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martin – Tarapoto.

Tarapoto, 25 de octubre del 2019.

Bach. Luis Iván Lozano Marín
DNI N° 76362063



Bach. Katherine Lizbeth Lozada Oliva
DNI N° 71256140

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Lozano Marín Luis Iván
Código de alumno :	113121 **Teléfono:** 963910362
Correo electrónico :	lozanoluis573@Gmail.com **DNI:** 76362063

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Civil y Arquitectura
Escuela Profesional de:	Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Titulo :	<< Instalación de un sistema de defensa Ribereña ante la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del río Yuracyacu localidad de Yuracyacu>>
Año de publicación:	2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

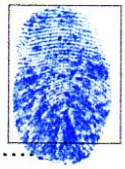
7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons,* con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".**



.....
Firma y huella del Autor

---

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

10 / 06 / 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto – UNSM-T.

.....
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Lozada Oliva Katherine Lizbeth
Código de alumno : 113153	**Teléfono:** 920012349
Correo electrónico : Katy_Liz22@hotmail.com	**DNI:** 71256140

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Civil y Arquitectura.
Escuela Profesional de:	Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Titulo :	"Instalación de un sistema de defensa Ribereña ante la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del río Yuracyacu localidad de Yuracyacu"
Año de publicación:	2019

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons,* con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".**

.....
Firma y huella del Autor

---

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

10 / 06 / 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto – UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A nuestros padres:

Por ser el pilar fundamental para que este proyecto se logre, por cada grano de arena que fueron poniendo día a día, por el apoyo mutuo que mantuvieron con nosotros para ser unos profesionales de éxito y así ir cumpliendo cada uno de nuestros objetivos para ser los mejores profesionales del mañana.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a dios por, por darnos la vida y la salud y poder lograr esta nueva meta, luego un agradecimiento muy especial a nuestros padres quienes nos dieron todo el apoyo necesario para poder llegar a cumplir esta nueva meta.

Un agradecimiento muy especial también a nuestras hermanas y hermanos quienes también pusieron su granito de arena para que esta meta se haga realidad y todos los familiares que estuvieron al tonto de nuestros progresos.

Al Dr. Ing. José del Carmen Pizarro Baldera, por asesoramiento en el desarrollo de la esta tesis, por compartir sus conocimientos y experiencias con cada uno de nosotros.

Índice

Pág.

Dedicatoria....vi
Agradecimiento....vii
Índice....viii
Índice de tablas....x
Índice de figuras....xii
Resumen....xiii
Abstract....xiv

Introducción....1

CAPÍTULO I....3
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN....3
1.1. Planteamiento del problema....3
1.2. Justificación de la investigación....3
1.3. Ubicación del Proyecto....4
1.4. Formulación del problema....6
1.5. Delimitación del problema....6
1.6. Objetivos....6
1.7. Propuesta....7
1.8. Hipótesis....7

CAPÍTULO II....8
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA....7
2.1. Antecedentes de la investigación....8
2.2. Bases teóricas....10
2.2.1. Defensa ribereña....10
2.2.2. Inundación....11
2.2.3. Diseño de diques de tierra....13
2.2.4. Cuenca Hidrográfica....18
2.2.5. Periodo de Retorno....30
2.2.6. Máxima Avenida....32
2.2.7. Método de Gumbell....34

2.2.8. Método de Us Soil Conservation Service (SCS) o Método del Numero de Curva N 36
2.2.9. Método directo 40
2.2.10. Método Racional 41
2.2.11. Método de Creager 43
2.2.12. Avenida de Diseño 46
2.2.13. Pendiente del Cauce de un Río 46
2.2.14. Sección Estable del Río o Ancho de Cauce 47
2.2.15. Rugosidad del Cauce en el Punto de Interés 50
2.2.16. Tirante de Máxima Avenida 51
2.2.17. Velocidad del Agua 52
2.2.18. Altura o Nivel de Encauzamiento(He) 52
2.2.19. Profundidad de Socavación por el Método de List Van Lebediev 54
2.2.20. Criterios de Estabilidad para Obras de Protección frente a Erosión e Inundaciones 58
2.2.21. Base Legal 59

CAPÍTULO III 64
MATERIAL Y MÉTODOS 64
3.1. Sistema de Variables 64
3.2. Metodología de la Investigación 65

CAPÍTULO IV 67
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 67
4.1. Características de la Cuenca Hidrografica del Rio Yuracyacu 67
4.2. Cálculo de Caudal de Diseño Para las Obras de Protección frente a la Vulnerabilidad que genera las Inundaciones en la Margen derecha del Río Yuracyacu 81
4.3. Análisis y Presentación de Datos y Resultados 97

CONCLUSIONES 99

RECOMENDACIONES 100

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 101

ANEXOS 104

Índice de tablas

Pág.

Tabla 1: Periodo de retorno para avenidas de diseño en diferentes obras de protección. 14
Tabla 2: Clasificación según su área 21
Tabla 3: Rangos aproximados del factor de forma 23
Tabla 4: Forma de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad 23
Tabla 5: Características de la cuenca en función a la densidad de drenaje 29
Tabla 6: Se presenta valor de T para varios riesgos permisibles R y para la vida útil n de la obra 31
Tabla 7: Valores máximos recomendados 32
Tabla 8: Valores de $\boldsymbol{yn}$, $\boldsymbol{\sigma n}$ en función de n (número de datos) 35
Tabla 9: Gasto unitario q (m^3/seg)/(mm/km^2) en función del Tc (horas) 36
Tabla 10: Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura 37
Tabla 11: Condición hidrológica 38
Tabla 12: Coeficientes de escorrentía método racional 42
Tabla 13: Valores de coeficientes y exponentes de acuerdo a la región correspondiente. 44
Tabla 14: Factor de fondo 48
Tabla 15: Valores aproximados de $\boldsymbol{Fs}$ (Factor de Orilla) 49
Tabla 16: Valores de $\boldsymbol{K1}$ (Condiciones de fondo del cauce) 50
Tabla 17: Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad del cauce según la ecuación establecida por Cowan 51
Tabla 18: Valores para el coeficiente "f" para el cálculo del borde libre 53
Tabla 19: Coeficiente $\boldsymbol{bo}$ para socavación 55
Tabla 20: Valores de x y 1/(x+1) 56
Tabla 21: Clasificación de los sedimentos por tamaño según la American Geophysical Unión (Adaptada de Meza J.A., 1987) 57
Tabla 22: Características Fisiográficas de la cuenca del Río Yuracyacu– Método del Número de Curva N 72
Tabla 23: Precipitación máxima en 24 horas para la Estación CO Naranjillo. 74
Tabla 24: Aplicación del método de Gumbell. 75

Tabla 25: Valores del factor frecuencia para diferentes periodos de retorno. 76
Tabla 26: Precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno. 76

Tabla 27: Distribución porcentual de las precipitaciones en 6, 12 y 24 horas. 77
Tabla 28: Precipitación máxima en 6 horas para diferentes periodos de retorno. 77
Tabla 29: Escorrentía para diferentes periodos de retorno. 78
Tabla 30: E Cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno..... 79
Tabla 31: Caudales máximos para diferentes periodos de retorno – Método US Soil Conservation Service (SCS) o Curva N. 79
Tabla 32: Red de BMS del estudio topográfico..... 83
Tabla 33: Cálculo de pendiente del cauce del río Yuracyacu..... 84
Tabla 34: Ancho estable por Método de Blench Altunin y de Símons y Henderson para el río Yuracyacu. 87
Tabla 35: Cálculo del coeficiente de rugosidad del cauce según Cowan para el río Yuracyacu 87
Tabla 36: Parámetros para el Diseño Hidráulico y Estructural de Obras de Protección Frente a las inundaciones que genera el rio Yuracyacu……97

Índice de figuras

Pág.

Figura 1: Ubicación en el Perú…… 4
Figura 2: Ubicación en San Martín…… 4
Figura 3: Ubicación en la provincia de Rioja…….. 5
Figura 4: Localización del proyecto ……5
Figura 5:Altura de bordos para controlar las inundaciones……... 16
Figura 6: Consideraciones recomendables de diseño de un dique de tierra (Maza Alvarez, Jose A. obras de protección para control de inundaciones)……16
Figura 7: Partes de una cuenca…….. 22
Figura 8: Pendiente media y pendiente media ponderada de un cauce…… 25
Figura 9:Curva hipsométrica. (LLamas, J., Hidrología general)……... 26
Figura 10: Características de las curvas hipsométricas en el ciclo erosivo…….. 27
Figura 11: Número de Orden de Cauces de Horton…….. 28
Figura 12: Riesgo de por lo menos una excedencia de diseño durante la vida útil……31
Figura 13: Cálculo de la escorrentía en función de la precipitación y numero de curva N……. 40
Figura 14: Valores de n para cálculo de caudal……. 41
Figura 15: identificación de zonas para el cálculo de caudal…… 43
Figura 16: Curvas envolventes de caudales para un periodo de retorno determinado….. 44
Figura 17: Contraste gráfico con las curvas envolventes de Creager…… 45
Figura 18: socavación en los cauces de los rios……54
Figura 19: Gráfico para la Verificación de la estabilidad del dique de tierra……. 92

Resumen

La presente tesis titulada: Instalación de un sistema de defensa ribereña ante la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del Río Yuracyacu localidad de Yuracyacu, se desarrolló con la finalidad de proponer y diseñar una propuesta de alternativa para el control de inundaciones en la zona urbana de la localidad de Yuracyacu. En principio, se realizó la recopilación y análisis de información, recopilándose tablas, formulas y procedimientos para el diseño de las estructuras de protección, luego se realizaron el Estudio Topográfico, Estudio de Mecánica de Suelos y finalmente, se realizó el estudio Hidrológico e Hidráulico aplicando los métodos Numero de Curva N, Método de Creager, Método Directo, y Método Racional para la determinación de caudales máximos, así como, el tirante de máxima avenida, la rugosidad del cauce, pendiente media del cauce, velocidad del flujo y profundidad de socavación. En la fase de gabinete, se procedió a realizar dimensionamiento hidráulico y estructural de la estructura de protección, que comprende la vista en planta y la forma geométrica de la estructura (dique de tierra), así como al cálculo de la estabilidad al volteo, al deslizamiento y al punzonamiento respectivamente. Como resultado del diseño hidráulico y estructural, se proyectó como obra de protección un dique de tierra de 3547.41m de longitud, afuera del cauce, adyacente y casi paralelo a la ribera en la margen derecha del rio Yuracyacu para mitigar la vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones que afectan a la zona urbana de la localidad de Yuracyacu.

Palabras clave: Vulnerabilidad, diseño hidráulico, diseño estructural, dique, inundaciones.

Abstract

This thesis entitled: Installation of a River defense system in the face of the vulnerability that generates floods on the right bank of the Yuracyacu River - Yuracyacu locality, was developed with the purpose of proposing and designing an alternative proposal for flood control in the urban area of the town of Yuracyacu. In principle, the collection and analysis of information was carried out, gathering tables, formulas and procedures for the design of the protection structures, then the Topographic Study, Soil Mechanics Study and finally, the Hydrological and Hydraulic study was performed applying the methods Number of Curve N, Creager Method, Direct Method, and Rational Method for the determination of maximum flows, as well as, the maximum avenue strap, the roughness of the channel, average slope of the channel, flow velocity and depth of undercut . In the cabinet phase, hydraulic and structural dimensioning of the protection structure was carried out, which includes the plan view and the geometric shape of the structure (earth dam), as well as the calculation of the stability to the turning, at sliding and punching respectively. As a result of the hydraulic and structural design, a 3547.41m long dike was projected as a protective work, outside the channel, adjacent and almost parallel to the riverbank on the right bank of the Yuracyacu river to mitigate vulnerability to the occurrence of floods that affect the urban area of the town of Yuracyacu.

Key words: Vulnerability, hydraulic design, structural design, dike, floods.

Introducción

A medida que el fenómeno del calentamiento global se hace más patente en el planeta, sus efectos son más perceptibles dentro del ciclo hidrológico, motivo por el cual los científicos pronostican períodos de sequías e inundaciones más prolongados, aceleración de la fusión de los glaciares y cambios drásticos en los patrones de precipitación.

Desde la década de los 90, se han venido desarrollando métodos para la investigación de desastres en América Latina, en general en los países afectados por los fenómenos naturales producidos en el planeta. En dichos métodos sobresale la planificación urbana, las técnicas de construcción para soportar sismos, también los aplicados a la reducción de riesgos y protección de suelos.

Los temas vinculados a las fuertes y esporádicas lluvias, al incremento notable de los caudales de ríos y quebradas, a los huaicos y a las inundaciones, no son nuevos en el Perú, pero también es cierto que sus efectos son cada vez más fuertes, a veces con característica de desastre, debido a diversos factores entre los que están la creciente erosión de las cabeceras de cuenca, el aumento de la deforestación, el mal uso de la tierra, etc.

Entre los años 1990-2017 se presentaron con mucha frecuencia los desbordes del rio, generando inundación que afectó mucho a la zona urbana del distrito de Yuracyacu.

El principal peligro que amenaza a la ciudad Yuracyacu son las fuertes precipitaciones que se producen en los meses de invierno (Febrero – Mayo) en la parte alta de la cuenca del rio Yuracyacu, esto hace que el caudal se incremente de una manera muy rápida, perjudicando a la población convirtiéndola en una zona inundable, generando un malestar en el poblador. Las inundaciones generan destrucciones materiales, la interrupción de los servicios públicos (luz, gas, agua potable) provocan riesgo de aparición de enfermedades inmediatas, siendo las más comunes, hepatitis A, cólera, gripe, neumonía y otras enfermedades causadas por el frío.

Los pobladores afectados por el desborde del río Yuracyacu, han sufrido los embates de la naturaleza debido a las fuertes lluvias, presentadas en los últimos años, las que han ocasionado inundaciones en la margen derecha, siendo la parte más afectada la zona urbana de la localidad de Yuracyacu y parte de la agricultura del mismo distrito.

Ante la situación descrita, en la presente tesis se propone como alternativa de solución, la instalación de un dique de tierra como obra de protección en la margen derecha del rio Yuracyacu en la localidad de Yuracyacu.

CAPÍTULO I
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El principal problema que amenaza a la población de es la inundación. Debido que ésta se encuentra asentado en las inmediaciones de las afluencias de río Mayo con el río Yuracyacu. Por tanto, en épocas de máximas avenidas al producirse el remanso hidráulico y el consiguiente aumento del tirante de agua estos generalmente sufren desbordamientos. (Ver cuadro).

AÑO	DESCRIPCION
1930	Creciente muy grande que afecta el valle de Yuracyacu
1952	Gran inundación que destruye una vivienda, inundando el 95% de las construcciones, el camino de acceso se inundó en un tramo de 3.5km aproximadamente.
1992	Inundación que duro 8 días y afecto todo el sector bajo (aprox. 270 viv.), parte del sector alto, se deterioraron trochas carrozables y caminos vecinales, se pierde 20 Has de arroz de 200. Se destruyeron los canales existentes.
1994	Inundación que deja 200 afectados, se arenaron los canales
2005	El huayco generado por lluvias intensas en la naciente del rio Yuracyacu inunda las riberas del área urbana de Yuracyacu, causando pánico generalizado. Las aguas bajaron con bastante barro. La velocidad de las aguas se disiparon aguas abajo, por la baja pendiente. Afectamdo a 26 viviendas, 80 hectáreas de arroz.
2012	En este evento la inundación deja 13 viviendas afectadas y 50 hectáreas de arroz inundadas, llegando a una altura de 0.80 metros en las viviendas afectadas.
2016	La inundación afectó a 30 viviendas, 280 damnificados, bloqueo de carreteras (tramo Yuracyacu – Ucrania – Nueva Cajamarca), los sembríos de arroz también fueron afectados.
2017	Inundación que afecto a viviendas, hectáreas agrícolas y trochas carrozables, afectando 40 viviendas, 30 hectáreas de arroz, bloquea la via Yuracyacu-Nueva Cajamarca.

1.2. Justificación de la investigación

Ante la carencia de información para el desarrollo de los estudios básicos de ingeniería para el dimensionamiento de la obra de protección ante la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del rio Yuracyacu, se determinará mediante la aplicación de teorías en Topografía, Mecánica de Suelos, Hidrología, Hidráulica Fluvial, indispensables para el planteamiento Hidráulico del proyecto. Lo cual serán ejecutados siguiendo las pautas de la ingeniería, donde se obtendrá resultados que facilitaran en el diseño Hidráulico y Estructural de la estructura de protección.

Por lo tanto, la presente investigación será entregada a la Municipalidad Distrital de Yuracyacu con la finalidad de que esta pueda ser utilizada para la elaboración del Proyecto de Inversión Pública a Nivel de Perfil y luego el Expediente Técnico que permita a la autoridad local gestionar el financiamiento para su pronta ejecución.

1.3. Ubicación del Proyecto

El proyecto de investigación está ubicado en la margen derecha del rio Yuracyacu de la localidad de Yuracyacu distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, departamento de San Martin y se ubica en la parte Nor Oriental del territorio peruano. Geográficamente Ubicado en el valle del Alto Mayo, en la cuenca del rio Huallaga cuadricula N° 12-i de acuerdo al Instituto Geográfico Nacional (IGN).

En coordenadas UTM WGS 84 el área donde se proyecta la construcción de la defensa Ribereña se ubica en las siguientes coordenadas:

Norte **:** Inicio de Proyecto: 9343010.888 Final de Proyecto : 9344935.935

Este **:** Inicio de Proyecto: 0252645.035 Final de Proyecto : 0254096.898

Cota : 808.990

Altitud: 814.12 m.s.n.m.

- **Ubicación en el país, en la región y en la provincia**

Figura 1: Ubicación en el Perú

Figura 2: Ubicación en San Martín

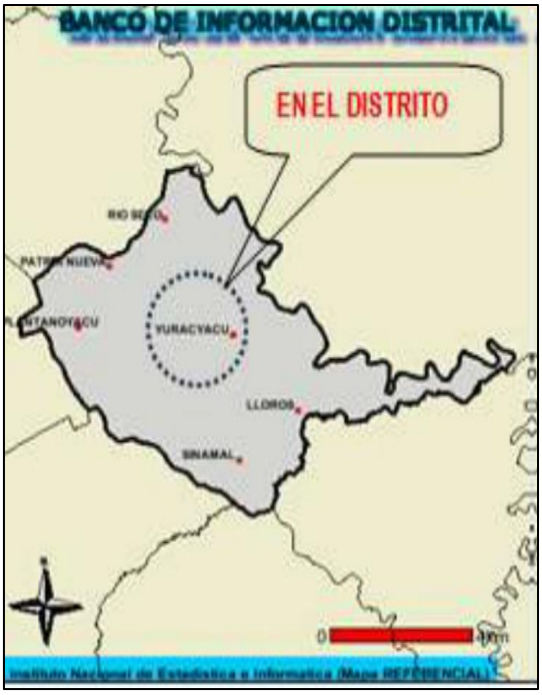


Figura 3: Ubicación en la provincia de Rioja

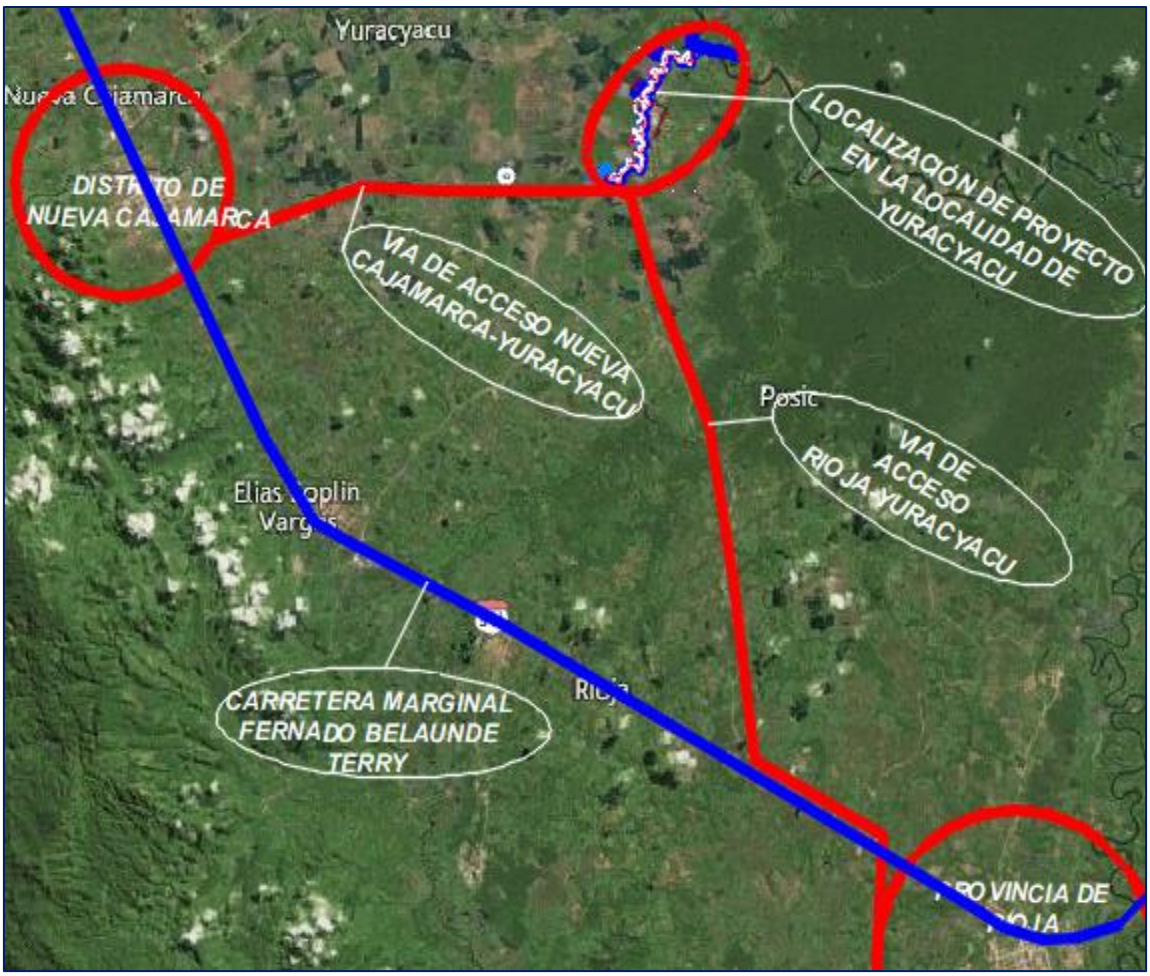


Figura 4: Localización del proyecto

1.4. Formulación del problema

¿Es posible que con la ejecución de obras de defensa ribereña se pueda controlar las inundaciones en la margen derecha del río Yuracyacu que afecta a la localidad del mismo nombre en el distrito de Yuracyacu – Provincia de Rioja – Departamento de San Martin?

