



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO HIDROLÓGICO Y PROPUESTA DE ESTRUCTURA HIDRÁULICA
PARA EL MANEJO DE AVENIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO VILLALOBOS,
DESDE EL PUENTE EL FRUTAL, VILLA NUEVA, HASTA EL PUENTE LA
UNIÓN, VILLA CANALES.**

José Luis Córdova Tercero

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, mayo de 2010.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO HIDROLÓGICO Y PROPUESTA DE ESTRUCTURA
HIDRÁULICA PARA EL MANEJO DE AVENIDAS DE LA CUENCA DEL
RÍO VILLALOBOS, DESDE EL PUENTE EL FRUTAL, VILLA NUEVA,
HASTA EL PUENTE LA UNIÓN, VILLA CANALES.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JOSÉ LUIS CÓRDOVA TERCERO

ASESORADO POR EL INGENIERO MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herinex
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. Yefri Valentin Rosales Juárez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO HIDROLÓGICO Y PROPUESTA DE ESTRUCTURA HIDRÁULICA
PARA EL MANEJO DE AVENIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO VILLALOBOS,
DESDE EL PUENTE EL FRUTAL, VILLA NUEVA, HASTA EL PUENTE LA
UNIÓN, VILLA CANALES,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha de 30 de julio de 2009.



José Luis Córdova Tercero.


Guatemala, Enero de 2010.

INGENIERO
PEDRO AGUILAR POLANCO
JEFE DE DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación del estudiante JOSÉ LUIS CÓRDOVA TERCERO, carné No. 2001-13128, titulado **"ESTUDIO HIDROLOGICO Y PROPUESTA DE ESTRUCTURA HIDRÁULICA PARA EL MANEJO DE AVENIDAS DE LA CUENCA DEL RIO VILLALOBOS, DESDE EL PUENTE EL FRUTAL, VILLA NUEVA, HASTA EL PUENTE LA UNIÓN, VILLA CANALES"**, el cual he asesorado y aprobado, ya que reúne el rigor, la coherencia y la calidad requerida.

Agradeciendo la atención de la presente, le saluda respetuosamente,


Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Col. 2,089
ASESOR
Profesor Titular

Mario Rodolfo Corzo
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
13 de abril de 2010

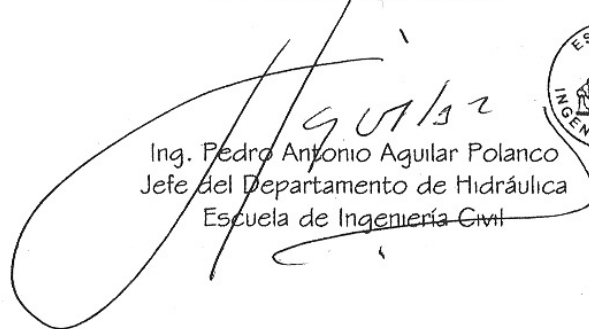
Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Guatemala

Estimado Ingeniero Montenegro.

Atentamente y por este medio, envío a usted, el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante José Luis Córdova Tercero, titulado ESTUDIO HIDROLÓGICO Y PROPUESTA DE ESTRUCTURA HIDRÁULICA PARA EL MENEJO DE AVENIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, DESDE EL PUENTE EL FRUTAL, VILLA NUEVA, HASTA EL PUENTE LA UNIÓN, VILLA CANALES.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo; y existiendo la APROBACIÓN DEL MISMO, por parte del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas, el suscrito lo da por APROBADO, solicitándole darle el trámite respectivo.

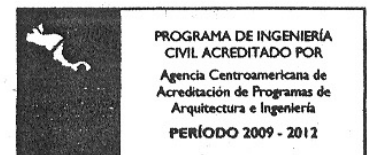
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante José Luis Córdova Tercero, titulado ESTUDIO HIDROLÓGICO Y PROPUESTA DE ESTRUCTURA HIDRÁULICA PARA EL MANEJO DE AVENIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, DESDE EL PUENTE EL FRUTAL, VILLA NUEVA, HASTA EL PUENTE LA UNIÓN, VILLA CANALES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

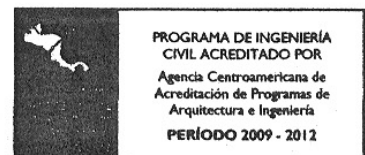

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2010

/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala

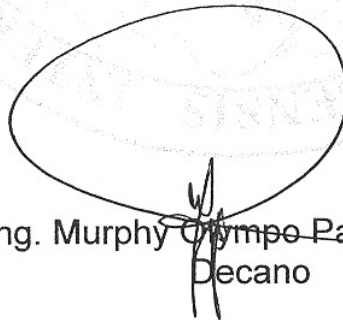


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.170-2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO HIDROLÓGICO Y PROPUESTA DE ESTRUCTURA HIDRÁULICA PARA EL MANEJO DE AVENIDAS DE LA CUENCA DEL RÍO VILLALOBOS, DESDE EL PUENTE EL FRUTAL, VILLA NUEVA, HASTA EL PUENTE LA UNIÓN, VILLA CANALES**, presentado por el estudiante universitario José Luis Córdova Tercero, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, mayo de 2010

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis abuelos

Margarita y Arcadio (D.E.P.)

Que siempre están apoyándome y alentándome en espíritu para no de caer.

Mi mamá

Frida Maritza Tercero

Por ser el cimiento que sostiene mi vida, por creer siempre en mí, aunque yo no lo hacía y que nunca perdió la esperanza, por su amor incondicional en las buenas y en las malas. Gracias.

Mi papá

Carlos Enrique Córdova

Por ser ejemplo de honradez, esfuerzo y lucha, por brindarme lo mejor, por tus consejos y paciencia. Gracias viejo sin ti no estuviera hoy acá parado.

Mis hermanos

María Alejandra y Carlos Enrique

Gracias por apoyarme y estar allí en los momentos difíciles y alegres. Mejores hermanos no pudo darme Dios.

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por darme la fuerza, el ánimo, el amor y la vida para ver llegar este día.

Mi familia

Por creer en mí.

Mis tíos.

Por su apoyo, en todo momento han sido como mis segundos padres

Mis primos

Por compartir muchas aventuras y apoyarme en cada momento sin pensarlo.

Ingenieros

Mario Corzo

Por la paciencia, confianza y apoyo que me mostró para sacar este trabajo adelante.

Oscar Bonilla

Por la amistad, confianza y apoyo que depositaste en tu servidor.

Walter Rodas

Por amistad, apoyo y conocimiento compartidos sin egoísmo para realizar este trabajo de graduación.

Mis amigos

Por las aventuras, desveladas, éxitos, sufrimientos y muchas cosas que se que seguiremos teniendo.

Escuela de Ingeniería Civil

Por abrirme las puertas de sus aulas y brindarme una excelente formación académica y de la cual me siento orgulloso de pertenecer.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1 Topografía	1
1.2 Sedimentología.....	2
1.3 Hidrología.....	2
1.4 Hidráulica	3
1.5 Cuenca hidrográfica	4
1.6 Elementos de una cuenca	4
1.6.1 Divisoria de aguas.....	4
1.6.2 El río principal	5
1.6.3 Los afluentes	6
1.6.4 El relieve de la cuenca	6
1.6.5 Las obras humanas.....	6
1.7 Partes de una cuenca	7
1.7.1 Cuenca alta.....	7
1.7.2 Cuenca media.....	7
1.7.3 Cuenca baja.....	7
1.8 Tipos de cuenca.....	7
1.9 Características geomorfológicas de una cuenca.....	8

1.9.1	Área de la cuenca (A)	8
1.9.2	Longitud, perímetro y ancho	8
1.9.3	Pendiente promedio de la cuenca.....	9
1.9.4	Curva hipsométrica.	10
1.9.5	Histograma de frecuencias altimétricas.	11
1.9.6	Altura y elevación promedio del relieve.	11
1.9.7	Perfil altimétrico del cauce principal y su pendiente promedio.....	11
1.9.8	Caracterización de la red de canales.	13
1.9.9	Índices de Horton.....	13
1.9.9.1	Relación de bifurcación de los canales de la cuenca.....	13
1.9.9.2	Relación de longitudes de corriente L.....	15
1.9.9.3	Relación de áreas.....	15
1.9.10	Densidad de drenaje.....	16
1.10	Avenidas.....	17
1.10.1	Particularidades y tipos	17
1.10.2	Características de una avenida	18
1.10.2.1	Agravantes para su formación.....	18
1.10.2.2	Coefficiente de escorrentía	19
1.10.3	Daños causados por las avenidas	20

2. PARÁMETROS NECESARIOS PARA REALIZAR EL ESTUDIO Y

	DISEÑO DE UNA OBRA HIDRÁULICA.....	21
2.1	Topografía del área bajo estudio	21
2.1.1	Características generales de la cuenca	21
2.1.2	Caracterización del problema de inestabilidad por áreas, o sectores críticos en cada cauce	24
2.1.2.1	Causas de los deslizamientos	24
2.1.2.2	Características de identificación.....	25

2.1.2.3	Susceptibilidad a la erosión.....	25
2.1.2.4	Personas que se estiman que viven a menos de 100 metros de orillas del río Villalobos:	26
2.1.2.5	Puntos que están en riesgo a la orilla del río Villalobos	27
2.2	Caracterización de los sedimentos del área bajo estudio.	28
2.2.1	Granulometría.	28
2.2.2	Sólidos sedimentables y sólidos en suspensión.	30
2.2.3	Análisis espacial modificado para la evaluación de zonas susceptibles de aportes de sedimentos al cauce del río Villalobos en áreas de erosión.	32
2.2.4	Lodos servidos y contaminantes industriales.....	33
2.2.5	Características de los sedimentos por río.....	33
2.3	Hidrología del área bajo estudio.....	35
2.3.1	Consideraciones sobre el régimen hidrológico de la cuenca del río Villalobos.....	36
2.3.2	Situación actual del sistema de drenajes en el área de la cuenca del río Villalobos y sus principales afluentes.	37
2.3.3	Metodología de cálculo.....	45
2.3.4	Estudios pluviales	46
2.3.5	Precipitación máxima diaria	46
2.3.6	Precipitación máxima anual y cantidad de flujo.....	47
2.4	Pre-determinación de avenidas.....	49
2.4.1	Curvas caudal índice – área de cuenca tributaria.....	52
2.4.2	Análisis de frecuencia regional.....	53
3.	APLICACIÓN DE MODELO PROPUESTO	59
3.1	Valorización de datos de entrada.	59
3.1.1	Granulometría	59
3.2	Interpretación de datos.	65
3.3	Revisión y calibración de resultados.....	67

3.3.1	Análisis estadístico.....	67
3.3.2	Determinación del hidrograma unitario	77
3.4	Hidráulica del área bajo estudio	80
3.4.1	Caudales de simulación.....	80
3.4.2	Metodología de análisis	81
3.4.3	Método hidráulico	81
3.4.4	Geometría del cauce.....	82
3.4.5	Factores de rugosidad	82
3.4.6	Perfiles de agua.....	83
3.5	Diseño de obras hidráulicas.....	86
3.5.1	Tallado de talud.....	86
3.5.2	Protección lateral	88
3.5.2.1	Determinación del tamaño de la roca	89
4.	ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO DE LA PROPUESTA	91
4.1	Costos	91
4.2	Beneficios.....	91
4.3	Costo/beneficio.....	92
4.3.1	Costos generales por renglones de trabajo.....	93
4.3.2	Trabajos y tiempo de ejecución.	94
	CONCLUSIONES.....	103
	RECOMENDACIONES.....	105
	REFERENCIAS.....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	APÉNDICE.....	115
	ANEXO.....	133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

1.	Área de estudio.	21
2.	Transporte de sedimentos.	32
3.	Caudal contra porcentaje de probabilidad de excedencia	44
4.	Caudal contra porcentaje probabilidad de excedencia	45
5.	Variación anual de la precipitación en mm, basada en el registro de lluvia en la Estación del INSIVUMEH (1970 al 2009).	49
6.	Tr contra Q, para la tabla XXVIII.	56
7.	Quebrada el Frutal: área central presencia de grava arenosa, área derecha arena gravosa y poca presencia de limos o arcillas y área izquierda grava arenosa.	59
8.	Río Moran o Las Minas: área derecha, grava con muy poca presencia de arena, área izquierda grava con muy poca presencia de arena y área central grava con poca presencia de arena.	60
9.	Río Pínula: área derecha arena gravosa, área izquierda grava arenosa y área central arena gravosa.	61
10.	Río Zanjón La Palín: área derecha arena con poca presencia de grava, área izquierda arena gravosa y área central arena con poca presencia de grava.	62
11.	Río Villalobos: área derecha arena con poca presencia de limos o arcilla, área izquierda arena con poca presencia de limos o arcilla y área central arena con poca presencia de grava.	63

12.	Río Platanitos: área derecha arena con poca presencia de grava, limos o arcillas, área izquierda arena y área central arena con poca presencia de grava.....	64
13.	Río el Arenal: área derecha arena con poca presencia de limos o arcilla, área izquierda arena con poca presencia de grava, limos o arcilla y área central arena con poca presencia de limos o arcilla.....	65
14.	Ajuste de la distribución Log-Normal de 3 parámetros, para la estación meteorológica INSIVUMEH, utilizando el programa HIDROESTA.	69
15.	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 2 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.....	72
16.	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 5 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.....	73
17.	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 10 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.....	74
18.	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 20 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.....	75
19.	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 50 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.....	76
20.	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 100 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.....	77
21.	Perfil del cauce principal del río Villalobos entre los puntos bajo estudio para crecidas de 2 y 100 años.....	83
22.	Estación 10+600	84
23.	Estación 9+600	84

