

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE
PLANICIES DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO
DE LA CIUDAD DE OTUZCO DEPARTAMENTO DE LA
LIBERTAD - 2015”**

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

LINEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA

AUTORES:

Br. Granda Pereyra, Nidya Nathalia
Br. Villacorta Rodríguez, Claudia Alejandra

ASESOR:

Ing. García Rivera, Juan Pablo
CIP N° 68614

**TRUJILLO – PERÚ
2015**

**“SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE PLANICIES DE
INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO DE LA CIUDAD DE
OTUZCO DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD - 2015”**

Presentada por:

Br. GRANDA PEREYRA, NIDYA NATHALIA

Br. VILLACORTA RODRÍGUEZ, CLAUDIA ALEJANDRA

Aprobado por el jurado:

PRESIDENTE:

Ms. Ricardo Narváez Aranda

SECRETARIO:

Ing. Guillermo Cabanillas Quiroz

VOCAL:

Ing. Manuel Vertiz Malabrigo

ASESOR:

Ing. Juan Pablo García Rivera

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mi padre, Jorge Luis Granda Pinillos, ya que gracias a su apoyo incondicional y sacrificio, pude culminar con éxito los cinco años de estudios de la carrera de Ingeniería Civil. *Gracias papá por tus sabios consejos y por guiarme siempre por el camino de la honestidad, la disciplina e inculcarme tantos valores, los cuales, me ayudaron mucho en cada una de las decisiones que tomé.*

También quiero dedicar esta tesis a mi mamá que siempre me motivó a seguir adelante, siempre aconsejándome y alegrándose por cada logro.

Dedico también esta tesis a quien es una segunda mamá para mí, Susana Rojas Sandoval, quien me apoyó en todo momento en todos los aspectos.

A mis hermanos: Claudia, Luis Jordel, Luis Emilio, Diego, Banssi y Amparito; quienes de alguna u otra forma me apoyaron a lo largo de mi carrera.

A mis sobrinos Luis David y Pablito.

Por último, pero no menos importante, a mi primo William Sandoval, quien también fue un apoyo para mí.

Br. Nidya Nathalia Granda Pereyra

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mi madre, Paz Feliciana Rodríguez Varas, quien fue mi mayor motivo para culminar mi carrera. **Gracias mamá por ser mi ejemplo de lucha y perseverancia para culminar cada meta propuesta, gracias por estar siempre a mi lado y apoyarme en todo, por ser quién me motivó día a día para llegar al final del largo camino. Eres y serás siempre quien me de impulso para luchar por más.**

Se la dedico también a mi hermana, Jesús Cristina del Campo Rodríguez, por todo el esfuerzo que hizo durante los cinco años de mi carrera.

Quiero dedicar también mi tesis a mi segunda mamá, Bacilia Rodríguez Varas y a mi papá Julián Alfaro Rubio, quienes me aconsejaron, apoyaron y se alegraron por cada logro realizado.

A mis tías: Silvia, Rocío, Kelly y Betty por sus consejos, paciencia e impulso que me daban día a día y por ser mis amigas, quienes brindándome su confianza pude contar con ellas en todo momento. Gracias a todas ustedes por ser el mejor ejemplo para mí de empeño y dedicación.

A mis papás José Miguel Alfaro Rodríguez y Carlos Javier Alfaro Rodríguez, quienes a pesar de la distancia, estuvieron apoyándome en todo momento. Gracias por siempre acordarse de mí y estar de la mano siempre conmigo, son los mejores papás que siempre estaré agradecida de tener.

A mi tío Francisco Narváez, por sus consejos y ánimos para jamás darme por vencida.

Se las dedico también a mis sobrinas Luciana, Marcia, Gabriela, Marcela, Beatriz y Cristina.

Y por último, pero no menos importante a mis hermanos Julián, Francesas y Nicollo.

Br. Claudia Alejandra Villacorta Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, por darnos la sabiduría, fortaleza y motivación, principalmente en el transcurso de nuestra vida universitaria, siendo guía espiritual de cada uno de los pasos que hemos dado, que damos y seguiremos dando en el transcurso de nuestra vida.

Expresamos nuestro infinito agradecimiento a nuestro Asesor, el Ingeniero Juan Pablo García Rivera, quien de forma desinteresada nos brindó su ayuda y guía a lo largo de nuestra tesis. Gracias Ingeniero por ser su grandísima paciencia y dedicación, por brindarnos su valioso tiempo, por sus consejos, por el impulso y motivación que nos brindó. Siempre estaremos infinitamente agradecidas con Usted.

A nuestros padres y hermanos, por el sacrificio, confianza y apoyo brindado, por ser nuestros principales motivos para lograr nuestras metas, por sus consejos, los cuales nos ayudaron a ser lo que hoy en día somos, estando a punto de vernos convertidas en unas Profesionales.

A Claudia Granda Rojas por brindarnos su apoyo en todo momento, tomando parte de su tiempo en ayudarnos cada que lo requeríamos. Gracias por ser una buena asistente.

A Kelly Alfaro Rodríguez, por ayudarnos cada que lo necesitábamos.

A Ernesto Espinoza Urbina, por ser una de las personas que nos dio el impulso de iniciar este largo proceso y ayudarnos hasta el final de éste.

PRESENTACION

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada “Antenor Orrego” y el Reglamento Interno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, ponemos a vuestra disposición el presente trabajo de Suficiencia Profesional titulada: **“Simulación Hidráulica para determinación de planicies de inundación de la Quebrada San Ignacio de la Ciudad de Otuzco Departamento de La Libertad - 2015”**, con el propósito de obtener el título profesional de Ingeniero Civil, así como algunas experiencias para el desarrollo de la Ingeniería. Consideramos Señores miembros del jurado que con vuestras sugerencias y recomendaciones este trabajo pueda mejorarse y contribuir a la difusión de la investigación en nuestra Universidad.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación profesional en la Universidad, consulta de fuentes bibliográficas especializadas y con la experiencia del Asesor.

RESUMEN

El desarrollo de la presente tesis surge con el objetivo de dar seguridad y protección a los pobladores aledaños a lo largo del margen de la quebrada San Ignacio en la ciudad de Sinsicap.

A lo largo del margen de la quebrada se encuentran situadas muchas viviendas, las mismas que se encuentran expuestas ante los efectos erosivos, por el incremento del caudal de la quebrada San Ignacio, debido a ello las infraestructuras colapsarían trayendo como consecuencia la pérdida de muchas viviendas o incluso pérdidas humanas.

El incremento del caudal de la quebrada ocasionaría cuantiosas pérdidas en la actividad económica, la propiedad y grandes riesgos de pérdidas de vidas humanas.

Por tal motivo se pretende dar una solución determinando planicies de inundación con ayuda de software como, Civil3D, HecRas, GeoRas y ArGis; los cuales nos permiten hacer una simulación hidráulica de la quebrada, es así que los resultados, sumado a la base de conocimientos adquiridos en la universidad, nos permiten plantear una solución ante el problema expuesto.

ABSTRACT

The development of this thesis arises with the objective of providing security and protection to the surrounding residents along the margin of the brook San Ignacio in Sinsicap city.

Along the border of the gorge they are located many homes, the same as they are exposed to the erosive effects, increasing the flow of the brook San Ignacio, because this infrastructure collapse consequently resulting in loss of many homes or even loss of life.

The increased flow of the brook causes heavy losses in economic activity, property and high risks of loss of life.

Therefore it is intended to provide a solution determining floodplains using software as Civil3D, HecRas, Georas and argis; which allow us to make a hydraulic simulation of the gorge, so that the results, added to the knowledge base acquired in college, allow us to propose a solution to the problem at hand.

ÍNDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO	1
1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA	3
3. ANTECEDENTES	3
4. OBJETIVO GENERAL.....	4
5. OBJETIVO ESPECÍFICO	4
6. JUSTIFICACIÓN.....	5
7. UBICACIÓN POLÍTICA	6
8. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	6
9. LÍMITES.....	6
10. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA.....	7
11. VÍAS DE ACCESO	8
12. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.....	8
13. BENEFICIARIOS.....	8
14. DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y ÁREA DE ESTUDIO	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	10
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.1. QUEBRADA	11
1.2. RÍO	11
1.2.1. RÍOS DEL PERÚ.....	11
1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS	13
1.3. HEC-RAS	14
1.3.1. DEFINICIÓN	14
1.3.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	16
1.4. ARCGIS.....	19
1.5. CURVAS IDF.....	20
1.5.1. DEFINICIONES	21
1.5.2. DURACIÓN DE LA LLUVIA	21
1.5.3. PERÍODO DE RETORNO, T_r	21
1.6. PLANICIES DE INUNDACIÓN	22
1.6.1. CAUSAS DE LAS INUNDACIONES	23
1.6.2. ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA	25
1.7. SOCAVACIÓN	26
1.7.1. CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN GENERAL.....	26

1.7.2.	CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN ESPIGONES	27
1.7.3.	CÁLCULO DEL ANCHO ESTABLE	27
1.7.4.	EROSIÓN DE RIBERAS POR SOCAVACIÓN GENERAL DEL CAUCE.....	28
1.7.5.	EROSIÓN POR CONSTRUCCIÓN DEL CAUCE	28
2.	ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA	29
2.1.	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	29
2.2.	RECONOCIMIENTO Y PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIO	29
2.3.	METODOLOGÍAS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA ETAPA DE CAMPO.	30
2.4.	EQUIPOS UTILIZADOS	30
2.5.	METODOLOGÍA Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA ETAPA DE GABINETE..	31
3.	ESTUDIO HIDROLOGICO	32
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	32
3.2.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	32
3.3.	UBICACIÓN POLÍTICA	32
3.4.	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN IGNACIO.....	32
3.5.	INFORMACIÓN HIDROLÓGICA	32
3.6.	INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.....	32
3.6.1.	PRECIPITACIÓN.....	33
3.7.	ESTADO ACTUAL DE LA FRANJA RIBEREÑA Y CAUCE DEL RÍO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	33
4.	ESTUDIO HIDRÁULICO.....	33
4.1.	DEFINICIÓN	33
4.2.	NIVELACIÓN DEL FONDO DEL CAUCE	34
4.3.	SECCIÓN HIDRÁULICA	34
4.4.	CONDICIONES HIDÁULICAS.....	34
4.5.	LA EROSIÓN DE CUENCAS.....	35
4.6.	MODELADO HIDRÁULICO CON HEC RAS.....	36
4.6.1.	SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN FLUJO ESTACIONARIO: CONCEPTOS BÁSICOS	36
5.	INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA SIMULACIÓN.....	38
5.1.	COEFICIENTES DE RUGOSIDAD.....	38
5.2.	CAUDALES	40
5.3.	PENDIENTE DEL CAUCE	41
6.	SOCAVACIÓN.....	41
6.1.	SOCAVACIÓN GENERAL DEL CAUCE	41
CAPITULO III: RESULTADOS		45
1.	TOPOGRAFÍA	46
1.1.	DELIMITACION DEL AREA DEL PROYECTO	46

1.2.	MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)	47
2.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	48
2.1	PRECIPITACIÓN	48
2.2	CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	68
2.3	SELECCIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO DE DISEÑO	70
3.	SIMULACIÓN HIDRÁULICA	70
3.1	MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT).....	70
3.2	ANCHO ESTABLE TEÓRICO DEL CAUCE (B).....	71
4	MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC RAS.....	73
4.1	PLAN DE SIMULACIÓN.....	73
4.2	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	73
4.3	ELECCIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	74
4.4	COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN	76
4.5	INGRESO DE DATOS HIDRAULICOS: CAUDAL Y CONDICIONES DE CONTORNO	77
4.6	INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	79
4.6.1	PERFIL DEL FLUJO.....	79
4.6.2	LLANURA DE INUNDACIÓN	79
5	SOCAVACIÓN.....	81
	CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
1.	CONCLUSIONES	83
2.	RECOMENDACIONES	84
	CAPITULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	85
	CAPITULO VI: ANEXOS.....	87
1.	PANEL FOTOGRAFICO	88

INDICE DE IMÁGENES

Figura 1-1. Ubicación de la Provincia de Otuzco.....	7
Figura 1-2. Ubicación del Distrito de Sinsicap.....	7
Figura 1-3. Ubicación del Centro Poblado San Ignacio.....	7
Figura 1-4. Ubicación Satelital del Centro Poblado San Ignacio.....	7
Figura 2-1. Modelamiento de red de canales.....	15
Figura 2-2 Simulación de Planicie de Inundación (Vista en planta).....	16
Figura 2-3 Simulación de Planicie de Inundación.....	16
Figura 2-4. SIG Raster y Vectorial.....	19
Figura 2-5. Planicie de Inundación en 100 años.....	22
Figura 2-6. Cálculo de la Socavación General.....	27
Figura 2-7. Métodos para el cálculo de la socavación.....	27
Figura 2-8. Erosión de riberas por socavación.....	28
Figura 2-9. Variación de pendientes durante a erosión.....	36
Figura 2-10. Diagrama de los términos de la ecuación.....	37
Figura 2-11. Diagrama de socavación General del cauce.....	43
Figura 3-1. Área de proyecto.....	46
Figura 3-2. Modelo digital de elevaciones TIN.....	48
Figura 3-3. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	52
Figura 3-4. Gráfica de regresión T = 2 años.....	58
Figura 3-5. Gráfica de regresión T = 5 años.....	60
Figura 3-6. Gráfica de regresión T = 10 años.....	61
Figura 3-7. Gráfica de regresión T = 25 años.....	63
Figura 3-8. Gráfica de regresión T = 50 años.....	64
Figura 3-9. Gráfica de regresión T = 100 años.....	66
Figura 3-10. Gráfica de regresión T = 500 años.....	67
Figura 3-11. Modelo digital de elevaciones TIN.....	71
Figura 3-12. Ventana del programa HEC-RAS.....	73
Figura 3-13. Vista en planta del eje del levantamiento topográfico sobre el río San Ignacio.....	74
Figura 3-14. Perfiles de flujo o caudales de diseño según periodos de retorno.....	78

Figura 3-15. Condiciones de contorno de un flujo permanente con régimen mixto.....	78
Figura 3-16. Perfiles longitudinales del flujo para diferentes periodos de retorno.....	79
Figura 3-17. Llanura o superficie de inundación para distintos periodos de retorno.....	80
Figura 6-1. Erosión y Socavación.....	88
Figura 6-2. Viviendas desprotegidas.....	88
Figura 6-3. Viviendas desprotegidas.....	89
Figura 6-4. Viviendas desprotegidas.....	89
Figura 6-5. Viviendas desprotegidas.....	90
Figura 6-6. Cultivos desprotegidos.....	90
Figura 6-7. Cementerios desprotegidas.....	91
Figura 6-8. Puente en constante arrastre (Socavación).....	91

INDICE DE CUADROS

Cuadro I-1.- Descripción recorrido hacia el área del proyecto.....	8
Cuadro II-1.- Población del área de influencia.....	25
Cuadro II-2.- Unidades productores de bienes y servicios.....	26
Cuadro II-3.- Valores del coeficiente de rugosidad para cauces naturales.....	38
Cuadro II-4.- Valores del coeficiente de rugosidad.....	40
Cuadro II-5.- Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno.....	40
Cuadro II-6.- Pendiente del cauce.....	41
Cuadro II-7.- Coeficiente de contracción, μ	44
Cuadro III-1.- Datos de precipitación máxima.....	49
Cuadro III-2.- Parámetros morfométricos microcuenca San Ignacio.....	50
Cuadro III-3.- Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.....	52
Cuadro III-4.- Por periodo de retornos.....	54
Cuadro III-5.- Intensidades de lluvias por periodo de retorno.....	55
Cuadro III-6.- Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.....	56
Cuadro III-7.- Periodo de retorno para T= 2 años.....	57
Cuadro III-8.- Periodo de retorno para T= 5 años.....	59
Cuadro III-9.- Periodo de retorno para T= 10 años.....	60
Cuadro III-10.- Periodo de retorno para T= 25 años.....	62
Cuadro III-11.- Periodo de retorno para T= 50 años.....	63
Cuadro III-12.- Periodo de retorno para T= 100 años.....	65
Cuadro III-13.- Periodo de retorno para T= 500 años.....	66
Cuadro III-14.- Coeficiente de escorrentía de la cuenca.....	69
Cuadro III-15.- Cálculo del caudal máximo de diseño.....	70
Cuadro III-16.- Calculo Hidráulico.....	72
Cuadro III-17.- Tipo de canales.....	75
Cuadro III-18.- Coeficientes de contracción.....	77



*"SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE PLANICIES
DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO DE LA CIUDAD DE OTUZCO
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD – 2015"*

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO



1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

La mayoría de los ríos de la sierra peruana tuvieron la presencia de eventos extraordinarios tales como los caudales de máximas avenidas, asociados al Fenómenos de El Niño, registrándose magnitudes extraordinarias en los años 1982/83 y 1997/98, provocadas por las lluvias intensas, aumentando significativamente la elevación del nivel del curso del agua de los ríos mayor que el flujo medio de éstos; los cuales provocaron los desbordes de los ríos, ocasionando daños importantes, principalmente en terrenos agrícolas, zonas urbanas, obras de infraestructura de riego; causando por tanto un fuerte impacto en la estructura socioeconómica del país.

Según las cifras preliminares de los daños ocasionados en el departamento de la Libertad, dados por El INDECI, este último fenómeno fue de aproximadamente mil ochocientos millones de dólares americanos (US \$ 1800'000,000), produciendo 72,306 damnificados y 11,500 viviendas destruidas y cifras parecidas en los otros departamentos afectados.

El río San Ignacio llamado también como quebrada San Ignacio, la cual es considerada como río por tener agua todo el año, nace a unos 3800 m.s.n.m, en el Provincia de Otuzco. Cabe mencionar que en periodos de lluvia, registra caudales picos instantáneos que ponen en evidente peligro a la población y en riesgo los terrenos de cultivo e infraestructura hidráulica del valle.

Por tal motivo, el proyecto considera el encauzamiento y la protección de ambas márgenes en la cuenca media baja del río San Ignacio.

Para el cálculo hidrológico de los caudales de diseño para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años se ha ponderado el Método Racional con valores de precipitación de la estación Huamachuco en la cabecera de cuenca, con el Método Indirecto de Creager de acuerdo al mapa de regionalización de avenidas del Perú.



Los parámetros hidráulicos definirán la altura de la protección, en función del tirante; y en conjunto con la socavación general; es decir la profundidad de cimentación del enrocado de protección.

Con el presente trabajo de estudio, se pretende dar a conocer a las autoridades y gobernantes una posible solución, en base a la prevención, para mitigar las pérdidas ocasionadas a nivel nacional, por los desastres naturales.

2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los criterios a nivel de ingeniería para desarrollar la simulación hidráulica para la determinación de planicies de inundación de la quebrada San Ignacio de la ciudad de Otuzco, Departamento de La Libertad – 2015?

3. ANTECEDENTES

En el presente estudio se ha obtenido gran información acerca de antiguos problemas de inundaciones. En esta oportunidad es materia de estudio de la quebrada San Ignacio, ya que en tiempo de inundación el desborde del río va a afectar las viviendas construidas y los cultivos aledaños, encontrándose en riesgo permanente de sufrir las consecuencias de fenómenos naturales, en especial el fenómeno de El Niño, cuya presencia está registrada desde el siglo XVII.

Considerando que una eventual presencia del Fenómeno El Niño en función al caudal del río supere la capacidad de almacenamiento del muro existente, los resultados serían lamentables por lo tanto este estudio servirá para que tanto la Municipalidad Distrital de Sinsicap y otras instituciones tomen medidas correctivas, preventivas y de mitigación frente a la posibilidad de un peligro, teniendo en cuenta el tipo de cultivo, condición de las instalaciones de servicios y capacidad de respuesta ante emergencias de origen natural.



El río San Ignacio no presenta registros históricos de caudales ordinarios o extraordinarios, es un río el cual tiene agua de estiaje, presenta descargas eventuales e instantáneas (no sostenidas en el tiempo) según manifiestan los pobladores y agricultores de la zona. No existe estudios Hidrológicos de este río.

El estudio servirá para concientizar sobre la necesidad de un reordenamiento del uso del suelo entre los pobladores e instituciones y en función a niveles de construcción de acuerdo a la planificación urbana; no pudiendo construir sobre zonas de alto riesgo por el peligro que representa para sus vidas, además, desarrollar una cultura de prevención para prevenir o mitigar daños al inmueble o vida humana.

4. OBJETIVO GENERAL

Analizar los parámetros hidráulicos y simulación del comportamiento, en caso de avenidas máximas, del río San Ignacio, del distrito de Sinsicap provincia de Otuzco departamento de La Libertad.

5. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio.
- Realizar un modelo de transformación Lluvia – Escorrentía para determinar los caudales con diferentes periodos de retorno mediante el uso del software ARC GIS.
- Realizar el modelamiento hidráulico con el software HEC RAS para calcular los parámetros hidráulicos del río.
- Determinar la Defensa Ribereña más adecuada y calcular las dimensiones que tendrá la protección y encauzamiento del río San Ignacio.
- Mediante los Software GeoRas, HecRas y ArcGis determinar las planicies de inundación para diferentes periodos de retorno.



6. JUSTIFICACIÓN

Es importante investigar este problema porque de esta manera se podrá dar a conocer las deficiencias que se tienen ante desastres naturales, y así poder aplicar procedimientos y metodologías para realizar los estudios de Hidráulica Fluvial (cálculos de socavación y sedimentación), a nivel nacional.

Año tras año la situación actual del área de intervención del proyecto, representa un peligro inminente de alto riesgo en el sentido de que cada creciente de agua que se produce pone en permanente peligro, la vida y la salud de los pobladores cuyas viviendas se ubican en la quebrada y que de no darse solución al problema actual, seguro que provocaran algún daño estructural a sus viviendas, incidiendo en la inseguridad de la población ya sea contra la salud y la vida misma por los antecedentes antes mencionados.

Ante este álgido problema se requiere urgente atención para la Construcción de la infraestructura en el programa de defensa contra Siniestros, con criterios técnicos normativos, además de estar considerada dentro de las acciones priorizadas, por ser de necesidad impostergable.

La carencia de dicha infraestructura provoca falta de seguridad y defensa en la población, mostrando desinterés, problema que urge solucionar.

El presente proyecto está orientado a la simulación hidráulica del río San Ignacio, utilizando tecnología de software, dicho estudio será importante para que las autoridades tomen las prevenciones del caso.

Este estudio, beneficiará directamente a la población del distrito de Sinsicap, para salvaguardar la seguridad de estas familias, asimismo para proteger las estructuras ubicadas dentro del cauce.

La zona agrícola que se desarrolla inmediatamente aguas abajo de la zona urbana, y en menor proporción en la zona, se presenta explotación agrícola intensiva.



Ante estas circunstancias resulta preponderante la protección de ambas márgenes del río en el tramo crítico en estudio.

7. UBICACIÓN POLÍTICA

- Región : La Libertad
- Provincia : Otuzco
- Distrito : Sinsicap
- Centro Poblado : San Ignacio

8. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Sinsicap está ubicada a 62 km, a 2 horas de viaje desde Trujillo, en la provincia de Otuzco, a una altura de 2280 m.s.n.m. Con una extensión aproximada de 452.95 km². El río San Ignacio es un río de la vertiente del Atlántico, localizado en el noroeste del Perú, en el Departamento de La Libertad.

La micro cuenca del río San Ignacio está constituida por las montañas que delimitan la divisora de aguas; abarca una superficie de aproximadamente 36.59 Km², la cual está asentada a una altura de 3859 m.s.n.m.

9. LÍMITES

El Centro Poblado San Ignacio Limita con:

- Por el Norte : Con el Centro Poblado Cuchanga.
- Por el Sur : Con el Centro Poblado Ocol.
- Por el Este : Con el Centro Poblado San Miguel.
- Por el Oeste : Con el Centro Poblado Cuchanga.



11. VÍAS DE ACCESO

Para acceder a la población de San Ignacio son 20 minutos en camioneta con un camino de trocha en mal estado desde Sinsicap.

Cuadro I-1.- Descripción recorrido hacia el área del proyecto

Recorrido	Tramo	Acceso	Medio de Transporte	Vía de Acceso	Distancia en Kms. /Tiempo
1	Trujillo-Sinsicap	Terrestre	Combi	Carretera Asfaltada	62 km / 2 Horas.
1	Trujillo-Sinsicap	Terrestre	Mini Bus Público	Carretera Asfaltada	62 km / 2 Horas.

Fuente: Elaboración propia.

12. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

El clima que engloba en la ciudad de Otuzco es el clima templado que se caracteriza por su invierno seco. En este clima las lluvias se distribuyen en las cuencas de río Moche de la siguiente manera:

Verano: 200,8 mm que es 47,2% Otoño: 67,6 mm que es el 15,8%, siendo abril más lluvioso que febrero y junio, tan seco como julio: Invierno 26,8 mm o sea el 30,6% del total promedio anual que es 425,4 mm. La temperatura media es 13 grados centígrados. Su privilegiada geografía ha hecho que Sinsicap tenga diferentes micro climas que favorecen a la agricultura, de modo tal que en la parte baja de Sinsicap de clima más cálido llamado Yerbabuena, se cultiva chirimoya, palta, naranja, plátano; en la parte alta, en San Ignacio y Osoyos se cultivan trigo, cebada, papa, ajos, olluco, alcachofas.

13. BENEFICIARIOS

La determinación de planicies de inundación de la quebrada San Ignacio, beneficiará principalmente a los pobladores aledaños al río.

Entre los beneficios de mayor impacto tenemos:



- Salvar la vida y la salud de la población beneficiaria y cultivos aledaños.
- Evitar la pérdida de infraestructura por efectos de erosión ocasionada por las aguas de los ríos.
- Brindar seguridad ciudadana.
- Convertir el centro poblado San Ignacio, en zona segura y propicia sin riesgos para la inversión tanto pública como privada.

14. DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA Y ÁREA DE ESTUDIO

San Ignacio: El proyecto interviene en el caserío de San Ignacio, que involucra a pobladores, así como sus medios de vida.

Para acceder a la población de San Ignacio son 20 minutos en camioneta con un camino de trocha en mal estado desde Sinsicap, donde la mayoría de las casas están hechas de adobe y quincha, las cuales son 1200 viviendas, en el distrito de San Ignacio cuentan con todos los servicios públicos, luz las 24 horas, San Ignacio se caracteriza por ser una zona de cultivos de alrededor 5000 has de suelo tipo arcillosa arenosa, de cultivos tales como son la papa, trigo, cebada y chocho, donde la infraestructura de riego es regular a baja, el estado de sus canales son deficientes, estos productos con llevado a comercializar a San Ignacio, actualmente se encuentran construidos 200 metros de defensa riverañina (muro de concreto), el cual se encuentra en periodo de desgaste.

Respecto a los animales de cría y sus fines crían; vacunos, porcino, ovino, cuyes, asnos, caballos, con el fin de utilizarlos como consumo, medio de transporte y trabajos de campo, en cuanto a sus actividades artesanales, ellos fabrican chullos de hijo de oveja.



*"SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE PLANICIES
DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO DE LA CIUDAD DE OTUZCO
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD – 2015"*

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO



1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. QUEBRADA

El término quebrada, es un arroyo, río pequeño o riachuelo, de poco caudal si se compara con un río promedio, y no apto para la navegación o la pesca significativa. En las quebradas, por lo común, sólo viven especies de peces sumamente pequeños.

Generalmente las quebradas (arroyos) tienen poca y casi nula profundidad, muy poco caudal, y sirven como bañaderos y lugares campestres para camping, y se pueden vadear y cruzar caminando. Suelen ser muy apetecidas para vacacionar y hacer turismo ecológico o de aventura.

1.2. RÍO

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez es constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura.

Cada río posee un cierto caudal, que no suele ser constante a lo largo del año. En los períodos con mayor cantidad de precipitaciones, el caudal aumenta. En cambio, cuando llueve poco o se experimentan elevadas temperaturas, el caudal disminuye e incluso, en situaciones extremas el río puede secarse.

Un río puede ser: **perenne**, cuando el curso de agua se encuentra ubicado en zonas con lluvias abundantes o donde se registra una alimentación freática suficiente; **estacional**, cuando está ubicado en regiones donde las estaciones son muy diferenciadas y el clima es de tipo mediterráneo; **transitorio**, cuando está situado en zonas de clima seco o desértico; o **alóctono**, cuando se encuentra en una zona árida y sus aguas provienen de otras regiones más lluviosas.

1.2.1. RÍOS DEL PERÚ

Los ríos del Perú tienen las más diversas características y, como ocurre en casi todo el mundo, están ligados al desarrollo social y económico del país.



Los hay torrenciales, de fuerte pendiente y corto recorrido, de descargas irregulares y de gran transporte sólido, como los ríos de la costa peruana. Desembocan al Océano Pacífico y, ante la ausencia de lluvias útiles, han constituido la base del desarrollo económico y poblacional de esta parte del país. El aprovechamiento de las aguas superficiales hizo posible la existencia y supervivencia del antiguo habitante de la costa, desde hace varios miles de años.

En la costa los ríos son la única fuente de agua utilizable económicamente para abastecimiento poblacional e industrial, irrigaciones y recarga del agua subterránea, en algunos casos también son posibles los aprovechamientos hidroeléctricos.

En la selva, en cambio, hay ríos de grandes caudales, pendientes pequeñas, largos recorridos y fuerte inestabilidad y tendencia a la variación del curso. Como allí llueve en abundancia (en la selva) no se hacen irrigaciones, pero sí se aprovechan mucho los ríos para la navegación. Hay una importante tarea en lo que respecta a crear y mantener las condiciones adecuadas para la navegación y actividades portuarias.

En la sierra encontramos ríos de variadas características. Sin embargo, los valles estrechos, la tierra agrícola es escasa, hay fuerte erosión de cuencas. Hay muchas posibilidades de desarrollo energéticos. En la región altiplánica las pendientes son pequeñas.

Los ríos en general se caracterizan por su movilidad; siguen su camino por acción de la gravedad; el desnivel topográfico es la causa del desplazamiento del agua. Los ríos existen desde hace muchísimo tiempo.

Se dice que un curso de agua es internacional cuando su escurrimiento se produce en las de un Estado. Se denomina curso de agua internacional a todo curso de agua, canal o lago, que separa o atraviesa los territorios de dos o más Estados.



Obsérvese que el concepto de curso de agua es más amplio que el de río y resulta imprescindible para tratar, por ejemplo, la contaminación.

Casi 99% de los recursos hídricos del Perú se encuentra de algún modo comprometido internacionalmente: el 10% de las cuencas de Atlántico y del Titicaca y un pequeño porcentaje de la cuenca del Pacífico. En muchos casos el Perú es el país de aguas arriba y en algunos otros es el país de aguas abajo. El hecho de que nuestros ríos estén en mayor o menor grado con algún compromiso de tipo internacional tiene consecuencia desde el punto de vista de Hidráulica Fluvial.

1.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RÍOS

Hay muchas formas y criterios para clasificación de los ríos; las iremos presentando poco a poco. Una primera clasificación, simple y general, es la siguiente:

- a) Ríos sin área de inundación (confinados)
- b) Ríos con áreas de inundación

La presencia de dos cauces, es decir, la existencia de áreas de inundación, se debe a los movimientos laterales que ha efectuado el río a lo ancho de una planicie aluvial a lo largo del tiempo.

El movimiento lateral de los ríos (desplazamiento de cauce) trae como consecuencia que los nuevos cursos fluviales abandonen ciertas áreas que luego pueden constituir Terrazas Fluviales.

El cauce menor, que en algunos casos es un cauce de estiraje, es ocupado por avenidas de bajo periodo de retorno. Cuando el periodo de retorno es mayor el río se desborda, con respecto a su cauce menor, y ocupa el cauce total, o cauce mayor, o cauce de avenidas.



La existencia de estos cauces, que por lo general tienen rugosidades diferentes, presenta para el cálculo de su capacidad un problema interesante de hidráulica fluvial.

El cálculo de rugosidad de los cauces naturales es un problema difícil y un tanto incierto. No solo ocurre que la rugosidad es compleja de describir, sino que es variable a lo largo del tiempo. Puede ocurrir también que la vegetación sea diferente en cada margen, a lo largo de ellas y además en el tiempo.

El uso de las planicies de inundación es un tema interesantísimo. La planificación de uso de dichas planicies resulta fundamental para el control de avenidas.

1.3. HEC-RAS

1.3.1. DEFINICIÓN

HEC-GeoRAS es una extensión para ArcView desarrollada conjuntamente por el Hydrological Engineering Center (HEC) de la Corporación de Ingenieros del Ejército de EE.UU y el Instituto de Investigación de Sistema Ambiental. Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar avenida.

El procedimiento de cálculo básico de HEC RAS para flujo constante se basa en la solución de la ecuación de energía unidimensional. Las pérdidas de energía se evalúan por la fricción y la contracción / expansión. La ecuación de momento se puede usar en situaciones donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado. Estas situaciones incluyen saltos hidráulicos, sistema hidráulico de puentes y perfiles que avalúan en las confluencias de los ríos.

HEC-RAS está equipado para modelar una red de canales, un sistema dendrítico o un solo tramo de río. Algunas simplificaciones deben realizarse con el fin de modelar algunas situaciones complejas de flujo utilizando el enfoque unidimensional HEC-RAS.

Programa informático para el modelado de agua que influye a través de sistemas de canales abiertos y de informática perfiles de superficie de agua. HEC-RAS encuentra particular aplicación comercial en gestión y llanuras de inundación de seguro contra inundaciones estudios para evaluar usurpaciones Cauce.

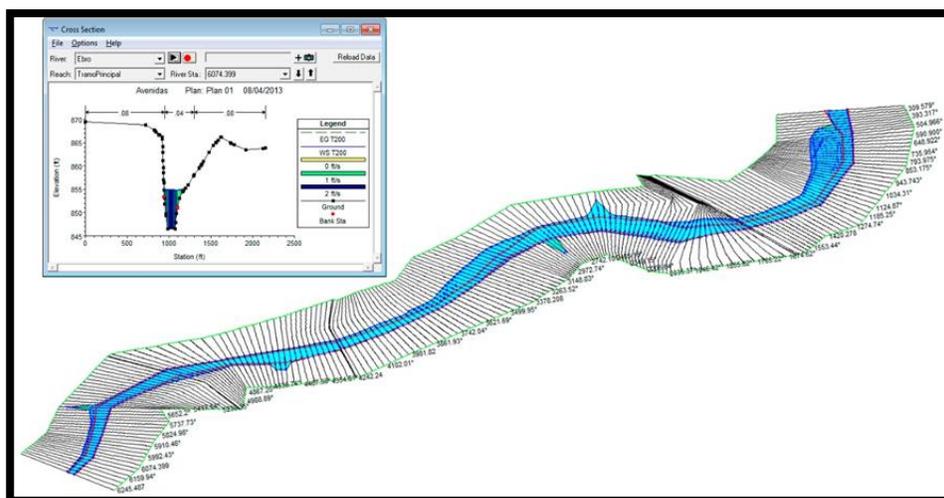


Figura 2-1. Modelamiento de red de canales

Algunos de los usos adicionales son: puentes y alcantarillado de diseño y análisis, los estudios de diques, y los estudios de modificación de canal. Se puede utilizar para el análisis de incumplimiento presa, aunque otros métodos de modelado son actualmente más ampliamente aceptados para este propósito.

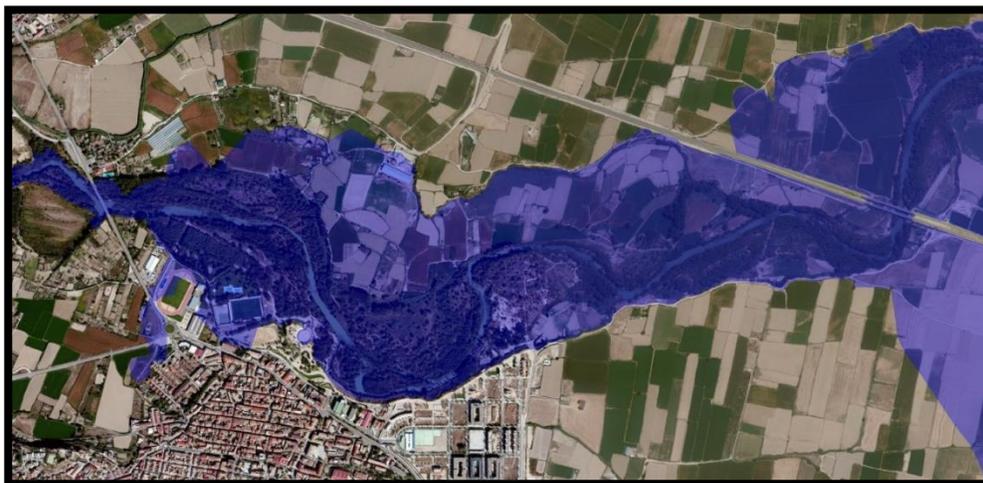


Figura 2-2. Simulación de Planicie de Inundación (Vista en planta)

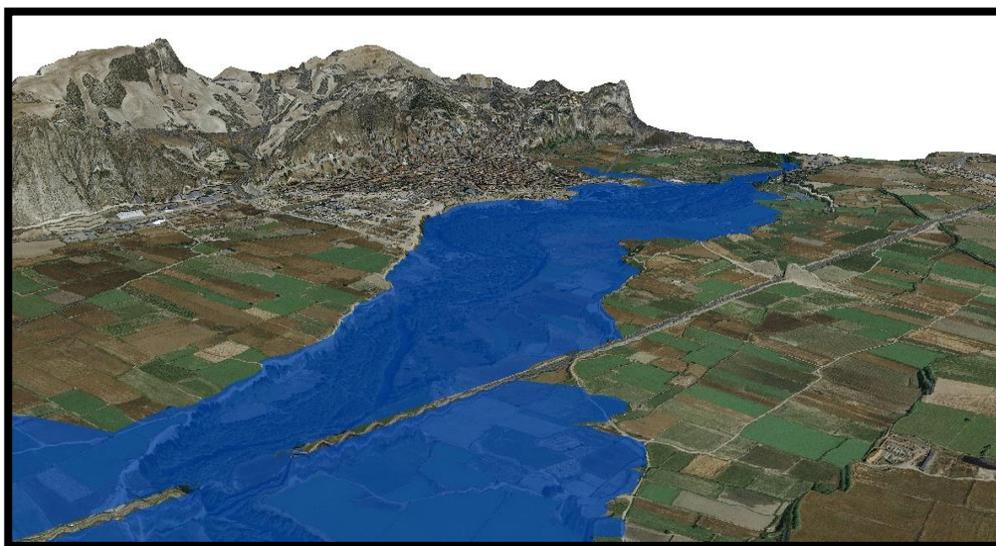


Figura 2-3. Simulación de Planicie de Inundación

1.3.2. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Un **Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS**, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) es una integración organizada de *hardware*, *software* y *datos geográficos* diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.



1.3.2.1. Funcionamiento de un SIG

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

- **Localización:** preguntar por las características de un lugar concreto.
- **Condición:** el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- **Tendencia:** comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- **Rutas:** cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- **Pautas:** detección de pautas espaciales.
- **Modelos:** generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.



Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

1.3.2.2.La creación de datos

Las modernas tecnologías SIG trabajan con información digital, para la cual existen varios métodos utilizados en la creación de datos digitales. El método más utilizado es la digitalización, donde a partir de un mapa impreso o con información tomada en campo se transfiere a un medio digital por el empleo de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (DAO o CAD) con capacidades de georreferenciación. Dada la amplia disponibilidad de imágenes orto-rectificadas (tanto de satélite y como aéreas), la digitalización por esta vía se está convirtiendo en la principal fuente de extracción de datos geográficos. Esta forma de digitalización implica la búsqueda de datos geográficos directamente en las imágenes aéreas en lugar del método tradicional de la localización de formas geográficas sobre un tablero de digitalización.

1.3.2.3.La representación de los datos

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial.

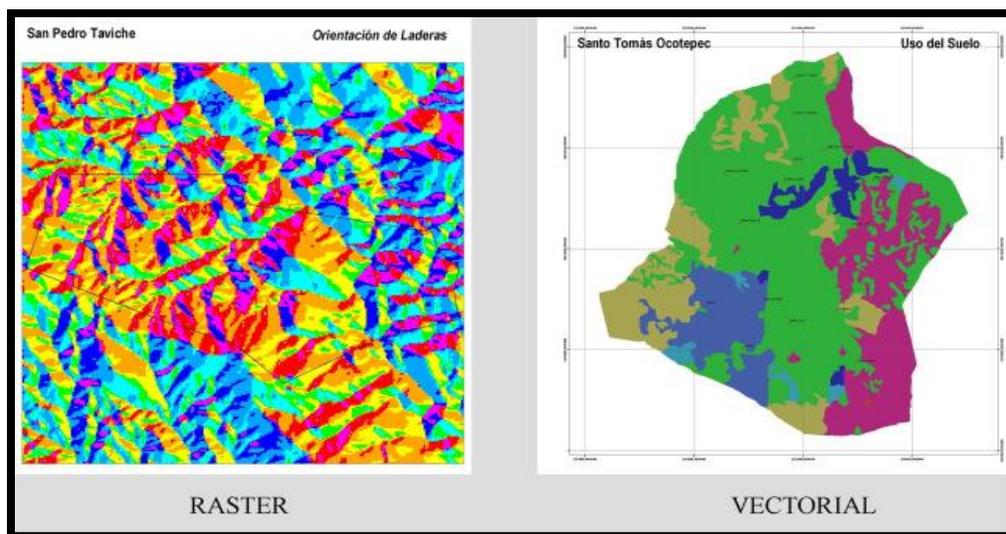


Figura 2-4. SIG Raster y Vectorial

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado.