1.5. Delimitación del problema

La presente tesis se desarrollará en el área del diseño de obras de protección ante la vulnerabilidad que genera las inundaciones, el cual tiene como objetivo evitar que agua ingrese hacia la zona urbana de la localidad de Yuracyacu.

Es por eso que identificamos y calculamos los parámetros más importantes:

Identificación y reconocimiento de las zonas más críticas donde ingresa el agua a la zona urbana.

Cálculo de caudal máximo para el período de retorno seleccionado en esta tesis.

Selección del caudal de diseño.

Cálculo del tirante hidráulico, en una máxima avenida.

Determinación de los niveles de máximas avenidas.

Diseño de los elementos estructurales de la obra frente a las inundaciones en la zona urbana.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Realizar el diseño e instalación de un sistema de defensa ribereña para evitar las inundaciones de la población en la margen derecha del río Yuracyacu, localidad de Yuracyacu.

1.6.2. Objetivos específicos

- Realizar los estudios básicos de topografía, mecánica de suelos, hidrología e hidráulica de ríos.

- Elaborar el planteamiento hidráulico de la propuesta teórica más adecuada para reducir el problema de inundación de la zona urbana de la localidad de Yuracyacu.

- Desarrollar el diseño hidráulico y estructural de la obra propuesta.
- Determinar los elementos estructuras de la obra de protección.
- Calcular todos los parámetros necesarios para el diseño de Dique como obra de protección.
- Realizar este proyecto tesis a nivel de ejecución.

1.7. Propuesta

La propuesta para la presente tesis es elaborar el diseño hidráulico y estructural de la obra de protección (dique de tierra), frente a la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del rio Yuracyacu localidad de Yuracyacu.

1.8. Hipótesis

La ejecución de obras de defensa ribereña en la margen derecha del rio Yuracyacu permiten controlar las inundaciones en la localidad del mismo nombre, en el Distrito de Yuracyacu – Rioja – San Martin lleva una vida mortificada debido a estos problemas que suceden todos los años en épocas de invierno.

CAPÍTULO II
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes nacionales

Dennis Alberto Otiniano Arribasplata y Julio Vicente Cielo Saldaña (2016) en su tesis denominada "Diseño Hidraúlico y Estructural de la Defensa Ribereña del Río Nepeña, Sector Puente Huambacho – Distrito de Nepeña –Santa-Ancash" consideran lo siguiente:
El presente trabajo de investigación está orientado a proporcionar protección a las áreas de cultivo y a la población del centro poblado la Huaca emplazadas a la margen derecha del rio Nepeña así también dar protección a la carretera Panamericana Norte, frente a las cada vez más frecuentes avenidas del río. La infraestructura vial, tiene su recorrido perpendicular al cauce del Río Nepeña, la cual se expuesto ante los efectos erosivos, por el incremento del caudal del Río Nepeña especialmente ante el Fenómeno del Niño, tal como se vió en el último, evento extraordinario del año 1998, debido a ello la infraestructura vial colapsó ocasionando una interrupción vial y de personas por lo que ocasionaría cuantiosas pérdidas en la actividad económica, la propiedad y grandes riesgos de pérdidas de vidas humanas.

Antecedentes locales

Jessica Paola Mestanza Bartra (2009) en su tesis denominada **"***Diseño Hidráulico y Estructural de la Defensa Riberña Rio Huallaga-Pajarillo*" considera lo siguiente:
Para realizar el Diseño Hidráulico y Estructural de la Defensa Ribereña Rio Huallaga-Pajarillo, se recurrió a buscar información sobre antecedentes y motivos por el cual se producen las inundaciones en apocas de avistas de agua.

Para ayudar a solucionar en forma definitiva el problema actual, se propuso la construcción de 15 espigones deflectores y la construcción del dique longitudinal de 1500 m de longitud que estarán ubicados en el tramo que se protegerá de las inundaciones y de erosión de la orilla. Así como también se ha tenido en consideración la existencia de obras similares ya construidas en varios ríos de la Región San Martin.

Para el diseño de espigones deflectores y del dique longitudinal se tuvo que calcular el caudal de diseño, el ancho estable del rio, la profundidad de socavación, la pendiente y el tirante de máxima avenida del Huallaga. El diseño considerado de los espigones, ha sido sometido al análisis estructural para determinar la estabilidad al vuelco, al deslizamiento y al punzonamiento habiéndose obtenido resultados satisfactorios.

Patricia Milagros Tenazoa Chichipe en su tesis denominada "*Propuesta de Diseño de Defensa Ribereña en la Localidad de Machungo, Margen derecha del Rio Huallaga, Distrito de Alberto Leveáu, Provincia de San Martin, Región de San Martin*." Considera lo siguiente:

El presente informe de tesis titulado Propuestas de diseño de defensa ribereña en la localidad de Machungo, margen derecha del Río Huallaga, Distrito de Alberto Leveaú, Provincia San Martín, Región San Martín**,** se ha desarrollado con la finalidad de proponer alternativas de diseño de defensa ribereña para dar solución al problema de inundación que afecta al área urbana ribereña del centro poblado de Machungo.

Se determinaron los parámetros hidrológicos e hidráulicos necesarios para desarrollar ambos diseños de defensa ribereña (dique de tierra y dique enrocado), como, por ejemplo, ancho estable del cauce, tirante de máxima avenida, profundidad de socavación, etc.

Se elige la Propuesta 01 o Dique de Tierra porque su longitud (1240 m) es menor a la longitud de la propuesta 02 o Dique Enrocado (1274.85), lo cual resultaría más conveniente, ya que ambas longitudes cumplirían con la función de proteger a la Localidad de Machungo de las inundaciones de las aguas del río Huallaga.

Se elige la Propuesta 01 o Dique de Tierra porque su elevación o altura (4.20 m) es menor a la longitud de la propuesta 02 o Dique Enrocado (4.45 m), lo cual resultaría más conveniente.

Se elige la Propuesta 01 o Dique de Tierra porque el número de materiales necesarios para su construcción es menor (material arcilloso de préstamo de baja permeabilidad, material granular para la conformación del subdren al pie del dique) en comparación de la propuesta 02 o Dique Enrocado (material arcilloso de préstamo de baja permeabilidad, material granular para la conformación del subdren al pie del dique, geotextil no tejido de 200 gr/m2.

Finalmente diseñamos la primera propuesta de defensa ribereña que fue un dique de tierra fuera del cauce y paralelo a la ribera del río Huallaga de aproximadamente 1+240 km.

Como segunda propuesta de defensa ribereña planteamos un dique enrocado de una longitud de 1+274.85 km. Aproximadamente, de la misma manera, paralelo a la ribera del río Huallaga.

Andrés García Paredes en su tesis denominada "*Diseño Hidráulico y Estructural de Obras de Protección frente Erosión e Inundaciones del Río Balsayacu en el centro Poblado de Balsayacu, Distrito de Campanilla, Provincia de San Martin*" considera lo siguiente:

Se ha proyectado, un dique de tierra fuera del cauce, paralelo y adyacente a la ribera derecha del río Balsayacu. El dique de tierra comprende dos tramos, el Tramo I, tiene una longitud de 580.00 m y el Tramo II una longitud de 266.00 m. La longitud total del dique de tierra es de 846.00 metros. El dique protegerá de las inundaciones al Centro Poblado de Balsayacu.

El periodo de vida útil de las obras proyectadas, es de 20 años, con un riesgo de falla del 25%.

El caudal de diseño de 175.70 m3/seg, ha sido calculado para un período de retorno de 70 años

El Dique de tierra es de sección trapezoidal, con ancho de corona de 4.00m, con talud interno y externo Z=1.5, con elevación variable y pendiente de corona variable en función del terreno natural y el nivel de inundación del río Balsayacu.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Defensa ribereña

Según **ElioskaGalanton M. (2007),** "Son estructuras construidas para proteger las áreas aledañas a los ríos, contra los procesos de erosión de sus márgenes producto de la excesiva velocidad del agua, que tiende arrastrar el material ribereño y la socavación que ejerce el río, debido al régimen de precipitaciones abundantes sobre todo en época de verano, ya que son causantes de la desestabilización del talud inferior y de la plataforma de la carretera. Estas obras se colocan en puntos localizados, especialmente para proteger algunas poblaciones y, singularmente, las vías de comunicación, estas pueden ser efectivas para el área particular que se va a defender, pero cambian el régimen natural del flujo y tienen efectos sobre áreas aledañas, los cuales deben ser analizados antes de construir las obras.

Para llevar a cabo un proyecto de defensas fluviales es fundamental contar con una serie de información preliminar o antecedentes que permitan diagnosticar el problema que se quiere solucionar; como: hidrológicos, topográficos y geomorfológicos. Así también se requerirá antecedentes sobre inundaciones anteriores, daños provocados, zonas afectadas, etc.

2.2.2. Inundación

Es un evento que debido a las fuertes precipitaciones provoca un incremento del nivel de agua mucho mayor al nivel de lo habitual, generando desbordamiento, invasión o penetración de agua en zonas donde habitualmente están libres de estas, generando daños a la población, agricultura e infraestructura.

De acuerdo con el Glosario Internacional de Hidrología (OMM/UNESCO, 1974), la definición oficial de inundación es: “El aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”.

- **Tipos de inundación**

- **Inundaciones pluviales**

Son consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días, hasta que se evapore y el terreno recupere su capacidad de infiltración.

- **Inundaciones fluviales**

Se generan cuando el agua que se desborda de los ríos queda sobre la superficie de terreno cercano a ellos.
La precipitación pluvial se mide en milímetros y en cierto lapso (intensidad). El tiempo de duración de la lluvia es muy importante. No es lo mismo que lluevan 50mm en 24 horas, a que esos 50mm se registren en 2 horas.

- **Inundaciones costeras**

Se presentan debido a los vientos intensos de un ciclón, en forma de marea de tormenta y permite que éste penetre tierra adentro en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno.

- **Inundaciones súbitas**

Las inundaciones súbitas son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños. Normalmente se ocasionan a terrenos con gran pendiente.

- **Inundaciones lentas**

Al ocurrir una precipitación capaz de saturar un terreno relativamente plano, esto es, cuando el suelo no puede seguir absorbiendo as agua de la lluvia, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno.

- **Obras de protección contra inundaciones**

Dentro de los proyectos de ingeniería el factor de seguridad es un concepto fundamental. Así pues, al hablar de obras de protección contra inundaciones de inmediato surge el concepto del "bordo libre", que no es más que la sobreelevación del nivel de las obras de protección por encima del nivel máximo del agua alcanzado por la avenida de diseño. La forma viable para determinar dicha sobreelevación es definir arreglos en los que no haya derrames para los niveles resultantes de una avenida con cierto periodo de retorno. Esta metodología requiere una serie de registros históricos que relacionan gastos máximos con periodos de retorno; sin embargo, el problema no termina ahí, ya que no es sencillo seleccionar el periodo de retorno adecuado. Aceptar que el bordo libre aumenta el grado de seguridad de las obras, no justifica el incremento del factor de seguridad de las mismas a través de un dimensionamiento arbitrario. Cuando no se cuenta con los medios adecuados para estimar los beneficios de una obra de protección en función de su costo lo anterior podría resultar erróneo (y peligroso) ya que difícilmente se puede estimar cuál es la solución óptima. A continuación, se presentan las ideas básicas para planear y diseñar una serie de obras de defensa contra inundaciones, con diferentes características en cuanto a la concepción de su diseño y funcionamiento, su finalidad es la misma: proteger los centros de población o las zonas de interés.

Las obras que comúnmente se construyen para reducir inundaciones causadas por los desbordamientos de los ríos, son:

a) **Bordos perimetrales**. a poblaciones o construcciones de importancia (zonas cuyo interés por protegerlas es grande.
b) **Bordos longitudinales**. a lo largo de una o ambas márgenes de un río.
c) **Muros longitudinales.** a lo largo de una o ambas márgenes del río.
d) **Desvíos permanentes**. por medio de cauces de alivio o estructuras de encauzamiento, en las que el agua es dirigida hacia otros cauces, lagunas, costeras o directamente al mar, y no retorna al río.
e) **Desvíos temporales**. a lagunas o zonas bajas de la planicie de inundación. El agua retorna al río cuando disminuyen los gastos de la avenida.
f) **Corte de meandros o rectificaciones.** para incrementar la pendiente del río y por tanto su capacidad de conducción hidráulica.
g) **Presas de almacenamiento**. que puede ser una o varias escalonadas.
h) **Presas rompe-picos**. generalmente se construyen varias escalonadas.
i) **Presas para retener azolves**. las cuales, no afectan los hidrogramas, pero evitan el azolvamiento de otros cauces y por tanto la pérdida de su capacidad hi- dráulica.
j) **Canalización o entubamiento de un cauce**. se utilizan en los tramos en que los arroyos o ríos cruzan poblaciones o ciudades. Se deben construir con una capacidad adicional para absorber picos, o diseñarse en conjunto con estructuras de desvío permanente.

2.2.3. Diseño de diques de tierra

2.2.3.1. Diques o Bordos longitudinales

Como su nombre lo indica, son estructuras que se construyen a lo largo de las márgenes de la corriente y al confinar el agua entre ellos (los bordos), protegen simultáneamente varias poblaciones, así como grandes extensiones de terrenos agrícolas. Las inundaciones se evitan al confinar los escurrimientos dentro de secciones más estrechas que las naturales, por lo que se produce una sobreelevación del nivel del agua (con respecto a las condiciones naturales); además, al no permitir desbordamientos la avenida sólo se traslada hacia aguas abajo.

a) Consideraciones de diseño

La altura del bordo se define con base en los niveles máximos registrados, a esa cota máxima se agrega un bordo libre de 1.00 ó 2.00 m, esto dependerá fundamentalmente de

la confianza que se tenga en los datos, en caso de existir alguna estación de aforo, se trabajará con la información que de ella se tenga

- **Áreas de préstamo**

Por principio de cuentas, el material de cualquier banco por considerar, debe reunir las características adecuadas para su utilización en la construcción de los bordos. Una vez tomado en cuenta este factor, el siguiente punto por considerar para su elección, es la facilidad de acceso y la distancia al sitio de la obra.

- **Gasto de diseño**

Esta variable es función del periodo de retorno, que depende de la importancia de la obra y los posibles daños en caso de desbordamiento.

Tabla 1

Periodo de retorno para avenidas de diseño en diferentes obras de protección.

Tipo de Obra	Tr (en años)
Bordos perimetrales, para proteger:	
a) Instalaciones industriales	50 - 100
b) Poblados	500 - 1,000
Bordos y muros longitudinales, para proteger:	
a) Parcelas agrícolas aisladas sin población	10
b) Distritos de riego, sin riesgo de pérdida de vidas humanas	25 - 50
c) Zonas agrícolas poco pobladas	25 - 100
d) Zonas agrícolas con poblados	50 - 200
e) Zonas industriales y urbanas	100 - 500
f) Zonas densamente pobladas	500 - 1,000
g) Ciudades	1,000

Fuente: Elaboración propia

- **Longitud de los Diques de Tierra**

Cuando la longitud del bordo es considerable, conforme la corriente escurre a lo largo de su recorrido se incorporan afluentes, por lo que posiblemente sea necesario aumentar la altura de los bordos conforme se avance hacia aguas abajo, no obstante en la mayoría de los casos la altura se mantiene casi constante sobre la planicie. Por otra parte, cualquier error del proyecto (diseño, construcción, operación, etc.) causará afectaciones, sobre todo en el tramo ubicado inmediatamente aguas abajo del término de la protección, por lo que las zonas que antes no tenían problemas de inundaciones podrían verse afectadas. En el caso cuando sólo se protege una margen, los daños no son tan notables ya que la zona del lado sin protección seguirá inundándose, pero con niveles mayores, por lo que será necesario revisar la posible inundación de nuevas zonas.

- **Ancho de la corona de dique**

El ancho de la corona deberá permitir el tránsito de un vehículo, lo que implica proporcionar un mínimo de 3.00 m.

- **Rugosidad del cauce**

Este parámetro influye en gran medida en el cálculo de la altura de los bordos, ya que de acuerdo con la teoría de flujo uniforme (por ejemplo, el método de Manning), la velocidad media es inversamente proporcional a este parámetro. Cuando el río lleva agua todo el año no es posible hacer nada para disminuir la rugosidad, mientras que si no tiene agua durante algunos meses puede removerse la vegetación que crece dentro del cauce, ya que su presencia aumenta la rugosidad, asimismo, debe evitarse la colocación o construcción de obstáculos que dificulten el paso del agua o, en el peor de los casos, si ya existen, tomarlos en cuenta durante la etapa de diseño.

- **Pendiente de la corona de dique**

La pendiente de la corona de dique está en función a la topografía del cauce, siendo importante el nivel de encausamiento, tanto aguas arriba como aguas abajo.

- **Altura de bordos**

Se ha mencionado que la selección de su altura está en función de un análisis económico

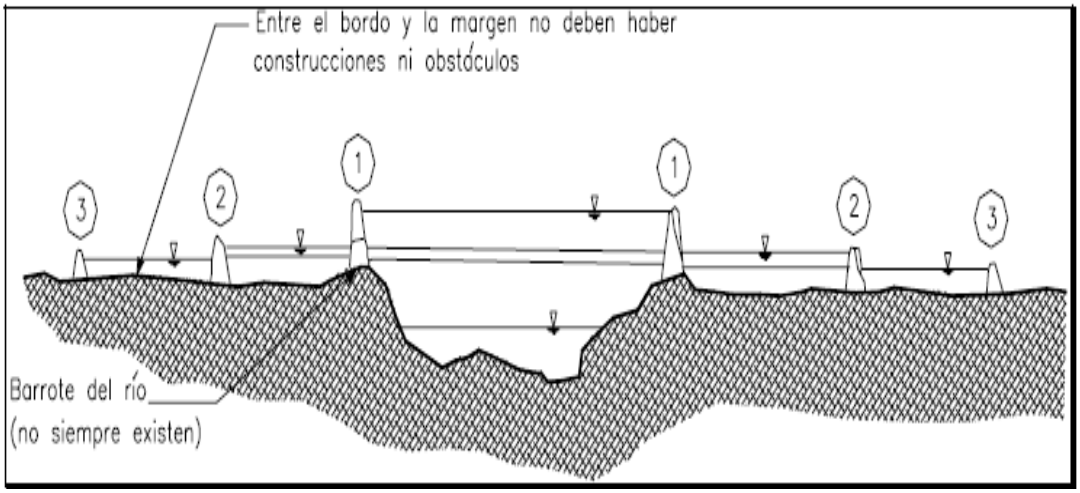


Figura 5: Altura de bordos para controlar las inundaciones. (Fuente: (Maza, 1997)).

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

Si el dique de tierra se compacta, la pendiente del terraplén puede ser menos tendida que uno semicompactado. Un talud se considera poco tendido cuando los valores de éste son 1 vertical y menor o igual que 2 horizontal (2:1).

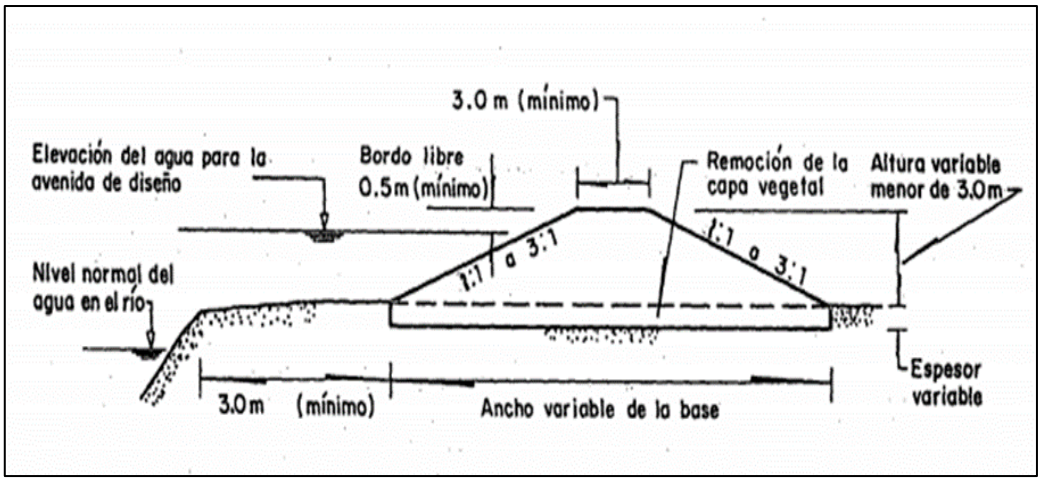


Figura 6: Consideraciones recomendables de diseño de un dique de tierra (Maza Alvarez, Jose A. obras de protección para control de inundaciones)

2.2.3.2. Criterios de estabilidad para Obras de Protección frente a Erosión e Inundaciones

Los criterios de estabilidad corresponden al diseño estructural de las obras de protección (diques de tierra), para la condición más crítica y para el caudal de diseño seleccionado y que transitará por el cauce del río.

- ✓ **Estabilidad al Vuelco**
- ✓ Es la capacidad que tiene la estructura para no sufrir un vuelco accionado por las fuerzas que interactúan sobre él.

$$E_v = \frac{M_r}{M_v} > 1.30 \qquad (1)$$

Dónde:

E_v : Estabilidad al Vuelco.

M_r : Momento resistente.

M_v : Momento Volcador.

- ✓ **Estabilidad al Deslizamiento**

Es la capacidad de la estructura de oponerse a las fuerzas que generan el deslizamiento estructural.

$$E_d = \frac{(\sum F_v)(tan\varphi)}{\sum F_H} > 1.20 \qquad (2)$$

Dónde:

F_v : Fuerzas Verticales que actúan sobre la estructura.

F_H: Fuerzas Horizontales que actúan sobre el estructura.

φ : Ángulo de fricción interna entre la base de la estructura y el material del lecho del río.

- ✓ **Estabilidad al Punzonamiento (Capacidad de Soporte al Suelo)**

Para que no se produzca el efecto de punzonamiento o hundimiento de la estructura en el suelo de sustentación o cimentación, se calcula la capacidad de carga transmitida (σ_t) por la estructura al suelo de fundación y ésta debe ser menor que la capacidad admisible del suelo (σ_{adm}).