24.	Estación 6+700	85
25.	Estación 5+700	85
26.	Estación 10+600 sección modificada	86
27.	Estación 9+600 sección modificada	87
28.	Estación 6+700 sección modificada	87
29.	Estación 5+700 sección modificada	88
30.	Planta de río	117
31.	Detalle A-A' de río.....	119
32.	Detalle "A" de protección lateral.....	121
33.	Detalle "B" protección lateral.....	123
34.	Detalle de estacas	125
35.	Proyección isométrica de talud.....	127
36.	Planta general para salida de drenajes a río.....	129
37.	Sección A-A' para salida de drenaje hacia río.....	131
38.	Regiones hidrológicas para la estimación de crecidas.....	133

TABLAS

I	Superficie de subcuencas.....	22
II	Municipios que influyen directamente en el proyecto.....	26
III	Análisis de cantidad de sedimentos por tramo y total dentro del cauce del río Villalobos.....	27
IV	Abertura de malla en mm.	29
V	Clasificación de los sedimentos por tamaño.....	30
VI	Tipos de transporte a cuantificar.....	31
VII	Caracterización granulométrica.	33
VIII A:	sólidos sedimentables y en suspensión	34
IX B:	sólidos sedimentables y en suspensión.....	34
X	Caudales característicos (río Tulujá).....	37
XI	Caudales característicos (río Las Minas).....	38
XII	Caudales característicos (río Pínula)	38
XIII	Caudales característicos (río Villalobos).....	39
XIV	Caudales característicos (quebrada el Frutal).....	40
XV	Caudales característicos (zanjón La Palín)	40
XVI	Caudales característicos (río El Arenal)	41
XVII	Caudales característicos (río Platanitos)	41
XVIII	Caudales característicos (río El Zacatal)	42
XIX	Subcuencas del área bajo estudio de la cuenca del río Villalobos y sus características morfológicas relevantes.....	42
XX	Relación entre la longitud a lo largo del cauce del río Villalobos, desde la ruta CA-9 y el área de cuenca hasta el sitio de control indicado.....	43
XXI A:	Condiciones actuales.....	43
XXII B:	Condiciones futuras.....	44
XXIII	Lluvia diaria máxima anual en mm para la estación INSIVUMEH	47
XXIV	Lluvia anual en mm para la estación INSIVUMEH.	48

XXV	Parámetros de ajuste B y n, para cada región.....	53
XXVI	Cuantiles de caudales modulares regionales, k, de acuerdo a las distribuciones de Gumbel, y Log-normal.	54
XXVII	Cuantiles de modulares regionales, k, según curva envolvente superior.....	55
XXVIII	Caudales para diferentes períodos de retorno para el área bajo estudio.....	56
XXIX	Magnitud de lluvia máxima en mm, asociada a diferentes períodos de retorno para la serie de la estación meteorológica INSIVUMEH, para el período 1928-2008.	69
XXX	Hietograma de lluvia observada durante 24 horas durante la tormenta Mitch registrado en la estación Jurún Marinalá el 01/11/98, discretizada a cada 30 minutos.	70
XXXI	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 2 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.	71
XXXII	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 5 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.	72
XXXIII	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 10 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.	73
XXXIV	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 20 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.	74
XXXV	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 50 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.	75
XXXVI	Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 100 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.	76
XXXVII	Características principales de las sub-cuencas del río Villalobos para el modelo HU. Tc=tiempo de concentración.....	78

XXXVIII	Valores de CN para las cuencas definidas por los sitios de control indicados.	79
XXXIX	Caudales pico para el río Villalobos hasta el puente La Unión.	80
XL	Volúmenes y caudales de escorrentía pluvial, parámetros hidráulicos.	80
XLI	Renglones de trabajo.	93
XLII	Trabajos y tiempo de ejecución.	94

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
CCAD	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
ICTA	Instituto de Ciencia y tecnología Agrícola
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
AMSA	Autoridad para el manejo sustentable de la cuenca y el lago de Amatitlán.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
UTM	Universal Transverse Mercator (sistema de coordenadas)
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
mts, m	metros
lts	litros
Seg, s	segundo
mm	milímetros
msnm	metros sobre el nivel del mar
km	kilómetro
hr	hora
mg	miligramos
m²	metro cuadrado
km²	kilometro cuadrado

m³	metro cubico
Q	Caudal
WS	Nivel de agua
Tr	Tiempo de retorno para el cual se diseña
Ground	Nivel de suelo
Bank Sta	Banco de marca

GLOSARIO

Abiótico	Pertenciente a la parte no viviente de un ecosistema o a un sistema ambiental donde no existe vida.
Aforo	Conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua.
Aluvial	Formado por aluvión depositado por aguas fluyentes o pertenecientes a depósitos aluviales.
Aluvión	Arcilla, lodos, arena, grava, guijarros u otro material de detritos depositados por el agua.
Biótico	Hace referencia a lo característico de los seres vivos o que está vinculado a ellos. También es aquello perteneciente o relativo a la biota (el conjunto de la flora y la fauna de una determinada región).
Carta topográfica	Es la que representa todos los detalles del relieve, ya sean naturales o artificiales.

Crecidas

Elevación, generalmente, rápida en el nivel de las aguas de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor.

Curva de duración de caudales

Es una curva que expresa qué porcentaje de tiempo el caudal es superior a un determinado valor.

Dique

Estructura que atraviesa un curso de agua dotada de una serie de compuertas u otros mecanismos de control, con el fin de controlar el nivel del agua aguas arriba, regular el flujo o derivar caudales hacia un canal.

Erosión

Desgaste y transporte de elementos del suelo por el paso de corrientes de agua, glaciares, vientos y olas.

Escorrentía

Parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo en un curso de agua.

Geodesia

Ciencia cuyo objeto es la medición y descripción matemática del tamaño y forma de la tierra teniendo en cuenta sus campos gravitatorios y la localización precisa de puntos en su superficie.

Geología

Es la ciencia que estudia la forma interior del globo terrestre, la materia que la compone, su mecanismo de formación, los cambios o alteraciones que ésta ha experimentado desde su origen, y la textura y estructura que tiene en el actual estado.

Granulometría

Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Hidrograma

Expresión, gráfica o no, de la variación del caudal a lo largo del tiempo.

Hietograma

Gráfico que muestra la intensidad de precipitación en función del tiempo.

**Lecho de
rio**

Es la parte más excavada de los valles o las depresiones drenadas. Es el órgano elemental de circulación de las aguas corrientes y en él se distinguen varios elementos obtenidos del perfil transversal.

**Levantamiento
topográfico**

Es el conjunto de operaciones ejecutadas sobre el terreno, con los instrumentos adecuados, que permitirá la elaboración del plano de ese lugar.

Meandro

Es una ondulación marcada en la trayectoria lineal de un río.

Precipitación

Elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación del vapor de agua que caen de la atmósfera o son depositados desde el aire en el suelo.

Talud

Parte inclinada de un muro, una pared o un terreno.

Vasta

Que es muy extenso o muy grande

RESUMEN

En el primer capítulo se presentan los conceptos básicos de los diferentes estudios que se tienen que tomar en cuenta para esta clase de investigación, como son la Topografía, Hidráulica, Hidrología y Sedimentología. También los conceptos de cuenca, avenida y sus diferentes componentes.

En el segundo capítulo están descritos los diferentes estudios que se realizaron para el área que se estudió para proponer una solución concreta a los problemas que allí se dan.

En el tercer capítulo se ordenan todos los datos obtenidos por los estudios y se le da su valorización, interpretación y calibración, para poder así diseñar la obra o estructura, la cual se especifica en éste.

En el cuarto y último capítulo se determinaron los costos que conlleva realizar el proyecto en este estudio, así como los beneficios que éste brindará a la población.

La investigación brindó una metodología que permitió hacer la evaluación del área y proponer la estructura hidráulica que podrá ser aplicado en las microcuencas del río Villalobos, ya que la misma se adapta a las necesidades que dicho río presenta. De igual manera esta propuesta puede ser utilizada en otras microcuencas, ya que es adaptable a cualquier región.

OBJETIVOS

General:

- Realizar un estudio del manejo de avenidas de la cuenca del río Villalobos en el tramo bajo estudio y sus potenciales daños a los alrededores del tránsito del mismo.

Específicos:

1. Presentar parámetros que deben ser considerados para la evaluación del tránsito de avenidas instantáneas.
2. Proporcionar procedimientos, métodos y criterios para el diseño de obras apropiadas para el manejo de avenidas en pequeñas cuencas.
3. Dejar un documento que sirva de referencia para la toma de decisiones por las instituciones en base a datos mensurables.
4. Tener conocimiento de los puntos más vulnerables ante la creciente y tránsito de ríos.
5. Dejar un documento que el profesional o estudiante de Ingeniería Civil utilice en investigaciones posteriores relacionadas a ésta.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está encaminado a servir de guía para la intervención de un Ingeniero Civil, profesional o a personas que sin ser profesionales tengan conocimientos sobre trabajos de protección y mitigación para el manejo de pequeñas cuencas. Tiene por objeto proporcionar al lector las bases y fundamentos técnicos para el desarrollo de las obras civiles para el manejo de pequeñas cuencas.

Con este aporte se estará contribuyendo con las áreas rurales del país, ya que carecen de este tipo de trabajos, lo cual ayudaría a llegar a un mejor desarrollo económico, social y cultural de los pobladores de dichas áreas.

Como aporte práctico, se realizará el diseño de la obra civil necesaria para las áreas que se encuentran susceptibles, para fin de esta investigación se estudiará un tramo de la cuenca del río Villalobos, la cual comprende desde el puente El Frutal (Villa Nueva) hasta el puente La Unión (Villa Canales), que son las áreas de mayor riesgo en dicha cuenca.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 Topografía

Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales. La palabra topografía tiene como raíces *topos*, que significa "lugar", y *grafos* que significa "descripción". Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de Geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, puede decirse que para un topógrafo la tierra es plana, mientras que para un geodesta no lo es.

La Topografía es una ciencia geométrica aplicada a la descripción de la realidad física inmóvil circundante. Es plasmar en un plano topográfico la realidad vista en campo, en el ámbito rural natural de la superficie terrestre; en el ámbito urbano, es la descripción de los hechos existentes en un lugar determinado: muros, edificios, calles, entre otros.

Se puede dividir el trabajo topográfico como dos actividades congruentes: llevar "el terreno al gabinete" (mediante la medición de puntos o relevamiento, su archivo en el instrumental electrónico y luego su edición en la computadora) y llevar "el gabinete al terreno" (mediante el replanteo por el camino inverso, desde un proyecto en la computadora a la ubicación del mismo mediante puntos sobre el terreno). Los puntos relevados o replanteados tienen un valor tridimensional; es decir, se determina la ubicación de cada punto en el plano horizontal (de dos dimensiones, norte y este) y en altura (tercera dimensión).

La topografía no solo se limita a realizar los levantamientos de campo en terreno sino que posee componentes de edición y redacción cartográfica para que al confeccionar un plano se puede entender el fonema representado a través del empleo de símbolos convencionales y estándares previamente normados para la representación de los objetos naturales y antrópicos en los mapas o cartas topográficas (ver referencia 1).

1.2 Sedimentología

Es la rama de la Geología que se encarga de estudiar los procesos de formación, transporte y deposición de material que se acumula como sedimento en ambientes continentales y marinos y que normalmente forman rocas sedimentarias. Trata de interpretar y reconstruir los ambientes sedimentarios del pasado.

El objetivo fundamental del reconocimiento sedimentológico de embalses es el cálculo de la densidad de los sedimentos. También se estudia la composición química del sedimento y la relación agua-sedimento en el embalse. Para ello se analiza el contenido en: materia volátil (MV), insolubles (SiO_2), carbonato cálcico, hierro (Fe), manganeso (Mn), sodio (Na) potasio (K) y fósforo (P) (ver referencia 2).

1.3 Hidrología

La Hidrología (del griego *hydor-*, agua) es la disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la tierra, incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos. También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases.

El estilo de vida al cual se ha ido acostumbrando depende, en gran medida, de la disponibilidad de suficiente agua limpia y barata y que, luego de haber sido usada, su eliminación sea segura.

La naturaleza limita la cantidad de agua disponible para su uso. Aunque hay suficiente agua en el planeta, no siempre se encuentra en el lugar y momentos adecuados. Además, existen evidencias de que los desechos químicos eliminados de forma inapropiada tiempo atrás están apareciendo actualmente en las fuentes de agua.

Se enfrenta, en la actualidad, a unos consumos muy altos, abastecimientos inciertos, y demandas incrementadas de protección contra las inundaciones y la contaminación. Son preocupantes los efectos de la escasez de agua limpia sobre la economía y la salud.