No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

1.4. ARCGIS

ArcGis comprende una serie de aplicaciones, que utilizadas en conjunto, permiten realizar funciones que alimentan y administran un sistema de información geográfica (SIG), desde creación de mapas, manejo y análisis de información, edición de datos, metadatos y publicación de mapas en la Internet.

Este programa es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.



Este programa permite publicar la información geográfica para que esté accesible a cualquier usuario. Las personas usan ArcGis porque les permite:

- Resolver problemas
- Tomar mejores decisiones
- Planificar adecuadamente.
- Utilizar los recursos más eficientemente.
- Anticipar y administrar los cambios.
- Administrar y ejecutar las operaciones de forma más eficaz.

ArcGis permite:

- Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes.
- Compilar información geográfica.
- Crear y administrar bases de datos geográficas.
- Resolver problemas con el análisis espacial.
- Crear aplicaciones basadas en mapas.
- Dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización.

1.5. CURVAS IDF

En muchas situaciones prácticas, no se dispone de registros de caudales extremos, o éstos no tienen la suficiente duración como para hacer los análisis estadísticos requeridos.

En tales casos, se acude a la información pluviométrica para estimar las crecidas asociadas a una cierta de frecuencia de ocurrencia.

La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y la frecuencia o periodo de retorno. Esta relación múltiple nos conduce a las llamadas Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (Curvas IDF).



1.5.1. DEFINICIONES

- Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos a una misma frecuencia o periodo de retorno.
- Son la representación gráfica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia o periodo de retorno de la precipitación.

1.5.2. DURACIÓN DE LA LLUVIA

Normalmente la duración de la lluvia de diseño considerada es igual al tiempo de concentración, t_c , para el área de drenaje en estudio, debido a que al cabo de dicho tiempo la escorrentía alcanza su valor pico, al contribuir toda el área aportante al flujo en la salida.

1.5.3. PERÍODO DE RETORNO, T_r

El periodo de retorno está íntimamente ligado a la importancia de la obra. Así, para efectos de diseño, el valor de T_r se selecciona de acuerdo a estándares de diseño o por juicio experto

La determinación de las curvas IDF se enmarca en alguno de los siguientes escenarios:

- a) Contar con información pluviográfica que describa con precisión la distribución temporal de la precipitación en la zona en estudio.
- b) Contar solamente con datos precipitaciones diarias totales.
- c) Enfrentar casos donde no exista información pluviométrica alguna.

1.6. PLANICIES DE INUNDACIÓN

Las inundaciones son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras. Esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes.

Las planicies de inundación, también llamadas llanuras de inundación, son, en general, aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua.

Las planicies de inundación son, por tanto, "propensas a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de éstas excede un nivel aceptable.

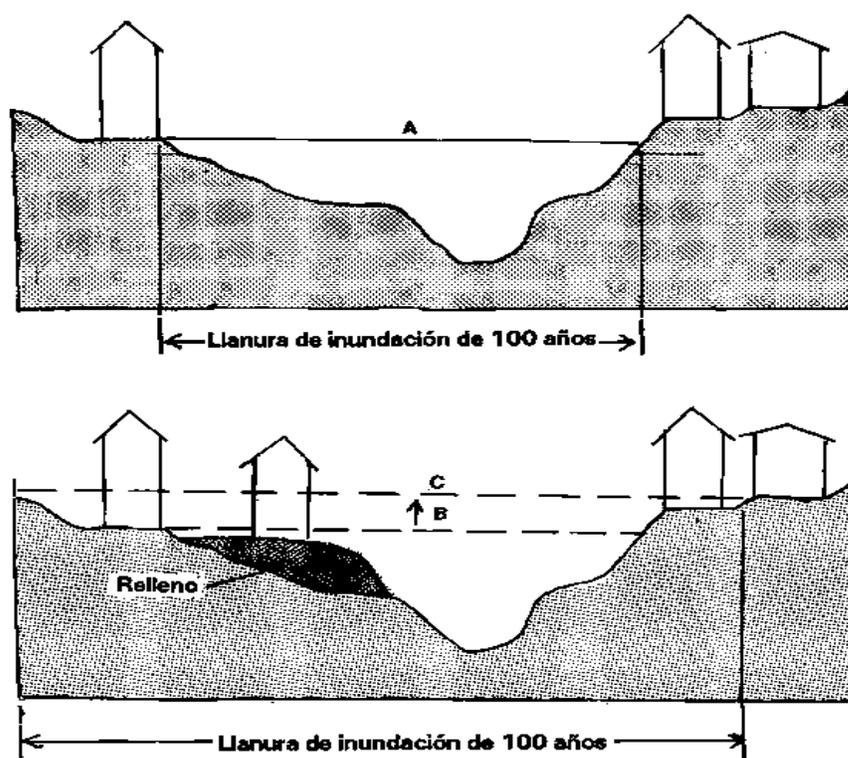


Figura 2-5. Planicie de inundación en 100 años



1.6.1. CAUSAS DE LAS INUNDACIONES

1.6.1.1. Causas Naturales

- **Meteorológicas**

Las grandes lluvias son la causa natural principal de inundaciones, pero además hay otros factores importantes, entre ellos se encuentran:

Exceso de precipitación: Los temporales de lluvias son el origen principal de las avenidas. Cuando el terreno no puede absorber o almacenar toda el agua que cae esta resbalada por la superficie (escorrentía) y sube el nivel de los ríos.

- **No Meteorológicas**

Invasión del mar, deshielo.

1.6.1.2. Causas no Naturales (Antrópicas)

- **Rotura de Presas**

Cuando se rompe una presa toda el agua almacenada en el embalse es liberada bruscamente y se forman grandes inundaciones muy peligrosas.

- **Actividades Humanas**

Los efectos de las inundaciones se ven agravados por algunas actividades humanas como por ejemplo:



- ✓ Al asfaltar cada vez mayores superficies se impermeabiliza el suelo, lo que impide que el agua se absorba por la tierra y facilita el que con gran rapidez las aguas lleguen a los causes de los ríos a través de desagües y cunetas.
- ✓ Las canalizaciones solucionan los problemas de inundación en algunos tramos del río pero lo agravan en otros a los que el agua llega mucho más rápidamente.
- ✓ La ocupación de los causes por construcción reduce la sección útil para evacuar el agua y reduce la capacidad de la llanura de inundación del río. La consecuencia es que las aguas suben a un nivel más alto y que llega mayor cantidad de agua a los siguientes tramos del río, porque no ha podido se embalsa por la llanura de inundación, provocando mayores desbordamientos.

1.6.1.3.Causas Mixtas

En algunas ocasiones puede producirse una inundación por rotura de una obra hidráulica, por causas meteorológicas.



1.6.2. ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA

Cuadro II-1. Población del área de influencia

DESCRIPCION	VIVIENDAS
CERCA DE LA RIBERA DEL RIO	400
LEJOS DE LA RIVERA DEL RIO	600
EN LA RIVERA EL RIO	200
TOTAL	1200

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro destacaremos la población que se encuentra en la rivera del rio y cerca de ella que serán 600 potencialmente damnificados a lo largo de la rivera del rio.

viviendas en peligro	hab. x vivi.	TOTAL
600	5	3000

Los principales elementos de vulnerabilidad en la zona de proyecto están en estrecha relación con los aspectos climatológicos, hidrológicos y geomorfológicos.

En conclusión el proyecto está expuesto a un grado de peligro MEDIO; por precipitaciones pluviales y sequías en épocas de lluvia, considerando.



UNIDADES PRODUCTORAS DE BIENES Y SERVICIOS EXISTENTES EN LA ZONA INUNDABLE.

Cuadro II-2. Unidades productores de bienes y servicios

UNIDADES PRODUCTORAS DE BIENES Y SERVICIOS	
UNIDADES PRODUCTORAS DE BS Y SS	SECTOR
	SAN IGNACIO
COLEGIOS	6
POSTA	1
PAROQUIA	1
MERCADOS	2
CANTIDAD DE BS Y SS	10
VIVIENDAS	600
HECTÁREAS DE CULTIVADAS	5000 HAS

Fuente: Elaboración propia

1.7. SOCAVACIÓN

1.7.1. CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN GENERAL

- El cálculo de la socavación general es aún un tema no completamente resuelto.
- La erosión general se estima mediante fórmulas empíricas, sustentadas con coeficientes obtenidos en laboratorio.
- Un método válido para estimar la erosión general en suelo granular y en suelo no cohesivo es el método de Lichtvan – Lebediev.

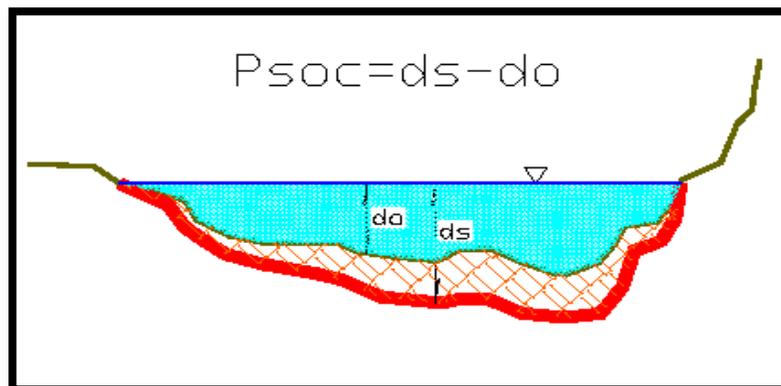


Figura 2-6. Cálculo de la Socavación General

1.7.2. CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL EN ESPIGONES

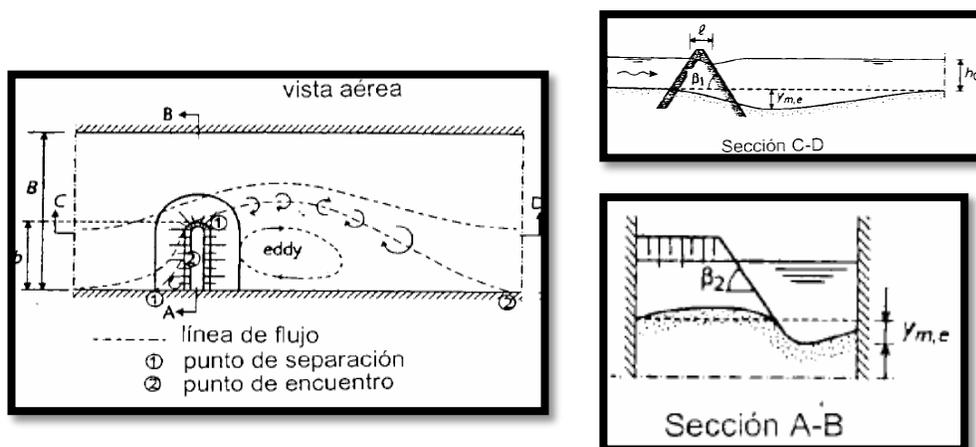


Figura 2-7. Métodos para el cálculo de la socavación

1.7.3. CÁLCULO DEL ANCHO ESTABLE

El cauce estable es aquel cauce que se encuentra en equilibrio dinámico, no presentando tendencias a la erosión ni a sedimentación en el mediano y largo plazo.

1.7.3.1. Método de Altunin.

El método de Altunin se recomienda para material granular. No es apto para cauces con material cohesivo, se obtienen valores congruentes para ríos con arena.

Está basado en datos y observaciones en la Unión Soviética,
aplicable a ríos de gravas y material aún más grueso

1.7.4. EROSIÓN DE RIBERAS POR SOCAVACIÓN GENERAL DEL CAUCE

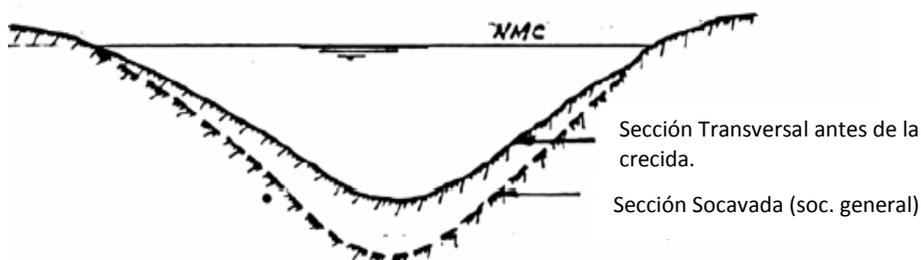
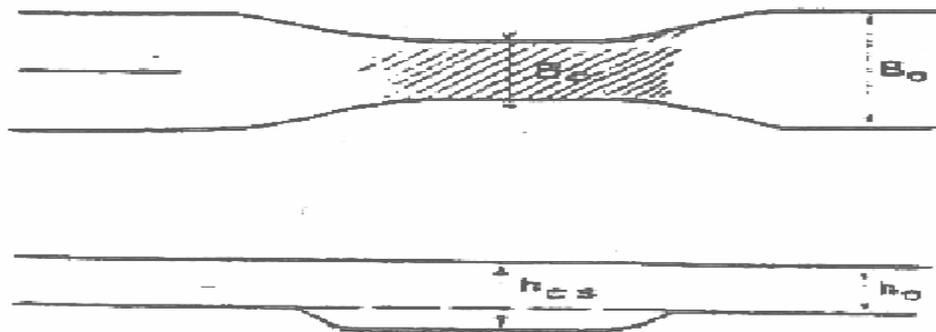


Figura 2-8. Erosión de Riberas por socavación

- Es el descenso temporal del fondo de un río producido por una creciente o avenida.
- Se debe al aumento de la capacidad de arrastre del material sólido de la corriente originado por su mayor velocidad.

1.7.5. EROSIÓN POR CONSTRUCCIÓN DEL CAUCE





2. ESTUDIO DE TOPOGRAFÍA

2.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente estudio será realizado en etapas, las cuales detallamos a continuación:

- **Recopilación de información existente**

En este caso tenemos los estudios realizados por terceros (cartas nacionales) así como las inspecciones realizadas de manera visual a lo largo de la vía.

- **Trabajos de campo**

En este caso realizaremos reconocimientos a detalle mediante análisis visual y levantamientos topográficos correspondientes a fin de contar con la mejor alternativa en cuanto al paso del eje de la defensa por el terreno. En esta etapa también viene a contarse con las recomendaciones vertidas por la parte geotécnica mediante una tipificación del suelo de fundación a fin de tener el trazo definitivo del eje de la defensa en campo.

- **Trabajo de gabinete**

Teniendo la información obtenida en el campo se procederá al correspondiente procesamiento de la data para posteriormente realizar los diseños respectivos.

2.2. RECONOCIMIENTO Y PROCEDIMIENTOS DE ESTUDIO

La zona del proyecto está comprendida dentro del ámbito del Distrito de Sinsicap, su topografía varía de ondulada a accidentada.

Luego de este reconocimiento se procedió a realizar los respectivos trabajos de levantamiento topográfico de la zona definida para el proyecto, así como el trazo de la línea de gradiente de la referida vía de acuerdo a lo indicado en los términos de referencia, realizándose los trabajos en coordenadas UTM y datum del sistema WGS 84.



2.3. METODOLOGÍAS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA ETAPA DE CAMPO.

Luego del reconocimiento de campo respectivo, se procedió con los trabajos de levantamiento topográfico de la quebrada por la cual discurre el Río San Ignacio, así como el trazo del eje de la defensa planteada de acuerdo a lo indicado en los términos de referencia, realizándose los trabajos en coordenadas geodésicas y datum del sistema WGS 84.

El método empleado viene a ser el levantamiento por radiación a partir de un punto de referencia estática debidamente alineada y de coordenadas conocidas.

El método consiste en el disparo y lectura simultánea de distancias y ángulos para el posterior almacenamiento y procesamiento en la memoria del equipo (estación total).

Para el presente estudio, dada la envergadura del área a levantar así como el nivel de detalle del mismo y el tiempo a emplear en el trabajo, se vio en la necesidad de conformar dos frentes de trabajo, a fin de realizar el mismo en la menor cantidad de tiempo posible y con la calidad respectiva solicitada a este nivel, es por ello que se realizó un trabajo de levantamiento de toda el área de la quebrada y posible planicie de inundación y eje de defensa propuesto con un equipo y un levantamiento a detalle netamente del cauce actual del río San Ignacio con otro frente de trabajo.

2.4. EQUIPOS UTILIZADOS

Se emplearon para la realización de los trabajos los siguientes equipos:

- 02 Camionetas, una de ellas PickUp 4 x 4 marca Toyota y la otra Pajero Jr. 4 x 4 Marca Mitsubishi
- 01 Estación Total marca Sokkia
- 03 GPS Diferencial Trimble (01 Base y 02 Rover)
- 07 Bastones porta prisma marca CST – Berger
- 05 radios Handy marca Icom



- 01 cámara fotográfica marca Canon
- 07 Prismas marca CST – Berger
- 01 lap top Hp Core i7 con 16 GB de memoria RAM.
- Accesorios Complementarios

El software utilizado para el procesamiento de datos ha sido:

- AUTOCAD CIVIL 3D versión 2015

2.5. METODOLOGÍA Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA ETAPA DE GABINETE.

Luego de obtenida la información de campo con las Estación Total se procede al procesamiento y dibujo respectivos.

Los datos obtenidos en el campo son bajados al computador haciendo uso del colector de datos Top Com Link V7.2, siendo comprobados con hojas de cálculo en Excel, para su posterior procesamiento y diseño de la vía en el programa Civil 3D en el cual se trabajaran las curvas, los perfiles longitudinales y las secciones transversales.

Para la elaboración del plano se generó una malla de puntos, que marca las posiciones reales del terreno, con sus respectivas descripciones si es que las hubiera, para su posterior confección en gabinete, a partir del archivo de texto obtenido en el procesamiento de coordenadas.

Los planos se realizaron a la escala 1:1000, para la observación precisa y sin distorsión de los detalles levantados. La información se guarda en medio magnético, lista para ser impresa y con las dimensiones adecuadas. El resultado, planos pre definitivos, los cuales pasan a un control interno para su verificación. Una vez hecho el control de calidad se generó un plano definitivo para la presentación de la información.



3. ESTUDIO HIDROLOGICO

3.1.DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito para el estudio hidrológico comprende la cuenca del río San Ignacio.

3.2.UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Geográficamente el área de estudio se encuentra dentro del área del cuadrángulo de Otuzco el cual está comprendido en la Carta Nacional 16f.

3.3.UBICACIÓN POLÍTICA

Políticamente comprende parte de las provincias de Ascope, Gran Chimú, Santiago de Chuco, Sánchez Carrión del departamento de La Libertad.

3.4.DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO SAN IGNACIO

El río San Ignacio es un río de la vertiente del Atlántico, localizado en el noroeste del Perú, en el Departamento de La Libertad.

La microcuenca del Río San Ignacio está constituida por las montañas que delimitan la divisoria de aguas; abarca una superficie aproximadamente de 36.59 Km², la cual está asentada a una altura de 3859 m.s.n.m

3.5. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

La cuenca del Río San Ignacio no cuenta con estaciones o registros hidrológicos a diferencia de la cuenca de Huamachuco. Para el análisis de máximas descargas se ha utilizado información meteorológica que permita determinar las intensidades máximas en el área de estudio.

3.6.INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Se ha recopilado la siguiente información de los estudios técnicos desarrollados anteriormente y del SENAMHI.



Para el análisis climático y pluviométrico se recurrió a los registros mensuales de la estación meteorológica Huamachuco. Los parámetros existentes son precipitación mensual, evaporación mensual, precipitación media mensual, temperatura máxima, media y mínima mensual, humedad relativa máxima, media y mínima, velocidad del viento media mensual y descarga diaria.

3.6.1. PRECIPITACIÓN

Las lluvias son estacionales, se producen en forma irregular, durante los meses de Junio a Diciembre; a partir de enero con copiosas y torrenciales, hasta el mes de Marzo y algunas veces hasta el mes de Abril.

Se ha tomado como referencia los datos de la estación pluviométrica de Huamachuco porque las características de esta cuenca se parecen a las de San Ignacio.

Los datos mensuales de precipitación máxima han sido adquiridos de la Oficina de Estadística del SENAMHI.