Debe cumplir la siguiente relación:

$$\sigma_t < \sigma_{adm} \qquad (3)$$

Para calcular la carga transmitida (σ_t), se utiliza la siguiente expresión considerando fuerzas unitarias:

$$\sigma_t = \frac{\sum F_v}{b}\left(1 \pm 6\frac{e}{b}\right) \qquad (4)$$

$$e = \frac{M_r - M_v}{\sum F_v} \qquad (5)$$

Dónde:

e = excentricidad

b = base de la estructura.

F_v = Fuerzas Verticales que actúan sobre la estructura.

M_r = Momento resistente.

M_v = Momento Volcador.

2.2.4. Cuenca Hidrográfica

Según Villón (2002), la Cuenca Hidrográfica es el área de terreno donde todas las aguas que, caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua, cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido. Así como también se sabe que su delimitación se realiza siguiendo las líneas divortiumacuarium (divisoras de agua), la cual es una línea imaginaria, divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, que en cada sistema de corriente, fluye hacía en punto de salida de la cuenca.

Se define como cuenca vertiente, cuenca de aporte, cuenca de drenaje o simplemente cuenca de un rio (permanente o temporal), considerado de un punto dado de su curso, al área limitada por el contorno en el interior del cual el agua precipitada escurre por su superficie, se concentra y pasa por el punto determinado del cauce**.**

2.2.4.1.Funciones de una cuenca

Función hidrológica

Una cuenca vertiente funciona como un sistema colector encargado de recoger las aguas precipitadas sobre aquélla y conducirlas hacia la sección de control. Este transporte va

acompañado de pérdidas de agua y retardos en el escurrimiento, que dependen fundamentalmente de las características físicas de la cuenca

Función ecológica

Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.

Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua

Función ambiental

- Constituyen sumideros de CO2.
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos

Función socioeconómica

- Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población.
- Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

2.2.4.2. Parámetros morfométricos de la cuenca

Los parámetros Morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control.

El análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo.

Es el estudio cuantitativo de las características físicas (fisiográficas) de una cuenca hidrográfica, y se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. Dentro de este contexto es importante

señalar que las mediciones deben ser realizadas sobre un mapa con suficiente información hidrográfica y topográfica.

2.2.4.2.1. Parámetros Geométricos

La forma de la cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas, en particular, las cuencas de igual área, pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes. Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales con esas de otras cuencas

a) Área

Según **Villón**, se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca.

Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; éste parámetro se expresa normalmente en km2. Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor.

Debido a que la forma de la cuenca es muy irregular, el cálculo del área de la cuenca no se puede realizar por fórmulas geométricas, en la actualidad para el cálculo de este parámetro se utilizan diferentes softwares. Se mide en kilómetros cuadrados, y en hectáreas cuando la cuenca es pequeña.

Una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en cuenca grande y cuenca pequeña.

- **Cuenca grande**

Es aquella cuenca en la que predominan las características fisiográficas de la misma (pendiente, elevación, área cauce). Una cuenca para fines prácticos se considera grande cuando el área es mayor de 250 km2.

- **Cuenca pequeña**

Según **Villón**, Es aquella cuenca que responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración. Y en la cual las características físicas (tipo de suelo, vegetación) son más

importantes que las del cauce. Se considera cuenca pequeña aquella cuya área varía desde unas pocas hectáreas hasta un límite, que, para propósitos prácticos, se considera 250 km2.

Tabla 2

Clasificación según su área

Tamaño	Área de la cuenca en km2
Grande	**> 250km2**
Pequeña	**Hasta 250km2**

Fuente: Elaboración propia basado en las teorías de Villón (2002).

b) Perímetro

Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma irregular y se obtiene una vez delimitada la cuenca. Se mide en Km y para su cálculo también se utiliza diferente software. Es importante porque en conexión con el áreanos puede decir algo sobre la forma de la cuenca.

c) Longitud de la cuenca

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

d) Longitud del cauce

La longitud del cauce de un río es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento, (su recorrido de inicio a fin).

e) Longitud al centro de gravedad

La longitud al centro de gravedad de la cuenca (La), que corresponde a la distancia medida en línea recta desde el punto de concentración, al baricentro de la figura geométrica que corresponde a la cuenca, o hasta la proyección de este punto sobre el cauce principal**.**

f) Ancho promedio

Corresponde al área de la cuenca, relacionada con su longitud axial, y se expresa como:

Ap=A/ La

Dónde:

Ap =Ancho promedio (Km)

A = Área de la cuenca (Km2)

La = Longitud Axial (Km).

2.2.4.2.2. Parámetros de forma

a) Factor de forma

Según **Horton**, expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud mayor del cauce o rio (villón 2012).

$$Kf = \frac{A}{L^2} \qquad (6)$$

Ancho promedio de la cuenca

$$B = \frac{A}{L^2} \qquad (7)$$

Kf = factor de forma

B = Acho promedio de la cuenca (km).

A = Area de la cuenca (km2)

L = longitud del cauce principal principal.

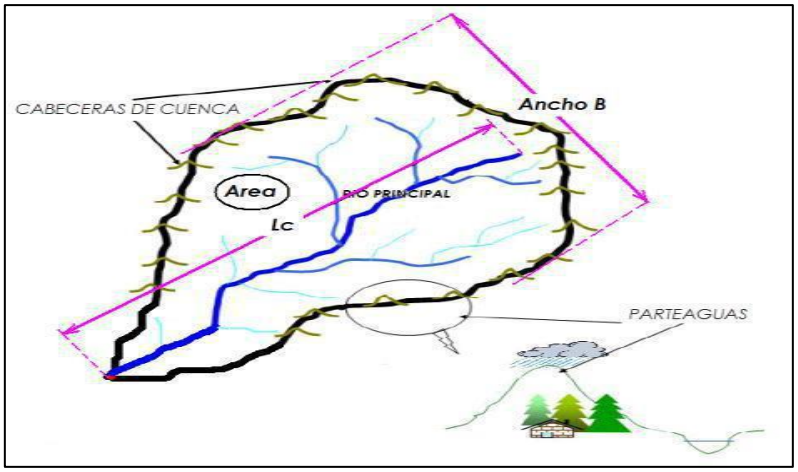


Figura 7: Partes de una cuenca

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Un valor de Kf superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

Tabla 3

Rangos aproximados del factor de forma

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Pérez, 1979

b) Índice de compacidad o Coeficiente de Gravelius (Ic)

Propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas o divisoria que la encierra y el perímetro de la circunferencia. Este coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea, es decir mayor concentración de agua.

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad (8)$$

Tabla 4

Forma de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad

Kc	FORMA DE LA CUENCA	TENDENCIA DE CRECIDAS
1-1.25	DE CASI REDONDA – OVAL REDONDA	ALTA
1.25-1.5	DE OVAL REDONDA-OVAL OBLONGA	MEDIA
1.5-1.75	DE OVAL OBLONGA-RECTANGULAR	BAJA

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.2.3. Parámetros de relieve

El relieve de una cuenca queda perfectamente representado por las curvas de nivel, pero en ocasiones, su trazado es sumamente complejo, conteniendo demasiados datos para cuantificar la caracterización altimétrica de la cuenca.

Por ende, resulta de interés introducir diversos procedimientos que permitan poner de manifiesto, en forma más sintetizada y adecuada a los fines que surgen de las necesidades prácticas de cálculo, la distribución de la cuenca vertiente (en km² y en % de la superficie total) por intervalos de altura.

A los fines de determinar la equidistancia a considerar entre curvas de nivel (N), para medir las áreas parciales, se determina el siguiente valor convencional:

$$N = \frac{Hmax - Hmin}{6} \qquad \textbf{(9)}$$

Si N está comprendido entre 100 y 200 se consideran las áreas parciales encerradas entre curvas de nivel con equidistancia igual a 100 metros, si N está comprendido entre 200 y 300, se consideran las curvas de nivel con una equidistancia de 200 metros y así sucesivamente.

a) Pendiente del cauce(S)

Según **Villón,** el conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento del recurso hídrico, como por ejemplo, para la determinación de las características optimas de su aprovechamiento hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundaciones.

En general, la pendiente de un tramo de cauce de un rio, se puede considerar como el cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del tramo, entre la longitud horizontal de dicho tramo, se puede calcular por la siguiente formula**:**

$$S = \frac{H}{L} \qquad (10)$$

$S = Pendiente$

$H = Diferencis\ de\ cotas\ entre\ los\ entremos\ del\ cauce, en\ km$

$L = Longitud\ del\ cuace, en\ km$

La pendiente media ponderada (Smp): pendiente de la hipotenusa de un triángulo cuyo vértice se encuentra en el punto de salida de la cuenca y cuya área es igual a la comprendida por el perfil longitudinal del río hasta la cota mínima del cauce principal, como se indica en la Figura 7.

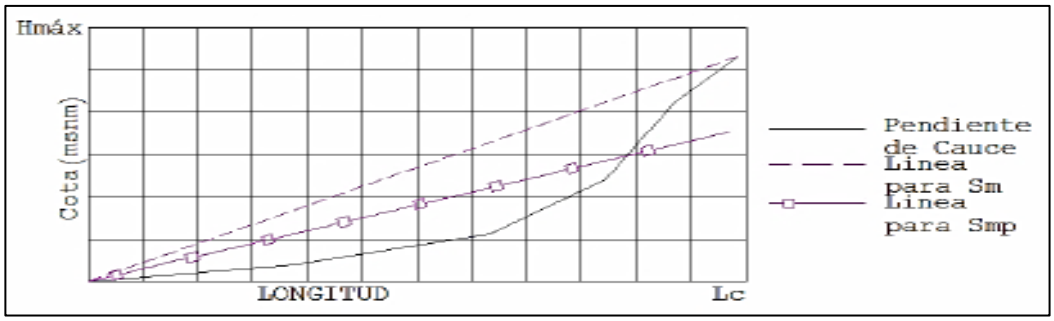


Figura 8: Pendiente media y pendiente media ponderada de un cauce

b) Pendiente de la cuenca(S)

La pendiente media del terreno es un parámetro esencial, pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca, está relacionada con la infiltración, con el escurrimiento superficial, con la contribución de agua subterránea a la corriente y con la duración del escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa en relación a la magnitud de las crecidas.

La pendiente de la cuenca es la relación del desnivel que existe entre los extremos de la cuenca, siendo la cota mayor y la cota menor, y la proyección horizontal de su longitud, siendo el lado más largo de la cuenca.

Clasificación de Pendientes en una cuenca

El valor de la pendiente permite clasificar el relieve o topografía del terreno según la tabla 04 (propuesto por R. Heras):

Clasificación de pendiente de cuencas

Pendiente (%)	Tipo de terreno
2	Plano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Elaboración propia en base a (R. Heras)

La fórmula para calcular la pendiente de una cuenca es la siguiente:

$$S = \frac{H}{L} \qquad (11)$$

donde:

S = Pendiente de la cuenca

H = Desnicel total(cota en la parte mas alta − cota en la estacion de aforo) en km

L = longitud total de todas las curvas de nivel dentro de la cuenca, en km

A = Area de la cuenca, en km2

c) Curva Hipsométrica

Según Langbein, la curva hipsométrica proporciona una información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. Dicha curva presenta, en ordenadas, las distintas cotas de altura de la cuenta, y en abscisas la superficie de la cuenca que se halla por encima de dichas cotas, bien en km2 o en tanto por cien de la superficie total de la cuenca.

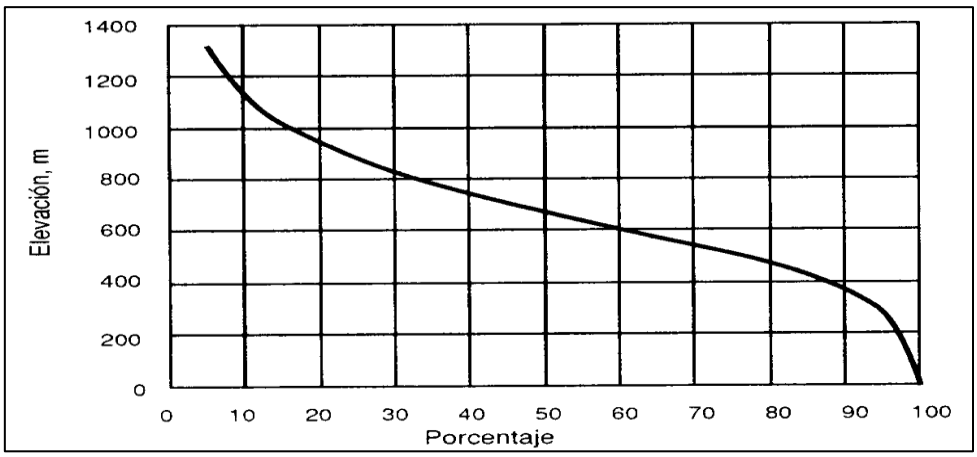


Figura 9: Curva hipsométrica. (LLamas, J., Hidrología general). (Fuente: Curva hipsométrica. (LLamas, J., Hidrología general).

De la curva hipsométrica se puede extraer una importante relación, como es la relación hipsométrica

$$Rh = A_s/(Ab_i) \quad (12)$$

Dónde:

As: área sobre la curva hipsométrica.

Ab: área bajo la curva hipsométrica.

Según Strahler, la importancia de esta relación hipsométrica reside en que es un indicador del estado de equilibrio dinámico de la cuenca. Así, cuando RH=1, se trata de una cuenca en equilibrio morfológico.

La Figura 12 muestra tres curvas hipsométricas correspondientes a tres cuencas hipotéticas, que tienen potenciales evolutivos distintos. La curva superior (A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (C) es típica de una cuenca sedimentaria. Quedando así, representan distintas fases de la vida de los ríos:

Curva A: Cuenca en fase juventud

Curva B: Cuenca en fase madurez

Curva C: Cuenca en fase de vejez

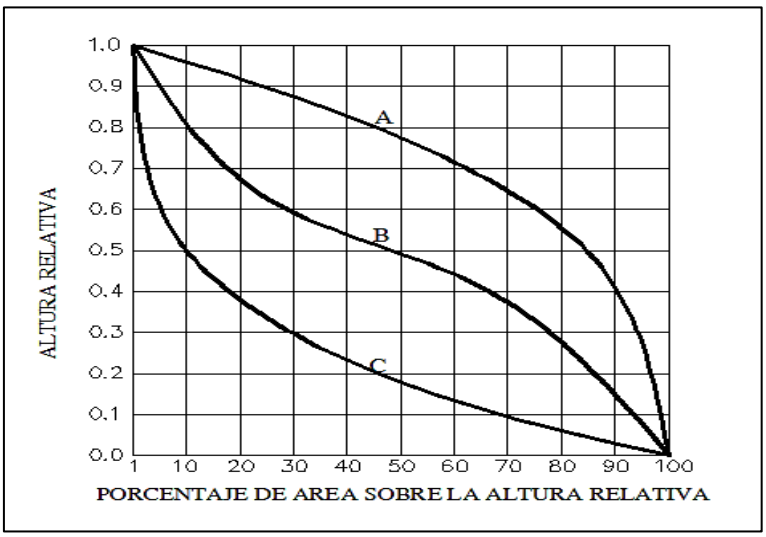


***Figura 10**:* Características de las curvas hipsométricas en el ciclo erosivo

d) Altura media

A partir de la curva hipsométrica, se determinará la elevación media equivalente al 50% del área de la cuenca, donde en el eje "X" del gráfico se aplicará el porcentaje.

2.2.4.2.4. Parámetros de la red Hidrográfica de la Cuenca

El esqueleto hidrogeomorfológico determinante de una cuenca vertiente lo constituye la configuración que en ella presenta el sistema de cauces, en todos sus niveles (quebradas, arroyos, ríos), los que en su conjunto constituyen la denominada red de drenaje de la cuenca, cuyo análisis adquiere especial relevancia cuando se plantean relaciones de semejanza entre cuencas.

Para efectuar una descripción cuantitativa de las redes de drenaje, deben introducirse los conceptos del orden de los cauces y los de las relaciones existentes entre los cauces de distinto orden.

a) Numero de Orden de los Cauces

A los fines de definir su importancia práctica, en diversos países se clasifica a las vías navegables como cauces de 1er orden, a los ríos importantes como de 2do orden y a los de menor significación les corresponde el 3er orden.

Este concepto de clasificación no presenta ninguna utilidad en hidrología, dado que no brinda la oportunidad de comprender las leyes de formación de los cauces, ni de establecer relaciones entre los diversos órdenes y las demás características de la cuenca.

Para alcanzar estos objetivos, **Horton** (1945) introdujo el estudio cuantitativo de las redes de drenaje. Este científico desarrolló un sistema de ordenamiento de los cauces, en función de su ubicación relativa dentro de la cuenca y derivó algunas leyes relacionando el número y la longitud de los cauces de distinto orden.

El criterio de ordenamiento de los cauces propuesto por Horton y levemente modificado por **Strahler** (1964), es el siguiente:

- Los cauces reconocibles más pequeños se designan como de orden 1; normalmente los mismos fluyen sólo en épocas de lluvias.
- Cuando dos cauces de orden.1 se unen, resulta un cauce de orden 2 hacia aguas abajo; en general, de la unión de dos cauces de orden u, resulta uno de orden u+1.
- Cuando un cauce de orden bajo afluye a uno de orden mayor, el cauce resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los dos órdenes.
- El orden de la cuenca principal es el mismo del cauce principal a su salida, U, que corresponde al mayor orden de la cuenca.

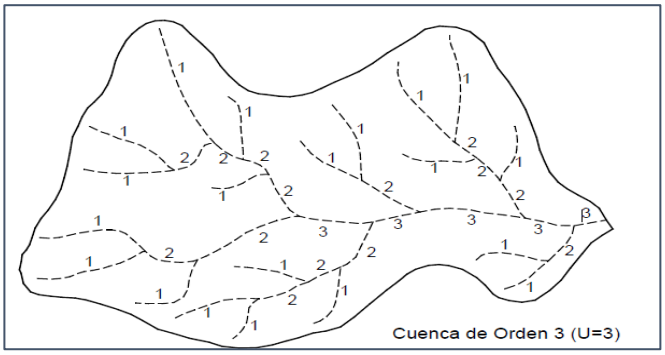


Figura 11: Número de Orden de Cauces de Horton. (Fuente: (Llamas, J., Hidrología general)).

b) Longitud de los tributarios

Según **Villón**(2) la longitud de los tributarios se incrementa como una función de su orden. Este arreglo es también aproximadamente, una ley de progresión geométrica. La relación no es variada para corrientes individuales.

La medición se puede realizar ya sea por software o por otros métodos.

c) Densidad de drenaje (Dd)

La densidad de drenaje, es un parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en ña cuenca. También da una idea sobre el grado de cobertura que existe en la cuenca.

Esta característica proporciona una información más real que la anterior, ya que se expresa como la longitud de las corrientes, por unidad de área, es decir:

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (13)$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje

L = Longitud total de las corrientes perennes o intermitentes en km.

A = Area total de la cuenca, en km2

Tabla 5

Características de la cuenca en función a la densidad de drenaje

CARACTERISTICAS DE LA CUENCA		DENSIDAD DE DRENAJE
Regularmente drenada	0.0	<Dd>1.0
Normalmente drenada	1.0	<Dd>1.5L
Bien drenada		Dd>1.5

Fuente: Tesis para optar título de ingeniero civil UNHV- Ucayali

d) Tiempo de concentración

El tiempo de recorrido del flujo en el sistema de cauces de una cuenca o tiempo de concentración relacionado con la intensidad media de precipitación se puede deducir por la fórmula.

$$T_c = 0.0195(L^3/H)^{0.385} \qquad (14)$$

tc = Tiempo de concentracion en horas

L = Longitud del cauce principal en m

H = Diferencia de cotas del cauce principal

2.2.5. Periodo de Retorno

2.2.5.1. Selección del periodo de retorno

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada "T" años, se le denomina Período de Retorno "T". Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años.

Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño de una obra, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros.

El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra.
El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por:

$$R = 1- (1-1/T)n\ (1) \qquad (15)$$

Si la obra tiene una vida útil de n años, la fórmula anterior permite calcular el período de retorno T, fijando el riesgo de falla admisible R, el cual es la probabilidad de ocurrencia del pico de la creciente estudiada, durante la vida útil de la obra.

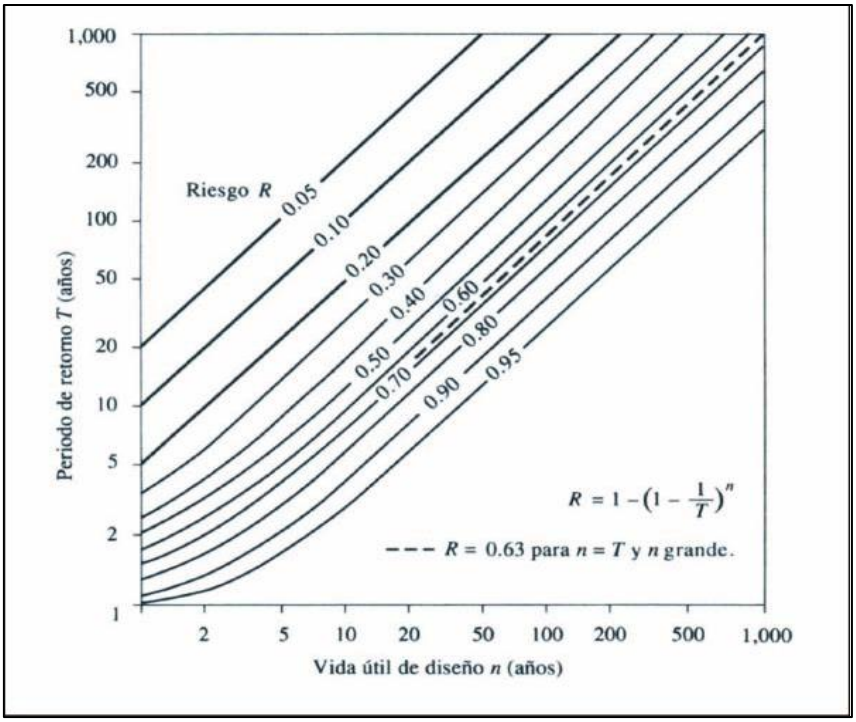


Figura 12: Riesgo de por lo menos una excedencia de diseño durante la vida útil (Fuente: MTC 2014).

Tabla 6

Se presenta valor de T para varios riesgos permisibles R y para la vida útil n de la obra.