La Hidrología se ha desarrollado como ciencia en respuesta a la necesidad de comprender el complejo sistema hídrico de la tierra y ayudar a solucionar los problemas de agua. Los hidrólogos juegan un papel importante en la búsqueda de soluciones a los problemas del agua y, para los que estudian Hidrología, los retos son interesantes (ver ref. 3).

1.4 Hidráulica

La Hidráulica es una rama de la física y de la Ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los líquidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa (fuerza) y empuje de la misma.

Así mismo es la aplicación de la mecánica de fluidos en Ingeniería, para construir dispositivos que funcionan con líquidos, por lo general agua o aceite. La Hidráulica resuelve problemas como el flujo de fluidos por conductos o canales abiertos y el diseño de presas de embalse, bombas y turbinas. Su fundamento es el principio de Pascal, que establece que la presión aplicada en un punto de un fluido se transmite con la misma intensidad a cada punto del mismo. El filósofo y científico Blaise Pascal formuló, en 1647, el principio que lleva su nombre, con aplicaciones muy importantes en hidráulica (ver ref. 4).

1.5 Cuenca hidrográfica

Se entiende por cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje al territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas.

Las principales características de una cuenca son:

- **La curva cota superficie:** esta característica da una indicación del potencial hidroeléctrico de la cuenca.
- **El coeficiente de forma:** da indicaciones preliminares de la onda de avenida que es capaz de generar.
- **El coeficiente de ramificación:** también da indicaciones preliminares respecto al tipo de onda de avenida (ver ref. 5).

1.6 Elementos de una cuenca

En una cuenca se identifican los siguientes elementos:

1.6.1 Divisoria de aguas

La divisoria de aguas es una línea que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre una cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. La línea divisoria de vertientes, es la línea que separa a dos o más cuencas vecinas. Es la divisoria de aguas, utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas.

1.6.2 El río principal

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud o mayor área de drenaje, aunque hay notables excepciones como los ríos Usumancita y Motagua. Tanto el concepto de *río principal* como el de *nacimiento* del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura al mar o a un lago.

En el curso de un río se distinguen tres partes:

- **El curso superior**, ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado: la profundización del cauce.
- **El curso medio**, en donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle.
- **El curso inferior**, situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí, el caudal del río pierde fuerza (pendiente) y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles.

Otros términos importantes a distinguir en un río son:

- **Cauce**. Cauce o lecho (Del lat. *calix, -icis*, tubo de conducción). Lecho de los ríos y arroyos. Conducto descubierto o acequia por donde corren las aguas para riegos u otros usos.
- **Thalweg**. Línea que une los puntos de mayor profundidad a lo largo de un curso de agua.
- **Margen derecha**. Vista aguas abajo, la margen que se encuentra a la derecha.
- **Margen izquierda**. Vista aguas abajo, la margen que se encuentra a la izquierda.

- **Aguas abajo.** Con relación a una sección de un curso de agua, sea principal o afluente, se dice que un punto está aguas abajo, si se sitúa después de la sección considerada como punto referencial de estudio, avanzando en el sentido de la corriente (en castellano se utiliza también el término «Ayuso» para referirse a aguas abajo).
- **Aguas arriba.** Es el contrario de la definición anterior (en castellano se utiliza también el término «asuso» con el mismo significado).

1.6.3 Los afluentes

Son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca.

1.6.4 El relieve de la cuenca

El relieve de una cuenca consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas.

1.6.5 Las obras humanas

Las obras construidas por el ser humano, también denominadas intervenciones antropogénicas, que se observan en la cuenca suelen ser viviendas, ciudades, campos de cultivo, obras para riego y energía y vías de comunicación. El factor humano es siempre el causante de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que se sobreexplota la cuenca quitándole recursos o «desnudándola» de vegetación y trayendo inundaciones en las partes bajas. (Ver ref. 6)

1.7 Partes de una cuenca

1.7.1 Cuenca alta

Corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.

1.7.2 Cuenca media

Es la parte de la cuenca en la cual medidamente hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.

1.7.3 Cuenca baja

Es la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección (ver ref. 6).

1.8 Tipos de cuenca

Existen tres tipos de cuencas:

- **Exorreicas:** drenan sus aguas al mar o al océano. Un ejemplo es la cuenca del Motagua en el atlántico, Usumacinta en el golfo de México y el Samalá en el pacífico, eso quiere decir que drenan hacia fuera del continente.
- **Endorreicas:** desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación salida fluvial al mar. Por ejemplo, la cuenca del río Villalobos al lago de Amatitlán o el río Cahabón al lago de Izabal, eso quiere decir que drenan dentro del continente.

- **Arreicas:** las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas, zonas kársticas como en Cobán y planicies como Todos Santos Huehuetenango, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia. (Ver ref. 6)

1.9 Características geomorfológicas de una cuenca

Las características geomorfológicas que se van a estudiar son las siguientes:

1.9.1 Área de la cuenca (A).

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

1.9.2 Longitud, perímetro y ancho.

La longitud, L, de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de divorcio de la hoya es un parámetro importante, pues en conexión con el área puede indicar algo sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula P.

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L) y se designa por la letra W. De forma que:

$$W = \frac{A}{L}$$

1.9.3 Pendiente promedio de la cuenca

Este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el muestreo aleatorio por medio de una cuadrícula; llevando las intersecciones de la cuadrícula sobre el plano topográfico y calculando la pendiente para todos puntos arbitrariamente escogidos. Con todos estos valores se puede construir un histograma de pendientes que permite estimar el valor medio y la desviación estándar del muestreo de las pendientes. Las pendientes para los puntos dados por las intersecciones de la cuadrícula se calculan teniendo en cuenta la diferencia de las dos curvas de nivel entre las cuales el punto quedó ubicado y dividiéndola por la distancia horizontal menor entre las dos curvas de nivel, pasando por el punto ya determinado. Otro método bastante utilizado es el siguiente: se monta sobre la cuenca una cuadrícula de tamaño conveniente. Se cuentan los cortes de las curvas de nivel con los ejes horizontal y vertical de la cuadrícula respectivamente y se tiene:

$$S_h = \frac{n_h h}{L_h}$$
$$S_v = \frac{n_v h}{L_v}$$

Donde:

h es la diferencia de cotas entre curvas de nivel.

n_h es el número de cruces de las curvas de nivel con líneas de igual coordenada este.

n_v es el número de cruces de las curvas de nivel con líneas de igual coordenada norte.

S_h y S_v son la pendiente horizontal y vertical de la cuenca respectivamente.

Se tiene entonces que la pendiente promedio es:

$$S = \frac{S_h + S_v}{2} * 100\%$$

Sin embargo, este método es bastante dependiente de la orientación que se le dé a la cuadrícula de referencia.

1.9.4 Curva hipsométrica.

Esta curva representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca.

La curva hipsométrica se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km² o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros. Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas.

La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

Es posible convertir la curva hipsométrica en función adimensional usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos: dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos. El gráfico adimensional es muy útil en Hidrología para el estudio de similitud entre dos cuencas, cuando ellas presentan variaciones de la precipitación y de la evaporación con la altura. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas.

1.9.5 Histograma de frecuencias altimétricas.

Es la representación de la superficie, en km^2 o en porcentaje, comprendida entre dos niveles, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. De esta forma, con diferentes niveles se puede formar el histograma. Este diagrama de barras puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente contiene la misma información de ésta pero con una representación diferente, dándose una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca.

1.9.6 Altura y elevación promedio del relieve.

La elevación promedio en una cuenca tiene especial interés en zonas montañosas ya que puede dar una idea de la climatología de la región, basándose en un patrón general climático de la zona. La elevación promedio está referida al nivel del mar. Este valor puede ser encontrado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La estimación por una media aritmética ponderada en el caso del histograma, o de la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total.

La altura media, H , es la elevación promedio referida al nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca.

1.9.7 Perfil altimétrico del cauce principal y su pendiente promedio.

El perfil altimétrico es simplemente el gráfico de altura en función de la longitud a lo largo del río principal.

Con base en la forma del perfil altimétrico del río se pueden inferir rasgos generales de la respuesta hidrológica de la cuenca en su expresión de la escurrimiento, o sea, la variación del caudal con el tiempo. También los perfiles se usan para estudios de: prefactibilidad de proyectos hidroeléctricos, producción de sedimentos, ubicación de posibles sitios susceptibles de avalanchas, etc. Generalmente cuencas con pendientes altas en el cauce principal tienden a tener hidrógrafas más picudas y más cortas que cuencas con pendientes menores.

La pendiente promedio puede ser encontrada de varias formas. Entre ellas se podrían citar:

- a) El valor obtenido de dividir la diferencia en elevación entre el punto más alto y el punto más bajo del perfil del río en el cual se está interesado por la longitud a lo largo del cauce en su proyección horizontal entre los dos puntos antes determinados.
- b) Con base en el perfil altimétrico a lo largo del río se puede encontrar la pendiente de la recta ajustada a parejas de valores obtenidos en intervalos iguales a lo largo del cauce. Se aplica la técnica de los mínimos cuadrados.
- c) Por medio de una recta ajustada usando el criterio de la denominada curva de masas. Este método se efectúa ajustando la recta tal que las áreas de corte o positivas y de lleno o negativas sean iguales y mínimas.
- d) Usando cualquiera de los métodos anteriores pero sin tener en cuenta toda la trayectoria del cauce principal, ignorando por lo tanto de un 10% a un 15% de los tramos extremos (nacimiento y desembocadura).

1.9.8 Caracterización de la red de canales.

La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada, influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Se han desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje en la escorrentía superficial directa. El orden de los canales es uno de ellos. Uno de los criterios para determinar el orden de los canales en una hoya es el definido por el modelo de HORTON. Según este modelo se toman como canales de primer orden todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos canales de primer orden forman un canal de segundo orden y así sucesivamente.

El valor del orden del canal principal, 1, en la boca de la cuenca da una idea de la magnitud del drenaje de la cuenca.

Los controles geológicos y climatológicos (externos) influyen en el valor de, 1, mientras que los factores "internos" determinan el modelo de corrientes para un número de orden de cauces dado.

1.9.9 Índices de Horton.

La idea de Horton de cuantificar las propiedades geomorfológicas de una cuenca lo llevó a deducir ciertas relaciones que se conocen como los números o índices de Horton. Los principales son:

1.9.9.1 Relación de bifurcación de los canales de la cuenca.

Después de optar por un modelo de ordenación de los canales de una cuenca, es posible definir la relación de bifurcación, R_b , como el resultado de dividir el número de canales de un orden dado entre el número de canales del orden inmediatamente superior:

$$R_b = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

Donde:

N_n es el número de canales de orden n y N_{n+1} es el número de canales de orden $n+1$.

El valor "medio" de bifurcación, R_b , de una cuenca se determina mediante la pendiente de la recta que resulta de graficar el logaritmo decimal del número de corrientes de cada orden en el eje de las ordenadas y el orden de las corrientes en el eje de las abscisas por medio de un ajuste de mínimos cuadrados. El valor "medio" se toma como el antilogaritmo de la pendiente de la recta ajustada a las parejas de valores.

Por lo general el rango de variación de R_b está entre 3 y 5 con una moda cercana a 4. Por estudios hechos se ha encontrado que el valor R_b no está correlacionado significativamente con el relieve y las variables hidrológicas de la cuenca. Esta es la razón por la cual los valores de R_b se han tomado como una variable aleatoria.

Con base en estudios estadísticos de su estimación se le ajustó la siguiente relación:

$$N_n = R_b^{k-n} \quad \text{—} \quad \log N_n = (k - n) \log R_b$$

Donde:

K: orden mayor de los canales de la cuenca en estudio

n: orden del canal en el cual se está interesado

N_n : número de canales para el orden n

Claramente se observa que el valor mínimo de R_b es dos y generalmente nunca se encuentran valores cercanos a éste bajo condiciones naturales. En general se puede decir que los valores de R_b para cuencas de una misma zona son muy similares. Normalmente valores muy altos de R_b son esperados en regiones muy montañosas y rocosas o en cuencas alargadas en la dirección del río principal o de mayor orden. En cuencas donde se tiendan a producir valores altos de R_b se tiende a encontrar bajos caudales picos pero conformando una hidrógrafa extensa. Una cuenca redondeada y con R_b bajo tiende a producir hidrógrafas picudas.

1.9.9.2 Relación de longitudes de corriente L.

Relaciona la longitud promedio de las corrientes de orden i (L_i) a la relación de la longitud de la corriente (r_i) y la longitud promedio de las corrientes de primer orden (l_1) así:

$$L_i = l_1 r_1^{i-1}$$

La relación de longitud de la corriente se define como el promedio de la longitud de las corrientes de cualquier orden sobre la longitud promedio de las corrientes de orden inmediatamente inferior.

1.9.9.3 Relación de áreas.

Relaciona el área de las cuencas de orden i (A_i), el área de las cuencas de orden 1 (A_1) y la relación de área de corrientes (r_a) así:

$$A_i = A_1 r_a^{i-1}$$

La relación de área de corrientes, r_a es la relación del área promedio de las corrientes de un orden i , sobre el área promedio de las corrientes de orden inmediatamente inferior.