3.7. ESTADO ACTUAL DE LA FRANJA RIBEREÑA Y CAUCE DEL RÍO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En general la franja o espacio ribereño en el tramo de estudio que comprende aproximadamente dos kilómetros, se encuentra en regular estado de conservación.

4. ESTUDIO HIDRÁULICO

4.1. DEFINICIÓN

La hidráulica es la rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos en función de sus propiedades específicas. Es decir, estudia las propiedades mecánicas de los líquidos dependiendo de las fuerzas a que pueden ser sometidos.



Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa y a las condiciones a que esté sometido el fluido, relacionadas con la viscosidad de este.

4.2.NIVELACIÓN DEL FONDO DEL CAUCE

La finalidad de realizar la nivelación del fondo del cauce es la de determinar la pendiente geométrica e hidráulica de la corriente, para aplicar la ecuación de Manning tanto para cauces naturales y/o canales; la longitud de la nivelación está relacionada con la importancia de la corriente en estudio, además de considerar el ancho del cauce.

4.3.SECCIÓN HIDRÁULICA

La sección hidráulica es de suma importancia y requisito indispensable en un estudio hidráulico, para el cálculo del gasto de diseño, siempre que las condiciones topográficas e hidráulicas lo permitan se tratará de levantar tres secciones, ya que como se mencionó anteriormente, dos son para comprobación del gasto que se obtenga con la sección hidráulica en el cruce o muy cerca de él.

4.4.CONDICIONES HIDÁULICAS

Para levantar una sección hidráulica sobre un canal se recomiendan las siguientes condiciones hidráulicas:

- Condición de dirección: En el lugar donde se levantará una sección hidráulica deberá ser recto en sus márgenes y no tener ningún cambio de dirección del cauce o del escurrimiento.
- Condición de esviajamiento: La sección hidráulica que se levantará deberá ser perpendicular al escurrimiento.
- Condición del fondo del cauce: El fondo del cauce deberá mantenerse estable, sin cambios bruscos que alteren al escurrimiento aproximadamente en unos 30 m aguas arriba y 20 m aguas abajo.



- Condición física: la sección hidráulica no se levantara cuando exista una poza en lugar escogido, o cuando se presente un salto hidráulico muy cercano a esta, especialmente arriba.
- Condición de la pendiente hidráulica: Si la pendiente del fondo del cauce (pendiente geométrica), es mayor al 1% el método se puede considerar poco confiable.
- Condición de la influencia hidráulica: El lugar escogido para levantar la sección no debe tener influencia de otro río que influya cerca o por una obra cercana. También no se deberá hacer después de una confluencia hacia aguas abajo o hacia aguas arriba.

4.5.LA EROSIÓN DE CUENCAS

Los sedimentos fluviales se originan en la erosión de la cuenca. La erosión es un proceso natural que se desarrolla continuamente desde los tiempos geológicos y que determina y modela la forma de la corteza terrestre.

El Glosario de la Organización Meteorológica Mundial define la erosión como el desgaste del suelo por acción del agua en movimiento, de los glaciales, vientos, olas.

FRIJLINK, en su libro Rivers, nos dice que la erosión es el proceso natural de destrucción (“demolition”) de la superficie de la Tierra y la remoción por el viento y el agua de los productos resultantes.

Como consecuencia de la erosión hay cambio de la pendiente original del terreno (pendiente endogenética). En algunos lugares hay remoción de materiales y en otros hay sedimentación. Como consecuencia aparece una nueva pendiente a ña que se denomina exogenetica, tal como se ve en la Figura 2-9.

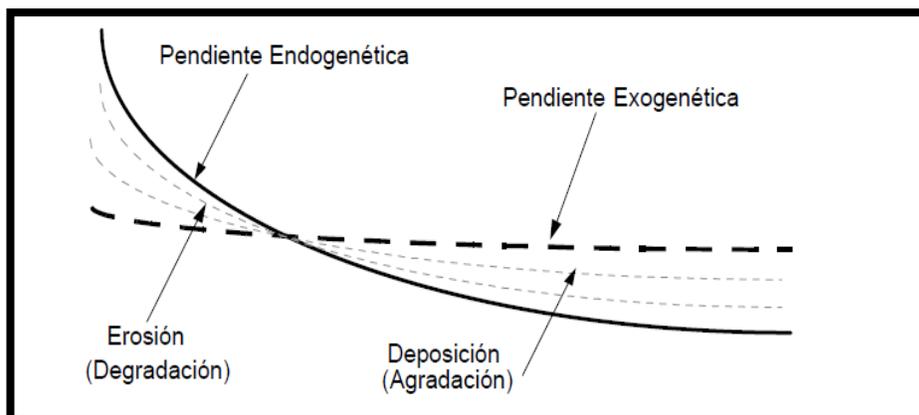


Figura 2-9. Variación de Pendientes durante la erosión

4.6. MODELADO HIDRÁULICO CON HEC RAS

4.6.1. SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN FLUJO ESTACIONARIO: CONCEPTOS BÁSICOS

4.6.1.1. Flujo gradualmente variado

Los cálculos están orientados a flujo unidimensional, para flujo estacionario gradualmente variado y para régimen mixto (sub crítico y supercrítico). Desarrollado con la ecuación de la energía, por un proceso iterativo: standart step method.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h$$

Donde:

Z_1 y Z_2 = elevación del cauce en la sección

Y_1 y Y_2 = elevación del agua en la sección

V_1 y V_2 = velocidades promedios

α_1 y α_2 = coeficiente de velocidad

g = aceleración de la gravedad

h_e = pérdida de energía

A continuación se muestra un diagrama de los términos de la ecuación.

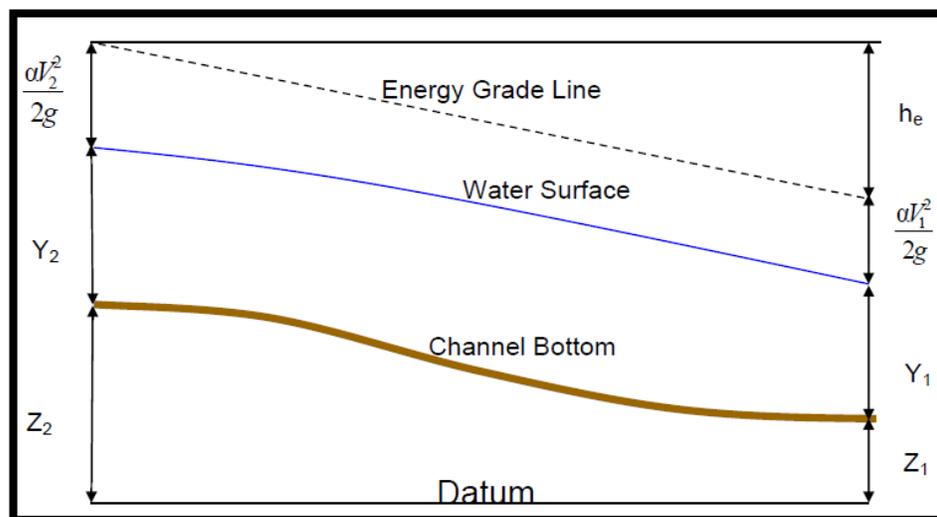


Figura 2-10. Diagrama de los términos de la ecuación

La pérdida h_e se compone de pérdidas por fricción y pérdidas por contracción o expansión.

4.6.1.2. Condiciones de frontera

Una condición de frontera aguas arriba es aplicada como un hidrograma del flujo de descarga en función del tiempo.

Cuatro tipos de condiciones de frontera para aguas abajo, se indica: Stage Hydrograph.

Nivel de agua en función del tiempo, si la corriente fluye en un entorno como el remanso de un estuario o bahía en la que se rige la elevación de la superficie del agua por las fluctuaciones de la marea, o donde desemboca en un lago o reservorios.

Flow Hydrograph. Puede utilizarse si los datos registrados está disponible y el modelo está calibrado a un evento de inundación específico.



Single Valued Rating Curve. Es función monótona de la etapa y el flujo. Puede emplearse para describir con precisión la etapa de flujo como cascadas, estructuras hidráulicas de control, aliviaderos, presas.

Normal Depth. Se introduce la pendiente de fricción, considerada como la profundidad normal, si existen las condiciones de flujo uniforme. Dado que las condiciones de flujo uniforme no existen normalmente en las corrientes naturales, esta condición de frontera debe ser utilizada aguas abajo del área de estudio.

5. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA LA SIMULACIÓN

5.1. COEFICIENTES DE RUGOSIDAD

La elección del coeficiente de rugosidad (“n” de Manning), se realizó mediante la observación en campo de las características del cauce principal y de los márgenes derecha e izquierda, así como la comparación con estudios anteriores y tablas.

Los valores de “n” varían según las características de los tramos del río. Sin embargo, para este proyecto se considera el coeficiente constante para cada tramo.

Cuadro II-3.- Valores del coeficiente de rugosidad para cauces naturales

VALORES DE MANNING			
Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Cauces Naturales			
1. Canales Principales			
a. Limpio, recto, lleno, sin fisuras, fondo profundo.	0.025	0.03	0.033
b. Igual al anterior, pero con algo de piedras y hierba	0.03	0.035	0.04
c. Limpio, sinuoso, poco profundo y bancos.	0.033	0.04	0.045
d. Igual al anterior, pero con algo de hierba y piedras	0.035	0.045	0.05
e. Igual al anterior, niveles inferiores, más pendientes y secciones menos efectivas.	0.04	0.048	0.055
f. Como el “d” pero más piedras.	0.045	0.05	0.06
g. Tramo lento, hierbas, fondo profundo.	0.05	0.07	0.08
h. Tramo con mayor maleza, fondo profundo, o recorrido de crecidas con soporte de madera y arbustos bajos.	0.07	0.1	0.15



<p>2. Llanura de inundación</p> <p>a. Pastura sin arbusto</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pasto Corto 2. Pasto Alto <p>b. Áreas Cultivadas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Sin Cultivo 2. Cultivo Maduro Alineado 3. Campo de cultivo maduro <p>c. Arbustos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Arbustos escasos, mucha maleza, 2. Pequeños arbustos y árboles, en invierno 3. Pequeños arbustos y árboles, en verano 4. Arbustos mediano a denso, en invierno 5. Arbustos mediano a denso, en verano <p>d. Árboles</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Terreno despejado con tocones de árboles, sin brotes. 2. Igual que el anterior, pero con muchos brotes. 3. Soporte de madera, algunos árboles caídos, pequeño crecimiento inferior, flujo por debajo de las ramas. 4. Igual al anterior, pero con flujo por encima de las ramas 5. Sauces densos, en verano, rectos. 	<p>0.025</p> <p>0.03</p> <p>0.02</p> <p>0.025</p> <p>0.03</p> <p>0.035</p> <p>0.035</p> <p>0.035</p> <p>0.035</p> <p>0.04</p> <p>0.045</p> <p>0.07</p> <p>0.03</p> <p>0.05</p> <p>0.08</p> <p>0.08</p> <p>0.1</p> <p>0.11</p>	<p>0.03</p> <p>0.035</p> <p>0.03</p> <p>0.035</p> <p>0.04</p> <p>0.05</p> <p>0.05</p> <p>0.06</p> <p>0.07</p> <p>0.1</p> <p>0.04</p> <p>0.06</p> <p>0.1</p> <p>0.12</p> <p>0.15</p>	<p>0.035</p> <p>0.05</p> <p>0.04</p> <p>0.045</p> <p>0.05</p> <p>0.07</p> <p>0.06</p> <p>0.08</p> <p>0.11</p> <p>0.16</p> <p>0.05</p> <p>0.08</p> <p>0.12</p> <p>0.16</p> <p>0.2</p>
<p>3. Cauces de montañas, sin vegetación en el canal, márgenes usualmente empinados, con árboles y arbustos sobre márgenes sumergidos.</p> <p>a. Fondo: Grava, guijarros y algo de cantos rodados.</p> <p>b. Fondo: Guijarros con mucho canto rodado.</p>	<p>0.03</p> <p>0.04</p>	<p></p> <p></p>	<p>0.05</p> <p>0.0</p>

Fuente: HEC RAS 4.1.0



En el **Cuadro II-4**, se indica los coeficientes de rugosidad por tramos y diferenciado por márgenes y cauce principal.

Cuadro II-4.- Valores del coeficiente de rugosidad

TRAMO	Coeficiente de rugosidad		
	Margen Izquierdo	Cauce	Margen Derecho
	0.030	0.025	0.030

5.2.CAUDALES

Se considera un flujo permanente o estacionario; el caudal no varía con el tiempo. Los efectos de laminación de avenidas no se tomarán en cuenta en el modelo. Según el Anexo I, el caudal de diseño calculado a través del Programa RIVER para los periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años son de 509.70, 795.25, 1,069.59 y 1,404.95 m³/s respectivamente el cual se muestra en el cuadro adjunto.

Cuadro II-5. Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno

PERIODO DE RETORNO (años)	CAUDAL (m ³ /s)
10	118.48
25	126.14
50	138.5
100	152.07



5.3.PENDIENTE DEL CAUCE

La pendiente del cauce en el tramo que se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro II-6.- Pendiente del cauce

PROG. INICIO	PROG. FINAL	LONG.	PENDIENTE
0+000.0	2+392	2392.00	5.00%

6. SOCAVACIÓN

La socavación que se produce en un río no puede ser calculada con exactitud, solo estimada, muchos factores intervienen en la ocurrencia de este fenómeno, tales como:

- El caudal
- Tamaño y conformación del material del cauce
- Cantidad de transporte de sólidos

Las ecuaciones que se presentan a continuación son una guía para estimar la geometría hidráulica del cauce de un río. Las mismas están en función del material del cauce.

6.1.SOCAVACIÓN GENERAL DEL CAUCE

Es aquella que se produce a todo lo ancho del cauce cuando ocurre una crecida debido al efecto hidráulico de un 'estrechamiento de la sección; la degradación del 'fondo de cauce se detiene cuando se alcanzan nuevas condiciones de equilibrio por disminución de la velocidad, a causa del aumento de la sección transversal debido al proceso de erosión.

Para la determinación de la socavación general se empleara el criterio de Lischtvan - Levediev:



Velocidad erosiva que es la velocidad media que se requiere para degradar el fondo está dado por las siguientes expresiones:

$V_e = 0.60 \gamma_d^{1.18} \beta H_s^x$; m/seg	suelos cohesivos
$V_c = 0.68 \beta d_m^{0.28} H_s^x$; m/seg	suelos no cohesivos

En donde:

V_e = Velocidad media suficiente para degradar el cauce en m/seg.

γ_d = Peso volumétrico del material seco que se encuentra a una profundidad H_s , medida desde la superficie del agua (Ton/m³)

β = Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia.

x = Es un exponente variable que está en función del peso volumétrico γ_s del material seco (Ton/m³)

H_s = Tirante considerado, a cuya profundidad se desea conocer que valor de V_e se requiere para arrastrar y levantar al material (m)

d_m = Es el diámetro medio (en mm) de los granos del fondo obtenido según la expresión.

En el cual:

d_i = diámetro medio, en mm, de una fracción en la curva granulométrica de la muestra total que se analiza.

p_i = Peso de esa misma porción, comparada respecto al peso total de la muestra. Las fracciones escogidas no deben ser iguales entre sí.

- (1) - Perfil antes de
(2) - Perfil después

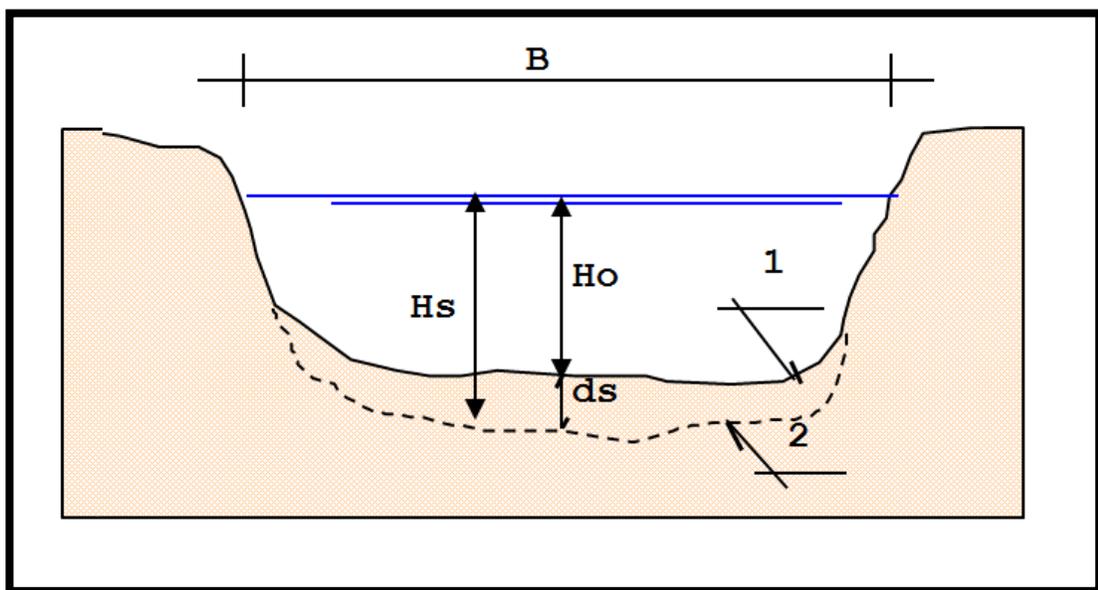


Figura 2-11. Diagrama de Socavación General del Cauce

Cálculo de la profundidad de la socavación en suelos homogéneos:

Suelos cohesivos:

$$H_s = \left[\frac{\alpha H_o^{5/3}}{0.60\beta \gamma_d^{1.18}} \right]^{1/(1+x)}$$

Suelos no cohesivos:

$$H_s = \left[\frac{\alpha H_o^{5/3}}{0.68\beta d_m^{0.28}} \right]^{1/(1+x)}$$

Donde:

$$\alpha = Q_d / (H_m^{5/3} B_e \mu)$$

Q_d = caudal de diseño (m³/seg)

B_e = ancho efectivo de la superficie del líquido en la sección

μ = coeficiente de contracción. Ver tabla N° 1

H_m = profundidad media de la sección = Area / B_e

x = exponente variable que depende del diámetro de

d_m = diámetro medio (mm)



"SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE PLANICIES
DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO DE LA CIUDAD DE OTUZCO
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD – 2015"

Cuadro II-7.- Coeficiente de contracción, μ

Velocidad media en la sección, en m / seg	Longitud libre entre dos estribos												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

TABLA N° 2

VALORES DE X PARA SUELOS COHESIVOS Y NO COHESIVOS

SUELOS COHESIVOS		SUELOS NO COHESIVOS	
P. ESPECIFICO γ_d (Tn/m ³)	x	dm (mm)	x
0.80	0.52	0.05	0.43
0.83	0.51	0.15	0.42
0.86	0.50	0.50	0.41
0.88	0.49	1.00	0.40
0.90	0.48	1.50	0.39
0.93	0.47	2.50	0.38
0.96	0.46	4.00	0.37
0.98	0.45	6.00	0.36
1.00	0.44	8.00	0.35
1.04	0.43	10.00	0.34
1.08	0.42	15.00	0.33
1.12	0.41	20.00	0.32
1.16	0.40	25.00	0.31
1.20	0.39	40.00	0.30
1.24	0.38	60.00	0.29
1.28	0.37	90.00	0.28
1.34	0.36	140.00	0.27
1.40	0.35	190.00	0.26
1.46	0.34	250.00	0.25
1.52	0.33	310.00	0.24
1.58	0.32	370.00	0.23
1.64	0.31	450.00	0.22
1.71	0.30	570.00	0.21
1.80	0.29	750.00	0.20
1.89	0.28	1000.00	0.19
2.00	0.27		

TABLA N° 3

VALORES DEL COEFICIENTE β

Periodo de retorno del gasto de diseño (años)	Coefficiente β
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
500	1.05



CAPITULO III: RESULTADOS

1. TOPOGRAFÍA

1.1. DELIMITACION DEL AREA DEL PROYECTO

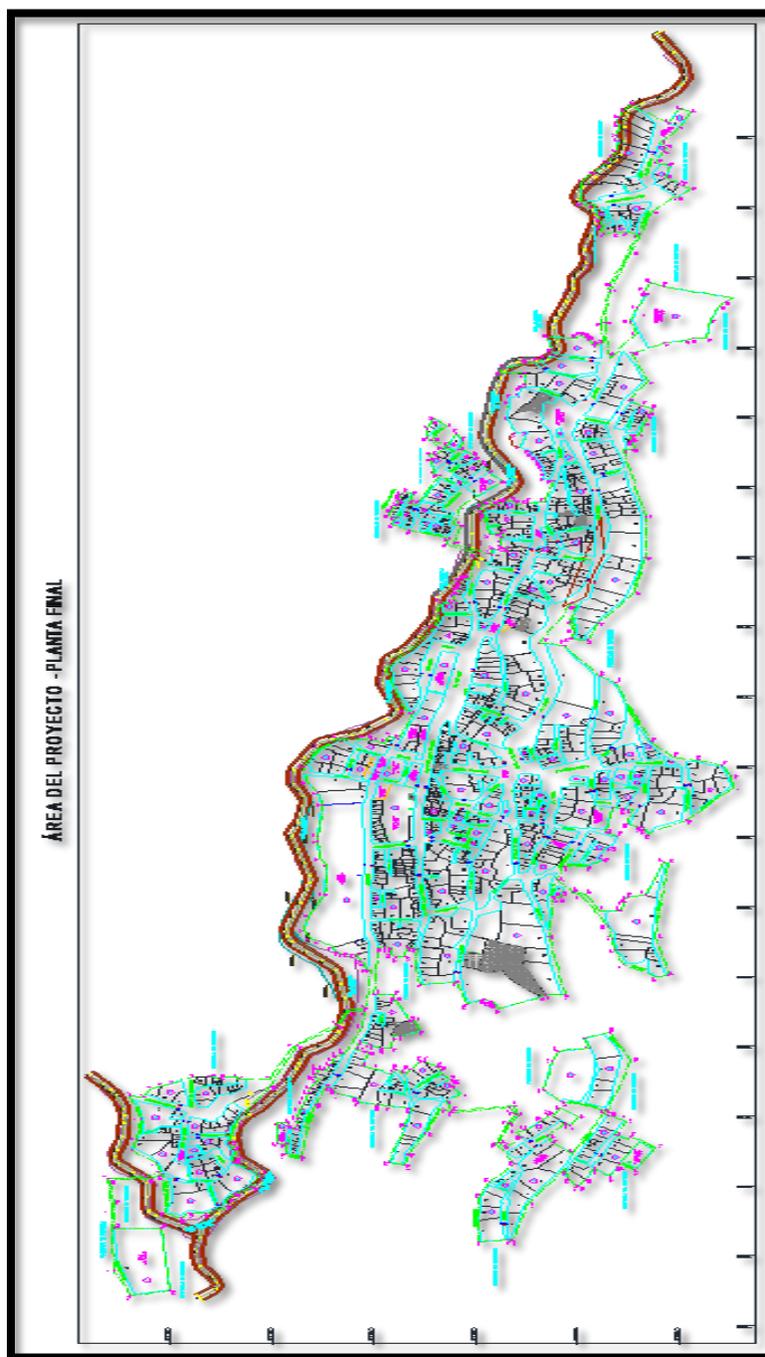


Figura 3-1. Área del proyecto



La topografía fue elaborada por el Consultor. El trabajo alcanzó al cauce y la en la Cuenca media y Baja del Río San Ignacio.