RIESGO ADMISIBLE	VIDA UTIL DE LAS OBRAS (n años)									
R	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
0,01	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
0,02	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
0,05	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
0,10	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
0,20	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
0,25	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
0,50	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
0,75	1,3	2	2,7	4,1	7,7	15	18	37	73	144
0,99	1	1,11	1,27	1,66	2,7	5	5,9	11	22	44

Fuente: Elaboración propia basado en el manual de MTC 2014

De acuerdo a los valores presentados en la Tabla 6, se recomienda utilizar como máximo, los siguientes valores de riesgo admisible de obras de drenaje:

Tabla 7

Valores máximos recomendados

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**) %
PUENTES(*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma(a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Fuente: Elaboración propia basada en el manual del MTC

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.

- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - Vida Útil considerado (n)

• Puentes y Defensas Ribereñas n= 40 años.

• Alcantarillas de quebradas importantes n= 25 años.

• Alcantarillas de quebradas menores n= 15 años.

• Drenaje de plataforma y Sub-drenes n= 15 años.

- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.

- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

2.2.6. Máxima Avenida

Se define a una máxima avenida como un caudal de gran magnitud, que por decir lo menos, desborda los ríos, quebradas o cauces naturales.

Se debe calcular o estimar el caudal de diseño, que para estos casos, se determina en función a los caudales máximos.

La magnitud del caudal de diseño, está en función directa del período de retorno seleccionado para el diseño, el mismo que a su vez depende de la importancia o trascendencia de la obra así como de la vida útil de la misma.

En el análisis de la información hidrométrica, puede presentarse el caso de que se tenga a disposición registros históricos de caudales, entonces dependiendo del problema a resolver, un análisis probabilístico puede resultar conveniente.

Para el caso más frecuente es cuando no se dispone de datos de caudales máximos, por lo que es necesario calcularlos a partir de datos de lluvia o precipitación.
Existen varios métodos para el estudio de máximas avenidas los cuales son:

Los métodos históricos.

Este método está basado en que el cálculo de la avenida, está referida a los máximos niveles alcanzados por el agua y que quedan señalizados en algún punto del cauce del río o fuera de él.
Para ello será necesario recopilar los datos acerca de las avenidas ocurridas, pero presenta dificultades respecto a la carencia de datos, así como la calidad de la información que se pueda recibir.

Los métodos estadísticos o probabilísticos (basados en la existencia de información hidrométrica o de aforos).

Estos métodos permiten a través de un registro histórico de máximas avenidas, estimar la avenida de diseño mediante su probable distribución en diversos periodos de retorno.
Cuanto mayor sea el tamaño del registro o extensión de la información, mayor será también la aproximación del cálculo del caudal de diseño.
Existen varios métodos estadísticos para realizar el estudio de caudales máximos y poder determinar el caudal de diseño, entre ellos y los más usados tenemos:
Método de Gumbell.

Los métodos hidrológicos (basados en la existencia de información pluviométrica)

Estos métodos, si bien es cierto no son muy precisos, sin embargo son los más utilizados al no existir información hidrométrica o de aforos en ríos.
Existen varios métodos hidrológicos que se utilizan, para el cálculo de caudales máximos.
Entre ellos tenemos los siguientes:
Método de US Soil Conservation Service (SCS) o de la Curva N.
Método de Mac-Math.
Método de Creager
Método directo
Método racional

El Método directo o denominado también método hidráulico.

Para determinar el caudal máximo, es necesario conocer ciertos parámetros, los mismos que se obtendrán directamente en el campo, es decir en el lugar de emplazamiento de la

estructura proyectada o llamado también punto de interés, para lo cual será necesario disponer de:

Levantamiento topográfico a curvas de nivel y se presenta en los Planos en Planta.

Perfil longitudinal del cauce del río en una longitud mínima de 500 m aguas arriba y 500m aguas abajo del punto de interés.

Plano de sección transversal del río, donde se debe indicar el nivel de aguas máximas extraordinarias.

Luego se determinan los siguientes parámetros:

Área hidráulica máxima (A).

Rugosidad del cauce en el punto de interés (n)

Pendiente (s) del cauce en la sección de interés.

Radio Hidráulico máximo (R)

Luego, estos valores se reemplazarán en la ecuación de Manning, obteniéndose así el caudal máximo en m^3/seg.

2.2.7. Método de Gumbell

Las distribuciones de valores extremos del fenómeno de las máximas avenidas, pueden expresarse en la forma:

$$x = \bar{x} + K\sigma_x \qquad (16)$$

x = Caudal o Precipitación con una probabilidad dada

$\bar{x}$ = Media de la serie de caudales o precipitaciones

σ_x= Desviación estándar de la serie

K =Un factor de frecuencias definido por cada distribución.

La Ley de Gumbell está dada por la expresión:

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \qquad (17)$$

Dónde:

P = Probabilidad de que un valor x sea igualado o excedido.

y = variable reducida.

Despejando de la ecuación anterior la variable reducida (y) se expresa en la siguiente ecuación:

$$y = -ln[(-ln(1-P)] \qquad (18)$$

El factor de frecuencias (K), está dada por la expresión:

$$K = \frac{y-y_n}{\sigma_n} \qquad (19)$$

Dónde:

y = Variable reducida.

y_n=Valor medio esperado de la variable reducida (Tabla Nº 01)

σ_n = Desviación estándar de la variable reducida (Tabla Nº 01)

Tabla 8

Valores de y_n, σ_n en función de n (número de datos)

n	y_n	σ_n	n	y_n	σ_n	n	y_n	σ_n
8	0.4843	0.9043	**26**	0.5320	1.0961	**44**	0.5458	1.1499
9	0.4902	0.9288	**27**	0.5332	1.1004	**45**	0.5463	1.1519
10	0.4952	0.9497	**28**	0.5343	1.1047	**46**	0.5468	1.1538
11	0.4996	0.9676	**29**	0.5353	1.1086	**47**	0.5473	1.1557
12	0.5053	0.9833	**30**	0.5362	1.1124	**48**	0.5477	1.1574
13	0.5070	0.9972	**31**	0.5371	1.1159	**49**	0.5481	1.1590
14	0.5100	1.0095	**32**	0.5380	1.1193	**50**	0.5485	1.1607
15	0.5128	1.0206	**33**	0.5388	1.1226	**100**	0.5600	1.2065
16	0.5157	1.0316	**34**	0.5396	1.1255	**150**	0.5646	1.2253
17	0.5181	1.0411	**35**	0.5403	1.1285	**200**	0.5672	1.2360
18	0.5202	1.0493	**36**	0.5410	1.1313	**250**	0.5688	1.2429
19	0.5220	1.0566	**37**	0.5418	1.1339	**300**	0.5699	1.2479
20	0.5236	1.0628	**38**	0.5424	1.1363	**400**	0.5714	1.2545
21	0.5252	1.0696	**39**	0.5430	1.1388	**500**	0.5724	1.2588
22	0.5268	1.0754	**40**	0.5436	1.1413	**750**	0.5738	1.2651
23	0.5283	1.0811	**41**	0.5442	1.1436	**1000**	0.5745	1.2685
24	0.5296	1.0864	**42**	0.5448	1.1458			
25	0.5309	1.0915	**43**	0.5453	1.1480			

Fuente: Monsalve Saenz, Germán. “Hidrología en la ingeniería”.

2.2.8. Método de Us Soil Conservation Service (SCS) o Método del Numero de Curva N

Este método ha sido desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos y tiene muchas ventajas, pues se aplica a cuencas medianas, como es el caso de ríos existentes en la región de San Martín.

Su principal aplicación, es la estimación del escurrimiento en el estudio de avenidas.

Este método, denominado también como de Número de Curva, deriva de una serie de curvas, cada una de las cuales lleva el número de N, que varía de 1 a 100.

Los números de curvas representan coeficientes de escorrentía, pues así un número de curva N = 100, Indica que toda la lluvia se escurre y un número N=1, indica que toda la lluvia se infiltra.

Este método es utilizado para generar la escorrentía total a partir de datos de precipitación, conociéndose su intensidad y duración, que son empleados para calcular el caudal pico de una avenida de determinado periodo de retorno, para lo cual se debe tener presente los valores de la Tabla Nº 02, el mismo que ha sido elaborado para una duración de tormenta de seis (6) horas y relaciona el tiempo de concentración en horas, con el llamado gasto unitario (q), cuyas unidades son $(m^3/seg)/(mm/km^2)$.

Tabla 9

Gasto unitario q $(m^3/seg)/(mm/km^2)$ en función del Tc (horas)

Tc (hr)	q (caudal unitario)	Tc (hr)	q (caudal unitario)	Tc (hr)	q (caudal unitario)
0.10	0.337	1.00	0.158	8.00	0.039
0.20	0.300	1.50	0.120	10.00	0.034
0.30	0.271	2.00	0.100	12.00	0.030
0.40	0.246	2.50	0.086	14.00	0.027
0.50	0.226	3.00	0.076	16.00	0.025
0.60	0.208	4.00	0.063	18.00	0.023
0.70	0.195	5.00	0.054	20.00	0.021
0.80	0.190	6.00	0.048	22.00	0.020
0.90	0.168	7.00	0.043	24.00	0.019

Fuente: Villón Béjar, Máximo. "Hidrología"

El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) presenta la Tabla Nº 03, la cual permite determinar el número de curva N para diferentes prácticas agrícolas, diferentes condiciones hidrológicas y grupo hidrológico de suelos en la cuenca.

Tabla 10

Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura

Cobertura			Número de curva			
Uso de la tierra	**Tratamiento**	**Condición Hidrológica**	**Grupo Hidrológico**			
			A	**B**	**C**	**D**
Descuidado,en descanso, sin cultivos	Surcos rectos	…	77	86	91	94
Cultivos	Surcos rectos	Pobre	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Pobre	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curv. de nivel y en terrazas	Pobre	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Pequeños granos	Surcos rectos	Pobre	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
Pequeños granos	Curvas de nivel	Pobre	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curv. de nivel y en terrazas	Pobre	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación.	Surcos rectos	Pobre	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Pobre	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curva. de nivel y en terrazas	Pobre	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80
Pastizales o similares		Pobre	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Pobre	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
Pradera		Buena	30	58	71	78
Bosques		Pobre	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Patios		…	59	74	82	86
Caminos, incluyendo derecho de vía.	Cieno	…	72	82	87	89
	Superficie firme	…	74	84	90	92

Fuente: Villón Béjar, Máximo. “Hidrología”

Para aclarar los conceptos de los parámetros, del cual depende el número de curva N, se indican algunas definiciones:

Condición hidrológica. - Se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo, esto se encuentra en función de la cobertura vegetal, puede aproximarse de la siguiente forma:

Tabla 11

Condición hidrológica

Cobertura vegetal	Condición hidrológica
> 75% del área	Buena
Entre 50% y 75% del área	Regular
< 50% del área	Pobre

Fuente: Villón Béjar, Máximo. "Hidrología"

Grupo hidrológico del suelo. - Define los grupos de suelos, los cuales pueden ser:

Grupo A, tiene bajo potencial de escorrentía.

Grupo B, tiene un moderado – bajo potencial de escorrentía.

Grupo C, tiene un moderado – alto potencial de escorrentía.

Grupo D, tiene un alto potencial de escorrentía.

Uso de la tierra. - Es la cobertura de la cuenca e incluye toda clase de vegetación, escombros, pajonales, desmontes, así como las superficies de agua (lagos, pantanos, ciénagas, fangales, etc.) y superficies impermeables (carreteras, cubiertas, etc.)

El tratamiento de la tierra. - Se aplica sobre todo a los usos agrícolas de la tierra e incluye las prácticas mecánicas tales como sistemas de bordos, curvas de nivel, terraplenado y ejecución de prácticas para el control de erosión y rotación de cultivos.

2.2.8.1 Cálculo del Caudal Máximo

El proceso para el cálculo del caudal máximo utilizando la metodología del SCS, es como sigue:

Paso 1:

Se determinan las siguientes características de la cuenca:

A =área de la cuenca colectora en Km^2

Tc=Tiempo de concentración en horas.

N = Número de curva de escurrimiento.

Paso 2:

Se calculan las precipitaciones de duración 6 horas y periodos de retorno de acuerdo a las avenidas del proyecto.

Paso 3:

Con base en el número N de la cuenca, se calcula la escorrentía para cada una de las precipitaciones determinadas en el paso anterior, por medio de la ecuación:

$$Ei = \frac{[N(P+50.80)-5{,}080]^2}{N[N(P-203.20)+20{,}320]} \quad (20)$$

Siendo:

Ei = Escorrentía, en mm.

N = Número de curva.

P = Precipitación de duración 6 horas y determinado periodo de retorno, en mm.

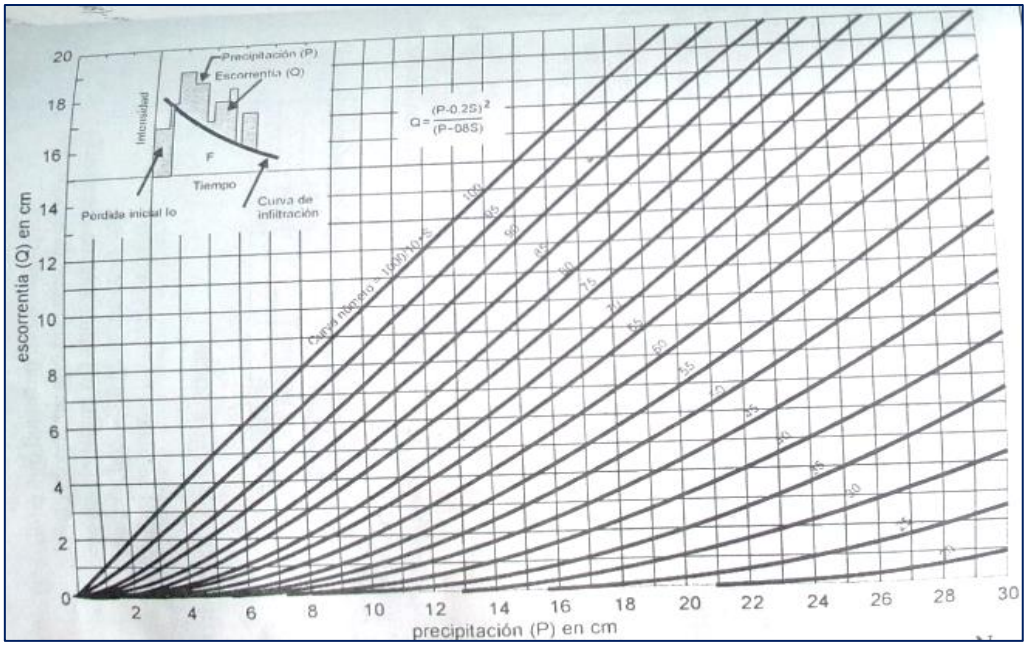


Figura 13: Cálculo de la escorrentía en función de la precipitación y número de curva N. (Fuente: Maximo Villón (2002)).

Paso 4:

De la Tabla 2, en función de la magnitud del tiempo de concentración se determina el valor del gasto unitario (q).

Paso 5:

Por último, se multiplica la escorrentía (Ei), el gasto unitario (q), y el área de la cuenca (A), para obtener el caudal máximo ($Q_{máx}$) en m^3/seg, esto es:

$$Q_{máx} = Ei.q.A \qquad (21)$$

2.2.9. Método directo

Este es un metodo hidráulico llamado de sección y pendiente, en el cual el caudal máximo se estima después del paso de una avenida, con base en datos específicos obtenidos en el campo.

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n} \qquad (22)$$

Donde:

$Q = \text{Caudal maximo en} \dfrac{m^3}{s}$

$n = \text{Coeficiente de rugosidad}$

$A = \text{Area hidraulica promedio en } m^2$

$R =$ Radio hidáulico promedio en m

$S =$ Pendiente en m/m

Superficie	Condiciones de las paredes			
	Perfectas	Buenas	Medianas	Malas
Corrientes naturales:				
(1) Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos.	0.025	0.0275	0.030	0.033
(2) Igual al (1) pero con algo de hierba y piedra.	0.030	0.033	0.035	0.040
(3) Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0.033	0.035	0.040	0.045
(4) Igual al (3), de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente.	0.040	0.045	0.050	0.055
(5) Igual al (3), algo de hierba y piedras.	0.035	0.040	0.045	0.050
(6) Igual al (4), secciones pedregosas.	0.045	0.050	0.055	0.060
(7) Ríos con tramos lentos, cauce enhierbado o con charcos profundos.	0.050	0.060	0.070	0.080
(8) Playas muy enyerbadas.	0.075	0.100	0.125	0.150

Figura 14: Valores de n para cálculo de caudal Fuente: Curso de hidráulica fluvial, defensas ribereñas y gaviones CAPI

2.2.10. Método Racional

Según **Villón**, el uso de este método, tienen una antigüedad de más de 100 años, se ha generalizado en todo el mundo. En mayo de 1989, la Universidad de Virginia, realizo una Conferencia Intrnacional, en conmemoración del Centenario de la Formula Racional.

El método puede ser aplicado a pequeñas cuencas de drenaje agrícola, aproximadamente si no exceden a 13 km2. En el método racional, se supone que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia, se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración (tc). Cuando así ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal en el punto de salida. Si la duración es mayor que tc, contribuye asimismo toda la cuenca, pero en ese caso la intensidad de la lluvia es menor, por ser mayor su duración y por tanto, también es menor el caudal.

El caudal máximo de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{CIA}{360} \qquad (23)$$

$Donde$:

$Q =$ Caudal maximo en $\frac{m^3}{seg}$

C = Coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo, sin dimensiones.

I = Intensidd máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentracion, y para un periodo de retorno dado, en $\frac{\text{mm}}{\text{hr}}$.

A = Área de la cuenca en has.

El coeficiente I/360 corresponde a la transformación de unidades.

Para el caso en que el área de la cuenca esté expresada en km2 la fórmula es:

$$Q = \frac{CIA}{3.6} \qquad (24)$$

Siendo los demás parámetros con las mismas unidades.

Tabla 12

Coeficientes de escorrentía método racional

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		>50%	>20%	>5%	>1%	<1%
Sin Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Elaboración propia en base a (MTC 2014)

El valor del coeficiente de escorrentía se establecerá de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas cuyos cursos interceptan el alineamiento de la carretera en estudio. En virtud a ello, los coeficientes de escorrentía variarán según dichas características.

2.2.11. Método de Creager

Este método, originalmente desarrollado por Creager, fue adaptado para el territorio peruano por Wolfang Trau y Raúl Gutiérrez Yrigoyen. La aplicación de este método permite la estimación de los caudales máximos diarios en cuencas sin información, para diferentes periodos de retorno, tomando el área de la cuenca como el parámetro de mayor incidencia en la ocurrencia de caudales máximos. Para la obtención de su fórmula, graficó los gastos máximos por unidad de área observados en cuencas de todo el territorio peruano contra el área misma de las cuencas, después trazo una curva que fuera envolvente de todos los puntos graficados y obtuvo la ecuación que se indica a continuación:

$$Qmax = (c_1 + c_2)\log(T)\,A^{mA^{-r}} \qquad (25)$$

Donde:

Qmax: caudal máximo para un periodo de retorno T seleccionado, en m3/seg.

A: área de la cuenca aportante, en km2.

T: periodo de retorno, en años.

C1, C2: coeficientes adimensionales de escala, por regiones hidráulicas.

Según los autores, el territorio peruano queda subdividido en siete regiones hidráulicas diferenciables, tal como se muestra en el mapa:

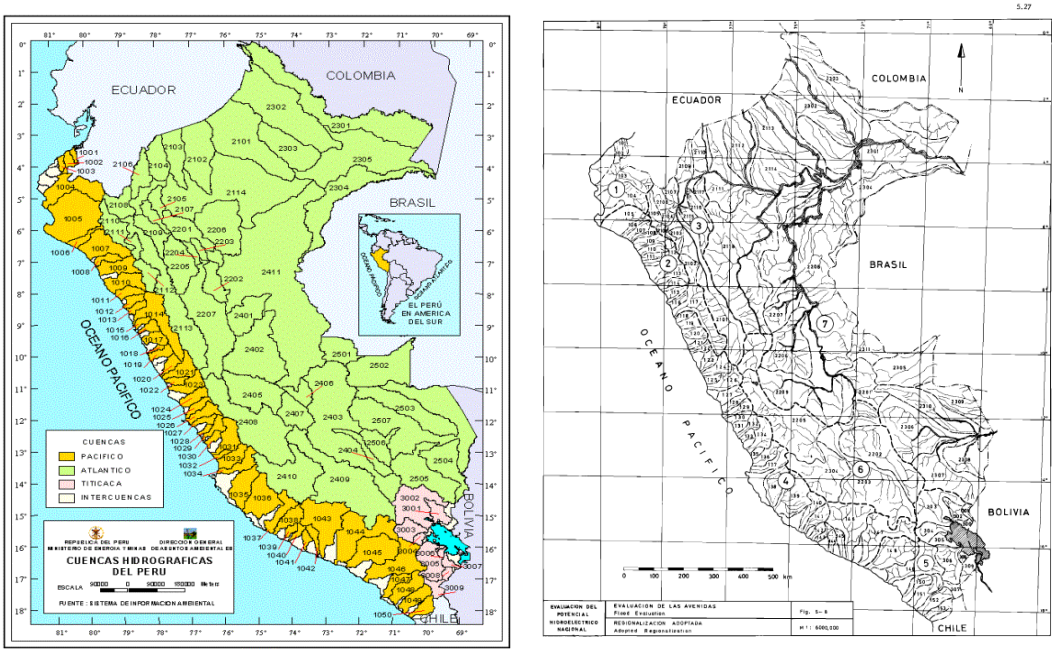


Figura 15: identificación de zonas para el cálculo de caudal

Para cada una de las zonas identificadas, se establece el conjunto de coeficientes y exponentes indicados en el cuadro siguiente:

Tabla 13

Valores de coeficientes y exponentes de acuerdo a la región correspondiente

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.1	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que, en general, a pesar de su simplicidad, este método es bastante preciso Para el cálculo del gasto máximo, es necesario conocer el gasto unitario de la cuenca por medio de las envolventes, para lo cual se deberán de seguir los pasos siguientes:

Paso 1. Observar la lámina de envolventes de Creager, perteneciente a la región hidrográfica, correspondiente a la cuenca que se esté estudiando.