1.9.10 Densidad de drenaje.

Está definida como la relación, D_d entre la longitud total a lo largo de todos los canales de agua de la cuenca en proyección horizontal y la superficie total de la hoya:

$$D_d = \frac{\sum l_i}{A}$$

Donde:

$\sum l_i$: longitud total de todos los canales de agua en km

A: área en km²

l_i : longitud de cada cauce

Para las unidades citadas, se han encontrado valores mínimos de D_d del orden de 7, valores promedios en el rango de 20 a 40 y valores máximos del orden de 400.

Valores bajos de D_d generalmente están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables y de bajo relieve. Valores altos fundamentalmente son encontrados en regiones de suelos impermeables, con poca vegetación y de relieve montañoso.

El valor inverso de D_d significa un promedio del número de unidades cuadradas que se necesita para mantener un caudal de una unidad de longitud. Por esta razón: $1/D_d$ suele ser llamada constante de mantenimiento de un canal.

La vegetación en las cuencas hidrográficas tiene una fuerte influencia en el régimen hidrológico de la misma, pues está relacionado con la erosión, temperatura y evaporación-precipitación convectiva.

El coeficiente de cubrimiento de bosques (no se podría denominar como un parámetro geomorfológico) se refiere al porcentaje de la superficie de la cuenca ocupada por bosques o por otro tipo de vegetación. Este valor es importante para el manejo y comparación de cuencas, no es lo mismo una cuenca urbana que una agrícola o de bosques (ver ref. 7).

1.10 Avenidas

Una avenida (en algunos lugares se denomina también como *crecida*, *riada* o *aguas altas*) es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo. Entonces el agua lo desborda e invade el lecho mayor, también llamado llanura aluvial.

1.10.1 Particularidades y tipos

Una crecida elemental sólo afecta a uno o varios afluentes (pluvial) debido a las lluvias continuas sobre una cuenca.

Las avenidas se pueden caracterizar según su variabilidad en el tiempo, como:

- **Avenidas periódicas:** que generalmente no causan daños, e incluso son benéficas. Este tipo de avenidas es de larga duración, pudiendo durar semanas o meses. Son causadas por las variaciones climáticas de vastas regiones de la cuenca hidrográfica. Son previsibles, pudiéndose tomar medidas de protección para evitar o minimizar los daños.

- **Avenidas excepcionales:** éstas son causadas por precipitaciones intensas sobre toda la cuenca o parte de ésta. Son difícilmente previsible, para ello se requiere de una red de monitoreo operada en tiempo real. Generalmente causan daños a las poblaciones y a la infraestructura económica.
- **Combinación de ambas:** generalmente causan daños, son difícilmente previsible si no se cuenta con una red de monitoreo en tiempo real.

1.10.2 Características de una avenida

Las principales características de una avenida son:

- Su caudal máximo, o pico, fundamental para el dimensionamiento de las obras de protección lineares o defensas ribereñas.
- El volumen de la avenida.
- La velocidad con que aumenta su caudal.

Estas características, para un mismo tipo de precipitación (es decir, misma intensidad y tiempo de aguacero), varían en función de características intrínsecas de la cuenca: su extensión, la pendiente y tipo del terreno, etc., y también de características modificables por las actividades antrópicas: la cobertura vegetal, los tipos de preparación del suelo para la agricultura, las áreas impermeabilizadas como áreas urbanas, etc.

1.10.2.1 Agravantes para su formación

Entre las causas que agravan la importancia de las crecidas se encuentran:

- La impermeabilidad del suelo de la cuenca, además de su excesiva pendiente y falta de vegetación que hacen que el agua escurra velozmente y no se infiltre.

- Los lechos estrechos y con pendientes muy acentuadas, que no pueden conservar volúmenes suficientes de agua suplementaria.
- La existencia de confluencias muy próximas de unas a otras.

Las crecidas más importantes no se deben a la torrencialidad de sus precipitaciones sino a la persistencia y a la repetición de lluvias muy intensas durante varios días. El suelo se halla entonces saturado y no puede absorber mucha más agua, la evaporación es poco relevante. En todo caso, ello no excluye la existencia de crecidas devastadoras debidas a la onda potente formada en un río secundario por lluvias torrenciales.

1.10.2.2 Coeficiente de escorrentía

Cada tipo de terreno, debido a los factores anteriormente reseñados, retendrá una mayor o menor cantidad de agua de forma superficial, por infiltración al terreno, por retención en la vegetación o por evaporación directa. La relación entre el agua evacuada por un río y el agua caída en forma de lluvia, constituye el *coeficiente de escorrentía*. Con el conocimiento de los caudales que llegan en función del tiempo, se construirá el hidrograma de la avenida, que será el gráfico que indique dicha relación.

En el período no lluvioso, el coeficiente de escorrentía pasa rara vez de 0,4 porque una gran parte del agua es absorbida por el suelo seco o evaporada por el sol. En el período lluvioso la influencia de esos dos factores es mínima, y el río puede llevarse hasta más del 80% del agua recibida por la cuenca.

1.10.3 Daños causados por las avenidas

Durante las crecidas, el caudal y la velocidad de la masa líquida aumentan en forma considerable la fuerza erosiva del agua y su capacidad de transporte. Así, un corto periodo de tiempo basta para provocar cambios sensibles en la morfología de los márgenes y del lecho del río, ocasionando desbordes significativos. Para minimizar o incluso anular dichos desbordes, una adecuada defensa ribereña, un enrocado o la construcción de espigones o gaviones, pueden ser ciertamente efectivos para prevenir este tipo de daños (ver ref. 8).

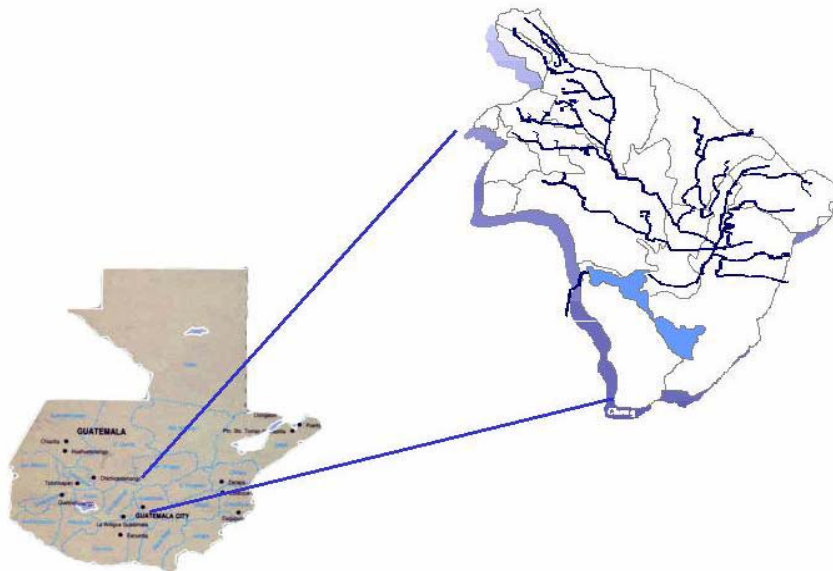
2. PARÁMETROS NECESARIOS PARA REALIZAR EL ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA OBRA HIDRÁULICA

2.1 Topografía del área bajo estudio

2.1.1 Características generales de la cuenca

El área de estudio (ver figura 6) comprende la cuenca hidrográfica del río Villalobos hasta su desembocadura, localizada en 90° grados 40 minutos longitud oeste y 14° grados 25 minutos y 14° grados 40 minutos longitud norte, teniendo al norte la vertiente del Río Las Vacas y al sur la cuenca del lago de Amatitlán, la cual tiene un área de 331.81 kilómetros cuadrados y se divide en las siguientes sub-cuencas:

Figura 1 Área de estudio.



Fuente: Elaboración personal.

Tabla I Superficie de subcuencas.

No.	SUB CUENCA	SUPERFICIE EN MTS CUADRADOS
1)	EL BOSQUE	1324.00
2)	TULUJA	5467.00
3)	LAS MINAS	11759.00
4)	PLATANITOS	20800.00
RÍO VILLALOBOS Y SUS PRINCIPALES AFLUENTES		
1)	Río El Arenal	1234.00
2)	Zanjón La Palín	2541.00
3)	El Zacatal	3895.00
4)	Quebrada El Frutal	8371.00
5)	Río Pínula	21560.00
6)	San Lucas	12998.00
7)	Río Las Minas	11759.00
8)	Río Molino	23322.00
9)	Río El Bosque	1324.00
10)	Río Platanitos	20800.00

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológico del Río Villalobos, Tomo 1 Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre año 2005.

La cuenca se caracteriza por un relieve muy fuerte y sub-suelo altamente suelto, suave y permeable. La temperatura media anual en la cuenca es estable y oscila entre 18 y 21 grados centígrados, presentándose las temperaturas más altas en la región central de la cuenca debido a la altura de 1,200 metros sobre el nivel del mar.

Las variaciones de lluvia en la cuenca oscilan entre 900 y 1,400 mm/año, durante los meses de mayo a octubre, drenando hacia el lago de Amatitlán en un promedio de 500 millones de metros cúbicos de agua al año, según IGN 1,988, distribuidos en la estación Lluviosa.

El uso del suelo en la cuenca es diverso, siendo los predominantes el urbano, los cultivos y pastos, además en los últimos años y a partir del año 1,976 se han venido acrecentando los asentamientos urbanos como la ciudad de Guatemala, Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales, esto debido a los fenómenos naturales, la violencia política de los años 80 en el interior del país (guerra interna) así como las migraciones del interior de la República en la búsqueda de trabajo y mejores condiciones de vida, ya que el 80% de la industria del departamento se encuentra concentrada en las ciudades anteriormente mencionadas.

La Geología de la cuenca se encuentra constituida por sedimentos volcánicos eólicos, piedra pómez de diferentes graduaciones, color y grado de consolidación y algunos afloramientos de rocas ígneas; andesitas y dacitas de pequeña magnitud superficial.

Adicionalmente, como consecuencia de la erosión acelerada y ocasionada por la deforestación e impermeabilización, se arrastra una cantidad exagerada de material que causa sedimentación de desechos (orgánicos y no orgánicos).

2.1.2 Caracterización del problema de inestabilidad por áreas, o sectores críticos en cada cauce

2.1.2.1 Causas de los deslizamientos

Los deslizamientos se producen debido a la interacción de los procesos naturales y la acción no apropiada del hombre en el uso de barrancos como basureros clandestinos y botaderos de ripio.

En el área de la cuenca éstos se producen en diferentes zonas, principalmente en las áreas marginales (en mayor porcentaje en barrancos y en menos porcentajes en laderas), por la manifestación de fuerzas naturales (actividad sísmica) provocando la inestabilidad de barrancos y laderas a través del agrietamiento del suelo, agregando a este proceso geológico las intensas precipitaciones pluviales que se dan durante el invierno, haciendo mucho más inestables estos terrenos, los cuales son habitados por miles de personas quienes por razones socio-económicas se ven obligados a construir en estos sitios no aptos para vivir. A partir de ese momento comienza la relación del hombre con las fuerzas naturales, acciones que inician con la deforestación hasta la mala canalización de las aguas servidas o simplemente no existen.

a.) Causas naturales

- Por actividad sísmica.
- Por composición del suelo y subsuelo.
- Por la orientación de las fracturas o grietas en la tierra.
- Por la cantidad de lluvia en el área.
- Erosión del suelo.

b) Causas humanas

- Deforestación de laderas y barrancos.
- Bancos o canteras (cortes para abrir canteras), construcción de carreteras, edificios o casas.
- Construcción de edificaciones con materiales pesados sobre terrenos débiles.
- Falta o métodos inapropiados de canalización de aguas negras y de lluvia (drenajes).

2.1.2.2 Características de identificación

- Agrietamientos del terreno.
- Grietas o fracturas muy anchas (indicador del desplazamiento de la masa del terreno).
- Si hay árboles, éstos muestran una inclinación anormal (no poseen verticalidad).
- Cambio en coloración de agua clara a café de las correntadas de agua que descienden de las partes altas.
- Corrientes de agua cargadas con lodo y fragmentos sólidos.
- Desprendimientos de pequeñas cantidades de suelos o rocas.
- Hundimiento del suelo.
- Relación entre cantidad de precipitación y el tiempo que tarda.

2.1.2.3 Susceptibilidad a la erosión

a.) Causas

- Pendiente del talud con más de 75 grados respecto a la horizontal.
- Suelos pocos cohesivos, granulares de origen volcánico.
- Deforestación
- Descalce del talud
- Descargas de aguas pluviales y drenajes de aguas servidas
- Erosión eólica e hídrica

2.1.2.4 Personas que se estiman que viven a menos de 100 metros de orillas del río Villalobos:

Tabla II Municipios que influyen directamente en el proyecto.

MUNICIPIO	POBLACIÓN TOTAL CENSO 2002	POBLACIÓN ESTIMADA A ORILLAS DEL RÍO VILLALOBOS 2002	PROYECCIÓN ESTIMADA A ORILLAS DE RÍO VILLALOBOS 2009	PROYECCIÓN ESTIMADA A ORILLAS DE RÍO VILLALOBOS 2034
VILLA NUEVA	355,901	2,264	3,040	8,709
SAN MIGUEL PETAPA	312,756	11,217	15,061	43,148
VILLA CANALES	122,194	5,525	7,419	21,255
TOTAL	790,851	19,006	25,520	73,112

Fuente: Municipalidades de Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales. Censo 2002.