La topografía ha considerado lo siguiente:

- ✓ En las zonas planas del cauce se consideró un área adicional de 200 m. como mínimo en cada margen.
- ✓ En zonas que exista coronación con probabilidad que ocurra desbordes (en cualquier margen), se consideró un área adicional (área agrícola) de 200 m.
- ✓ En zonas que contengan coronación de borde del cauce sin probabilidad de desborde, se consideró un área adicional de 200 m. a ambas márgenes.
- ✓ En los tramos de curva, se consideró mayor densidad de puntos de relleno topográfico

1.2.MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)

Es la representación digital de la superficie terrestre; conjunto de capas (generalmente ráster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (DEM).

A partir de las curvas de nivel se elaboró una Red Irregular de Triángulos (TIN), en los que se conoce la elevación y posición.



Figura 3-2. Modelo Digital de Elevaciones TIN

2. ESTUDIO HIDROLÓGICO

2.1 PRECIPITACIÓN

Las lluvias son estacionales, se producen en forma irregular, durante los meses de Junio a Diciembre; a partir de Enero con copiosas y torrenciales, durante hasta el mes de Marzo y algunas veces hasta el mes de abril.



*“SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE PLANICIES
DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO DE LA CIUDAD DE OTUZCO
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD – 2015”*

Cuadro III-1.- Datos de precipitación máxima

DATOS ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA														Cota =	3290
Estación: Huamachuco		Latitud 7° 49' 49"													
Denominación:		Coordenadas UTM Huso 17L													
		Longitud 78° 3' 3"													
DATOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)															
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo		
1983	24.40	13.00	38.20	31.10	11.70	14.40	11.00	14.50	7.50	17.50	5.40	20.60	38.20	Marzo	
1984	16.10	35.20	29.40	21.10	25.70	13.30	4.50	5.80	9.80	32.90	36.50	19.50	36.50	Noviembre	
1985	5.10	15.70	21.80	30.60	21.20	18.50	2.30	2.40	21.50	20.00	12.60	18.80	30.60	Abril	
1986	23.30	7.20	12.40	17.50	10.60	15.90	7.20	12.40	17.50	10.60	15.90	27.00	27.00	Diciembre	
1987	35.20	28.70	29.70	34.30	6.50	10.00	5.30	5.50	9.60	12.10	35.70	37.50	37.50	Diciembre	
1988	21.50	15.40	18.20	24.20	17.20	7.10	8.30	1.80	10.60	17.10	15.10	22.80	24.20	Abril	
1989	19.30	23.80	36.20	25.20	20.00	6.70	0.00	3.10	20.10	18.20	35.80	0.00	36.20	Marzo	
1990	33.50	24.60	4.00	16.20	7.50	14.00	1.20	0.00	20.10	28.60	20.40	9.20	33.50	Enero	
1991	21.60	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	21.60	Enero	
1992	s/d	s/d	s/d	s/d	7.60	15.30	2.10	12.80	23.80	21.50	8.30	25.40	25.40	Diciembre	
1993	21.00	22.20	26.30	22.50	9.50	0.00	8.90	1.20	20.80	18.10	30.50	22.20	30.50	Noviembre	
1994	15.50	52.20	25.50	30.00	7.50	2.70	2.50	12.00	7.50	21.30	32.60	27.10	52.20	Febrero	
1995	15.00	37.60	13.70	39.20	11.90	7.90	2.50	0.90	3.30	24.10	26.60	18.10	39.20	Abril	
1996	11.10	34.70	20.70	14.30	6.20	2.80	1.40	4.90	9.80	24.30	14.40	20.20	34.70	Febrero	
1997	24.70	23.80	30.80	9.30	16.30	6.10	0.00	12.80	26.00	35.10	23.10	33.50	35.10	Octubre	
1998	25.40	35.70	29.10	21.10	9.10	6.40	0.80	3.90	5.90	19.00	24.60	8.90	35.70	Febrero	
1999	28.20	49.40	24.20	10.80	12.90	17.30	1.10	3.90	19.30	10.90	34.10	22.40	49.40	Febrero	
2000	30.50	32.10	23.00	12.10	22.10	12.40	2.10	8.40	9.60	16.60	14.60	19.50	32.10	Febrero	
2001	22.30	19.30	29.60	5.70	11.10	2.50	3.70	0.60	5.50	31.90	20.80	34.00	34.00	Diciembre	
2002	20.60	16.90	27.00	20.90	13.20	5.70	7.70	0.00	11.40	22.70	25.70	31.20	31.20	Diciembre	
2003	16.40	18.00	24.00	21.10	4.90	5.90	2.60	7.20	14.20	18.60	24.80	19.20	24.80	Noviembre	
2004	13.60	14.40	12.10	15.20	8.30	1.30	10.90	10.40	12.40	21.00	43.30	13.20	43.30	Noviembre	
2005	23.30	34.80	43.10	28.20	7.80	5.70	0.00	13.00	10.40	27.10	6.20	28.20	43.10	Marzo	
2006	51.10	17.20	31.40	22.10	19.10	17.50	7.50	28.00	12.80	21.40	17.80	14.70	51.10	Enero	
2007	24.50	23.20	25.20	22.90	20.70	0.00	6.70	3.40	8.60	38.90	18.00	23.10	38.90	Octubre	
2008	25.60	22.70	16.00	28.00	27.40	16.90	6.20	5.20	26.40	19.80	17.00	17.70	28.00	Abril	
2009	29.90	12.50	31.50	30.00	28.60	8.10	10.60	10.20	8.20	23.00	21.20	24.20	31.50	Marzo	
2010	19.30	33.90	47.30	29.90	19.50	13.40	10.80	6.70	6.60	15.10	17.70	32.50	47.30	Marzo	
2011	26.40	17.90	24.10	30.50	8.30	0.40	9.80	0.60	26.40	13.00	16.90	29.10	30.50	Abril	
2012	35.20	40.60	19.90	23.70	12.60	3.40	0.00	40.20	4.80	17.00	25.10	27.30	40.60	Febrero	
2013	23.00	24.40	21.20	51.30	21.00	3.80	10.10	6.20	4.30	23.00	10.50	24.80	51.30	Abril	
2014	26.40	53.80	40.00	24.20	19.00	0.60	22.10	1.80	s/d	s/d	s/d	s/d	53.80	Febrero	
MAX	51.10	53.80	47.30	51.30	28.60	18.50	22.10	40.20	26.40	38.90	43.30	37.50	53.80		

Fuente: SENAMHI – Oficina de Estadística



Cuenca

Cuadro III-2. Parámetros morfométricos microcuenca San Ignacio

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
De la superficie		
Área	km ²	36.59
Perímetro de la cuenca	km	25.18
Cotas		
Cota máxima	msnm	4300.00
Cota mínima	msnm	3116.75
Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 18S)		
X centroide	m	757194.33
Y centroide	m	9133732.63
Z centroide	msnm	3859.66
Altitud		
Altitud media	msnm	3859.658676
Altitud más frecuente	msnm	3954.89
Altitud de frecuencia media (1/2)	msnm	3811.58
Pendiente		
pendiente promedio de la cuenca	%	23.26163703
De la Red Hídrica		
Longitud del curso principal	km	10.25
Longitud de la red hídrica	km	1.75
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	1.25
Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	horas	0.91404379
pendiente del cauce principal	m/km	115.4386909



Curva Hipsométrica

Nro	Cota(msnm)			Area (km2)			
	Mínimo	Máximo	Prom	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter
1	3116.75	3215.36	3166.06	0.30	36.59	100.00	0.83
2	3215.36	3313.96	3264.66	0.81	36.29	99.17	2.20
3	3313.96	3412.57	3363.26	1.37	35.48	96.97	3.73
4	3412.57	3511.17	3461.87	3.11	34.11	93.24	8.50
5	3511.17	3609.77	3560.47	4.05	31.00	84.73	11.08
6	3609.77	3708.38	3659.07	4.09	26.95	73.65	11.17
7	3708.38	3806.98	3757.68	4.57	22.86	62.48	12.48
8	3806.98	3905.58	3856.28	4.99	18.30	50.01	13.63
9	3905.58	4004.19	3954.89	5.15	13.31	36.37	14.07
10	4004.19	4102.79	4053.49	4.47	8.16	22.30	12.23
11	4102.79	4201.40	4152.09	3.54	3.69	10.07	9.67
12	4201.40	4300.00	4250.70	0.15	0.15	0.41	0.41
				36.59	36.59	100.00	100.00

Altitud media = 3859.66

Altitud más frecuente = 3954.89

Altitud de frecuencia 1/2 = 3811.581354 msnm

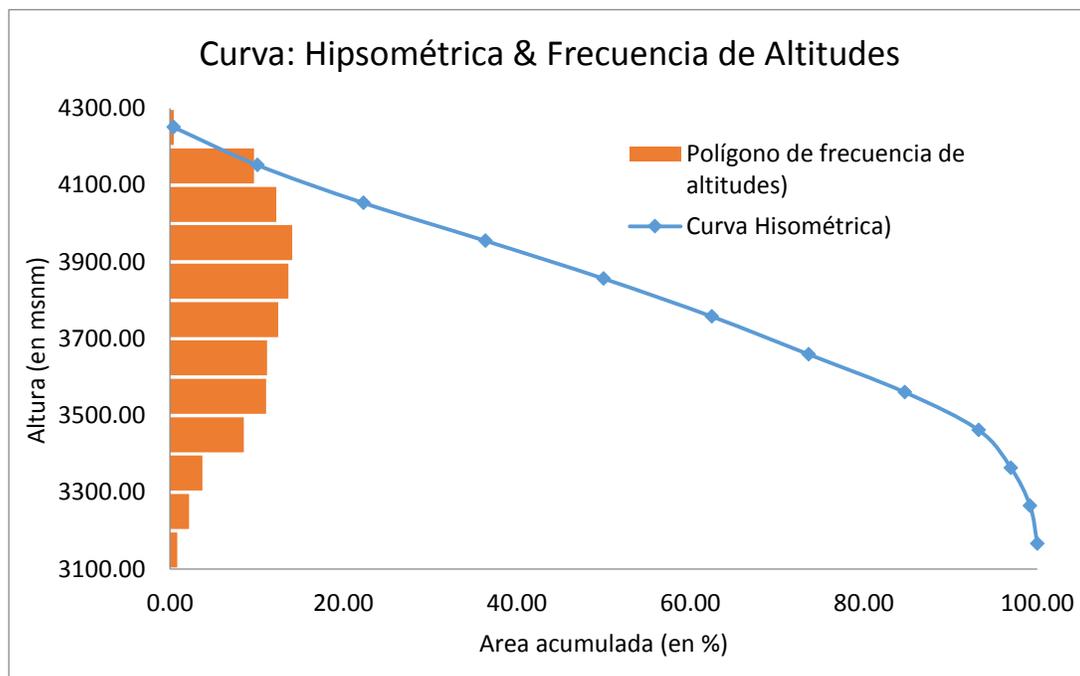


Figura 3-3. Curva Hipsométrica & Frecuencia de Altitudes

Precipitación máxima probable

**Cuadro III-3.
Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel**

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1983	Marzo	38.20	2.78472656
2	1984	Noviembre	36.50	0.00097656
3	1985	Abril	30.60	35.1797266
4	1986	Diciembre	27.00	90.8447266
5	1987	Diciembre	37.50	0.93847656
6	1988	Abril	24.20	152.059727
7	1989	Marzo	36.20	0.10972656
8	1990	Enero	33.50	9.18847656
9	1991	Enero	21.60	222.942227
10	1992	Diciembre	25.40	123.904727
11	1993	Noviembre	30.50	36.3759766



"SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE PLANICIES
DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO DE LA CIUDAD DE OTUZCO
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD – 2015"

12	1994	Febrero	52.20	245.509727
13	1995	Abril	39.20	7.12222656
14	1996	Febrero	34.70	3.35347656
15	1997	Octubre	35.10	2.04847656
16	1998	Febrero	35.70	0.69097656
17	1999	Febrero	49.40	165.604727
18	2000	Febrero	32.10	19.6359766
19	2001	Diciembre	34.00	6.40722656
20	2002	Diciembre	31.20	28.4222266
21	2003	Noviembre	24.80	137.622227
22	2004	Noviembre	43.30	45.8159766
23	2005	Marzo	43.10	43.1484766
24	2006	Enero	51.10	212.248477
25	2007	Octubre	38.90	5.61097656
26	2008	Abril	28.00	72.7822266
27	2009	Marzo	31.50	25.3134766
28	2010	Marzo	47.30	115.965977
29	2011	Abril	30.50	36.3759766
30	2012	Febrero	40.60	16.5547266
31	2013	Abril	51.30	218.115977
32	2014	Febrero	53.80	298.209727
32		Suma	1169.0	2380.9

Cálculo de variables probabilísticas

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = 36.53 \text{ mm}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 8.76 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s = 6.83 \text{ mm}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha = 32.59 \text{ mm}$$



Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}}$$

Cuadro III-4. Por periodo de retornos

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Variable Reducida</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0.3665	35.0916	0.5000	39.6535
5	1.4999	42.8364	0.8000	48.4051
10	2.2504	47.9641	0.9000	54.1994
25	3.1985	54.4430	0.9600	61.5205
50	3.9019	59.2493	0.9800	66.9518
100	4.6001	64.0203	0.9900	72.3429
500	6.2136	75.0451	0.9980	84.8010

Intensidades de lluvia a partir de Pd, según Duración de precipitación y Frecuencia de la misma

$$I = \frac{P [mm]}{tduración [hr.]}$$



Cuadro III-5. Intensidades de lluvias por periodo de retorno

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	1.6522	2.0169	2.2583	2.5634	2.7897	3.0143	3.5334
18 hr	1080	2.0047	2.4471	2.7401	2.7342	3.3848	3.6573	4.2872
12 hr	720	2.6436	3.2270	3.6133	4.1014	4.4635	4.8229	5.6534
8 hr	480	3.3705	4.1144	4.6070	5.2292	5.6909	6.1491	7.2081
6 hr	360	4.0314	4.9212	5.5103	6.2546	6.8068	7.3549	8.6214
5 hr	300	4.5205	5.5182	6.1787	7.0133	7.6325	8.2471	9.6673
4 hr	240	5.1550	6.2927	7.0459	7.9977	8.7037	9.4046	11.0241
3 hr	180	6.0802	7.4221	8.3106	9.4331	10.2659	11.0926	13.0028
2 hr	120	7.7324	9.4390	10.5689	11.9965	13.0556	14.1069	16.5362
1 hr	60	11.8961	14.5215	16.2598	18.4562	20.0855	21.7029	25.4403



Cuadro III-6. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	39.6535	48.4051	54.1994	61.5205	66.9518	72.3429	84.8010
18 hr	X18 = 91%	36.0847	44.0486	49.3215	49.2164	60.9261	65.8320	77.1689
12 hr	X12 = 80%	31.7228	38.7241	43.3595	49.2164	53.5614	57.8743	67.8408
8 hr	X8 = 68%	26.9644	32.9155	36.8556	41.8340	45.5272	49.1932	57.6646
6 hr	X6 = 61%	24.1887	29.5271	33.0616	37.5275	40.8406	44.1292	51.7286
5 hr	X5 = 57%	22.6025	27.5909	30.8937	35.0667	38.1625	41.2354	48.3365
4 hr	X4 = 52%	20.6198	25.1707	28.1837	31.9907	34.8149	37.6183	44.0965
3 hr	X3 = 46%	18.2406	22.2663	24.9317	28.2994	30.7978	33.2777	39.0084
2 hr	X2 = 39%	15.4649	18.8780	21.1378	23.9930	26.1112	28.2137	33.0724
1 hr	X1 = 30%	11.8961	14.5215	16.2598	18.4562	20.0855	21.7029	25.4403

Regresiones I-D-T

Representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

En el cual:

- I= Intensidad (mm/hr)
- t= Duración de lluvia (min)
- T= Periodo de retorno (años)
- K, m, n= Parámetros de ajuste



Realizando un cambio de variable:

$$d = K \cdot T^m$$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

Cuadro III-7. Periodo de retorno para T= 2 años

<i>Periodo de retorno para T = 2 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	1.6522	7.2724	0.5021	3.6517	52.8878
2	1080	2.0047	6.9847	0.6955	4.8579	48.7863
3	720	2.6436	6.5793	0.9721	6.3959	43.2865
4	480	3.3705	6.1738	1.2151	7.5016	38.1156
5	360	4.0314	5.8861	1.3941	8.2060	34.6462
6	300	4.5205	5.7038	1.5086	8.6049	32.5331
7	240	5.1550	5.4806	1.6400	8.9880	30.0374
8	180	6.0802	5.1930	1.8050	9.3735	26.9668
9	120	7.7324	4.7875	2.0454	9.7925	22.9201
10	60	11.8961	4.0943	2.4762	10.1384	16.7637
10	4980	49.0867	58.1555	14.2542	77.5102	346.9435
Ln (d) = 5.0100		d = 149.9112		n = -0.6164		



Serie T= 2 años	
x	y
1440	1.6522
1080	2.0047
720	2.6436
480	3.3705
360	4.0314
300	4.5205
240	5.1550
180	6.0802
120	7.7324
60	11.8961