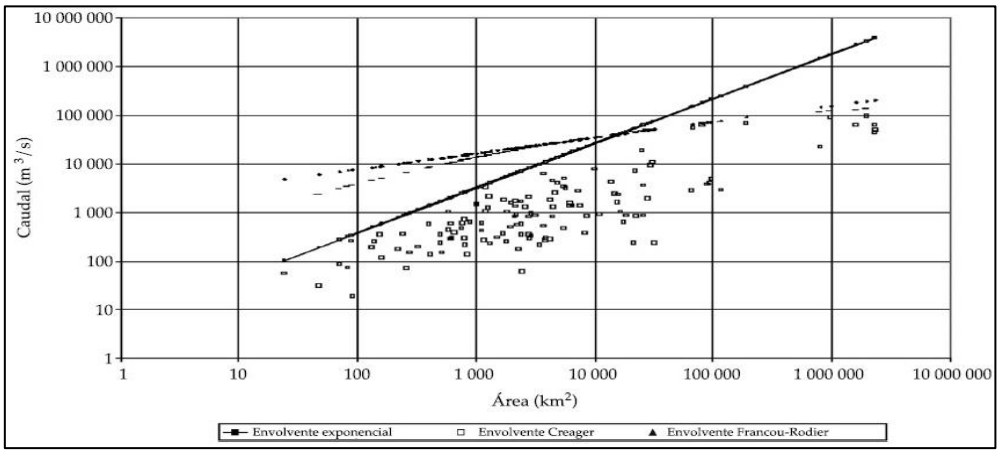


Figura 16: Curvas envolventes de caudales para un periodo de retorno determinado

Paso 2. Se ubica la estación hidrométrica en la lámina de envolventes de creager, se traza una curva paralela a la curva creager, de tal forma que esta intercepte a la estación hidrométrica perteneciente a la cuenca estudiada.

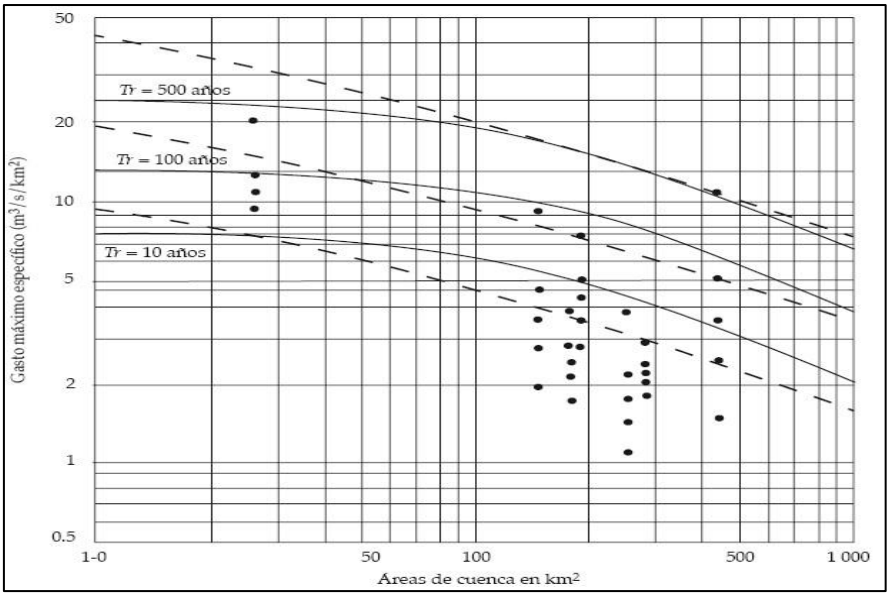


Figura 17: Contraste gráfico con las curvas envolventes de Creager

Paso 3. Trazada la curva se procede a localizar el punto del área drenada hasta la zona de cruce, de manera que se tendrá una ordenada y una abscisa, la ordenada representa el área de la cuenca (A en Km2) y la abscisa pertenece al gasto unitario (q1 en m3/s/Km2)

Paso 4. Teniéndose el valor del gasto unitario (q1), por lo tanto se calculara el caudal máximo, mediante la fórmula que se muestra:

$$Qmax = (q1)(A1) \qquad (26)$$

Qmax : Es el gasto máximo en m³/s

q_1: Es el gasto unitario en m³/s

A_1: Es el área drenada hasta la zona en estudio Km²

Paso 5. Sustituyendo en la ecuación anterior, podremos conocer el gasto máximo presentado en la zona de estudio, hallándose el número creager (C), correspondiente a la curva que intercepta la estación hidrométrica, así como también al punto del área de la cuenca drenada hasta el sitio de cruce, con la formula siguiente:

$$C = \frac{q1}{(0.503)\left[\frac{0.894}{(0.386A1)^{0.048}}\right]^{-1}} \qquad (27)$$

El hidrograma unitario sintético se utiliza para desarrollar hidrogramas unitarios para otros puntos en la corriente de la misma cuenca o para cuencas adyacentes**.**

2.2.12. Avenida de Diseño

(MTC 2014), La Avenida de Diseño es el caudal que se escoge, mediante diversas consideraciones, para dimensionar un proyecto (o una parte de él). Para su determinación se usa la información básica proporcionada por el estudio hidrológico (Estimación de Caudales) y se incorporan los conceptos correspondientes a riesgo, vulnerabilidad, importancia y costo de obra y muchos otros más, como por ejemplo el tipo de río y de puente. En nuestro país, existe escasez de datos, por lo que juegan un papel muy importante la experiencia y el buen tino del ingeniero proyectista para escoger la Avenida de Diseño. Dentro de los criterios para la selección de los valores posibles están los relativos al máximo nivel alcanzado por el agua, la capacidad del encauzamiento, si fuese el caso las máximas socavaciones y muchas otras más.

La Avenida de Diseño debe escogerse de modo de garantizar la estabilidad del río y del puente y teniendo en cuenta la evaluación de los daños potenciales involucrados en una potencial falla.

Se debe tener en cuenta además que los dos últimos mega niños (1983 y 1998), tuvo como característica, desde el punto de vista hidrológico y en relación con la estabilidad de las estructuras, es la aparición de avenidas de larga duración, de varios días.

2.2.13. Pendiente del Cauce de un Río

La pendiente del cauce de un río, se puede considerar como el cociente, que resulta de dividir, el desnivel de los extremos del río, entre la longitud horizontal de dicho cauce.

Conocer la pendiente del cauce principal de un río, resulta ser muy importante, puesto que este parámetro está relacionado directamente con el escurrimiento del cauce.

El perfil longitudinal del eje que sigue el cauce de un río, está conformado por una serie ilimitada de tramos, los cuales dependen de los diferentes tipos de material que lo conforman. A continuación, veremos el siguiente método para su cálculo:

2.2.13.1 Método de Taylor y Schwarz

Este método considera que un río está formado por ***n*** tramos de igual longitud, cada uno de ellos con pendiente uniforme.

La ecuación de Taylor y Schwarz, para este caso es:

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{S_1}}+\frac{1}{\sqrt{S_2}}+\cdots+\frac{1}{\sqrt{S_n}}}\right]^2 \qquad (28)$$

Dónde:

n : Número de tramos iguales, en los cuales se subdivide el perfil.

S_1, S_2,…, S_n: Pendiente de cada tramo, según $S = \frac{H}{L}$

S : Pendiente media del Cauce.

La ecuación anterior tiene una mejor aproximación cuanto más sea el número de tramos en los cuales se subdivide el perfil longitudinal del río a analizar.

Por lo general, se espera en la práctica que los tramos sean de diferentes longitudes, en este caso, Taylor y Schwarz recomiendan utilizar la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{s_i^{1/2}}}\right]^2 \qquad (29)$$

Donde:

S : Pendiente media del cauce.

L_i : Longitud del tramo i.

s_i : Pendiente del tramo i.

2.2.14. Sección Estable del Río o Ancho de Cauce

Es la sección que corresponde a un tramo del río que se encuentra en estado de equilibrio, es decir que la pendiente (S), la descarga (Q), la geometría del cauce, la rugosidad del cauce (n) y cualquier otra característica hidráulica son las requeridas para transportar los sólidos que ingresan a dicho tramo. Es decir, la sección estable de un río, es aquella que tiene la capacidad suficiente para transportar la descarga Q sin causar erosión ni sedimentación.

A esta sección le corresponde un ancho o amplitud de cauce (B).

Existen varios métodos para calcular (B), siendo necesario para su aplicación, conocer las condiciones del río.

Método de Blench – Altunin

El más utilizado, es el de **Blench – Altunin**, basado en la teoría del régimen estable y se sustenta en la siguiente relación:

$$B = 1.81 \left(\frac{QxF_b}{F_s}\right)^{1/2} \qquad (30)$$

Dónde:

Q= caudal de diseño en m^3/seg

F_s = Factor de orilla. Ver tabla Nº 06.

F_b = Factor de fondo.

B = amplitud de cauce en m.

Factor de Fondo (F_b)

F_b, es un factor que depende de la naturaleza del lecho, específicamente de la granulometría, y se expresa en lo siguiente:

$$F_b = (D_{50})^{1/3} (1 + 0.12C) \qquad (31)$$

Dónde:
C = Concentración de sólidos de fondo.
D_{50} = Diámetro de las partículas para el régimen estable.

Tabla 14

Factor de fondo

FACTOR DE FONDO	Fb
Material fino	0.8
Material Grueso	1.2

Fuente: Terán Rubén - Diseño de Defensas Ribereñas

Factor de orilla (F_s)

Es el factor sedimentológico lateral (orilla). Su valor depende de la erosionabilidad de las márgenes (taludes), y de la tendencia del material sólido a depositar en las márgenes.

Los valores usuales recomendados por Blench para F_s son los siguientes:

Tabla 15

Valores aproximados de F_s (Factor de Orilla)

Tipo de Orilla	Valor de F_s
Orilla de barro y arena, fácilmente erosionables	0.10
Orilla de barro-arcilla-fangosa	0.20
Orilla de material no muy cohesivo	0.30

Fuente : Terán A. Rubén. "Diseño de Defensas Ribereñas".

Método de SIMONS y HENDERSON

Otro método que también se utiliza es el de **SIMONS y ALBERTSON**, que utiliza la siguiente fórmula:

$$B = K_1 (Q)^{1/2} \qquad (32)$$

Dónde:

B = amplitud de cauce en metros.

Q = caudal de diseño en m^3/seg

K_1 = Condiciones de fondo del cauce del río. Ver Tabla 7.

Tabla 16

Valores de K_1 (Condiciones de fondo del cauce)

Condiciones de Fondo de Río	$\boldsymbol{K_1}$
Fondo y orillas de arena	5.70
Fondo de arena y orillas de material cohesivo	4.20
Fondo y orillas de material cohesivo	3.60
Fondo y orillas de grava	2.90
Fondo de arena y orillas de material no cohesivo	2.80

Fuente: Terán A. Rubén. "Diseño de Defensas Ribereñas".

2.2.15. Rugosidad del Cauce en el Punto de Interés

La rugosidad del cauce es la resistencia que ofrecen las paredes del cauce al desplazamiento libre del agua. También es el valor de la rugosidad de Manning, que generalmente se obtiene utilizando el **método de Cowan**.

Reconociendo varios factores primarios que afectan el coeficiente de rugosidad, **Cowan** desarrolló un procedimiento para la evaluación de n. Según este procedimiento el valor de n pude ser calculado por la ecuación:

$$n= (n_0+ n_1+ n_2+ n_3+ n_4)x(n_5) \qquad (33)$$

Dónde:

n_0: Valor básico de rugosidad para un cauce de un material dado.

n_1: Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.

n_2: Rugosidad adicional equivalente debida a la variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.

n_3: Rugosidad equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce.

n_4: Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación.

n_5: Factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros.

Tabla 17

Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad del cauce según la ecuación establecida por Cowan

CONDICIÓN DEL CAUCE		VALORES	
Material considerado	Tierra	n_0	0.020
	Roca Cortada		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Liso	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal del cauce	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Despreciable	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.020
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Cantidad de meandros	Menor	n_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severa		1.300

Fuente: MTC. “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje”

2.2.16. Tirante de Máxima Avenida

Es la profundidad máxima que alcanza el agua en época de máximas avenidas.

Teniendo en consideración la avenida o caudal de diseño del proyecto (Q), así como la pendiente promedio (s) del cauce del río en la zona del proyecto, el coeficiente de rugosidad de Manning (n) y la amplitud o ancho estable del cauce del río (B), se puede determinar el tirante de máxima avenida, aplicando la fórmula de Manning.

Los valores se reemplazan en la ecuación de Manning – Strickler:

$$Q_{max} = \frac{(A_h)(R_h)^{\frac{2}{3}}(S)^{1/2}}{n} \qquad (34)$$

Dónde:

A_h= área hidráulica de la sección transversal.

R_h = A_h/P_m = radio hidráulico.

P_m =perímetro mojado de la sección transversal.

Es necesario tener en cuenta que el Tirante Y_{max}, se calculará de manera indirecta. Este cálculo se vuelve laborioso, por lo que el **software Hcanales** ayudará a obtener resultados precisos y con rapidez.

2.2.17. Velocidad del Agua

Es la distancia recorrida del agua en una unidad de tiempo.

Su valor se obtiene relacionando el caudal de diseño (Q_{max}) y el área hidráulica (A_h) de la sección transversal de diseño, esto es:

$$v = Q_{max}/A_h \qquad (35)$$

2.2.18. Altura o Nivel de Encauzamiento(He)

La altura, o nivel de la corona de los diques o muros de encauzamiento en áreas ribereñas inundables, está determinada por el tirante de máxima avenida, más un borde libre o tirante de seguridad hidráulica.

En algunos casos el borde libre está determinado por 1/3 del tirante máximo, en otros casos éste se aproxima a la altura de la inercia o energía de velocidad multiplicado por un coeficiente que está en función de la máxima descarga y pendiente del río.

$$He = Y_{max} + Bl \qquad (36)$$

Dónde:

$$Bl = \text{f.e} \qquad (37)$$

$$e = (v)^2/2g = Q^2/(2gA^2) \qquad (38)$$

Dónde:

He = altura de encauzamiento en m.

Y_{max}= Tirante de máxima avenida en m.

Bl = borde libre en m.

v= velocidad media del agua en m/seg.

g= aceleración de la gravedad m/seg^2

f= Coeficiente en función de la máxima descarga y pendiente, adimensional. Ver valores en la Tabla Nº 09.

e= energía de velocidad.

Tabla 18

Valores para el coeficiente "f" para el cálculo del borde libre

MÁXIMA DESCARGA (m^3/seg)	**VALOR DEL COEFICIENTE (f)**
3,000-4,000	2.00
2,000-3,000	1.70
1,000-2,000	1.40
500-1,000	1.20
100-500	1.10

Fuente: Terán A. Rubén. "Diseño de Defensas Ribereñas"

El borde libre, permite controlar la variación instantánea del caudal por disminución de la velocidad y elevación del tirante.

Muchas veces, hay que determinar el nivel de la corona del dique o muro de encauzamiento, para tal efecto, se tendrá en consideración el nivel o cota del cauce más la altura del tirante de máxima avenida, más el borde libre, determinándose así la cota o nivel de encauzamiento.

2.2.19. Profundidad de Socavación por el Método de List Van Lebediev

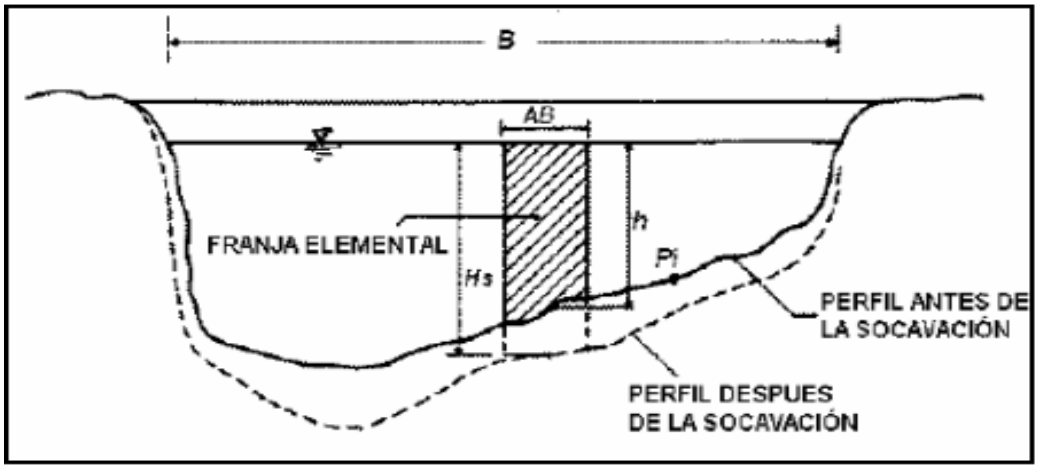


Figura 18: socavación en los cauces de los ríos. (Fuente: (MTC. "Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje")).

Para calcular la profundidad de socavación se emplea el método propuesto por **LIST VAN LEBEDIEV**, que se ajusta a los trabajos ejecutados en cauces naturales de la costa y región San Martín del Perú, y que en la actualidad se encuentran en condiciones óptimas de operatividad hidráulica.

La profundidad de socavación, es necesaria calcularla de tal manera que los valores obtenidos nos permitan dimensionar la pantalla antisocavante en el "cabezal terminal" de espigones, muros de encauzamiento, etc.

Para **suelos cohesivos**, se emplea la siguiente fórmula:

$$Y_s = \left[\frac{a(Y_{\max})^{5/3}}{0.6(\gamma_m)^{1.18}(b_o)}\right]^{1/(1+x)} \quad (39)$$

Para **suelos no cohesivos o granulares**, se emplea la siguiente expresión:

$$Y_s = \left[\frac{a(Y_{\max})^{5/3}}{0.68(Dm)^{0.28}(b_o)}\right]^{1/(1+x)} \quad (40)$$

Dónde:

Y_s : Profundidad total a la que se ubica la socavación en m, medida desde el espejo de agua hasta el fondo del cauce.

$Y_{\max}$ = tirante de máxima avenida en m.

γ_m = peso específico del material que conforma el lecho del río en Tn/m^3.

Dm = diámetro medio (D_{50}) en mm.

b_o = coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida o caudal de diseño. Ver Tabla Nº 18.

x = es un exponente adimensional para material cohesivo y no cohesivo que depende del peso específico, así como del diámetro medio del material que conforma el lecho del río. Ver Tabla Nº 19.

a = es un factor determinado por:

$$a = Q / ({Y_{\max}}^{5/3}.B) \qquad (41)$$

Dónde:

Q = caudal de diseño en m^3/seg.

$Y_{\max}$ = tirante de máxima avenida en m.

B = ancho estable en m.

Tabla 19

Coeficiente b_o para socavación

PERIODO DE RETORNO (años)	**PROBABILIDAD ANUAL DE QUE SE PRESENTE EL CAUDAL DE DISEÑO (%)**	**COEFICIENTE b_o**
1	100	0.77
2	50	0.82
5	20	0.86
20	5	0.94
50	2	0.97
100	1	1.00
200	0.5	1.01
300	0.3	1.03
500	0.2	1.05
1000	0.1	1.07

Fuente: Terán A. Rubén. “Diseño de Defensas Ribereñas”

Tabla 20

Valores de x y 1/(x+1)

SUELOS COHESIVOS			SUELOS NO COHESIVOS		
PESO ESPECÍFICO (Ton/m^3)	x	$\frac{1}{x+1}$	D_m (mm)	x	$\frac{1}{x+1}$
0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70
0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71
0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4.00	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6.00	0.36	0.74
1.00	0.44	0.69	8.00	0.35	0.74
1.04	0.43	0.70	10.00	0.34	0.75
1.08	0.42	0.70	15.00	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20.00	0.32	0.76
1.16	0.40	0.71	25.00	0.31	0.76
1.20	0.39	0.72	40.00	0.30	0.77
1.24	0.38	0.72	60.00	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90.00	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140.00	0.27	0.79
1.40	0.35	0.74	190.00	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250.00	0.25	0.80
1.52	0.33	0.75	310.00	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370.00	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450.00	0.22	0.83
1.71	0.30	0.77	570.00	0.21	0.83
1.80	0.29	0.78	750.00	0.20	0.83
1.89	0.28	0.78	1000.00	0.19	0.84
2.00	0.27	0.79			

Fuente : Terán A. Rubén : “Diseño de Defensas Ribereñas”

Tabla 21

Clasificación de los sedimentos por tamaño según la American Geophysical Unión (Adaptada de Meza J.A., 1987)

Grupo	Clase	Tamaño(mm)
Piedras	Muy grande	2000 – 4000
	Grande	1000 – 2000
	Mediana	500 – 1000
	Pequeña	250 - 500
Guijarros	Grande	130 – 250
	Pequeña	64 - 130
Grava	Muy gruesa	32 – 64
	Gruesa	16 – 32
	Mediana	8 – 16
	Fina	4 - 8
	Muy fina	2 - 4
Arena	Muy gruesa	1 – 2
	Gruesa	0.5 – 1
	Mediana	0.250 – 0.500
	Fina	0.125 - 0.250
	Muy fina	0.062 – 0.125
Limo	Gruesa	0.031 – 0.062
	Mediana	0.016 – 0.031
	Fina	0.008 – 0.016
	Muy fina	0.004 – 0.008
Arcilla	Gruesa	0.002 – 0.004
	Mediana	0.001 – 0.002
	Fina	0.0005 – 0.001
	Muy fina	0.00025 – 0.0005

Fuente: Elaboración propia.

Hechos estos cálculos, se procede al cálculo de la profundidad de socavación, de la siguiente manera:

$H_s = Y_s - Y_{max}$ (42)

H_s : Profundidad de socavación en metros.

Generalmente, para el diseño de obras hidráulicas a emplazarse en el cauce del río, para mayor seguridad se asume un valor de 1.5 H_s, excepcionalmente 2 H_s.

2.2.20. Criterios de Estabilidad para Obras de Protección frente a Erosión e Inundaciones

Los criterios de estabilidad corresponden al diseño estructural de las obras de protección (espigones y diques de tierra), para la condición más crítica y para el caudal de diseño seleccionado y que transitará por el cauce del río.

2.2.20.1 Estabilidad al Vuelco

Es la capacidad que tiene la estructura para no sufrir un vuelco accionado por las fuerzas que interactúan sobre él.

$$E_v = \frac{M_r}{M_v} > 1.5 \qquad (43)$$

Dónde:

E_v : Estabilidad al Vuelco.

M_r : Momento resistente.

M_v : Momento Volcador.

2.2.20.2 Estabilidad al Deslizamiento

Es la capacidad de la estructura de oponerse a las fuerzas que generan el deslizamiento estructural.

$$E_d = \frac{(\sum F_v)(tan\varphi)}{\sum F_H} > 1.5 \qquad (44)$$

Dónde:

F_v : Fuerzas Verticales que actúan sobre la estructura.