La población estimada para el año del proyecto es de 25,520 habitantes a orillas del río Villalobos. $P = 19,006 \times (1 + 4.3/100)^7$. Tasa de crecimiento poblacional "TC" = 4.3% a nivel nacional. Población en el año 1, 25,520. El año de inicio del proyecto (0).

Las personas que habitan a menos de 300 metros a lo largo del río Villalobos al año 2009 se estiman en 25,520.

Las personas que habitarían a menos de 300 metros a lo largo del río Villalobos al año 2034 se estiman en 73,112.

Tabla III Análisis de cantidad de sedimentos por tramo y total dentro del cauce del río Villalobos.

No.	Tramo	Municipios	Cantidad m ³	Longitud mts.
1	Parte alta, desde los puentes de Villalobos, hasta el puente Frutal	Villa Nueva	27,610.00	4354.06
2	Parte media, desde el puente el Frutal, hasta el puente la Unión	San Miguel Petapa y Villa Canales	22,268.00	5735.94
3	Parte baja, desde el puente la Unión, hasta la desembocadura del río Villalobos-lago de Amatitlán	San Miguel Petapa y Villa Canales	2,000.00	5546.00
4	Total		51,878	15,636

Fuente: Datos de campo

Se estima que la pérdida superficial por año de área del lago es de 10,000 metros².

2.1.2.5 Puntos que están en riesgo a la orilla del río Villalobos

a.) Villa Nueva:

- Finca Paraíso
- Maestros del ICTA
- Las Margaritas o El Búcaro
- Planes del Frutal

b.) San Miguel Petapa:

- El Frutal – sección A
- El Frutal
- Gerona
- Santa Inés Petapa
- El Frutal – sección B

- El Frutal – sección C
- Las Margaritas
- El Frutal – sección D
- Playa de Oro
- Rivera de Río
- Jardines de la Mansión
- San Miguel

c.) Villa Canales:

- Casco urbano

2.2 Caracterización de los sedimentos del área bajo estudio.

Las características de los sedimentos han sido estandarizadas a lo largo del tiempo con el afán de que cualquier técnico o Ingeniero, con conocimiento en el área, los pueda interpretar, por lo que es de mucha importancia enumerarlas para que se puedan aplicar en estudios futuros:

2.2.1 Granulometría.

Para observar el tipo de suelo presente o dominante se utilizan tamices con el fin de ver el grosor de las partículas, clasificándolas en limos o arcillas muy finas, arenas de granos finos y gravas, que son granos gruesos. La granulometría de las arcillas y limos para el presente estudio se toman como partículas semejantes, ya que son sólidos en suspensión que por su peso no se precipitan ni se sedimentan, la presencia de ellos denotan erosión a los ríos pues no son propias del lecho superficial de un río.

Tabla IV Abertura de malla en mm.

Abertura en mm	USA standard ASTM E 11-61	Número mesh de Tyler (mesh/in.)	British standard (mesh/in.)
0,037	400	400	—
0,044	325	325	—
0,045	—	—	350
0,053	270	270	300
0,063	230	250	240
0,074	200	200	—
0,075	—	—	200
0,088	170	170	—
0,090	—	—	170
0,105	140	150	150
0,125	120	115	120
0,149	100	100	—
0,150	—	—	100
0,177	80	80	—
0,180	—	—	85
0,210	70	65	72
0,250	60	60	60
0,297	50	48	—
0,300	—	—	52
0,354	45	42	—
0,355	—	—	44
0,420	40	35	35
0,500	35	32	30
0,595	30	28	—
0,600	—	—	25
0,707	25	24	—
0,710	—	—	22
0,841	20	20	—
1,00	18	16	16
1,19	16	14	—
1,20	—	—	14
1,41	14	12	—
1,68	12	10	10
2,00	10	9	8

Fuente: Carlos Eduardo Núñez (www.cenunez.com.ar)

Tabla V Clasificación de los sedimentos por tamaño.

Grupo	Clase	Tamaño (mm)	
Piedras	Muy grande	2,000	a 4,000
	Grande	1,000	a 2,000
	Mediana	500	a 1,000
	Pequeña	250	a 500
Guijarros o cantos	Grande	130	a 250
	Pequeña	64	a 130
Grava	Muy gruesa	32	a 64
	Gruesa	16	a 32
	Mediana	8	a 16
	Fina	4	a 8
	Muy fina	2	a 4
Arena	Muy gruesa	1	a 2
	Gruesa	0.5	a 1
	Mediana	0.250	a 0.500
	Fina	0.125	a 0.250
	Muy fina	0.062	a 0.125
Limo	Gruesa	0.031	a 0.062
	Mediana	0.016	a 0.031
	Fina	0.008	a 0.016
	Muy fina	0.004	a 0.008
Arcilla	Gruesa	0.002	a 0.004
	Mediana	0.001	a 0.002
	Fina	0.0005	a 0.001
	Muy fina	0.00025	a 0.0005

Fuente: American Geophysical Union (Adaptada de Maza J. A., 1987).

2.2.2 Sólidos sedimentables y sólidos en suspensión.

En el presente informe se analizaron estos sedimentos por el método de decantación en conos Inhoff.

Tabla VI Tipos de transporte a cuantificar.

PROBLEMA O ESTUDIO	TRANSPORTE A CUANTIFICAR
Tiempo de llenado de una pequeña presa derivadora	S_{bb}
Tiempo de llenado de una gran presa	S_t
Erosión aguas abajo de grandes presas	S_b
Estabilidad de cauces y rectificaciones	S_{bb} o S_b
Derivaciones en ríos hacia canales de riego	S_{bs}
Derivaciones en ríos hacia plantas de tratamiento	S_{bs} y S_l
Obras de defensa contra inundaciones	S_b
Bordos de protección	S_{bs} y S_l
Desvíos temporales	S_{bs}
Cauces de alivio	
Bombeo directo de un río	S_{bs} o C_{bs}
Tanques de sedimentación	S_{bb} o S_b
Desvíos para acuicultura en lagunas costeras o estanques	S_{bs} o S_l
Entubamiento de arroyos en su paso por centros urbanos	S_b
Diseño de canales sin arrastre	$S_{bb} = 0$ condición crítica de arrastre
Estudios de erosión y sedimentación de tramos de ríos	S_{bb} o S_b

Fuente: Maza A., J. A. y García F., M. (1996)

La tabla anterior se aplica según las siguientes fórmulas:

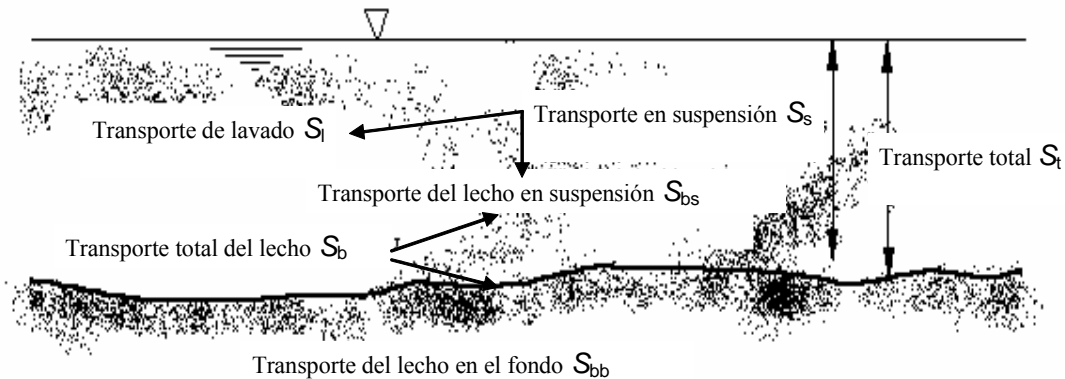
$$S_t = S_b + S_1$$

$$S_t = S_{bb} + S_{bs} + 1$$

$$S_t = S_{bb} + S_s$$

$$S_s = S_{bs} + S_1$$

Figura 2 Transporte de sedimentos.



2.2.3 Análisis espacial modificado para la evaluación de zonas susceptibles de aportes de sedimentos al cauce del río Villalobos en áreas de erosión.

El medio ambiente es un sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con los que el hombre entra en contacto, modificándolos y utilizándolos para la satisfacción de sus necesidades y a los que él mismo se adapta. (Bucek et al. ,1983),

La caracterización de las variables tales como pendiente, direccionalidad próxima a los ríos, el uso de la tierra y el tipo de suelo pueden indicar las zonas susceptibles al aporte de sedimentos en el transcurso de un cauce y para este caso se adaptó al modelo del río Villalobos, el cual tiene los variados aspectos topográficos y una fuerte presión humana.

2.2.4 Lodos servidos y contaminantes industriales

Es en época de estiaje cuando el río Villalobos casi el 100% es de tipo residual, ya sea industrial, doméstico, agroindustrial y hospitalaria, entre otros. Para afirmar lo anterior según un estudio de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo - CCAD- en la cual se muestrearon 100 empresas industriales, cuyos efluentes fueron caracterizados mediante análisis de laboratorio durante el segundo semestre del año 2002, se encontró que ellas estaban vertiendo en los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán más de 15 millones de metros cúbicos residuales, con casi 30000 toneladas de DQO, cerca de 27000 toneladas de sólidos totales y aproximadamente 8000 toneladas de DBO por año. En términos de población esa carga contaminante de DQO equivale a 1,304,532 personas.

2.2.5 Características de los sedimentos por río.

Tabla VII Caracterización granulométrica.

Río	COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA expresada en porcentaje											
	GRAVAS				ARENAS				LIMOS O ARCILLAS			
	centro	derecha	izquierda	promedio	centro	derecha	izquierda	promedio	centro	derecha	izquierda	promedio
Río el Frutal	52.80	27.97	50.60	43.79	45.73	70.36	43.82	53.30	1.47	5.58	1.67	2.91
Río Molino	43.17	64.49	28.03	45.23	54.60	34.93	59.18	49.57	2.23	0.58	12.79	5.20
Río Moran	73.85	84.58	78.78	79.07	25.19	14.95	20.39	20.18	0.96	0.47	0.83	0.75
Río Pinula	48.95	47.41	55.67	50.68	50.00	51.17	43.35	48.17	1.05	1.42	0.98	1.15
Río San Lucas	33.62	36.20	37.06	35.63	65.38	60.75	61.86	62.66	1.00	3.05	1.08	1.71
Río Zanjón la Palín	10.48	17.64	34.56	20.89	87.30	81.50	62.40	77.07	2.22	0.86	3.04	2.04
Río Villa lobos parte alta	19.00	0.00	1.81	6.94	77.67	85.41	92.55	85.21	2.77	14.59	5.64	7.67
Río Villa lobos parte baja	0.24	0.75	0.74	0.58	96.61	89.73	92.53	92.96	3.15	9.52	6.73	6.47
Río Villa lobos parte central	24.84	17.89	15.62	19.45	73.70	80.22	75.17	76.36	1.46	1.89	9.21	4.19
Río Platanitos	11.03	8.28	5.04	8.12	87.23	81.75	91.83	86.94	1.71	9.97	3.13	4.94
Río el Arenal	3.44	6.79	15.59	8.61	90.28	83.53	72.87	82.23	6.28	9.68	11.54	9.17

Fuente: Datos obtenidos en campo.

Tabla VIII A: sólidos sedimentables y en suspensión

RÍO	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	EROSIÓN ANUAL	PROMEDIO ANNUAL DE SEDIMENTOS	caudal diario
	prueba de laboratorio	prueba de laboratorio	m ³	m ³	m ³ /s
	ml/h/l	mg/l	media		
Río el Frutal	8	160	376400	81,766,679	0.32
Río Molino	9	915	1318000	148,894,946	0.51
Río Moran	0.5	56	770000	6,873,127	0.38
Río Pinula	4	300	2354000	95,800,727	0.74
Río San Lucas	3.5	445	2019200	22,047,928	0.18
Río Zanjón la Palín	4	600	2689200	14,871,540	0.09
Río Villa lobos parte alta	7	565	784000	251,998,724	1.12
Río Villa lobos parte baja	5	505	558400	632,319,883	3.96
Río Villa lobos parte central	5	530	79600	408,243,516	2.56
Río Platanitos	4	260	1302800	36,626,181	0.28
Río el Arenal	17	1427	1054800	183,353,281	0.34

Fuente: Datos obtenidos en campo.

Tabla IX B: sólidos sedimentables y en suspensión

RÍO	sólidos sedimentables totales	sólidos sedimentables totales anuales	sólidos en suspensión totales	sólidos en suspensión totales anuales	pendiente media
	ml/h	m ³	mg/h	m ³	%
Río el Frutal	9,290,880	81,388,109	185,817,600	2,170	0.033209891
Río Molino	16,844,400	147,556,944	1,712,514,000	20,002	0.041162851
Río Moran	696,600	6,102,216	78,019,200	911	0.050609185
Río Pinula	10,666,368	93,437,384	799,977,600	9,344	0.031122449
Río San Lucas	2,285,997	20,025,334	290,648,190	3,395	0.071268164
Río Zanjón la Palín	1,390,400	12,179,904	208,560,000	2,436	0.068870523
Río Villa lobos parte alta	28,674,394	251,187,691	2,314,433,230	27,033	0.028267183
Río Villa lobos parte baja	72,109,180	631,676,417	7,283,027,180	85,066	0.008622909
Río Villa lobos parte central	46,587,470	408,106,237	4,938,271,820	57,679	0.008633094
Río Platanitos	4,032,000	35,320,320	262,080,000	3,061	0.059663462
Río el Arenal	20,808,000	182,278,080	1,746,648,000	20,401	0.104899497

Fuente: Datos obtenidos en campo.