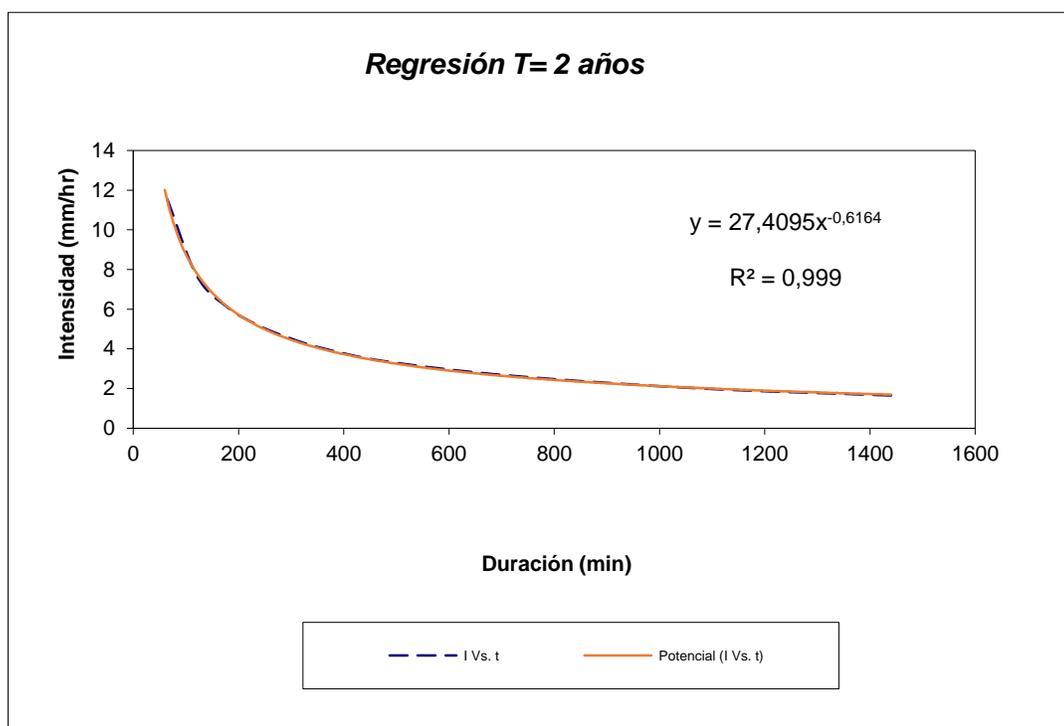


Figura 3-4. Gráfica de Regresión T=2 años



Cuadro III-8. Periodo de retorno para T= 5 años

<i>Periodo de retorno para T = 5 años</i>								
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2		
1	1440	2.0169	7.2724	0.7016	5.1020	52.8878		
2	1080	2.4471	6.9847	0.8949	6.2508	48.7863		
3	720	3.2270	6.5793	1.1716	7.7080	43.2865		
4	480	4.1144	6.1738	1.4145	8.7328	38.1156		
5	360	4.9212	5.8861	1.5935	9.3798	34.6462		
6	300	5.5182	5.7038	1.7080	9.7423	32.5331		
7	240	6.2927	5.4806	1.8394	10.0810	30.0374		
8	180	7.4221	5.1930	2.0045	10.4091	26.9668		
9	120	9.4390	4.7875	2.2448	10.7472	22.9201		
10	60	14.5215	4.0943	2.6756	10.9550	16.7637		
10	4980	59.9201	58.1555	16.2485	89.1079	346.9435		
<i>Ln (d) =</i>		5.2095	<i>d =</i>		182.9967	<i>n =</i>		-0.6164

Serie T= 5 años	
x	y
1440	2.0169
1080	2.4471
720	3.2270
480	4.1144
360	4.9212
300	5.5182
240	6.2927
180	7.4221
120	9.4390
60	14.5215

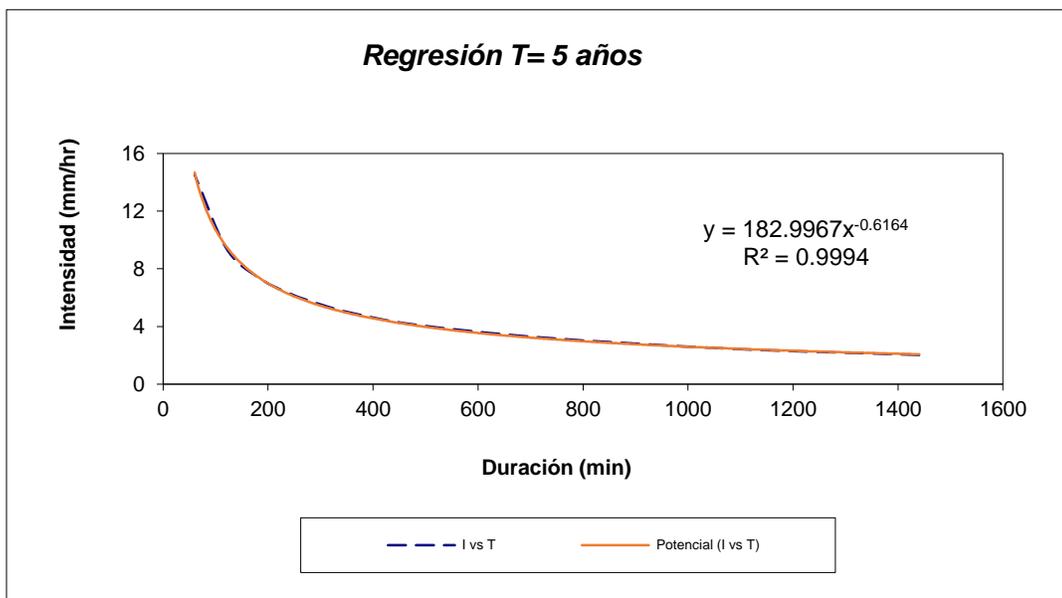


Figura 3-5. Gráfica de Regresión T=5 años

Cuadro III-9. Periodo de retorno para T= 10 años

<i>Periodo de retorno para T = 10 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	2.2583	7.2724	0.8146	5.9242	52.8878
2	1080	2.7401	6.9847	1.0080	7.0405	48.7863
3	720	3.6133	6.5793	1.2846	8.4518	43.2865
4	480	4.6070	6.1738	1.5276	9.4309	38.1156
5	360	5.5103	5.8861	1.7066	10.0453	34.6462
6	300	6.1787	5.7038	1.8211	10.3872	32.5331
7	240	7.0459	5.4806	1.9524	10.7007	30.0374
8	180	8.3106	5.1930	2.1175	10.9962	26.9668
9	120	10.5689	4.7875	2.3579	11.2885	22.9201
10	60	16.2598	4.0943	2.7887	11.4179	16.7637
10	4980	67.0929	58.1555	17.3791	95.6833	346.9435
Ln (d) = 5.3225		d = 204.9022		n = -0.6164		



Serie T= 10 años	
x	y
1440	2.2583
1080	2.7401
720	3.6133
480	4.6070
360	5.5103
300	6.1787
240	7.0459
180	8.3106
120	10.5689
60	16.2598

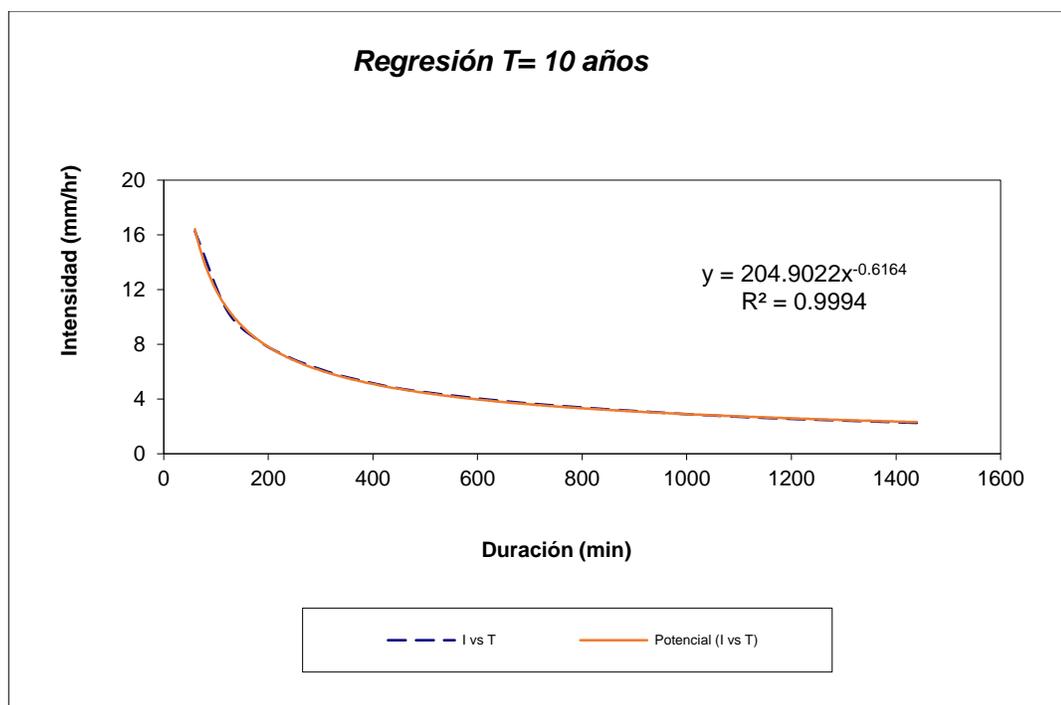


Figura 3-6. Gráfica de Regresión T=10 años



Cuadro III-10. Periodo de retorno para T= 25 años

<i>Periodo de retorno para T = 25 años</i>								
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2		
1	1440	2.5634	7.2724	0.9413	6.8456	52.8878		
2	1080	2.7342	6.9847	1.0059	7.0256	48.7863		
3	720	4.1014	6.5793	1.4113	9.2854	43.2865		
4	480	5.2292	6.1738	1.6543	10.2131	38.1156		
5	360	6.2546	5.8861	1.8333	10.7911	34.6462		
6	300	7.0133	5.7038	1.9478	11.1099	32.5331		
7	240	7.9977	5.4806	2.0792	11.3951	30.0374		
8	180	9.4331	5.1930	2.2442	11.6542	26.9668		
9	120	11.9965	4.7875	2.4846	11.8951	22.9201		
10	60	18.4562	4.0943	2.9154	11.9366	16.7637		
10	4980	75.7796	58.1555	18.5173	102.1517	346.9435		
<i>Ln (d) =</i>		5.5366	<i>d =</i>		253.8147	<i>n =</i>		-0.6336

Serie T= 25 años	
x	y
1440	2.5634
1080	2.7342
720	4.1014
480	5.2292
360	6.2546
300	7.0133
240	7.9977
180	9.4331
120	11.9965
60	18.4562

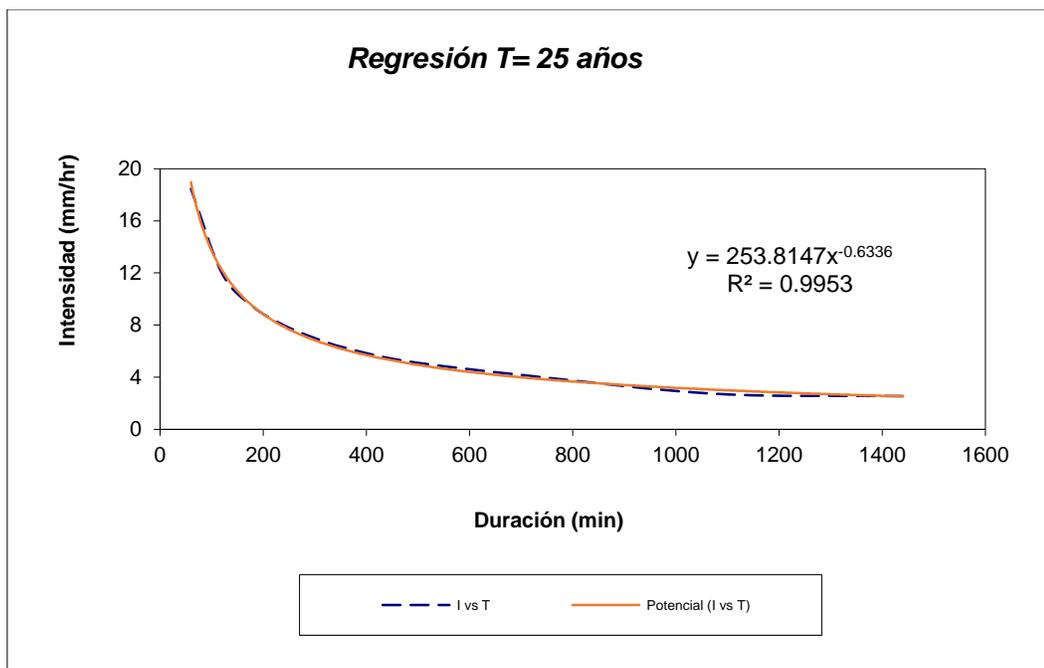


Figura 3-7. Gráfica de Regresión T=25 años

Cuadro III-11. Periodo de retorno para T= 50 años

<i>Periodo de retorno para T = 50 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	2.7897	7.2724	1.0259	7.4609	52.8878
2	1080	3.3848	6.9847	1.2193	8.5164	48.7863
3	720	4.4635	6.5793	1.4959	9.8420	43.2865
4	480	5.6909	6.1738	1.7389	10.7354	38.1156
5	360	6.8068	5.8861	1.9179	11.2891	34.6462
6	300	7.6325	5.7038	2.0324	11.5925	32.5331
7	240	8.7037	5.4806	2.1638	11.8587	30.0374
8	180	10.2659	5.1930	2.3288	12.0935	26.9668
9	120	13.0556	4.7875	2.5692	12.3001	22.9201
10	60	20.0855	4.0943	3.0000	12.2830	16.7637
10	4980	82.8788	58.1555	19.4921	107.9716	346.9435
$Ln(d) = 5.5338$		$d = 253.1128$		$n = -0.6164$		



Serie T= 50 años	
x	y
1440	2.7897
1080	3.3848
720	4.4635
480	5.6909
360	6.8068
300	7.6325
240	8.7037
180	10.2659
120	13.0556
60	20.0855

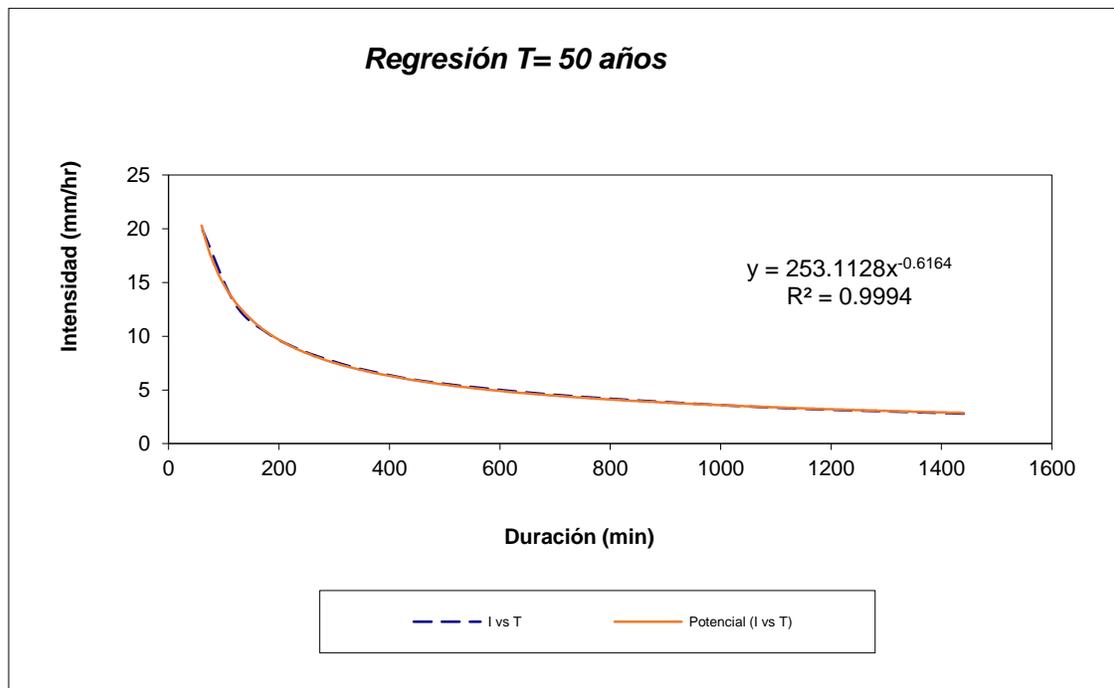


Figura 3-8. Gráfica de Regresión T=50 años



Cuadro III-12. Periodo de retorno para T= 100 años

<i>Periodo de retorno para T = 100 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	3.0143	7.2724	1.1034	8.0241	52.8878
2	1080	3.6573	6.9847	1.2967	9.0573	48.7863
3	720	4.8229	6.5793	1.5734	10.3516	43.2865
4	480	6.1491	6.1738	1.8163	11.2135	38.1156
5	360	7.3549	5.8861	1.9954	11.7449	34.6462
6	300	8.2471	5.7038	2.1099	12.0342	32.5331
7	240	9.4046	5.4806	2.2412	12.2832	30.0374
8	180	11.0926	5.1930	2.4063	12.4957	26.9668
9	120	14.1069	4.7875	2.6467	12.6709	22.9201
10	60	21.7029	4.0943	3.0774	12.6001	16.7637
10	4980	89.5525	58.1555	20.2666	112.4755	346.9435
$Ln(d) = 5.6113$		$d = 273.4941$		$n = -0.6164$		

Serie T= 100 años	
x	y
1440	3.0143
1080	3.6573
720	4.8229
480	6.1491
360	7.3549
300	8.2471
240	9.4046
180	11.0926
120	14.1069
60	21.7029

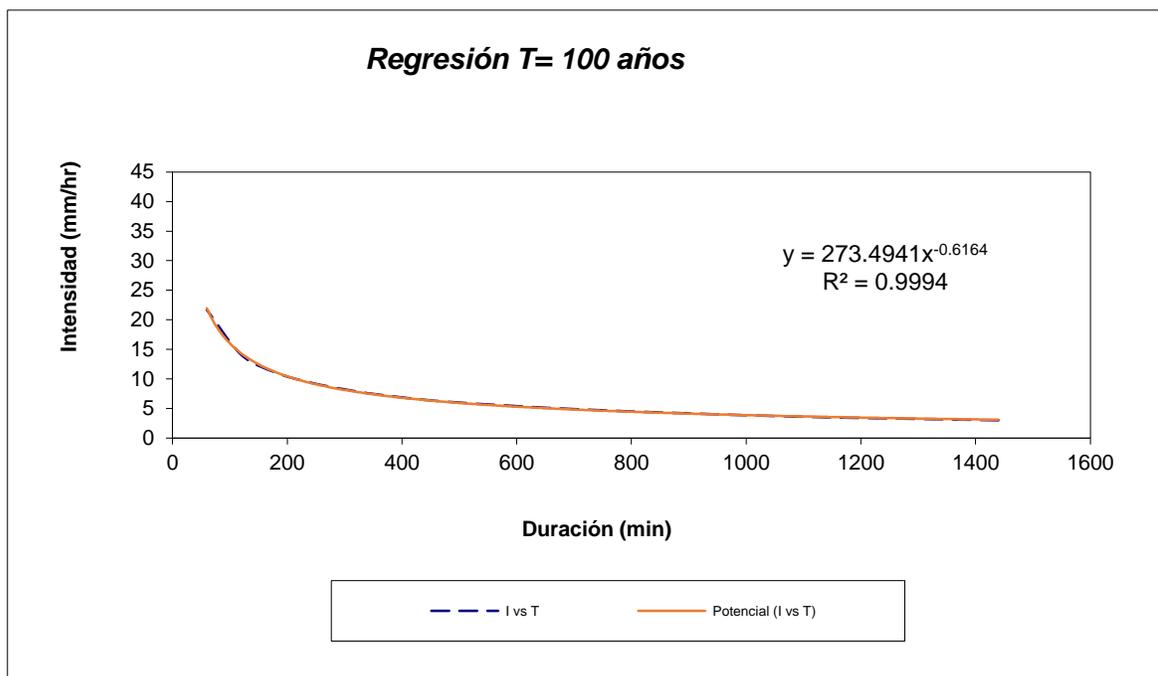


Figura 3-9. Gráfica de Regresión T=100 años

Cuadro III-13. Periodo de retorno para T= 500 años

<i>Periodo de retorno para T = 500 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) ²
1	1440	3.5334	7.2724	1.2623	9.1796	52.8878
2	1080	4.2872	6.9847	1.4556	10.1671	48.7863
3	720	5.6534	6.5793	1.7323	11.3970	43.2865
4	480	7.2081	6.1738	1.9752	12.1945	38.1156
5	360	8.6214	5.8861	2.1543	12.6801	34.6462
6	300	9.6673	5.7038	2.2687	12.9405	32.5331
7	240	11.0241	5.4806	2.4001	13.1540	30.0374
8	180	13.0028	5.1930	2.5652	13.3208	26.9668
9	120	16.5362	4.7875	2.8056	13.4316	22.9201
10	60	25.4403	4.0943	3.2363	13.2507	16.7637
10	4980	104.9742	58.1555	21.8555	121.7158	346.9435
<i>Ln (d) =</i>	5.7702	<i>d =</i>	320.5921	<i>n =</i>	-0.6164	