F_H:Fuerzas Horizontales que actúan sobre el estructura.

φ : Ángulo de fricción interna entre la base de la estructura y el material del lecho del río.

2.2.20.3 Estabilidad al Punzonamiento (Capacidad de Soporte del Suelo)

Para que no se produzca el efecto de punzonamiento o hundimiento de la estructura en el suelo de sustentación o cimentación, se calcula la capacidad de carga transmitida (σ_t) por la estructura al suelo de fundación y ésta debe ser menor que la capacidad admisible del suelo (σ_{adm}).

Debe cumplir la siguiente relación:

$$\sigma_t < \sigma_{adm} \qquad (45)$$

Para calcular la carga transmitida (σ_t), se utiliza la siguiente expresión considerando fuerzas unitarias:

$$\sigma_t = \frac{\sum F_v}{b}(1 \pm 6\frac{e}{b}) \qquad (46)$$

$$e = \frac{M_r - M_v}{\sum F_v} \qquad (47)$$

Dónde:

e = excentricidad

b = base de la estructura.

F_v = Fuerzas Verticales que actúan sobre la estructura.

M_r = Momento resistente.

M_v = Momento Volcador.

2.2.21. Base Legal

Ley de Recursos Hídricos N° 29338

En el Título V – Protección del Agua, artículo 74° se hace referencia a la determinación y ***protección de la faja marginal;*** mientras que el artículo 75°, hace mención a la protección del agua.

En el Título XI – Los Fenómenos Naturales, artículo 119° se establece que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en conjunto con los Consejos de Cuencas, ***deben establecer programas de control de avenidas, desastres e inundaciones.***

Decreto Supremo Nº 039-2008-AG, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua – ANA

En el artículo 31º, establece que la Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales, debe coordinar acciones para prevenir o minimizar los efectos de eventos extremos, así como ***promover obras de encauzamiento, defensa ribereña y protección de estructuras de captación de los ríos.***

Plan Estratégico Sectorial Multianual de Agricultura 2007-2011

Este plan hace mención que existe una insuficiente prevención de desastres debido principalmente a factores climatológicos.

Ley 28611, Ley General del Medio Ambiente.

La Ley General del Medio Ambiente es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Ley 27446, Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental SEIA

La evaluación de impacto ambiental –EIA como instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo, contribuye a hacer más eficiente la planificación y ejecución de planes y toma de decisiones en materia ambiental y debe ser utilizada por las autoridades competentes, para aprobar y emitir la certificación ambiental y contribuir a la mayor eficacia y eficiencia de las políticas, planes, programas y proyectos de inversión bajo los mandatos.

Reglamento Ley de Recursos Hídricos Ley Nº 29338.

En el Titulo VIII, capítulo III, Encauzamiento de cursos de agua y defensa ribereña, en sus artículos 223° y 224°, hace mención a las obras de encauzamiento y defensa ribereña y a la autorización para la ejecución.

Ley Orgánica de Municipalidades, Ley 27972, Articulo 69º Rentas Municipales

Los derechos por la extracción de materiales de construcción ubicados en los alveolos y cauces de los ríos y canteras localizadas en su jurisdicción.

Ley que regula el derecho por extracción de materiales de los alveolos o cauces de los ríos por las municipalidades, Ley 28221.

Las Municipalidades Distritales y las Municipalidades Provinciales en su jurisdicción, son competentes para autorizar la extracción de materiales que acarrean y depositan las aguas

en los álveos o cauces de los ríos y para el cobro de los derechos que correspondan, en aplicación de lo establecido en el inciso 9 del artículo 69º de la Ley Nº 27972.

Ley que establece la obligación de elaborar y presentar planes de Contingencia Ley Nº 28551

Tiene por objeto establecer la obligación y procedimiento para la elaboración y Presentación de planes de contingencia, con sujeción a los objetivos, principios y estrategias del Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres (INDECI).

Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales Nº 27867, Articulo N 61º

Formular, aprobar, ejecutar, evaluar, dirigir, controlar y administrar las políticas en materia de Defensa Civil. Organizar y ejecutar acciones de prevención de desastres y brindar ayuda directa e inmediata a los damnificados y la rehabilitación de las poblaciones afectadas.

Formular, aprobar, ejecutar, evaluar, dirigir, controlar y administrar las políticas en materia de Defensa Civil, en concordancia con la política general del gobierno y los planes sectoriales.

Dirigir el Sistema Regional de Defensa Civil.

Organizar y ejecutar acciones de prevención de desastres y brindar ayuda directa e inmediata a los damnificados y la rehabilitación de las poblaciones afectadas.

2.3 Marco Conceptual

Cuenca. - Área delimitada por un límite topográfico bien definido (parteaguas). Es una zona geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca presenta un complejo de suelos, geoformas, vegetación y uso de la tierra.

Borde libre.- Es el espacio comprendido entre la cota de la corona o borde superior del río y de la superficie del agua.

Caudal.- Se define como el volumen de escorrentía superficial por unidad de tiempo. Se expresa en m^3/s.

Caudal de diseño.- Es el volumen máximo de agua por unidad de tiempo que pasa por una sección determinada del río en un tiempo dado, y que se toma como referencia para el dimensionamiento de las diferentes estructuras que se puede proyectar y/o construir dentro de un cauce o en sus orillas.

Inundación.- E**s** aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

Riesgo.- Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsidencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiente) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad. Desde el punto de vista de pérdida, el riesgo puede verse como la combinación de tres factores importantes: el costo o valor de los bienes expuestos a un evento, por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, por la probabilidad de que el evento ocurra.

Vulnerabilidad.- Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas. Susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador, es decir, el grado de pérdidas esperadas.

Línea de ribera.- Es la línea definida en el terreno por la cota del nivel que alcanzan las aguas del río durante las crecidas máximas anuales medias. Esta línea de ribera constituye el límite físico entre los bienes del dominio público (lecho, cauce o álveo) y los bienes del dominio privado (ribera extrema).

Pendiente del cauce.- Es la inclinación o declive representativo del cauce de un río desde su inicio hasta su final o desembocadura.

Precipitación.- Es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: Lluvias, granizadas, garúas, nevadas. La precipitación es la fuente primaria del agua de la

superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua.

Rugosidad del cauce.- Es la fuerza de resistencia que ofrecen las paredes del cauce de un río al paso del agua. Su valor depende del tipo de material que conforma el cauce.

Sección estable del río.- Es la sección representativa del área hidráulica de un río a través de la cual puede circular el caudal máximo, sin causar erosión ni tampoco sedimentación.

Tirante de máxima avenida.- es la profundidad máxima que alcanza el agua en la época de máximas avenidas.

Topografía. Se define la topografía como ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre, por medio, y usando los tres elementos de espacio, estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una elevación y una dirección.

La topografía define la posición y las formas circunstanciales del suelo, es decir, estudia en detalle la superficie terrestre y los procedimientos por los cuales se pueden representar, todos los accidentes que en ella existen, sean naturales o debido a la mano del hombre. El medio usual de expresión es el dibujo.

CAPÍTULO III
MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Sistema de Variables

- Variable Independiente
  - Vulnerabilidad que genera las inundaciones
- Variable Dependiente
  - Instalación de un sistema de defensa ribereña

Sistemas de Variables de la Tesis

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Vulnerabilidad que genera las inundaciones	Es una medida del grado de daño que puede ocurrir a una cierta persona, edificación, obra, bien mueble o inmueble o actividad humana para diversas magnitudes del peligro	Para medir esta variable Se realizara de acuerdo a los estudios que se realizaran para llevar a cabo esta investigación.	Parámetros Hidrológicos	Precipitación
				Coeficiente de Maning
				Humedad relativa
			Parámetros de Forma	Longitud del cauce
				Área de la cuenca
				Perímetro de la cuenca
			Parámetros de Relieve	Pendiente del cauce
				Altura media
				Curva hipsométrica
Instalación de un sistema de defensa ribereña	Por defensa ribereña se entiende toda aquella estructura, construida dentro del cauce de un río, cuya finalidad sea encauzar, corregir o controlar el curso natural del agua.	Para medir esta variable se realizara de acuerdo a los estudios que se realizaran para llevar a cabo esta investigación.	Diseño de Protección	Sección estable
				Altura de dique
				Verificación del diseño
			Procesos Constructivos	Materiales
				Ejecución
				Mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

3.2. Metodología de la Investigación

3.2.1. Tipo y nivel de investigación

- **Tipo de investigación**

  El tipo de investigación es: Descriptivo y Explicativo

- **Nivel de investigación**

  El nivel de investigación es: Básico

3.2.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación será Descriptivo, experimental

Antes	Después
X	Y

X: Estado de la investigación en el ciclo de estudio

Y: Resultados de la investigación con información concisa que formula las propuestas

3.2.3. Población y muestra

- **Población**

En esta investigación la población está constituida por el cauce del Rio Yuracyacu.

- **Muestra**

La muestra está conformada por una parte del rio Yuracyacu en el tramo: progresiva Km 00+000 al Km 03 + 547.41 de defensa ribereña en la margen derecha del río Yuracyacu, en la localidad del mismo nombre.

3.2.4. Técnicas e instrumentos de selección de datos

- **Fuentes Técnicas**

Se ha considerado la aplicación de las siguientes técnicas:

- **La técnica de recolección documental.**

Para la investigación documental utilizaremos: textos, libros, tesis y revistas de la biblioteca especializada de la FICA-UNSM, libros, revistas especializadas particulares, páginas de internet relacionadas con este tema de investigación y también se hará uso de la biblioteca virtual, Normatividad y reglamentos.

- **La técnica de observación de campo.**

Para investigación de campo se utilizara la técnica de observación, análisis, aplicación y manejo de información.

- **Instrumentos**

Para la siguiente investigación se tiene que realizar el levantamiento topográfico de toda el área de influencia de este proyecto, el cual se utilizara para la elaboración de planos tanto en planta como en perfil.

Para realizar este levantamiento topográfico se utilizaron los siguientes instrumentos topográficos, Estación Total, Nivel de Ingeniero y GPS.

3.2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- **Procesamiento de datos**

Los datos serán obtenidos de campo y de fuentes existentes como cartografía, pluviometría e hidrometría en el área de estudio.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características de la Cuenca Hidrografica del Rio Yuracyacu

La cuenca del Rio Yuracyacu se encuentra ubicada en la cordillera oriental, faja sub andina, depresión del alto mayo y la llanura amazónica. Limita con la cuenca del Río Negro y la Cuenca del Rio Soritor. La altitud media de la cuenca es 1480 msnm.

4.1.1. Topografía

La topografía o relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre la respuesta hidrológica, que la forma de la misma. Para estudiar y analizar la topografía de una cuenca, se debe tener en cuenta la pendiente media, que señala si ésta es de una región montañosa o de zonas bajas.

La topografía o relieve de la parte alta de la cuenca es muy accidentada y está formada por montañas boscosas que delimitan la cuenca colectora del río Yuracyacu a ambas partes y a lo largo de los cauces afluentes, la parte media de la cuenca es moderadamente ondulada con presencia de pequeñas montañas y áreas de cultivos y ganadería y como ultimo la parte más baja de la cuenca son está conformado por áreas de cultivo (arroz, maíz, etc.) y pastizales. La topografía de la cuenca es muy representativa ya que depende de ello para el escurrimiento del agua durante las lluvias que se presenten especialmente en las partes altas de la cuenca.

El área de proyecto se ubica en la parte baja de la cuenca, cerca de la desembocadura del rio Yuracyacu en el rio Mayo

4.1.2. Cubierta Vegetal

La cubierta vegetal de la cuenca, está conformada por bosques con vegetación alta y muy densa en las nacientes de sus afluentes, en la parte media de la cuenca el bosque es menos denso debido a los cultivos, en la parte más baja la cubierta vegetal es mínima debido a los cultivos de arroz, maíz, etc.

4.1.3. Hidrografía

El río Yuracyacu es un afluente de la margen derechadel rio Mayo, la red hidrográfica del rio Yuracyacu está conformada por los tributarios tanto en la margen izquierda como derecha y presentan una longitud de 37.17 km.

La longitud del cauce principal es de 25.00 km, de tal manera que la longitud total de la red hidrográfica de la cuenca del río Yuracyacu es de 62.17 km.

El cauce principal tiene como cota inicial en su naciente 1100 msnm, y como cota final en la desembocadura del río Mayo 807 msnm.

En el **Plano PC**, se puede observar la configuración de la red hidrográfica de la cuenca del río Yuracyacu.

4.1.3.1. Área de la Cuenca

El área total de la cuenca del río Yuracyacu es de **230.17 Km2**, es la misma que ha sido delimitada sobre la Carta Nacional.

4.1.3.1.1. Perímetro de la Cuenca

La línea trazada en la Carta Nacional como delimitación, que constituye el perímetro total de la cuenca del río Yuracyacu, es de **86.2 Km.**

4.1.3.1.2. Factor de forma

De acuerdo a la fórmula *06,* se obtiene el siguiente valor:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

$\mathrm{K_f} = \text{Factor de forma}$

$\mathrm{A} = \text{Area de la cuenca en km}^2$

$\mathrm{L} = \text{Longitud del cauce principal}$

$K_f = \frac{230.17}{25^2}$

$k_f = 0.368$

De acuerdo al valor obtenido de **Kf=0.368**, lo cual nos indica que la forma de la cuenca es ligeramente alargada, por lo tanto las descargas son moderadas.

4.1.3.1.3. Índice de Compacidad

De acuerdo a la ecuación 08 se calcula de la siguiente manera

$$\mathrm{K_c} = 0.28\left(\frac{P}{A^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$K_c = \text{Índice de compacidad}$

$\mathrm{P} = \text{Perímetro de la cuenca en km}$

$\mathrm{A} = \text{Área de la cuenca en km}^2$

Remplazando valores, se tiene:

$$K_c = 0.28 * \left(\frac{86.2}{230.17^{\frac{1}{2}}}\right)$$

$$Kc = 1.590$$

El índice de compacidad del río Yuracyacu es de **1.590** lo que se demuestra que la forma de la cuenca es ligeramente alargada como se muestra en el **plano PC,** asi mismo también se indica que el escurrimiento es moderado de acuerdo a su forma.

4.1.3.1.4. Longitud del Cauce Principal

La longitud del cauce principal de la Cuenca del río Yuracyacu fue calculada mediante el software **Civil 3D,** la cual dicha longitud está comprendida entre las uniones de las afluentes y la desembocadura del rio, obteniéndose una longitud de **25km**.

4.1.3.1.5. Pendiente Media del Cauce Principal

La pendiente del cauce principal se calculará en dos tramos, uno para la parte alta y otro para la parte baja.

La pendiente se calculara aplicando la siguiente formula:

$$S = \frac{HM - Hm}{L}$$

$\mathrm{S} = \text{Pendiente media del río Yuracyacu.}$

$\mathrm{L} = \text{Longitud del cauce principal en m.}$

$\mathrm{HM} = \text{Altitud máxima del cauce m}$

$\mathrm{Hm} = \text{Altitud mínima del cauce en m}$

- Calculo de la pendiente para la parte alta del cauce principal.

$$\mathrm{S} = \frac{1100 - 900}{6000}$$

$S = 0.033$

$S = 3.3\%$

La pendiente media para la parte alta del río Yuracyacu es de 33m por cada kilómetro de longitud.

- Calculo de la pendiente para la parte baja del cauce principal.

$$S = \frac{900 - 807}{19000}$$

$S = 0.0048$

$S = 0.48\%$

La pendiente media para la parte baja del río Yuracyacu es de 4.8m por cada kilómetro de longitud.

4.1.3.1.6. Tiempo de Concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración se empleará la siguiente formula:

$$T_c = 0.0195(L^3/H)^{0.385}$$

Tc= Tiempo de concentración en min.

L= Longitud del cauce principal.

H= Diferencia de cotas entre los extremos del cauce principal.

H=2393m.

Cota naciente = 3200.00 msnm.

Cota de desembocadura = 807.00 msnm.

Remplazando los valores se obtiene lo siguiente:

$$\text{Tc} = 0.0195\left(\frac{25000^3}{2393}\right)^{0.385}$$

$\text{Tc} = 117.155$ se redondea a 120 minutos

$\mathbf{Tc = 2.00\ hr}$.

Este valor nos indica que ante la ocurrencia de lluvias en las partes altas de la cuenca, el escurrimiento se produce de manera moderada y las aguas alcanzan un punto de interés en un tiempo moderado de 2.00 horas.

4.1.3.1.7. Densidad de Drenaje

La Densidad de Drenaje se calculará mediante la siguiente formula:

$$D_d = \Sigma Lu / A$$

Donde D_d es la densidad de drenaje (en Km/Km^2), ΣLu es la longitud total de cauces (en Km) y A es el área total de la cuenca en Km^2.

Para la cuenca del río Yuracyacu, el valor de ΣLu está dado por la longitud del curso principal, más la longitud de todos los cursos tributarios tanto de la margen derecha como de la margen izquierda del cauce principal.

ΣLu=25km+37.17km = 62.17km

$$D_d = \frac{62.17\text{km}}{230.17\text{km2}}$$

$$\boldsymbol{D_d = 0.270\text{km/km}^2}$$

La cuenca del río Yuracyacu presenta una moderada o baja densidad de drenaje, cuya densidad es de 0.270 km de curso de agua por cada km2 de área respectivamente. Lo que compensa al escurrimiento de la lluvia con respecto al tiempo de concentración.

4.1.3.2.Estudio Hidrológico

4.1.3.2.1. Hidrología del Área del Proyecto

En el ámbito de influencia de la cuenca del río Yuracyacu, donde se ubica el punto de interés así como el área donde se ubica el proyecto de Obras de Protección Frente a la Vulnerabilidad que Genera las Inundaciones del Río Yuracyacu, la hidrología se caracteriza por presentar dos épocas hidrológicas bien definidas a lo largo del año (existen otras dos de menor duración), una de ellas referida a la época de invierno, con marcada presencia de lluvias continuas que generalmente se presentan durante los meses de Febrero-Mayo, y el segundo período de menor precipitación entre los meses de Septiembre-Octubre.

Para esta tesis de investigación se trabajó con la **Estación CO "NARANJILLO"** a cargo del SENAMHI debido a que no se cuenta con estación dentro del área de la cuenca y es la estación más próxima al área de proyecto, la lámina promedio anual de agua llovida, según información registrada en los últimos dieciséis años (período 2002 – 2017) es de 1361.91 mm, con máximas que alcanzan valores de hasta los 2145.10 mm y mínimas de 1384.80 mm.

Los cálculos hidrológicos han facilitado el cálculo de los caudales máximos que se pueden presentar en el rio Yuracyacu en el área de interés, donde se ha proyectado la construcción de obras de protección frente a la vulnerabilidad que genera las inundaciones del rio Yuracyacu, y para ello se ha empleado métodos hidrometeorológicos para cuencas sin información de caudales de aforo.

4.1.3.2.2. Aspectos Generales para el Cálculo de Caudales Máximos

Para poder determinar la altura máxima que alcanza el agua en el cauce del rio Yuracyacu, lo que mayor nos interesa es calcular la cantidad de agua que escurre en el tramo elegido para el proyecto de investigación.

Para el dimensionamiento hidráulico de la estructura propuesta a proyectarse dependerá de la intensidad y frecuencia que se presenten las avenidas en el lugar de este proyecto, con la finalidad de poder calcular un factor de seguridad con tal de garantizar la vida útil de esta obra.

El río Yuracyacu no cuenta con estaciones de aforo de caudales máximos extraordinarios, por lo que para calcular los caudales máximos, se ha empleado métodos empíricos para cuencas sin información como son: **Método del US Soil Conservation Service (SCS)** o **Método del Número de Curva N, Método Directo, Método Racional, Método de Creager.** Para lo cual se empleará la información pluviométrica de la **ESTACION CO NARANJILLO.**

El proceso para calcular el caudal máximo por cada método es el siguiente:

- ✓ **Método de SCS**

Paso 1: Cálculo de características fisiográficas de la cuenca del río Yuracyacu.

Se calculan previamente, las siguientes características fisiográficas, tal como se presentan en la Tabla 22:

Tabla 22

Características Fisiográficas de la cuenca del Río Yuracyacu– Método del Número de Curva N

SIMBOLO	DESCRIPCION	VALOR
A	Área de la cuenca colectora en Km^2	230.17Km2
Tc	Tiempo de concentración en horas	2.00 horas
N	Número de curva de escurrimiento	N = 70

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la curva N se dividirá en 3 partes la cuenca del río Yuracyacu, representándose de la siguiente manera; **cuenca 1** es la parte más baja dedicado al sembrío de cereales, **cuenca 2** es la parte intermedia comprendida por pastizales, **cuenca 3** comprendido por la parte más alta conformado por los cultivos, siendo el **N** total la ponderada de las 3 subcuencas y se consideró lo siguiente:

Uso de la tierra: cultivada, cubierta de pastos (pastizales) y cubierta de bosques

Pendiente: > a 1%

Grupo hidrológico de suelo: A (bajo potencial de escorrentía)

Con el uso y tipo de suelo, se asigna a cada unidad hidrológica un valor de número de curva a partir de las tablas para el método de infiltración del SCS dadas por Maidment en su texto "Handbook of Hydrology".

Por último el número de curva asignado a cada zona se corrige para considerar la pendiente de la cuenca. Dicha corrección se realiza con la expresión de Arnold (Arnold J.R. et al. Soil and Water Assesment Tool – Theorical Documentation. Version 2001. Agricultural Research Service, Texas Agricultural Experiment Station- Temple (Texas), april 2001):

$$CN = \frac{CN_{III} - CN_{II}}{3} * (1 - 2 * e^{-13{,}86 \cdot s}) + CN_{II}$$

CN: Valor de número de curva ajustado.

CNII: Número de curva condición humedad antecedente media (valor asignado a cada zona hidrológica).

CNIII: Número de curva condición humedad antecedente tipo III.

S: Pendiente de la cuenca (%).

Uso del suelo	Área (Km^2)	Porcentaje (%)	s	CN II	CN III	CN Calculado	CN Ponderado
Sembrío de arroz,maiz,ectc(cereales)	70.380	30.58	6.78	72	86	77.00	54
Pastizales	12.836	5.58		47	67	54.00	
Bosques	146.954	63.85		36	56	43.00	
Totales	230.217	100.00					

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Cálculo de precipitaciones máximas de duración 6 horas para diferentes periodos de retorno.