2.3 Hidrología del área bajo estudio.

La cuenca del río Villalobos, al igual que todas las cuencas, es una unidad física natural la cual tiene diversos procesos ambientales y por consiguiente la unidad lógica para la planeación del desarrollo socioeconómico, agropecuario y de conservación puede considerarse como un sistema de acción y reacción, formado por complejos componentes relacionados entre sí, que incluyen los subsistemas abiótico, biótico y antrópico. Todo esto conforma una compleja organización espacial y temporal. Para estimar el volumen de agua que se capta en la cuenca es necesario hacer referencia a la curva de duración de caudal.

La cuenca del río Villalobos tiene una extensión superficial de 419.07 Km², el perímetro lo conforma una distancia lineal de 94,364 mts y tiene alturas que oscilan entre 1,172 msnm y la máxima en 2,560 msnm., la altura de la desembocadura del río Villalobos es aproximadamente de 1,175 msnm. (MAGA, 2000).

Para la integración de datos obtenidos de la estación meteorológica INSIVUMEH se optó con adjuntar información geográfica que incluyó la obtención de los límites de los cuerpos de agua (digitalización del lago Amatitlán a escala 1:50,000), la distribución espacial de la vegetación y la información del modelo de elevación (escala 1:50,000), entre otros. (MAGA 2000).

Los datos fueron procesados utilizando los programas de Microsoft Office, Sistemas de Información Geográfica ArcView (ver. 3.2) con diversos módulos y el software para datos raster IDRISI.

El modelo de elevación fue generado a partir de la digitalización de curvas a nivel provenientes de las hojas cartográficas a escala 1:50,000 del IGN a cada 20 metros (figura 8). La cobertura del suelo fue obtenida de los registros del MAGA (2006).

Otro de los factores importantes que influyen en el comportamiento de la escorrentilla superficial y en especial del cálculo de la Curva Número (CN) es el uso del suelo. En la figura 3 se muestra el uso del suelo, el cuadro indica que existe 146.8 Kms² de bosque, 176.4 Kms² de uso agropecuario 73.3 Kms² de uso urbano y el lago que tiene un área de 14.7 Kms². En la gráfica 3 se muestran los porcentajes, lo cual indica que un 42.9% es de uso agropecuario, 35.7% es de cobertura boscosa, 17.8% es de uso urbano y un 3.6% lo ocupa el lago de Amatitlán .

La cuenca tributaria de drenaje natural del río Villalobos, hasta su desembocadura en el lago de Amatitlán, tiene un área de 312 km², la cual se basa en las hojas cartográficas oficiales la escala 1:50,000 del IGN.

2.3.1 Consideraciones sobre el régimen hidrológico de la cuenca del río Villalobos

El régimen hidrológico de la cuenca presenta características especiales debido tanto al régimen natural como al uso intensivo de los recursos hídricos; tanto de carácter potable (mariscal) como para riego (en áreas cercanas a la desembocadura). En la cuenca se presentan fuertes aguaceros que provocan escurrimientos superficiales sustanciales, especialmente en los meses de junio, julio y septiembre, mientras que en los otros meses los caudales son pequeños o nulos.

En los últimos 20 años debido a la ocupación urbana a que ha venido siendo expuesta la cuenca, ha dado como resultado que en las áreas pobladas se impermeabilice donde antes se infiltraba la lluvia para recargar el manto freático; según estudios de tesis realizadas en los años 70's por el Ingeniero Mario René Ocheita Rivas, esto ha venido a provocar crecidas momentáneas que han puesto en riesgo la infraestructura vial, de servicios y vivienda, aunado al cambio geométrico a que está siendo expuesto el río Villalobos que tenían una longitud de 22.00 kilómetros comparado con los 16.00 kilómetros con que cuenta a la fecha, lo que ha venido a incrementar la velocidad, el arrastre de sedimentos y la profundización de su cauce.

2.3.2 Situación actual del sistema de drenajes en el área de la cuenca del río Villalobos y sus principales afluentes.

a) Río Tulujá:

Éste es afluente del río Villalobos y aporta sus caudales únicamente en época de invierno, ya que en verano la totalidad de sus caudales son derivados y utilizados para el procesamiento de azúcar en el ingenio Santa Teresa, ubicado en Villa Canales.

Tabla X Caudales característicos (río Tulujá).

Caudal de aguas altas	72 lts/seg
Caudal de aguas medias	31 lts/seg
Caudal de aguas bajas	14 lts/seg
Caudal medio	37 lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final, TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre año 2005.

b) Río Moran o las Minas:

Es otro afluente del río Villalobos, el cual en invierno aporta caudales de hasta 100 lts/seg y en verano 20 lts/seg, teniendo aportes medios anuales calculados de 75 lts/seg.

Tabla XI Caudales característicos (río Las Minas)

Caudal de aguas altas	230 lts/seg
Caudal de aguas medias	54 lts/seg
Caudal de aguas bajas	20 lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final, TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre año 2005.

c) Río Pinula:

En invierno este afluente es el que aporta el mayor caudal. Está sujeto en verano a derivaciones para agua potable y riego que reducen grandemente su caudal.

Tabla XII Caudales característicos (río Pinula)

Caudal de aguas altas	673 lts/seg
Caudal de aguas medias	173 lts/seg
Caudal de aguas bajas	47 lts/seg
Caudal medio	267 lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final, TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

d) Río Villalobos:

Está formado por los ríos Molino y San Lucas, tomando el nombre de río Villalobos a la altura del complejo de puentes Villalobos en el kilómetro 12.5 de la ruta CA-9 Sur, municipio de Villa Nueva hasta su desembocadura con el lago de Amatitlán.

En invierno los caudales normales son del orden de 300 lts/seg, cerca de la confluencia con el río Pínula; notándose un incremento generado por la influencia de las crecidas de poca duración, mientras que en verano es nulo a la altura de granjas Gerona, municipio de San Miguel Petapa.

Tabla XIII Caudales característicos (río Villalobos)

Caudal de aguas altas	2,161 lts/seg
Caudal de aguas medias	947 lts/seg
Caudal de aguas bajas	27 lts/seg
Caudal medio	731 lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final, TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

Se nota que hay un régimen inestable, cuyos caudales varían mucho con respecto al caudal promedio 731 lts/seg, siendo tan variables sus avenidas como las lluvias mismas, existiendo crecidas relámpago, así como aporte muy bajo de aguas subterráneas, bajo almacenamiento en el cauce, estando sujeto a caudales reducidos en época seca.

e) Quebrada el Frutal:

En invierno este afluente tiene un aporte considerable, ya que se encuentra inmerso en una zona densamente poblada, con presencia de mucha industria, de allí el alto contenido de contaminación a que está expuesto. En verano su aporte principal son aguas residuales, domesticas e industriales.

Tabla XIV Caudales característicos (quebrada El Frutal)

Caudal de aguas altas	522 lts/seg
Caudal de aguas medias	343. 5 lts/seg
Caudal de aguas bajas	165 lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

f) Río zanjón la Palín:

Se inicia a inmediaciones de la colonia Castañás, Villa Nueva, su comportamiento es el de una descarga de aguas residuales y en época lluviosa incrementa su caudal por las aguas de lluvia, es una cloaca abierta que recoge aguas domesticas industriales y pluviales.

Tabla XV Caudales característicos (zanjón La Palín)

Caudal de aguas altas	137 lts/seg
Caudal de aguas medias	111.5 lts/seg
Caudal de aguas bajas	86 lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

g) Río el Arenal:

Por su ubicación geográfica este río ha cambiado su comportamiento en los últimos 20, años ya que inicia en la cabecera de cuenca del área de San Lucas Sacatepéquez, terminando en la ruta CA-9 Sur, en los últimos 5 años ha transportado gran cantidad de sedimentos por la deforestación, crecimiento urbano y la explotación de materiales para la construcción, las características de sus aguas son con alta presencia de aportes domésticos y agrícolas.

Tabla XVI Caudales característicos (río El Arenal)

Caudal de aguas altas	240	lts/seg
Caudal de aguas medias	167	lts/seg
Caudal de aguas bajas	94	lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

h) Río Platanitos:

El río Platanitos, por su ubicación geográfica y debido al crecimiento urbano de los últimos años, se ha convertido en una cloaca abierta, recogiendo las aguas de la parte alta de Villa Nueva y las aguas de la parte baja de San Miguel Petapa, en invierno sus crecidas han provocado inundaciones a la altura de Santa Inés Petapa y en la mayoría de su recorrido le han alterado su trayectoria.

Tabla XVII Caudales característicos (río Platanitos)

Caudal de aguas altas	980	lts/seg
Caudal de aguas medias	715	lts/seg
Caudal de aguas bajas	450	lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

i) Río el Zacatal:

El comportamiento de esta quebrada se ha visto modificada abruptamente en los 15 últimos años, producto del cambio del uso del suelo de pastizales a zonas pobladas, esto ha provocado un incremento en sus caudales, principalmente en época lluviosa, desde los años 70 presenta un alto grado de contaminación por aguas domesticas.

Tabla XVIII Caudales característicos (río El Zacatal)

Caudal de aguas altas	37 lts/seg
Caudal de aguas medias	27 lts/seg
Caudal de aguas bajas	17 lts/seg

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

Tabla XIX Subcuencas del área bajo estudio de la cuenca del río Villalobos y sus características morfométricas relevantes.

Subcuenca	Área (km ²)	Elevación (msnm)		Longitud Máxima (m)	Pendiente %
		Mínima	máxima		
El Bosque	6.64	1,215	1,660	6,137	7.25
Tulujá	11.84	1,218	1,865	7,806	8.29
Platanitos	52.68	1,219	2,460	22,611	5.49
Las Minas	36.93	1,220	1,920	13,860	5.05
Pínula	46.96	1,234	1,905	20,690	3.24
El Frutal	15.95	1,252	1,530	11,946	2.33
El Zacatal	2.37	1,269	1,460	4641	4.12
El Arenal	16.40	1,285	2,120	11,984	6.98
San Lucas	46.55	1,295	2,374	16,663	6.48
Molino	53.27	1,295	2,255	23,981	4.03

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

Tabla XX Relación entre la longitud a lo largo del cauce del río Villalobos, desde la ruta CA-9 y el área de cuenca hasta el sitio de control indicado.

Tramo			Área (Km ²)	Longitud máxima (m)	Distancia desde Ruta CA-9 (km)
No.	Extremo sup.	Extremo inf.			
1	CA-09, Sur	San Lucas	53.6	23,943	0 - 0.093
2	San Lucas	El Arenal	100.1	24,783	0.093 - 0.933
3	El Arenal	El Zacatal	117.4	25,997	0.933 - 2.147
4	El Zacatal	El Frutal	121.3	27,877	2.147 - 4.027
5	El Frutal	Pínula	152.2	30,603	4.027 - 6.753
6	Pínula	Las Minas	203.9	33,728	6.753 - 9.878
7	Las Minas	Platanitos	241.0	34,012	9.878 - 10.162
8	Platanitos	Tuluja	293.7	34,151	10.162 - 10.301

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

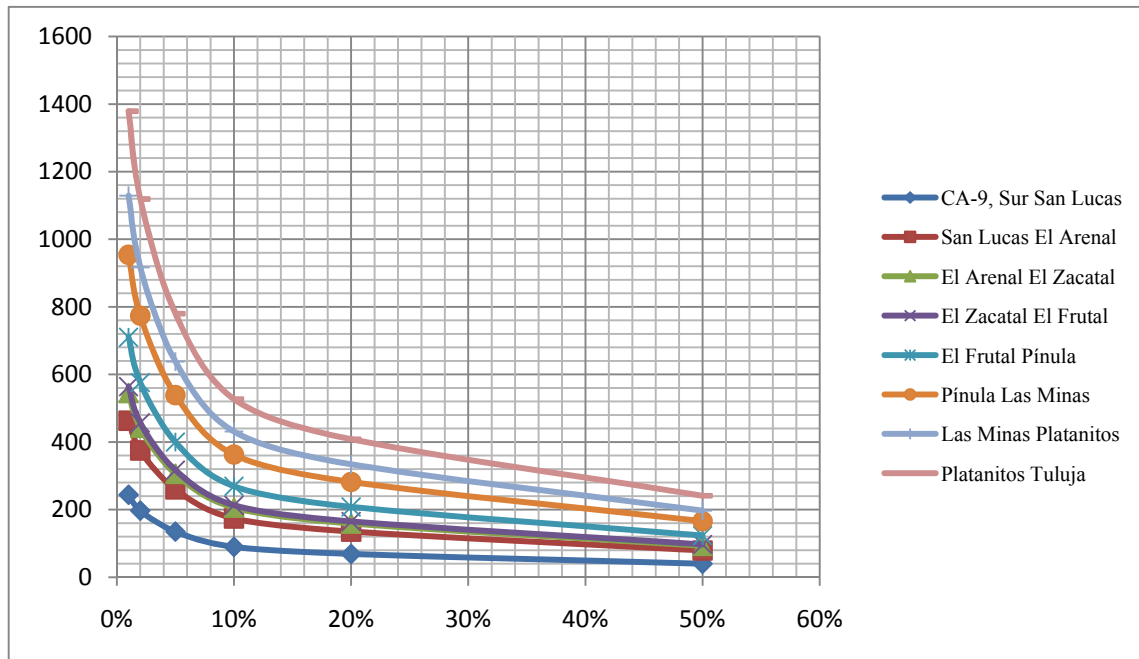
Caudales de diseño a lo largo del río Villalobos para las diferentes probabilidades:

Tabla XXI A: Condiciones actuales

Tramo		Caudal pico (m ³ /seg) con probabilidad de excedencia en los siguientes porcentajes					
Extremo sup.	Extremo inf.	50%	20%	10%	5%	2%	1%
CA-9, Sur	San Lucas	40	69	90	135	197	244
San Lucas	El Arenal	79	135	174	260	375	463
El Arenal	El Zacatal	93	159	206	306	442	545
El Zacatal	El Frutal	97	165	213	317	457	564
El Frutal	Pínula	123	208	269	400	576	710
Pínula	Las Minas	166	282	363	539	774	954
Las Minas	Platanitos	197	334	431	638	917	1,129
Platanitos	Tuluja	241	408	527	780	1,119	1,379

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológico del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final , TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

Figura 3 Caudal contra porcentaje de probabilidad de excedencia



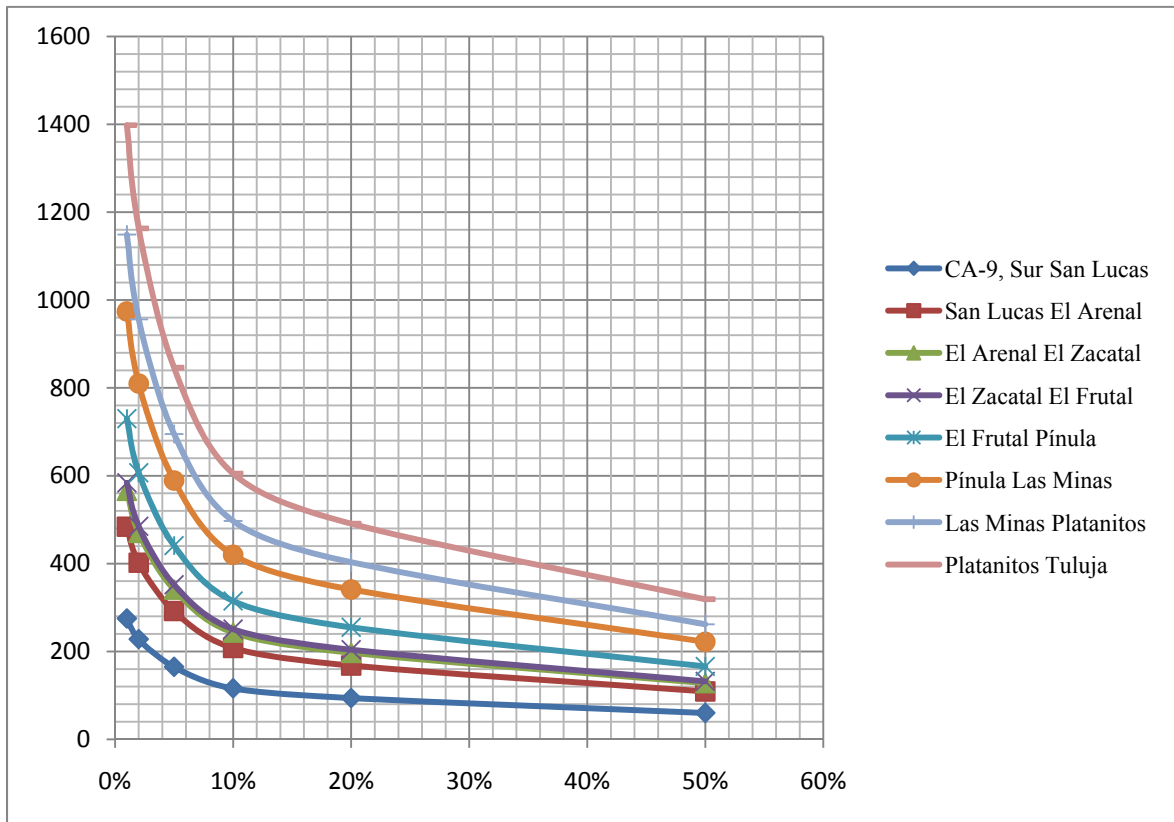
Fuente: Elaboración propia

Tabla XXII B: Condiciones futuras

Tramo		Caudal pico (m ³ /seg) con probabilidad de excedencia de en los siguientes porcentajes					
Extremo sup.	Extremo inf.	50%	20%	10%	5%	2%	1%
CA-9, Sur	San Lucas	60	94	116	165	228	275
San Lucas	El Arenal	109	168	208	292	402	484
El Arenal	El Zacatal	128	197	243	341	470	566
El Zacatal	El Frutal	132	204	251	352	485	584
El Frutal	Pínula	166	255	315	441	607	730
Pínula	Las Minas	222	341	420	589	810	974
Las Minas	Platanitos	262	403	497	695	956	1,149
Platanitos	Tuluja	319	491	605	846	1,163	1,398
Tuluja	El Bosque	333	512	630	882	1,212	1,457
El Bosque	Cementerio	340	523	644	902	1,239	1,489
Cementerio	Desembocadura	350	538	663	927	1,274	1,532

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológico del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final, TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

Figura 4 Caudal contra porcentaje probabilidad de excedencia



Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Metodología de cálculo

El objetivo principal del estudio hidrológico consiste en la obtención de datos de caudales máximos que ha presentado el río Villalobos, asociados a diferentes períodos de retorno, para la estación más cercana dentro del área de la cuenca del río Villalobos conocida como El INSIVUMEH, ubicada dentro de las coordenadas geográficas 14°35'11" latitud norte y 90°31'58" longitud oeste, municipio de Guatemala. Así también se tiene la Estación Suiza Contenta, ubicada en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, con las coordenadas geográficas 14°37'01" latitud norte y 90°39'30" longitud oeste.

2.3.4 Estudios pluviales

Se tomaron como referencia las estaciones conocidas como INSIVUMEH y SUIZA CONTENTA, siendo la primera la estación que cuenta con registros actualizados y datos diarios relativamente prolongados. Esta estación meteorológica tiene aproximadamente 79 años de poseer información registrada por medio de pluviogramas que permiten la medición, toma y registro de la cantidad de lluvia que cae en el área. En el municipio de San Pedro Ayampuc se ubica otra estación con datos de análisis referenciales a esa área, pero hay información inconsistente (datos faltantes) para utilizarla de punto comparativo, con la registrada para la cuenca del río Villalobos.

2.3.5 Precipitación máxima diaria

En la tabla XXIII se muestra la cantidad máxima de lluvia diaria anual en milímetros, la cual fue registrada en la Estación llamada INSIVUMEH para un período de 81 años. Adelante se muestran los resultados del análisis estadístico de los valores obtenidos, aplicando las distribuciones: Normal, LogNormal tipo II con parámetros ordinarios, Lognormal tipo III con ajuste de momentos ordinarios, LogPerson Tipo III, Gumbel y LogGumbel, dando como resultado que se ajusta más el Log Normal tipo III.

Tabla XXIII Lluvia diaria máxima anual en mm para la estación INSIVUMEH

Año	PDMAX	Año	PDMAX	Año	PDMAX	Año	PDMAX	Año	PDMAX
1928	77.6	1945	63.1	1962	115.5	1979	68	1996	40.7
1929	150.2	1946	54.4	1963	49.8	1980	72.8	1997	65.2
1930	46.2	1947	84	1964	66.5	1981	55	1998	198.3
1931	54.4	1948	86	1965	46.5	1982	156.6	1999	85.3
1932	54.6	1949	177.8	1966	59.6	1983	46.8	2000	74.8
1933	96.2	1950	77	1967	48.2	1984	60.7	2001	84.5
1934	57.8	1951	103.8	1968	57.8	1985	42.3	2002	50.2
1935	54.6	1952	67.7	1969	92.6	1986	52.3	2003	84.5
1936	103.5	1953	88.2	1970	69.2	1987	63.4	2004	57.2
1937	93.6	1954	101.1	1971	52.7	1988	104.3	2005	103.8
1938	59.5	1955	69.5	1972	88.5	1989	44.6	2006	114.7
1939	82.2	1956	78.5	1973	60.5	1990	50.8	2007	65.3
1940	82.7	1957	76.5	1974	55.7	1991	80.2	2008	112
1941	65.8	1958	124.4	1975	49	1992	70.5	2009*	38.8
1942	52	1959	63.9	1976	77	1993	63		
1943	103.2	1960	62.8	1977	48.2	1994	51.3		
1944	49.4	1961	58.5	1978	50	1995	67.2		

FUENTE: registros de la Estación INSIVUMEH (1928 – 2009)

2.3.6 Precipitación máxima anual y cantidad de flujo

Mediante este análisis se muestra la cantidad de lluvia anual acumulada y registrada por la estación de estudio conocida como INSIVUMEH. En la tabla XXIV aparecen los datos de la estación INSIVUMEH expresando la cantidad en mm por año.

Tabla XXIV Lluvia anual en mm para la estación INSIVUMEH.

Año	Preci/anual mm	Año	Preci/anual mm	Año	Preci/anual mm
1970	1464.5	1986	958.4	2002	1012.4
1971	1210.1	1987	1036.5	2003	1274.4
1972	848.3	1988	1693.7	2004	1142.5
1973	1398.7	1989	1200.6	2005	1396
1974	1059.3	1990	998.3	2006	1426.7
1975	1089.7	1991	1156	2007	1282.9
1976	1078	1992	1036.5	2008	1691
1977	812.8	1993	1190.4	2009*	608.1
1978	872.8	1994	984.7		
1979	1218.7	1995	1524		
1980	895.1	1996	1229.7		
1981	1057.4	1997	959.7		
1982	1089.8	1998	1537.5		
1983	1115.3	1999	1453.5		
1984	1092.8	2000	1059.5		
1985	1014.6	2001	1014.9		

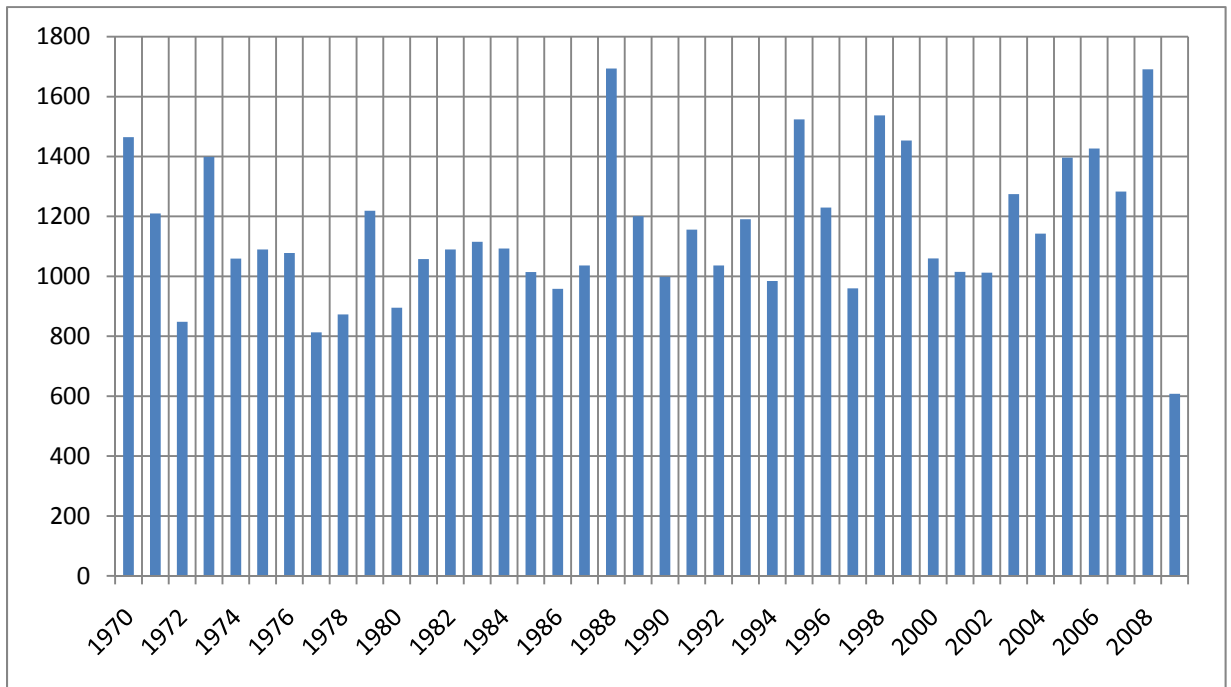
Fuente: registros de la estación del INSIVUMEH (1970-2007)

*Datos de precipitación registrados hasta el mes de agosto del año 2009.

La estación INSIVUMEH tiene el registro que el 94% de la cantidad de lluvia cae en la época de mayo a octubre, siendo los meses más lluviosos junio y septiembre.