Serie T= 500 años	
x	y
1440	3.5334
1080	4.2872
720	5.6534
480	7.2081
360	8.6214
300	9.6673
240	11.0241
180	13.0028
120	16.5362
60	25.4403

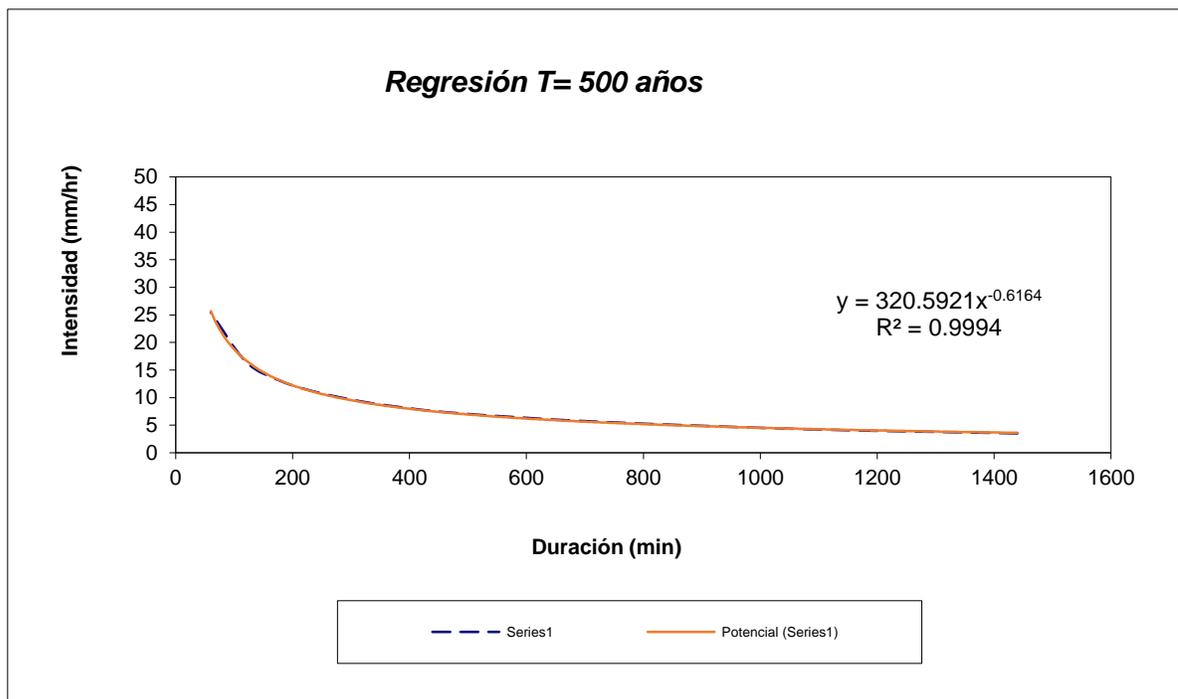


Figura 3-10. Gráfica de Regresión T=500 años



2.2 CALCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca

Trascurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad) Entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c , El tiempo de concentración real depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente pues una mayor pendiente produce flujos más veloces y en menor tiempo de concentración, el área, las características del suelo, cobertura vegetal, etc. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área.

El tiempo de concentración en un sistema de drenaje pluvial es:

Tiempo de Concentración:

- $T_c = 0.000325 * L^{0.77} / S^{0.385}$
- T_c : Tiempo de Concentración en horas
- L : Longitud de Drenaje, 10.25 km
- S : Pendiente del Curso Principal, 0.115 m/m
- $T_c = 0.91$ Hr

$$Q_p = 0.278 C_i A$$



Cuadro III-15. Cálculo del caudal máximo de diseño

Tiempo de Retorno (años)	Area (Km²)	T. Concentración (min)	Intensidad (*) (mm/h)	Caudal (m³/s)	Forma de Drenaje
10.00	36.59	54.84	16.86	111.48	Quebrada
25.00	36.59	54.84	19.08	126.14	Quebrada
50.00	36.59	54.84	20.95	138.50	Quebrada
100.00	36.59	54.84	23.00	152.07	Quebrada

2.3 SELECCIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO DE DISEÑO

La selección del caudal de máximo diseño para el modelamiento hidráulico con He Ras, ha considerado asumir los máximos eventos extraordinarios que deberían producirse en la cuenca, para esto como se observa de los dos métodos utilizados el Método Racional es el que da mayores resultados y es el que se ha asumido para los siguientes periodos de retorno.

Periodo de retorno (años)	10	25	50	100
Qmax (m ³ /s)	111.48	126.14	138.50	152.07

3. SIMULACIÓN HIDRÁULICA

3.1 MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

Es la representación digital de la superficie terrestre; conjunto de capas (generalmente ráster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (DEM).

A partir de las curvas de nivel se elaboró una Red Irregular de Triángulos (TIN), en los que se conoce la elevación y posición. Ver Figura 4-12.



Figura 3-11. Modelo digital de elevaciones – TIN

3.2 ANCHO ESTABLE TEÓRICO DEL CAUCE (B)

Con el empleo del programa RIVER, se estimó el ancho estable del cauce del río.

El programa considera 5 métodos:

- (1) Recomendación Práctica,
- (2) Método de Pettit,
- (3) Método de Simons y Henderson,
- (4) Método de Blench y Altunin
- (5) Método de Manning y Strickler



Cuadro III-16. Calculo Hidráulico

CALCULO HIDRÁULICO									
SECCIÓN ESTABLE O AMPLITUD DE CAUCE (B)									
$Q_{\text{DISEÑO}}$ (m ³ /seg)	MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON			MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING			MÉTODO DE BLENCH		
	$B = K_1 Q^{1/2}$			$B = (Q^{1/2}/S^{1/5}) (n K^{5/3})^{3/(3+5m)}$			$B = 1.81(Q F_b/F_s)^{1/2}$		
138.50	Condiciones de Fondo de río	K_1	B (m)	Valores rugosidad de Manning (n)		B (m)	Factores		
Pendiente Zona del Proyecto (m/m)	Fondo y orillas de grava	2.9	34.13	Descripción	n	11.18	Factor de Fondo	F_b	
				Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil = 0.045 - 0.050	0.05		Material Grueso	1.2	
				Coeficiente Material del Cauce			73.79	Factor de Orilla	F_s
								Materiales sueltos	0.1
0.05400	MÉTODO DE PETTIS			Descripción	K	11.18			
				Material de cauce muy resistente = 3 a 4	3		Factor de Orilla	F_s	
				B (m)	Coeficiente de Tipo de Río				
				52.25	Descripción	m			
					Para ríos de montaña	0.5			
RESUMEN :									
							MÉTODO	B (m)	
							MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON	34.13	
							MÉTODO DE PETTIS	52.25	
							MÉTODO DE ALTUNIN - MANNING	11.18	
							MÉTODO DE BLENCH	73.79	
							RECOMENDACIÓN PRACTICA	70.00	
							=====> PROMEDIO B :	48.27	
							=====> SE ADOPTA B :	9.00	
<i>Se elige este ancho por adaptarse a la zona de estudio.</i>									

Todos estos métodos son empíricos y bajo la teoría del régimen estable.

El ancho estable promedio calculado para los diferentes periodos de retorno, tomando el caudal de diseño del método que presenta el mejor ajuste se muestra en el cuadro adjunto.



4 MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC RAS

Las dimensiones de la protección y encauzamiento se obtendrán a partir de la modelación hidráulica para un régimen permanente. El cálculo se ha realizado con el programa Hec Ras con información de los caudales de diseño en función de los periodos de retorno y datos de conformación del cauce natural como son la topografía y rugosidad en el cauce y la planicie de inundación.

4.1 PLAN DE SIMULACIÓN

Con fines de un modelamiento más robusto se ha interpolado las secciones transversales principales cada 100 metros en tramos rectos y cada 50 metros en tramos en curva; para un flujo estacionario y régimen.

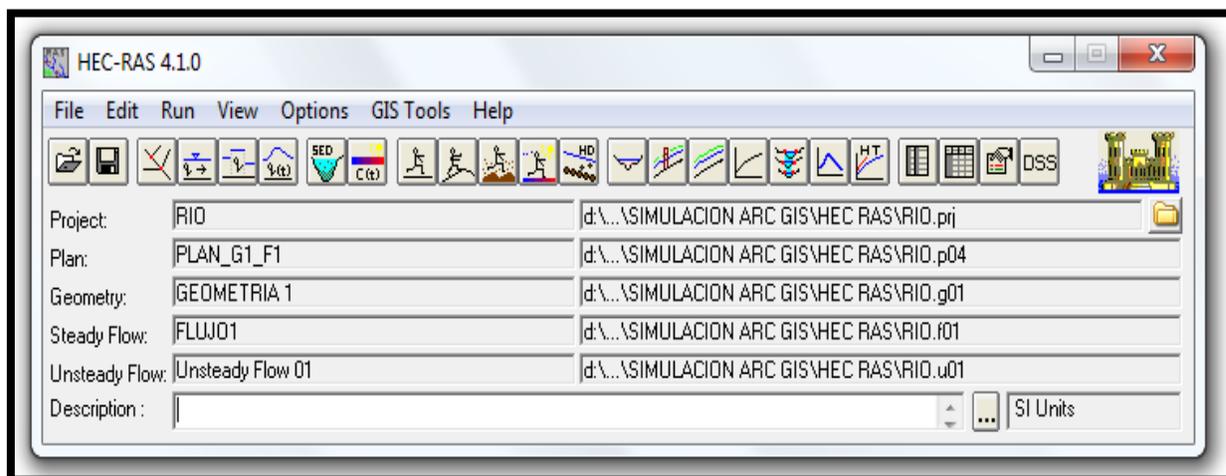


Figura 3-12. Ventana del programa HEC-RAS

4.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico con secciones cada 100 m. en sentido aguas Arriba del cauce se ha ingresado al Hec Ras con las dimensiones del cauce natural.

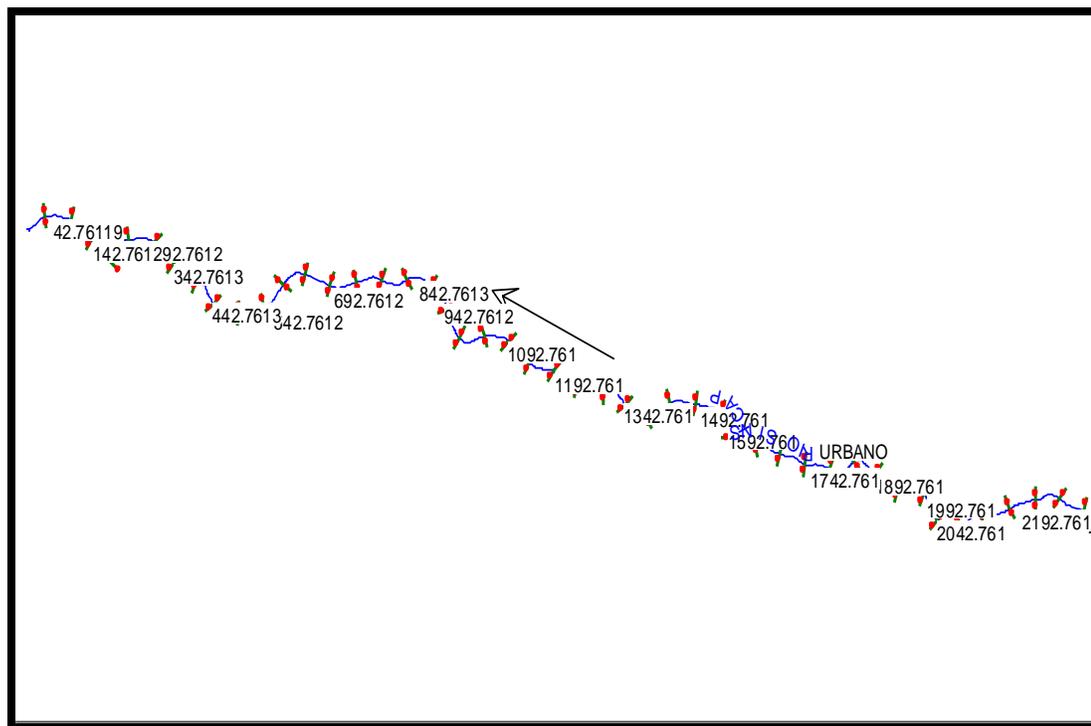


Figura 3-13. Vista en planta del eje del levantamiento topográfico sobre el río San Ignacio.

4.3 ELECCIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

El coeficiente de rugosidad de manning “n”, asumido se ha tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC:



“SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE PLANICIES
DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO DE LA CIUDAD DE OTUZCO
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD – 2015”

Cuadro III-17. Tipo de canales

TIPO DE CANAL			MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
A. CONDUCTO CERRADO CON ESCURRIMIENTO PARCIALMENTE LLENO	A.1. METÁLICOS	a. Bronce Polido	0.009	0.010	0.013
		b. Acero soldado con remaches	0.010 0.013	0.012 0.016	0.014 0.017
		c. Metal corrugado sub - dren dren para aguas lluvias	0.017 0.021	0.019 0.024	0.021 0.030
	A.2 NO METÁLICOS	a. Concreto tubo recto y libre de basuras tubo con curvas, conexiones afinado tubo de alcantarillado con cámaras, entradas.	0.010 0.011 0.011 0.013	0.011 0.013 0.012 0.015	0.013 0.014 0.014 0.017
		Tubo con moldaje de acero. Tubo de moldaje madera cepillada Tubo con moldaje madera en bruto	0.012 0.012 0.015	0.013 0.014 0.017	0.014 0.016 0.020
		b. Madera duelas laminada y tratada c. Albañilería de piedra.	0.010 0.015 0.018	0.012 0.017 0.025	0.014 0.020 0.030
	B.1 METAL	a. Acero liso sin pintar pintado b. Corrugado	0.011 0.012 0.021	0.012 0.013 0.025	0.014 0.017 0.030
B. CANALES REVESTIDOS	B.2 NO METÁLICO	a. Madera Sin tratamiento Tratada Planchas	0.010 0.011 0.012	0.012 0.012 0.015	0.014 0.015 0.018
		b. Concreto afinado con plana afinado con fondo de grava sin afinar excavado en roca de buena calidad excavado en roca descompuesta	0.011 0.015 0.014 0.017 0.022	0.013 0.017 0.017 0.020 0.027	0.015 0.020 0.020
		c. Albañilería piedra con mortero piedra sola	0.017 0.023	0.025 0.032	0.030 0.035
C. EXCAVADO		a. Tierra, recto y uniforme nuevo grava con algo de vegetación	0.016 0.022 0.022	0.018 0.025 0.027	0.020 0.030 0.033
		b. Tierra, sinuoso sin vegetación con malezas y pasto maleza tupida, plantas fondo pedregoso - malezas.	0.023 0.025 0.030 0.025	0.025 0.030 0.035 0.035	0.030 0.033 0.040 0.040
		c. Roca suave y uniforme irregular d. Canales sin mantención maleza tupida Fondo limpio, bordes con vegetación	0.025 0.035 0.050 0.040	0.035 0.040 0.080 0.050	0.040 0.050 0.120 0.080



D. CORRIENTES NATURALES	D.1. CORRIENTES MENORES (ANCHO SUPERF. < 30 m)	a. Ríos en planicies rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
		rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
		Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
		Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.075	0.100	0.150
		Abundante vegetación, sinuoso.			
		b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos.	0.030	0.040	0.050
		Árboles y arbustos sumergidos	0.040	0.050	0.070
		Parcialmente en crecidas con piedras y Pocas rocas grandes rocas y piedras en el fondo.			
		D.2 PLANICIES DE INUNDACION	a. con pasto sin arbusto	0.025	0.030
pastizales bajos	0.030	0.035	0.050		
pastizales altos					
b. áreas cultivadas sin cultivo	0.020	0.030	0.040		
con cultivos	0.030	0.040	0.050		
c. Arbustos y Malezas escasos	0.040	0.060	0.080		
densos	0.070	0.100	0.160		
d. Arboles	0.110	0.150	0.200		
sauces	0.030	0.040	0.050		
tierra despejada con troncos					
D3 Ríos Principales (ancho superior a 30 m)	Secciones Regulares	0.025	-	0.060	
	Secciones Irregulares	0.035	-	0.100	

Fuente: Hidráulica de Canales Abiertos, Ven Te Chow, 1983.

$n=0.025$ para el cauce central.

$n=0.030$ para la llanura de inundación.

4.4 COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN

Hec Ras asigna coeficientes de contracción y expansión de 0.1 y 0.3 respectivamente para cada una de las secciones del canal o cauce para determinar las pérdidas de energía entre secciones adyacentes, sin embargo para secciones donde se ubican puentes, alcantarillas o transiciones que presenta un estrechamiento del flujo las condiciones varían.

Para nuestro caso los coeficientes son de 0.3 en contracción y 0.5 en expansión, según el siguiente cuadro.



Cuadro III-18.- Coeficientes de contracción

Descripción de la transición	Coefficiente de contracción	Coefficiente de contracción
Perdidas sin transición	0	0
Transición gradual	0.1	0.3
Expansión típica en puentes	0.3	0.5
Transiciones abruptas(incluye la mayoría de las alcantarillas)	0.6	0.6

Para nuestro caso donde no se han presentado obstrucciones al flujo, ni estrangulamientos de la sección del cauce, sino transiciones graduales se ha mantenido los valores de 0.1 y 0.3.

4.5 INGRESO DE DATOS HIDRAULICOS: CAUDAL Y CONDICIONES DE CONTORNO

Como se indicó el modelamiento se ha realizado para un flujo permanente para condiciones de flujo mixto, es decir para un régimen subcrítico y supercrítico.

El programa solicita los caudales de diseño obtenido en el estudio hidrológico para los diferentes periodos de retorno. También se ingresan las condiciones de contorno para tirante normal con las pendientes aguas arriba y aguas abajo del tramo, tal como se muestra en las figuras.

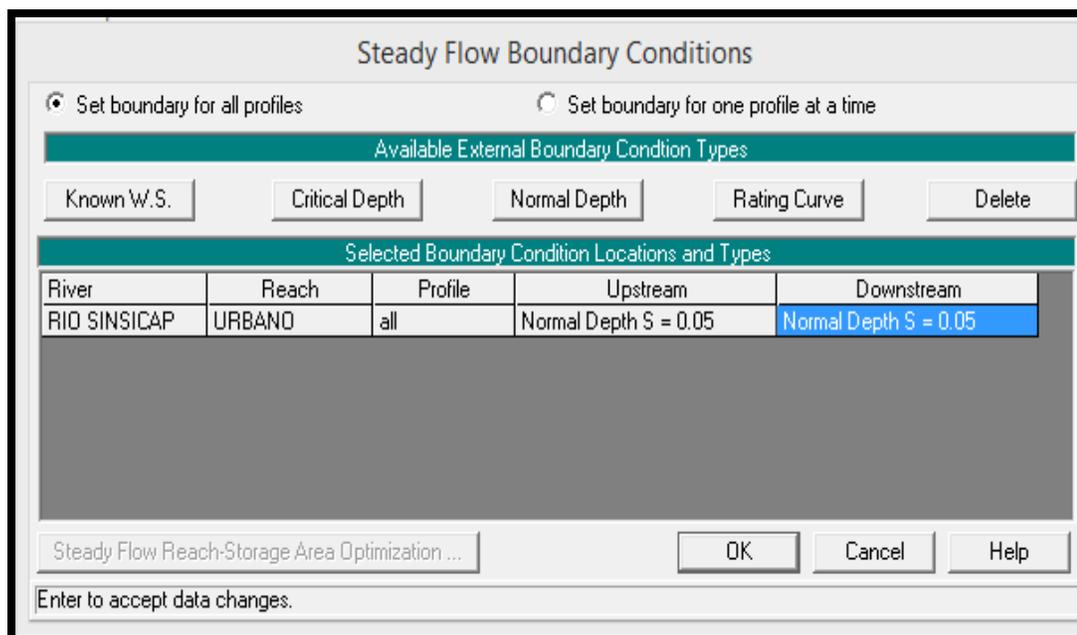


Figura 3-14. Perfiles de flujo o caudales de diseño según periodos de retorno.