Se calculan los valores de precipitación (P) de duración 6 horas y períodos de retorno de acuerdo a las avenidas del proyecto. Lo anterior en base a la precipitación máxima en 24 horas (Ver Anexo 01), con información pluviométrica de la **Estación CO Naranjillo.**

De la información de Precipitación Máxima en 24 horas registrada por el SENAMHI para el período 2002 – 2017, se selecciona la de mayor valor, tal como se presenta a continuación:

Tabla 23

Precipitación máxima en 24 horas para la Estación CO Naranjillo.

Año	Precipitación máxima en 24 horas (mm)
2002	198.50
2003	210.10
2004	194.00
2005	259.50
2006	268.40
2007	342.60
2008	332.40
2009	240.30
2010	184.30
2011	204.40
2012	246.80
2013	270.00
2014	334.60
2015	332.70
2016	309.00
2017	248.10

Fuente: SENAMHI y Elaboración propia.

Luego, se ha ordenado y realizado el procesamiento estadístico de la información y aplicando el Método de Gumbell, se ha calculado la precipitación máxima caída en 24 horas para diferentes períodos de retorno (Tr). Los resultados son los siguientes:

Aplicando método de Gumbell

Ordenando las precipitaciones máximas en 24 horas de mayor a menor.

Tabla 24

Aplicación del método de Gumbell.

Nº	Año	Mes	Precipitación (mm)	
		Max. Precip.	*xi*	*(xi - x)^2*
1	2007	Noviembre	342.60	20588.6627
2	2014	Marzo	276.20	5942.48266
3	2015	Enero	248.10	2399.77516
4	2008	Febrero	248.10	2399.77516
5	2016	Abril	243.70	1988.04516
6	2013	Marzo	215.10	255.600156
7	2006	Febrero	191.50	57.9501563
8	2005	Diciembre	190.90	67.4451563
9	2017	Marzo	187.60	132.537656
10	2012	Febrero	184.30	219.410156
11	2008	Febrero	182.40	279.307656
12	2003	Noviembre	168.50	937.125156
13	2011	Octubre	163.80	1246.97266
14	2002	Octubre	148.50	2561.62516
15	2004	Noviembre	114.20	7210.13266
16	2010	Marzo	80.30	14116.4102

Fuente: Elaboración propia.

Precipitación Media Máxima.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{4175.7}{16}$$

$$\bar{x} = \mathbf{260.98\ mm}$$

Desviación Estándar.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{45625.4}{15}} = 55.15$$

$$\boldsymbol{\sigma_x = 55.15\ mm}$$

Factor de Frecuencia.

$$K = \frac{y - y_n}{\sigma_n}$$

$$y = -Ln[-Ln(1 - P)]$$

Para el cálculo de y_n, σ_n, se utiliza los valores de la Tabla N° 07, para **n=16.**

Y_n = 0.52

σ_n = 1.03

Resultados de factor de frecuencia "K" y la variable reducida "y" para diferentes periodos de retorno:

Tabla 25

Valores del factor frecuencia para diferentes periodos de retorno.

Tr (años)	y	K
2	0.36	0.50
5	1.49	0.8
10	2.25	0.9
25	3.19	0.96
50	3.90	0.98
100	4.60	0.99
140	4.93	0.99
500	6.21	0.99

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, de acuerdo a la *ecuación* "$x = \bar{x} + K\sigma_x$", utilizando el factor de fecuencia "K" para cada periodo de retorno, la media de las precipitaciones máximas "$\bar{x}$", y la desviación estándar "σ_x", se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 26

Precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno.

Período de retorno (Tr) en años.	Precipitación máxima 24 horas (mm)
2	284.67
5	339.74
10	376.21
25	422.28
50	456.46
100	490.39
140	506.81
500	568.79

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se ha realizado la distribución porcentual de la precipitación en 6, 12 y 24 horas respectivamente.

Tabla 27

Distribución porcentual de las precipitaciones en 6, 12 y 24 horas.

Período de Retorno (Tr)	6 horas (75%)	12 horas (85%)	24 horas (100%)
2	173.64	227.73	284.67
5	207.24	271.79	339.74
10	229.48	300.96	376.21
25	257.59	337.82	422.28
50	278.44	365.17	456.46
100	299.13	392.31	490.39
140	309.15	405.44	506.81
500	346.96	455.03	568.79

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto los valores de precipitación máxima para duración de 6 horas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 28

Precipitación máxima en 6 horas para diferentes periodos de retorno.

Período de Retorno (Tr)	Precipitación máxima en 6 horas (mm)
2	173.64
5	207.24
10	229.48
25	257.59
50	278.44
100	299.13
140	309.15
500	346.96

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Cálculo de escorrentía.

Con el valor de N = 54, se calcula la escorrentía (Ei) para cada una de las precipitaciones, con duración de 6 horas, y diferentes períodos de retorno determinadas en el paso anterior, aplicando la siguiente *ecuación*:

$$Ei = \frac{[N(P + 50.80) - 5{,}080]^2}{N[N(P - 203.20) + 20{,}320]}$$

Siendo:

Ei = Escorrentía, en mm.

N = Número de curva.

P = Precipitación de duración 6 horas y determinado periodo de retorno, en mm.

En la siguiente tabla, se presentan los valores de Ei calculados para diferentes períodos de retorno (Tr):

Tabla 29

Escorrentía para diferentes periodos de retorno.

Período de Retorno Tr (años)	Ei (mm)
2	49.020
5	70.690
10	86.133
25	106.649
50	122.479
100	138.631
140	146.584
500	177.339

Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Cálculo del valor del gasto unitario.

Con el valor de tiempo de concentración (**Tc = 2.00 hr**), calculado anteriormente, se determina el **caudal unitario (q)**, según los valores de la Tabla N° 09, cuyo valor obtenido es:

q = 0.10 (m^3/seg) / (mm–Km^2)

Paso 5: Cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

Como paso final, empleando el valor de Ei, se calculan los caudales máximos para diferentes valores de (Tr), aplicando la siguiente *ecuación*:

$$Q_{máx} = Ei.q.A$$

Tabla 30

Cálculo de caudales máximos para diferentes periodos de retorno.

Tr (años)	Ei (mm)	qi (m^3/s)/(mm-km^2)	A (km2)	Q (m3/seg)
2	88.46	0.100	230.17	1128.31
5	116.87	0.100	230.17	1627.08
10	136.29	0.100	230.17	1982.52
25	161.34	0.100	230.17	2454.74
50	180.23	0.100	230.17	2819.11
100	199.19	0.100	230.17	3190.87
140	208.42	0.100	230.17	3373.94
500	243.63	0.100	230.17	4081.81

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los valores de caudales máximos obtenidos, a partir de la información pluviométrica de la **Estación CO Naranjillo.**

Tabla 31

Caudales máximos para diferentes periodos de retorno – Método US Soil Conservation Service (SCS) o Curva N.

Período de retorno (Tr) en años.	Caudal máximo (m3/seg.)
2	1128.31
5	1627.08
10	1982.52
25	2454.74
50	2819.11
100	3190.87
140	3373.94
500	4081.81

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Meto de Creager**

Para el cálculo del caudal por el método de Creager se utilizará la siguiente formula

$$Qmax = (c_1 + c_2)\log(T)\,A^{mA^{-n}} \qquad (25)$$

Los valores de c_1, c_2, m, n, se obtuvieron de la tabla N° 12, de acuerdo a la región en que se encuentra ubicada la cuenca del río Yuracyacu.

Región	2
c1	0.1
c2	1.28
m	1.02
n	0.04
T	100 Años
A	230.17km2

T= Periodo de retorno seleccionado para el diseño de la obra de protección

A= Área de la cuenca en km2

Remplazando valores anteriores en la ecuación 25 se obtiene:

$$Qmax = (0.1 + 1.28) * \log(100) * (230.17)^{(1.02*230.17)^{-0.04}}$$

$$Qmax = 239.41 m3/seg$$

- ✓ **Método Racional**

Para el cálculo del caudal máximo se empleará la siguiente formula.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

C =0.4 de acuerdo a la tabla N° 12 para cultivos y suelos semipermeables con una pendiente < al 1%

A=230.17km2

I=96.20 mm/h (para una duración igual al tiempo de concentración)

Luego remplazando cada valor en la formula general se obtiene:

$$Q = \frac{0.4 * 96.20 * 230.17 * 100}{360}$$

$$Q = 2460.26 m3/seg$$

- ✓ **Método Directo**

Se calcula en base a información recolectada de campo para avenidas extraordinarias ubicado en el **km 01+920.00**, donde aplicaremos la siguiente fórmula para calcular el caudal máximo

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n} \qquad (22)$$

Datos:

$n = 0.040$ (Este valor está basado en la superficie y condiciones de las paredes del rio)

$A = 117.053m2$ (Obtenido mediante el software AutoCAD)

$P = 51.27m$ (Obtenido mediante el software AutoCAD)

$S = 0.0022133\ m/m$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{117.053}{51.271} = 2.283m$$

Luego remplazando cada uno de los datos en la formula

$$Q = \frac{1}{0.04} * (117.05) * (2.283)^{\frac{2}{3}}(0.002)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = 238.69\ m3/seg$$

4.2. Cálculo de Caudal de Diseño Para las Obras de Protección frente a la Vulnerabilidad que genera las Inundaciones en la Margen derecha del Río Yuracyacu.

El caudal de diseño para las obras de protección frente a la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del rio Yuracyacu, Localidad de Yuracyacu, es calculado en función al periodo de retorno seleccionado (Tr), donde se ha tenido en consideración que son estructuras hidráulicas que permitirán controlar el caudal del rio en un tiempo relativamente corto, por lo que para este tipo de obra la vida útil (n) es de 40 años y el riesgo Hidrológico R es del 25% de acuerdo al reglamento al manual de carreteras Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

4.2.1. Cálculo del Periodo de Retorno (Tr).

R= 0.25

n= 20 años

Luego remplazamos los valores en la siguiente ecuación:

$R = 1 - (1 - 1/Tr)^n$

Aplicando el cálculo para un riesgo igual al 25%, se obtiene un periodo de retorno de Tr=70.26 años, por recomendación trabajaremos con Tr=100 años.

Calculamos el riesgo para un periodo de retorno de 100 años, y obtenemos un riesgo R=0.18, lo cual significa que la probabilidad que la obra de protección falle durante su vida útil es menor.

Por lo tanto:

Tr = 100 años

4.2.2. Caudal de Diseño para la Obra de Protección frente a la Vulnerabilidad que Genera las Inundaciones en la Margen Derecha del Río Yuracyacu.

El caudal de diseño para la Obra de Protección frente a la Vulnerabilidad que genera las Inundaciones en la Margen derecha del Río Yuracyacu, se calculara de acuerdo a periodo de retorno calculado Tr=100años.Por lo tanto a continuación mostramos un cuadro resumen de los caudales calculados por los métodos seleccionados para este proyecto de investigación.

Método	Caudal (m3)
M. SCS	5765.13
M. Creager	239.41
M. Racional	1995.31
M. Directo	238.69

Ante el cálculo de los caudales máximos podemos observar los métodos de **Soil Conservation Service (SCS)** y el **Método Racional** nos proporcionan resultados muy alterados, ya que estos métodos son recomendables para cuencas pequeñas con áreas menores a los 10 km2.

Por lo que el caudal de diseño para la presente tesis es la media armónica de los métodos **M. Creager y M. Directo.**

$$Q_{diseño} = \frac{239.41 + 238.69}{2} = 239.05 \frac{m^3}{seg}$$

$$Q_{diseño} = 239.05\, m^3/seg$$

4.2.3. Topografía del Cauce del Rio Yuracyacu

El estudio topográfico del tramo de interés, donde se proyectara la obra de Protección frente a la Vulnerabilidad que Genera las Inundaciones en la Margen Derecha del Río Yuracyacu, el levantamiento topográfico se realizó ambas márgenes del rio así como también el cauce del río Yuracyacu, se utilizó los equipos de Estación Total y Nivel de Ingeniero para el respectivo levantamiento, donde se realizó el respectivo levantamiento para una tramo de

río de **05 Km + 300.00 m** obteniéndose una información bien detallada de la morfología del Río Yuracyacu y extendiéndose hasta 50.00 m en las márgenes del río, elaborándose un Plano Topográfico con curvas de nivel que nos ha permitido interpretar fácilmente la morfología del río. Teniendo como Progresiva 0+00.00 en el puente de cruce N°01 del río Yuracyacu ubicado cerca a la desembocadura del río Yuracyacu y la Progresiva Km 05 + 300.00 está ubicado a 760 metros del puente de cruce hacia Ucrania.

El fondo de río Yuracyacu en el tramo estudiado cuenta con un nivel de 806.41 msnm en la progresiva Km 05 + 300.00 y un nivel de 810.21 en la Progresiva 00 + 00.00 y con respecto a la ribera cuenta con 810.00 msnm y 815.00 msnm respectivamente. El río Yuracyacu cuenta con curvas muy agudas haciendo cambios de dirección muy bruscos.

El cauce del río Yuracyacu presenta una sección hidráulica el cual es irregular. Donde los taludes medios del cauce del río Yuracyacu son: en la margen derecha y margen izquierda presentan un valor promedio de Z= 1.5 aguas arriba desde el puente N°1 ubicado cerca a la desembocadura.

A continuación se muestra la siguiente tabla con valores de los BMs donde facilitaran el replanteo topográfico.

Tabla 32

Red de BMS del estudio topográfico.

NOMENCLATURA	COTAS (msnm)	COORDENADAS	
		NORTE	ESTE
BM – 1	814.17	9344942.120	254120.120
BM – 2	814.11	9344935.935	254096.897
BM – 3	814.43	9344391.623	253266.844
BM – 4	814.43	9344392.317	253242.428
BM – 5	813.08	9344194.624	253038.246
BM – 6	816.82	9343268.060	253083.862
BM – 7	816.82	9343251.990	253084.272

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Hidráulica Fluvial en el Área de Proyecto

4.2.4.1. Morfología del Río Yuracyacu en el Área de Proyecto

Para conocer la morfología del rio Yuracyacu, se realizó el reconocimiento del área de proyecto con la finalidad de definir el tramo de interés del curso de agua, teniendo en

consideración que la zona afectada es la margen derecha del rio Yuracyacu, lugar donde está ubicado la localidad de Yuracyacu.

4.2.4.2. Pendiente del Cauce del Río Yuracyacu en tramo de interés

La pendiente media para este proyecto de investigación en el tramo de interés será calculado por el método de Taylor Schwarz en una longitud de 5300.00 metros de cauce de río.

El valor de la pendiente media del cauce (S) ha sido obtenido de la siguiente ecuacion:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{s_i^{1/2}}} \right]^2$$

Dónde:

S : Pendiente media del cauce.

L_i : Longitud del tramo i.

s_i : Pendiente del tramo i.

Reemplazando valores según la fórmula, se tiene:

Tabla 33:

Cálculo de pendiente del cauce del río Yuracyacu.

TRAMO	COTA (msnm)		DISTANCIA	PENDIENTE		
	SUPERIOR	INFERIOR	L_i (m)	(S_i)	$\sqrt{S_i}$	$L_i/\sqrt{S_i}$
1	814.330	814.086	780	0.000312821	0.0177	44100.8531
2	814.086	813.643	720	0.000615278	0.0248	29026.6477
3	813.643	812.776	780	0.001111538	0.0333	23395.5013
4	812.776	812.683	420	0.000221429	0.0149	28224.9032
5	812.683	812.649	680	5.0E-05	0.0071	96166.5222
6	812.649	811.100	820	0.001889024	0.0435	18866.6620
7	811.100	810.830	1100	0.000245455	0.0157	70211.3212
		TOTAL =	**5300**		**TOTAL=**	**309992.4108**

Fuente: Elaboración propia

$$S = \left[\frac{5300}{309992.4108}\right]^2$$

$$\underline{\boldsymbol{S} = \mathbf{0.0003}}$$

De acuerdo al valor obtenido se puede observar que la pendiente que presenta el cauce es muy baja por lo cual condiciona la velocidad del flujo ocasionando la sedimentación en ciertos tramos, generando inundación en la margen derecha del río Yuracyacu en el tramo de interés.

4.2.5. Sección estable del Rio Yuracyacu en el tramo de interés

El cálculo del ancho estable del rio Yuracyacu nos permite determinar cuáles son los posibles efectos que se pueden presentar mediante la sedimentación y erosión ocasionadas por las máximas avenidas que se presentan en el tramo de interés. Por lo que es muy importante conoces los valores de los factores en función al tipo de material del cauce empleando tablas conocidas.

4.2.5.1. Cálculo del ancho estable en el tramo de interes, aplicando el método de Blench-Altunin

El método, se sustenta en la *ecuación N°30:*

$$\mathrm{B} = 1.81\left(\frac{\mathrm{Q_{max}}.\,\mathrm{F_b}}{\mathrm{F_s}}\right)^{1/2}$$

Dónde:

Q_{max}= caudal de diseño en m^3/seg.

F_s = Factor de orilla. Ver tabla Nº 14.

F_b = Factor de fondo.

B = amplitud de cauce en m.

Cálculo del Factor de orilla (F_s)

El valor del factor de orilla Fs, tiene en cuenta la concentración del material transportado en suspensión, el diámetro de las partículas de fondo y la resistencia de las orillas a ser erosionada a la Tabla N°14 el valor de **Fs** es de **0.30.**

Cálculo del Factor de Fondo (F_b)

El cálculo del factor de fondo **Fb** está en función del tipo de material que comprende el fondo del cauce, para el caso del proyecto, el río Yuracyacu cuenta con materiales finos en el fondo de río, por lo tanto de acuerdo a la Tabla N°13 le corresponde un valor **Fb=0.80.**

Luego de obtener los valores de factor de fondo **Fb** y factor de orilla **Fs,** aplicamos la ecuación N°30.

F_b = 0.371

F_s = 0.30

$\boldsymbol{Q_{max}}$ = 239.05 m^3/seg, para el período de retorno considerado (100 años).

$$\boldsymbol{B = 1.81x\left(\frac{QxFb}{Fs}\right)^{1/2} = 1.81x\left(\frac{239.05x0.8}{0.3}\right)^{1/2} = 45.70\ m}$$

Por lo tanto: **B =46.00 m**

Cálculo del ancho estable en el tramo de interés aplicando el método de Simons y Henderson.

Este método se sustenta en la *ecuación N° 31*:

$$B = K_1\,(Q)^{1/2}$$

Dónde:

B = amplitud de cauce en metros.

Q = caudal de diseño en m^3/seg

K_1 = Condiciones de fondo del cauce del río

Para la aplicación del método de Simons y Henderson, teniendo en consideración las condiciones de fondo así como de las orillas del río Yuracyacu en el tramo de interés, el valor de K_1 seleccionado (según Tabla N° 15) es de 2.80.

Remplazando valores en la formula correspondiente, se obtiene que:

$$B = K_1\,(Q)^{1/2} = 2.80x(239.05)^{1/2} = 43.29$$

B = 44.00 m.

Tabla 34

Ancho estable por Método de Blench Altunin y de Símons y Henderson para el río Yuracyacu.

Método	Q máximo (m^3/seg) (*)	(K_1)	Factor de Fondo (Fb)	Factor de orilla (Fs)	ANCHO ESTABLE (m)
Blench – Altunin	239.05	-----	0.371	0.30	**46.00**
Símons y Henderson	239.05	2.80	------	---------	**44.00**
Ancho estable considerado para el rio Yuracyacu					**45.00**

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del ancho estable no erosionable, se realizara mediante la media armónica de los resultados obtenidos por cada uno de los métodos analizados.

Por lo tanto, el valor de la sección estable **B** del río Yuracyacu en el tramo de interés, deberá ser **B = 45.00 m.**

De acuerdo a las secciones transversales del río, el ancho baria entre 14.00 m y 35.00 m a lo largo del tramo de interés.

4.2.5.2. Rugosidad del Cauce del Rio Yuracyacu, en el tramo de interés.

El valor de la rugosidad de Maning, que se a obtenido levantando la información de campo y aplicando el Método de Cowan.
El valor de "n", se ha obtenido en base a la tabla N°17:

Tabla 35

Cálculo del coeficiente de rugosidad del cauce según Cowan para el río Yuracyacu.

CONDICION DEL CAUCE	SIMBOLO	VALOR
Material : Tierra y grava fina	n_o	0.020
Irregularidad: menor	n_1	0.005
Variación de la sección Transversal: Ocasionalmente alternante	n_2	0.005
Efecto relativo de obstrucciones: Menor	n_3	0.000
Vegetación: Baja.	n_4	0.005
Presencia de meandros: Severa.	n_5	1.150

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la *ecuación N° 32*, se tiene:

n = (no + n1 + n2 + n3 + n4) n5= (0.020+0.005+0.005+0.000+0.005) x1.15=0.04

n = 0.040

4.2.5.3. Tirante de Máxima Avenida

El tirante de máxima avenida se ha calculado teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Coeficiente de rugosidad del cauce n = 0.040

- Pendiente del tramo de interés s = 0003

- Ancho de la sección natural del río B = 45.00

- Talud medio del cauce z = 1.50

- El caudal de diseño que corresponde para un periodo de retorno de 100 años Q = 239.05 m3/seg.

Por lo que fue necesario aplicar el Software Hcanales (Ver Anexo 02), obteniéndose el tirante máximo de avenida con un valor de **4.428m.**

Por lo tanto:

Ymax= 4.428m

Para esta condición de diseño, la velocidad del flujo es de ***V=1.045m/seg***.

4.2.5.4. Profundidad de Socavación

La profundidad de socavación Hs, nos permitirá determinar la profundidad de cimentación del dique de tierra.

Para este proyecto de investigación se ha calculado la profundidad de socavación a una distancia entre los 15 y 20m de la orilla del río aproximadamente.

Para el cálculo de la socavación, se ha considerado el método propuesto por List Van Lebediev, que se ajusta a las características morfológicas e hidráulicas del río Yuracyacu en el tramo de interés.

Para suelos no cohesivos, se emplea la ecuación N°40:

$$Y_s = \left[\frac{a(Y_{\max})^{5/3}}{0.68(Dm)^{0.28}(b_o)}\right]^{1/(1+x)}$$

Dónde:

Y_s = Profundidad a la que se ubica la Socavación, desde la superficie de agua hasta el fondo del cauce.

Dm = Diametro medio de partículas (valor obtenido de la tabla N°20)

Dm = 0.15 mm (el material encontrado en el tramo de interés es arena fina)

b_o = Coeficiente de frecuencia con que se repite la avenida. Ver Tabla N° 18. b_o=1.004

$$\frac{1}{1+x} = 1.004 \; de\ acuerdo\ a\ la\ tabla\ N°19(interpolando\ valores)$$

Cálculo del valor de "a"

$$a = Q \; / \; (Y_{\max}{}^{5/3}.B)$$

$$\text{a} = \frac{239.05}{4.428^{5/3} x 45.00} = 0.44$$

Cálculo de la Profundidad de Socavación (Hs)

$$Y_s = \left[\frac{0.44x4.428^{5/3}}{0.68x0.15^{0.28}x1.004}\right]^{0.70} = 6.085m$$

Luego; la profundidad de socavación será:

$H_s = Y_s - Y_{max}$= 6.085 m – 4.428 m = 1.657 m

4.2.5.4.1. Planteamiento Hidráulico

Teniendo en cuenta el objetivo principal del proyecto, que es realizar el diseño e instalación de una obra de protección para controlar las inundaciones en la margen derecha del rio Yuracyacu, así como la morfología del rio, comportamiento hidrológico de la cuenca, para lo cual se propuesto la alternativa ideal para la solución del problema.

Obras para el control de la inundación

La propuesta que se utilizará como obra de protección frente a la vulnerabilidad que genera las inundaciones será un dique de tierra compactada adyacente y casi paralela al cauce del rio Yuracyacu.

El planteamiento hidráulico considera como obra de protección un dique de tierra compactada para neutralizar el rebose del agua en la margen derecha el rio Yuracyacu (Zona Urbana).
En el plano PH se presenta el planteamiento hidráulico del proyecto que comprende la ubicación del dique de tierra compactada.

Criterios de diseño

Para el diseño de la obra de protección propuesta en la presente tesis ha tenido en consideración los siguientes criterios:
Obras similares ya construidas en la región, como es en el cauce de los ríos Huallaga, Mayo, en actual operación y que a la fecha presentan resultados satisfactorios en lo que respecta a estabilidad, seguridad y protección a la población.

Se ha tenido en consideración los parámetros hidrológicos, hidráulicos y de mecánica de suelos, cuyos valores han sido determinados en los estudios básicos de ingeniería de los deferentes componentes estructurales que conforman la obra de protección frente a la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del rio Yuracyacu.
La obra de protección proyectada, es una obra que no genera ningún impacto ambiental negativo en el tramo de interés, ya que es parte de la misma naturaleza, así mismo genera una mejora de calidad y condición en la población de Yuracyacu.

4.2.5.5. Diseño hidráulico de dique de tierra

4.2.5.5.1. Localización en planta

Para la localiza en planta del dique de tierra compactada, que servirá para evitar la inundación en la margen derecha del rio Yuracyacu en la localidad de Yuracyacu, por lo cual ha sido necesario utilizar la topografía de la zona urbana por donde discurre el agua de inundación.
Ha sido necesario realizar el trazado el eje del dique el cual sigue adyacente y casi paralelo al borde del rio siguiendo la margen derecha hasta llegar al puente ubicado cerca a la desembocadura del rio Yuracyacu.
En el plano PH se presenta la localización en planta del dique de tierra propuesto para esta tesis.

4.2.5.5.2. Longitud del dique de tierra

El dique de tierra está compuesto por un solo tramo, con una longitud de **3547.41 metros.** El dique inicia a 600 metros del puente de cruce hacia plantanayacu aproximadamente y continua por la margen derecha hasta el primer puente de cruce del rio Yuracyacu cerca a la desembocadura del rio Yuracyacu, tal como se muestra en el plano PH.

4.2.5.5.3. Elevación y pendiente de la corona del dique

La elevación o altura del dique de tierra, es variable, la altura mayor es de 3.98 metros la misma que ha sido determinada en función del nivel de inundación y al borde libre 1/3 del tirante de inundación, que responde a la configuración morfológica de la ribera en la margen derecha del rio, sobre el cual descansará el dique de tierra.

La pendiente del dique es uniforme para todo el tramo (s=0.0003) no presenta variaciones y es la misma que la pendiente calculada en el tramo de interés para el cauce.

Nivel inicial de corona = 815.000 m.s.n.m.

Nivel final de corona = 814.291 m.s.n.m.

Pendiente de la corona = Variable según tramos.

Altura de dique = Variable según perfil del terreno natural.

4.2.5.5.4. Talud de las caras del dique de tierra

Según el diseño propuesto, las dimensiones y características del dique de tierra, son las siguientes:

Ancho de corona = 4.00 m

Ancho de la base = Variable, según terreno natural.

Talud interno = 1.5 : 1

Talud externo = 1.5 : 1

Estos taludes en ambas caras, garantizan la estabilidad de la estructura conformada por un dique de tierra compactada y de sección trapezoidal.

4.2.5.6. Diseño estructural del dique de tierra

Se ha considerado la construcción de un Dique Longitudinal fuera del cauce, paralelo y adyacente a la ribera derecha del río Yuracyacu.

Teniendo en consideración que el dique de tierra, no constituye una estructura sujeta a presiones de relleno lateral ni cargas móviles, conviene que la verificación de su estabilidad se realice para la condición más crítica y esta sucede cuando el tirante de agua corresponde al nivel de la avenida de diseño (nivel de inundación) y será la presión del agua la que actúe en la cara húmeda del dique. Sin embargo, es preciso indicar que las características geométricas lo harán más estable.

Según el diseño propuesto, las dimensiones y características del dique de tierra, son las siguientes:

Ancho de corona = 4.00 m

Ancho de la base = Variable, según terreno natural.

Talud interno = 1.5 : 1

Talud externo = 1.5 : 1

Altura de dique = Variable según perfil del terreno natural.

En lo que respecta al cálculo estructural, se ha desarrollado para una sección con una altura promedio de todas las secciones transversales del dique, donde el agua alcanza el nivel máximo de inundación que es de 0.85 m sobre el terreno natural.

El emplazamiento del dique longitudinal, se presenta en el Plano Planteamiento hidráulico PH.

A continuación presentamos la verificación de la estabilidad del dique de tierra.

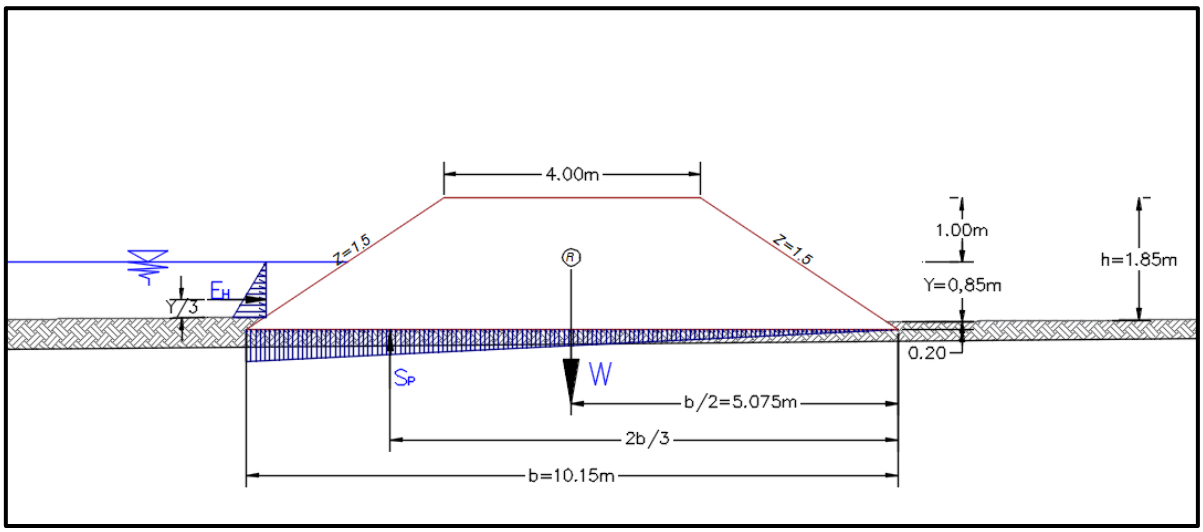


Figura 19: Gráfico para la Verificación de la estabilidad del dique de tierra. (Elaboración propia)

Sección Representativa de Dique de Tierra

Condición: Más desfavorable. (Máximas avenidas)

Donde:

W: Peso de la estructura en Tn.

Sp: Subpresión en Tn.

E_H: Fuerza Hidráulica en Tn.

γ_a = peso especifico del agua = 1 tn/m^3

b = ancho o base del dique = 9.40 m.

Y = tirante hidráulico de diseño = 1.00 m.

Análisis de estabilidad del dique

Estabilidad al Deslizamiento (Ed)

Para comprobar que no haya desplazamiento horizontal se tiene que comprobar la siguiente ecuación

$$Ed = \frac{\sum Fv}{\sum Fh} \geq 1.5$$

Fv = sumatoria de fuerzas verticales

$Fh = sumatoria\ de\ furzas\ horizontales$

$Ed = Factor\ de\ seguridad\ de\ desplazmiento$

Cálculo de las fuerzas hidráulicas producidas por el agua:

$E_H = \frac{1}{2}(\gamma_a)(Y)^2 = \frac{1}{2}(1\frac{Tn}{m^3})(0.85)^2$

$\boldsymbol{E_H}$ = **0.36Tn/m**

$E_v = (\gamma_a)x\frac{z+y^2}{2} = \frac{(1.0)x(1.5+0.85^2)}{2} = 1.11tn$

$\boldsymbol{E_v}$ = **1.11Tn/m**

$E_d = \frac{\sum F_v}{\sum F_H} > 1.5$

Dónde:

F_v: Fuerzas Verticales que actúan sobre la estructura.

$\sum F_v$ = W – Sp+Ev = 25.32- 4.31+1.11 = **22.12 Tn/m**

F_H: Fuerzas Horizontales que actúan sobre la estructura.

$\sum F_H$ = E_H = **0.36 Tn/m**

Remplazando valores:

$E_d = \frac{22.12}{0.36} = 61.4$

$\boldsymbol{E_d}$ = **61.4 > 1.20**

Conclusión:

El dique es estable y resistente al deslizamiento.

Estabilidad al Vuelco (Ev).

Para calcular las fuerzas producidas por el agua tomaremos momentos en el punto A, considerando que la cara seca y corona de dique no será afectada por agua ni tierra.

Cálculo de la subpresión (Sp):

$$S_p = \frac{1}{2}(\gamma_a)(Yxb) = \frac{1}{2}(1\frac{Tn}{m^3})(0.85x10.15)$$

$\boldsymbol{S_p}$ = **4.31 Tn/m**

Calculo del momento de volcamiento (Mv):

$$M_V = (E_H)\left(\frac{1}{3}Y\right) + (S_p)(\frac{2}{3}xb)$$

Luego:

$$M_V = (0.36)\left(\frac{1}{3}x0.85\right) + (4.31)(\frac{2}{3}x10.15)$$

$\boldsymbol{M_V}$ **= 29.26 Tn-m/m**

Calculo del momento resistente (Mr).

El momento resistente (Mr) será:

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

Dónde:

W = A Yg = Peso unitario del dique de tierra;

A = área del terraplén por unidad de longitud.

Yg = peso específico del material (tierra empapada)

Yg = 1.962 tn/m^3

Remplazando valores:

W = (13.09) (1.962) **= 25.68 Tn/m**.

Luego; remplazando valores:

$$\boldsymbol{M_r = (25.68)\left(\frac{10.15}{2}\right) = 130.33\ Tn - m/m}$$

Por lo tanto:

$$E_V = \frac{M_r}{M_v} = \frac{130.33}{29.26} = 4.39$$

$$\boldsymbol{E_V = \frac{M_r}{M_v} = 4.45} \ \textbf{> 2.0}$$

Conclusión:

Entonces, el dique de encauzamiento es estable al volcamiento.

<u>Capacidad de soporte del suelo</u>

Para el cálculo de (σ_t), se emplea la siguiente relación:

$$\sigma_t = \frac{\sum F_v}{b}(1 \pm 6\frac{e}{b})$$

Dónde:

$$e = \frac{(M_r - M_v)}{\sum F_v} = \frac{(130.33 - 29.26)}{22.12} = 4.57$$

e = 4.57

Luego:

$$\sigma_t = \frac{22.12}{10.15}(1 + 6\frac{4.57}{10.15})$$

$$\sigma_t = 8.07\frac{Tn}{m^2}$$

Que es lo mismo a:

$\sigma_t = 0.807\ Kg/cm^2$

Si se tiene en consideración que la naturaleza del suelo donde se emplazará el dique que según los ensayos de Mecánica de suelos arroja una capacidad portante $\boldsymbol{\sigma_{adm}}$ =0.92 Kg/cm^2 (Ver anexo 02).

Entonces, se tiene que:

$\boldsymbol{\sigma_{adm} = 0.92\ Kg/cm^2}$

Es decir se cumple la relación:

$$\sigma_t < \sigma_{adm}$$

$$0.807\ Kg/cm^2 < 0.92\ Kg/cm^2$$

Conclusión:

El dique de tierra, no estará expuesto al efecto del punzonamiento o hundimiento.

4.2.5.7. Características de los materiales utilizados en el dique de tierra y su permeabilidad

El dique de tierra tiene que estar compuesto de manera homogénea por un material arcilloso, por ende, para garantizar, su vida útil, estabilidad, funcionamiento y estética debe cumplir con los siguientes parámetros.

El Coeficiente de permeabilidad (K en cm/seg) estará entre los valores de: $1x10^{-8}\ A\ 1x10^{-6}$ (Se considera Impermeable)

Deberá tener potencial de expansión media, para ello el índice de plasticidad (IP) estará entre los valores de: 15-35. (CL).

No se aceptará arcillas con potencial de expansión alta o muy alto (CH, OH, MH)

Se compactará en espesores de 15cm a 25 cm con rodillo vibratorio con el óptimo contenido de humedad.

Para esta tesis, se ha trabajado con la Cantera de Material de Préstamo cerro Yorongos, con las siguientes caracteristicas:

CL: Arcilla inorgánica de consistencia semidura, de plasticidad media con LL=26.45%, LP=18.73%, IP=7.72% con presencia 35.47% de finos, de color amarillento con manchas

negras, con una compresibilidad y expansión media en condiciones saturadas, arena en 63.83% del total de la muestra.

4.3. Análisis y Presentación de Datos y Resultados

Una vez obtenido la información necesaria para el desarrollo de la presente tesis, se ha obtenido los siguientes parámetros, los cuales se emplearon para el Diseño Hidráulico y Estructural de la obra de protección propuesta en esta tesis.

Tabla 36

Parámetros para el Diseño Hidráulico y Estructural de Obras de Protección Frente a las inundaciones que genera el rio Yuracyacu.

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	VALOR
$Q_{diseño}$	Caudal de diseño.	239.05 m^3/s
S	Pendiente media del cauce en el tramo de interés.	0.0003
B	Ancho estable del río en el tramo de interés.	45 m
n	Rugosidad del cauce en el tramo de interés.	0.04
$Y_{máx}$	Tirante de diseño o de máxima avenida en el tramo de interés.	4.428 m
v	Velocidad de diseño	1.045 m/seg
H_s	Profundidad de socavación.	1.657 m

Fuente: Elaboración propia.

En base a los parámetros calculados de los estudios básicos de ingeniería, se ha realizado el diseño Hidráulico y Estructural de la obra de protección (dique de tierra) frente a la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del rio Yuracyacu.

Dique de tierra

En la presente tesis se considera la instalación de un dique de tierra adyacente y casi paralelo a la ribera derecha del rio Yuracyacu.

El dique de tierra comprende de un solo tramo, con una longitud de 3547.41 metros. El cual comienza en la progresiva (km 00+000) a 600 metros del puente de cruce con dirección al centro poblado de plantanuyaco y termina en la progresiva (km 03+347.41) en el puente de cruce cerca a la desembocadura del rio Yuracyacu tal como se muestra en el plano PH.

Según el diseño propuesto, las dimensiones y características del dique de tierra, son las siguientes:

Ancho de corona = 4.00 m

Ancho de la base = Variable, según terreno natural.

Talud interno = 1.5 : 1

Talud externo = 1.5 : 1

La vista en planta y perfil longitudinal del dique de tierra, se presenta en los Planos, PPL – DT.

CONCLUSIONES

Se realizará los estudios básicos de ingeniería, cuyos resultados permitieron la elaboración del planteamiento hidráulico, determinar el caudal de diseño para el dimensionamiento del sistema del sistema y comprobación de la estabilidad de la estructura.

Se realizará la construcción de un dique de tierra compactada, cuyo eje va adyacente y casi paralelo a la ribera derecha el río yuracyacu, el cual tendrá la función de mitigar las inundaciones en la localidad de Yuracyacu.

El dique de tierra propuesto tiene una longitud de 3547.41 metros, una pendiente de corona de S=0.0002, la altura del dique es variable de acuerdo a la configuración topografica del terreno y va desde los 0.13 m en el Km 00+000 hasta los 3.98 m en el Km 03+240, el talud en ambas caras es de Z=1.5:1

El caudal de diseño del sistema de protección frente a las inundaciones es de Q = 253.36 m3/seg, para un periodo de retorno seleccionado de TR = 100 años, vida útil de 20 Años y 18% de riesgo hidrológico.

Está garantizada la estabilidad de la estructura ya que ésta ha superado de manera satisfactoria las pruebas al vuelco, al deslizamiento y al punzonamiento.

La ejecución de esta obra de protección evitará la vulnerabilidad que genera las inundaciones en la margen derecha del rio Yuracyacu – Localidad de Yuracyacu.

Dentro del presupuesto de la propuesta económica, utilizar el aditivo MEGASOIL como impermeabilizante y capaz de mejorar la capacidad portante del suelo. Este aditivo se utilizara en la partida 04.01 (de material de relleno para dique respectivamente compactado) y en la partida 03.02 (perfilado y compactado de la sub-rasante).

El presupuesto de la propuesta como obra de protección considerando gastos generales, utilidad, I.G.V al 18%, asciende a un total de S/ 6, 752,655.19 (seis millones setecientos cincuenta y dos mil seiscientos cincuenta y cinco con 19/100), equivalente a S/. 1,903.5/ml.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para próximos estudios, evaluar la vulnerabilidad de la defensa ribereña en la margen izquierda del rio Yuracyacu, con la finalidad de complementar la protección de la zona rural frente a la localidad de Yuracyacu.

Se recomienda a las autoridades locales tener en consideración en presente trabajo con la finalidad de elaborar el proyecto para la gestión de recursos económicos tendientes a la ejecución del proyecto.

Con la finalidad de garantizar una mayor vida útil a esta obra de protección se recomienda, se recomienda realizar mantenimientos previos cada 06 meses así como también reforestar toda el área del proyecto.

Se recomienda realizar una limpieza del cauce rio en todo el tramo de interés, con la finalidad de que el flujo no sea interrumpido y evitar los daños y perjuicios a la obra de protección.

Se recomienda realizar la limpieza en la desembocadura del rio Yuracyacu hacia el río Mayo, ya que en este sector se concentra la palizada que arrastra desde las partes altas del río, por lo cual necesita una atención primordial en este sector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvaro LMK, Henríquez LA. Diseño hidráulico y estructural de defensa ribereña del río Chicama. Tramo puente Punta Moreno-Pampas de Jagüey alplicando el programa River. instnameUniversidad Priv Antenor Orrego [Internet]. 2014;147. Disponible en: http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/38049%0Ahttp://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf

Autoridad Nacional del Agua. Inundaciones En El Perú Aspectos Generales. 2007; Disponible en: http://www.rimd.org/advf/documentos/4962879bcbe32.pdf

Arias L, Muñoz A. Diseño de defensa ribereña utilizando geoceldas en la carretera Villa Rica - desvío Iscozacín (Km. 31,8), Oxapampa - Pasco. Univ Nac Agrar La Molina [Internet]. 2015; Disponible en: http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2144

ElioskaGalantonM . Y Liceet Romero M. Descripción de las Defensas Ribereñas (2007).

Base de Datos del Área de Riesgo Hidrometeorógicos, CENEPRED.

CENAPRED. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2001.

Chow V, Maidment D, Mays L. Hidrología aplicada. Hidrologia aplicada. 1994.

Creager SB, Porter ME. Stiff and tough: a comparative study on the tensile properties of shark skin. Zoology. 2018;

Custodio E, Llamas MR. Hidrología subterránea. Barcelona: Ediciones Omega SA. 1996.

Felices AR. Consideraciones sobre defensas fluviales con las espigones. 2009;(01):1-43.

Funcionalidad ROMY, Niños EN, Arj CON, Tapia AM, Carlos K, Mitchell A. Proyecto de tesis. 2012;

Final T, Teresa I, Bejarano V. Ministerio de Economía y Finanzas Dirección General de

Programación Multianual del Sector Público- DGPM Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o Control de Inundaciones en Areas Agrícolas o Urbanas. 2006; Disponible en: http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/1814/1/GuiaInundaciones.pdf

M. EG, Liccett Romero M. DESCRIPCION DE LAS DEFENSAS RIBEREÑAS. Esc Ing Y CIENCIAS Apl Dep Ing Civ Univ ORIENTE. 2007;

MACCAFERRI. Defensas ribereñas y obras transversales. 2011;20.

Maco García J. Hidrografía de la Región San Martín. 2003;32. Disponible en: http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/handle/minam/223/BIV00684.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rocha A. Problemática de las inundaciones y huaicos en el perú. 2007;1-12.

MTC (2008). *"Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje"*. Lima, Perú.

Rocha, A. (1998). *"Introducción a la Hidráulica Fluvial"*. Lima, Perú. 1era Edición

Segerer C, Villodas R. Estadística aplicada a la Hidrología. En: Hidrologia I. 2007.

SEGUNDO JUÁREZ & GRISELDA POMA. Informe De Zonas Criticas Región San Martín. 2007; Disponible en: www.pdffactory.com

Villón Béjar MG. Hidráulica de Canales. Lima Perú. 2002.

Referencias de internet

www.maccaferri-northamerica.com/sp/downloads/view

Manual para el control de inundaciones Comision Nacional del Agua

https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/flood-control

https://www.iwapublishing.com/news/flood-control-and-disaster-management

http://www.floodcontrolinternational.com/index.php

https://www.nap.edu/read/4939/chapter/9#182

https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/cambio-climatico-sequias-e-inundaciones

https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:ce8d7ee3-6ffb-4858-b663-549e09f79249?collection=education

https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:18c44a40-5de1-42d0-bb03-e96a5a903250

https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/127-CUADERNODEINVESTIGACINOBRASDEPROTECCINCONTRAINUNDACIONES.PDF

ANEXOS