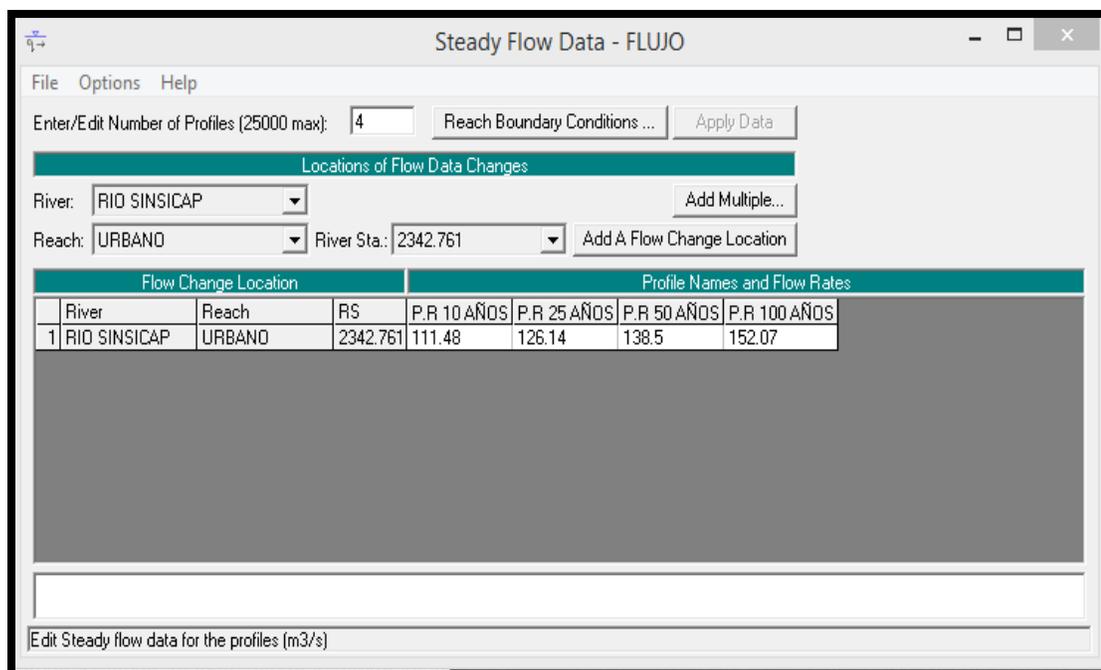


Figura 3-15. Condiciones de contorno de un flujo permanente con régimen mixto.

4.6 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados que arroja la simulación hidráulica permiten conocer varios parámetros hidráulicos necesarios para el diseño de cualquier estructura en el cauce. Entre los resultados obtenidos más importantes para diferentes periodos retorno son: el perfil del flujo, altura de la lámina de agua, velocidad del flujo, número de Froude, radio hidráulico, área mojada, perímetro mojado y la pendiente entre secciones.

A continuación se muestra los resultados del modelamiento hidráulico:

4.6.1 PERFIL DEL FLUJO

A continuación se muestra el perfil del flujo para los caudales con periodo de retorno de 10, 25, 50 y 100 años.

4.6.2 LLANURA DE INUNDACIÓN

En la figura se esquematiza la llanura de inundación para la creciente de los 100 años.

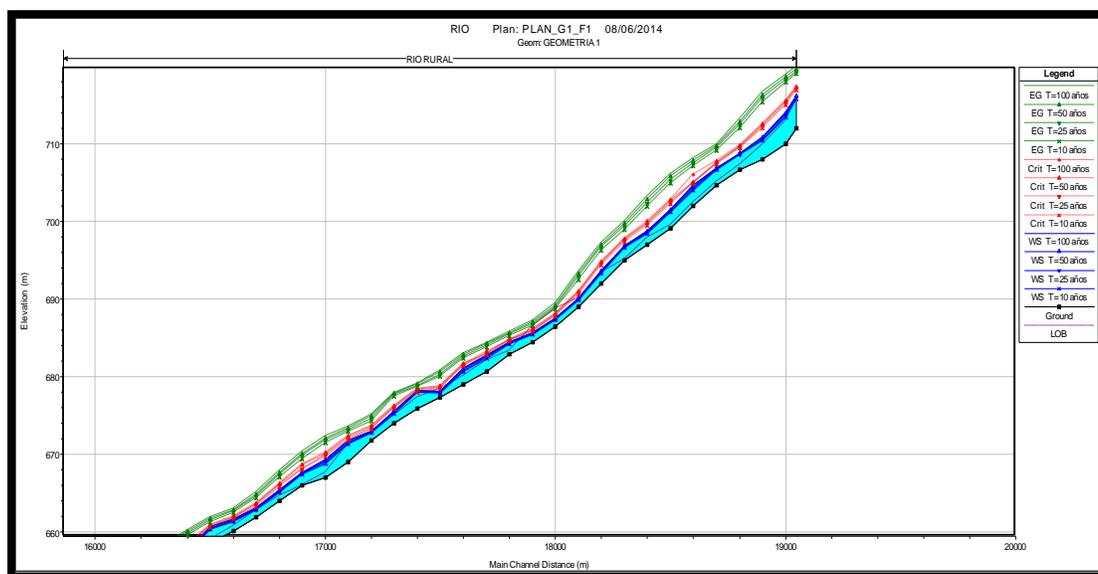


Figura 3-16. Perfiles longitudinales del flujo para diferentes periodos de retorno.

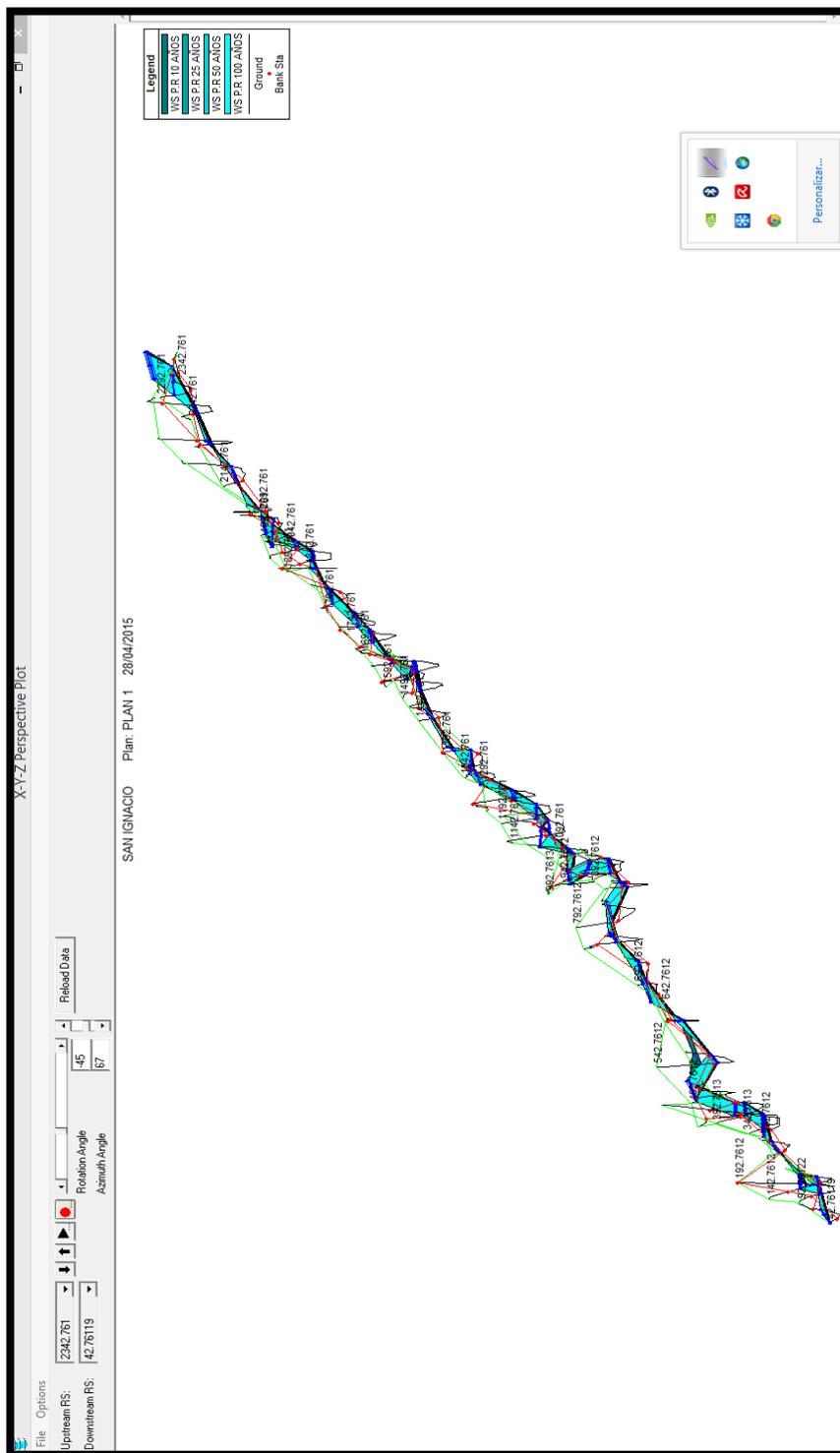


Figura 3-17. Llanura o superficie de inundación para distintos periodos de retorno.



5 SOCAVACIÓN

CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
METODO DE LL. LIST VAN LEVEDEV										
Suelos Granulares - No Cohesivos										
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(1)$										
Suelos Cohesivos										
$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.60 \gamma_s^{1.18} \beta))^{1/(x+1)} \dots\dots\dots(2)$										
Donde:										
t_s = Tirante despues de producirse la socavacion (m)										
t = Tirante sin socavacion (m)										
$t = 2.05$ m										
D_m = Diametro Medio de las particulas (mm)										
$D_m = 200$ mm										
γ_s = Peso Especifico suelo (Kg/m3)										
μ = Coeficiente de Contraccion										
α = Coeficiente >>>>>										
$\alpha = Q / (t_m^{5/3} B \mu)$										
Tirante medio (t_m) = A/B	Q (Caudal de Diseño)	Coeficiente de Contraccion (μ) Tabla N° 01	Ancho Estable	α						
$t_m = 2.05$	138.50	$\mu = 0.85$	B = 9.00	5.47						
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;"> <p>1. Perfil antes de la erosión</p> <p>2. Perfil de equilibrio tras la erosión</p> </div> <div style="width: 50%; border-left: 1px solid black; padding-left: 10px;"> <p>1. Perfil antes de la erosión</p> <p>2. Perfil de equilibrio tras la erosión</p> </div> </div>										
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION PARA SUELOS NO COHESIVO(1) :										
X : Exponente que depende de : D_m para suelos Granulares No Cohesivos y γ_s para suelos cohesivos. >>>>> TABLA N° 03		Coeficiente por Tiempo de Retorno : β (Tabla N° 04)	TIRANTE DE SOCAVACION SUELOS GRANULARES - NO COHESIVOS							
X (Tabla N° 03)	$1/x+1$	β	$t_s = ((\alpha t^{5/3}) / (0.68 D_m^{0.28} \beta))^{1/(x+1)}$							
$x = 0.26$	0.79	$\beta = 0.97$	$t_s = 4.28$ m							
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center; background-color: #cccccc;">PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H_s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">H_s</td> <td style="text-align: center;">= $t_s - t$</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">H_s</td> <td style="text-align: center;">= 2.23 m</td> </tr> </tbody> </table>					PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)		H_s	= $t_s - t$	H_s	= 2.23 m
PROFUNDIDAD DE SOCAVACION (H _s)										
H_s	= $t_s - t$									
H_s	= 2.23 m									



CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



1. CONCLUSIONES

- Se ha utilizado el Método Racional para el análisis hidrológico de máximas avenidas, para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. Los caudales máximos de diseño obtenidos son 111.48, 126.14, 138.50, y 152.07 m³/s respectivamente.
- El modelamiento hidráulico con Hec Ras se ha corrido para diferentes perfiles de flujo permanente. Se presentan además regímenes sub críticos y supercríticos que producen remansos y resaltos hidráulicos en el flujo.
- De la perspectiva en 3D del modelamiento se puede apreciar la llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años con una longitud de inundación de inundación de 26 m. en la margen izquierda y 15.2 m. en la margen derecha, donde se colocaron diques de encauzamiento.
- Los parámetros hidráulicos para el cálculo de la socavación general y local en pilares han sido para un periodo de retorno de; T=100 años, con un caudal máximo Q=152.07 m³/s, los mismos que conjugados con el tipo de material No Cohesivo que conforma el cauce, han dado diferentes profundidades de socavación, obteniendo una socavación promedio de 0.25 m.
- Los estudios hidráulicos deberían ser objeto de modelamiento para no usar formulas empíricas.



2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la tesis sea presentada a la Municipalidad de Sinsicap para su respectivo estudio y ejecución, ya que este proyecto ayudaría a los pobladores de la zona.
- Se recomienda ejecutar trabajos de encauzamiento y protección del cauce del río San Ignacio.
- Se recomienda ejecutar el proyecto en el menor tiempo posible ya que el análisis de riesgo arroja que está en un RIESGO ALTO.



CAPITULO V: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS



- ARTURO ROCHA FELICES. **Hidráulica Fluvial** (1998)
- LOPEZ CARDENAS DE LANO F. **Corrección de Cursos Torrenciales y Método de Calculo.**
- FELD JACOB. **Biblioteca Internacional del Ingeniero Civil.** Volumen III. Ediciones Ciencia y Tecnología S.A (1998)
- NAUDASCHER, E., CASTRO, M.: **"Hidráulica de Canales y Estructuras Hidráulicas en canales"**. Traducción al español del texto de igual nombre en alemán. Editorial Limusa, México (2000)
- Molero, Emilio. Nania, Leonardo S. **Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1.** Área de Ingeniería Hidráulica Área de Urbanismo y Ordenación del Territorio. Universidad de Granada. Curso de Especialización Modelación de Ríos con HEC-RAS y SIG: Régimen Permanente 1-D. Granada, 14 al 16 de Febrero de 2007.
- US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. **HEC-RAS, River Analysis System. Hydraulic Reference Manual, Versión 4.0,** March 2008.



*"SIMULACIÓN HIDRÁULICA PARA DETERMINACIÓN DE PLANICIES
DE INUNDACIÓN DE LA QUEBRADA SAN IGNACIO DE LA CIUDAD DE OTUZCO
DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD – 2015"*

CAPITULO VI: ANEXOS

1. PANEL FOTOGRAFICO



Figura 6-1. Erosión y socavación



Figura 6-2. UPS desprotegidas

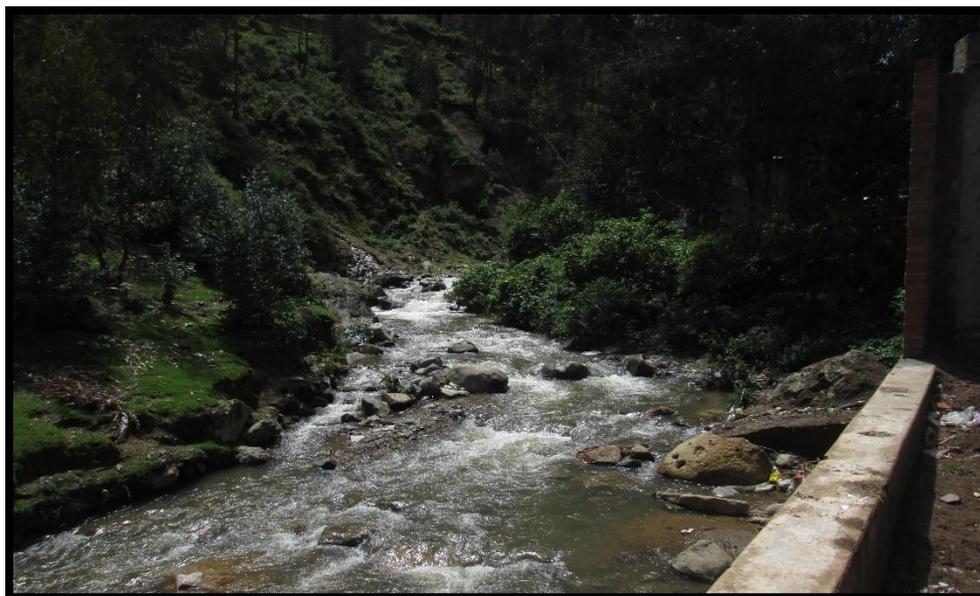


Figura 6-3. Viviendas desprotegidas



Figura 6-4. Viviendas desprotegidas

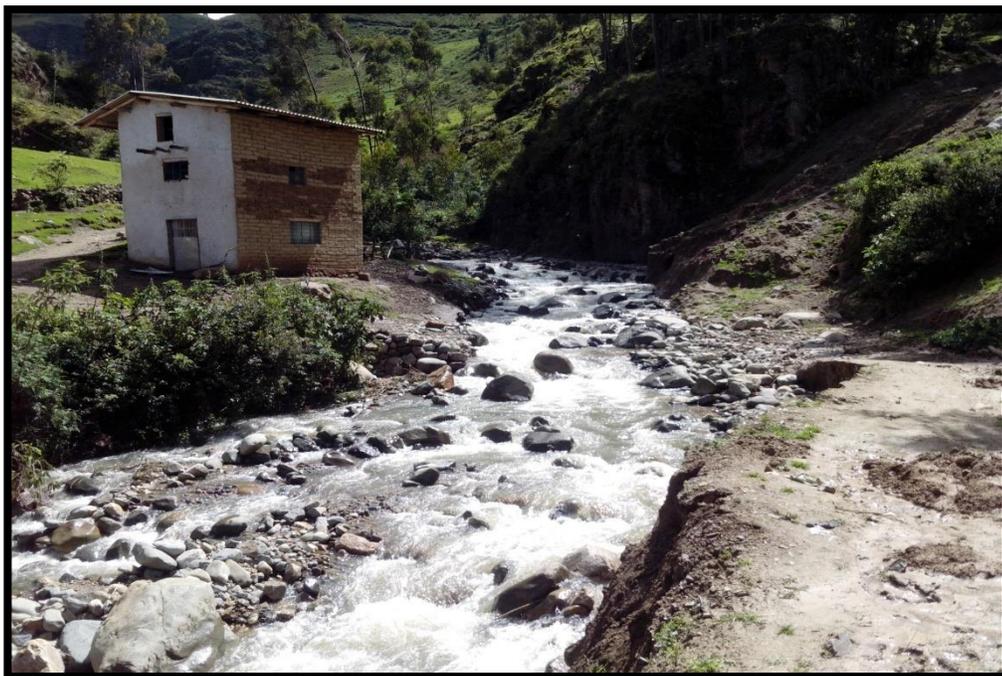


Figura 6-5. Viviendas desprotegidas

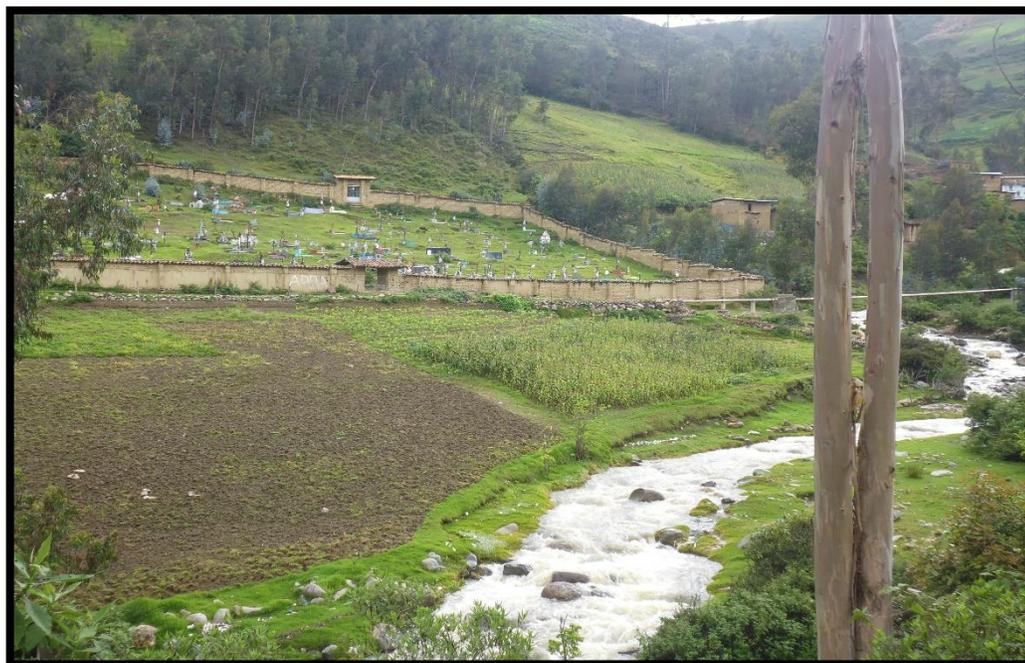


Figura 6-6. Cultivos Desprotegidos



Figura 6-7. Cementerios Desprotegidos



Figura 6-8. Puente en constante arrastre (Socavación)