En la figura 12 se muestra el comportamiento de la precipitación anual registrada en la estación INSIVUMEH.

Figura 5 Variación anual de la precipitación en mm, basada en el registro de lluvia en la estación del INSIVUMEH (1970 al 2009).



Fuente: Elaboración propia

La probabilidad que exista un evento de precipitación mayor de 1600 mm, equivalente a otra tormenta Mitch, es del 2.6%.

2.4 Pre-determinación de avenidas

1.1.1. Metodología de análisis

La metodología para el análisis regional de crecidas consiste en lo siguiente:

- a) Obtención y revisión de los registros de caudales máximos instantáneos observados en las diferentes estaciones operadas por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE).

- b) Selección de las series cuyos registros superan los 8 años y que tengan cierto grado de confiabilidad.
- c) Para cada estación seleccionada, se obtiene la crecida índice o caudal máximo medio, QMM_j . En la ec. 1, $QMAX_{ij}$ es el caudal máximo instantáneo observado en el año i , en la estación j y N_j es el número de datos de la serie de la estación j .

$$QMM_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} QMAX_{ij}}{N_j} \quad i=1,2,3,\dots,N_j; \quad j=1,2,3,\dots,J \text{ estaciones (1)}$$

- d) Agrupamiento de las estaciones por regiones:
- Esta regionalización se hace, en primer lugar con base al régimen de lluvias mostrada por las isoyetas medias anuales elaboradas por el INSIVUMEH.
 - Seguidamente se observa, gráficamente, el comportamiento del caudal índice en relación al área tributaria.
 - Se definen las regiones.
- e) Para cada región definida se obtiene una relación entre la crecida índice, QMM (m^3/s) y el área tributaria, A (kms^2) mediante regresión. La forma matemática de las relaciones A - QMM está dada por la ecuación 2, donde B y n son parámetros de ajuste.

$$QMM = BA^n \quad (2)$$

- f) Obtención de caudales modulares (K_{ij}), lo cual consiste en la estandarización de las series anuales de caudales máximos instantáneos (en cada estación j). Este proceso se hace en base a la siguiente ecuación, donde los subíndices tienen el mismo significado que en la ecuación 1.

$$K_{ij} = \frac{QMAX_{ij}}{QMM_j} \quad i=1,2,3,\dots,N_j \quad j=1,2,3,\dots,J \text{ estaciones (3)}$$

g) Ajuste de distribuciones técnicas de frecuencia a las series de caudales modulares y obtención de una curva de frecuencia regional para cada región. Las distribuciones teóricas que se utilizan son:

- Valor extremo generalizado, VEG.
- Distribución logística generalizada, LG.
- Log-normal, LN.
- Pearson tipo III, PIII.
- Gumbel, G.
- Log-Pearson tipo III, LPIII.
- Log-Gumbel.

h) Determinación de los parámetros de ajuste de las distribuciones de frecuencia, mediante dos métodos: momentos convencionales y momentos lineales.

i) Graficado de caudales modulares, K_{ij} en escala probabilística de Gumbel. El método de graficado usa la fórmula de Gringorten (ec. 4) para asignarle una probabilidad empírica, P_{ij} a los datos de las series. En la ec. 4, m es la posición del $QMAX_{ij}$ dentro de la serie j y N_j es el número de datos de la serie j .

$$P_{ij} = \frac{m_{ij}-0.4}{N_j+0.2} \quad i=1, 2, 3, \dots, N_j; \quad j=1, 2, 3, \dots, J \text{ estaciones} \quad (4)$$

j) Estimación de la bondad de ajuste de las distribuciones teóricas de frecuencia regionales a las series observadas estandarizadas. En vista de que las series son relativamente cortas, se usa únicamente el método visual para este propósito.

k) Selección de las distribuciones de frecuencia que mejor se ajustan a las series observadas.

- l) Obtención de una curva regional de frecuencia envolvente superior, para cada región.
- m) Selección de la distribución recomendable y común para todas las pequeñas cuencas.
- n) Completamente se obtienen curvas envolventes de caudales máximos específicos para cada región y a nivel país.
- o) Finalmente, previo a calibrar se ilustra la manera de usar los resultados de los análisis realizados a cuencas en diferentes partes del territorio nacional (ver ref. 9).

2.4.1 Curvas caudal índice – área de cuenca tributaria

Se determinan curvas que relacionan el caudal máximo medio o crecida índice (QMM) y el área tributaria, para cada región. Las relaciones tienen la forma matemática de la ecuación 2. .(Ver ref. 9)

Tabla XXV Parámetros de ajuste B y n, para cada región.

REGIONES	N	B	n	r ²
REGION I: Altiplano occidental	11	0.08	1.03	0.82
REGION II: Pacifico sur-occidental	10	84.00	0.24	0.18
REGION III: Pacifico sur-oriental	10	0.26	1.04	0.80
REGION IV: Altiplano oriental	4	0.15	1.21	0.89
REGION V: Motagua	12	3.62	0.64	0.79
REGION VI: Polochic-Cahabon y bajo Motagua	17	0.75	0.91	0.85
REGION VII: Planicie del Peten	5	0.22	0.90	0.90
REGION VIII: Nor-occidental	17	2.99	0.65	0.75

Fuente: Departamento de investigación y servicios hídricos. Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Julio 2004.

Donde: N es el número de estaciones, B y n, son parámetros de ajuste (de la ec. 2) y r² es el coeficiente de determinación.

2.4.2 Análisis de frecuencia regional

Consiste en determinar una curva de frecuencia válida para la región. Esta curva se basa en la evaluación de la bondad de ajuste de diferentes distribuciones teóricas de frecuencia aplicables a variables aleatorias extremas, como el caso de caudales máximos, a los datos observados. Para realizar comparaciones de las series dentro de una misma región, las mismas se estandarizan, de acuerdo a la ec. 3, obteniendo así nuevas series, denominadas de caudales modulares. Con base a estas series se obtienen parámetros regionales para las diferentes distribuciones utilizadas. Las distribuciones de frecuencia utilizadas son 7:

- Valor extremo generalizado, VEG.
- Distribución logística generalizada, LG.
- Log-normal, LN.

- Pearson tipo III, PIII.
- Gumbel, G.
- Log-Pearson tipo III, LPIII.
- Log-Gumbel.

En las tablas XXV y XXVI se muestran los cuantiles de caudales modulares para las ocho regiones. Estos valores pueden utilizarse cuando se deseen estimaciones mayores de caudales máximos, especialmente para periodos de retorno de 100 años o menos. (Ver ref. 9)

Tabla XXVI Cuantiles de caudales modulares regionales, k, de acuerdo a las distribuciones de Gumbel, y Log-normal.

Tr	REGIÓN								REGIÓN							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	GUMBEL								LOG-NORMAL							
1000	5.78	5.37	6.45	7.35	4.60	4.16	3.91	4.76	5.69	5.79	14.54	11.18	4.45	7.18	6.28	6.10
500	5.26	4.90	5.86	6.66	4.21	3.82	3.60	4.36	5.01	5.09	11.12	9.26	3.99	5.90	5.25	5.25
100	4.05	3.79	4.48	5.06	3.30	3.02	2.86	3.40	3.59	3.62	5.62	5.66	3.01	3.61	3.35	3.56
50	3.53	3.32	3.89	4.37	2.91	2.67	2.54	2.99	3.04	3.05	4.06	4.43	2.61	2.87	2.71	2.95
30	3.14	2.96	3.44	3.86	2.62	2.42	2.30	2.69	2.66	2.66	3.15	3.63	2.33	2.40	2.30	2.54
25	3.01	2.84	3.29	3.67	2.51	2.32	2.22	2.58	2.53	2.53	2.87	3.37	2.23	2.25	2.17	2.40
20	2.84	2.68	3.09	3.44	2.38	2.21	2.12	2.44	2.37	2.37	2.55	3.06	2.11	2.07	2.01	2.24
10	2.30	2.19	2.48	2.73	1.98	1.85	1.79	2.02	1.89	1.88	1.75	2.20	1.74	1.59	1.58	1.76
5	1.74	1.68	1.84	1.99	1.55	1.48	1.44	1.57	1.43	1.42	1.16	1.46	1.38	1.20	1.21	1.33
2	0.89	0.90	0.87	0.86	0.91	0.92	0.93	0.91	0.82	0.82	0.66	65.00	0.87	0.80	0.82	0.81

Fuente: Departamento de investigación y servicios hídricos. Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Julio 2004.

Tabla XXVII Cuantiles de modulares regionales, k, según curva envolvente superior.

Tr	REGIÓN							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1000	6.30	6.70	7.60	7.60	6.30	7.20	4.70	7.00
500	5.73	6.00	6.80	6.85	5.66	6.45	4.30	6.30
100	4.44	4.44	5.10	5.30	4.20	4.90	3.38	4.70
50	3.95	3.90	4.36	4.60	3.66	4.26	3.00	4.10
30	3.58	3.53	3.87	4.10	3.25	3.78	2.72	3.64
25	3.44	3.40	3.72	3.90	3.13	3.60	2.62	3.48
20	3.28	3.22	3.47	3.70	2.97	3.40	2.50	3.28
10	2.80	2.70	2.85	3.05	2.48	2.82	2.10	2.75
5	2.30	2.20	2.24	2.40	2.00	2.28	1.75	2.22
2	1.60	1.49	1.45	1.50	1.38	1.60	1.28	1.50

Fuente: Departamento de investigación y servicios hídricos. Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Julio 2004.

A continuación se usará la ec. 2 para obtener caudales en diferentes periodos de retorno para los métodos de Gumbel, Log-normal y envolvente superior, y la cuenca pertenece a la región III. (Ver anexo 2).

$$B = 0.26$$

$$n = 1.04$$

$$A = 283.1 \text{ kms}^2.$$

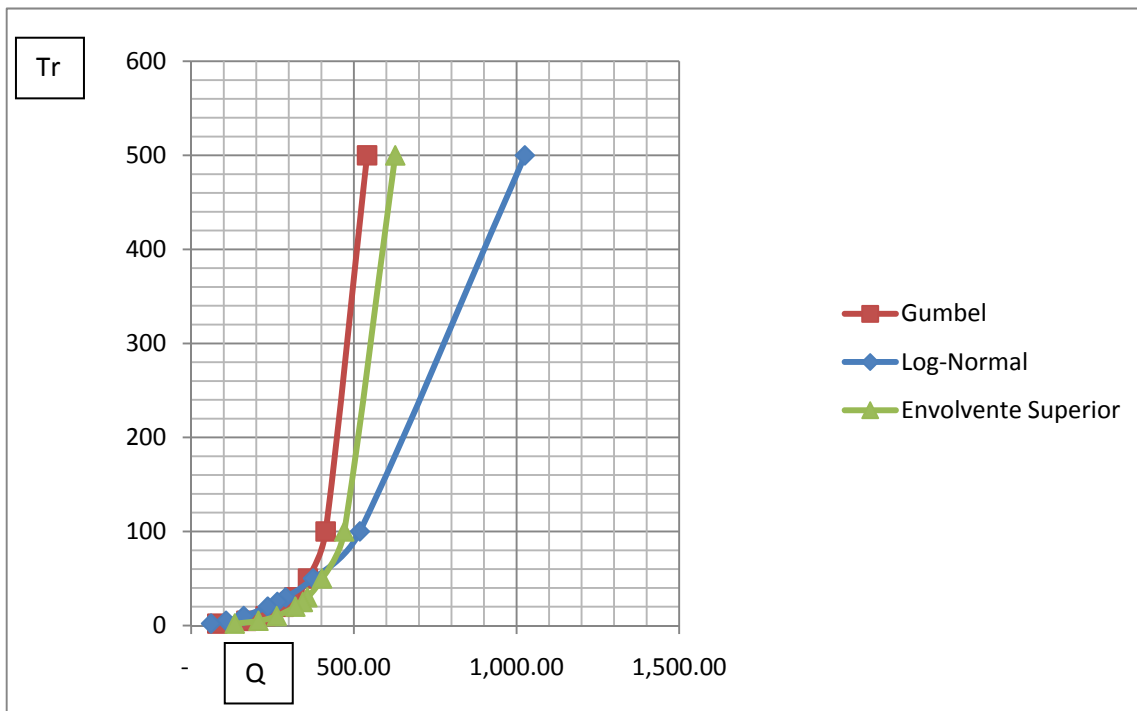
$$\text{QMM} = 92.255$$

Tabla XXVIII Caudales para diferentes periodos de retorno para el área bajo estudio.

Tr	Gumbel		Log-Normal		Envolvente Superior	
	Cuantiles de Caudales Modulares Regionales K	Q	Cuantiles de Caudales Modulares Regionales K	Q	Cuantiles de Caudales Modulares Regionales K	Q
500	5.86	540.62	11.12	1,025.88	6.80	627.34
100	4.48	413.30	5.62	518.47	5.10	470.50
50	3.89	358.87	4.06	374.56	4.36	402.23
30	3.44	317.36	3.15	290.60	3.87	357.03
25	3.29	303.52	2.87	264.77	3.72	343.19
20	3.09	285.07	2.55	235.25	3.47	320.13
10	2.48	228.79	1.75	161.45	2.85	262.93
5	1.84	169.75	1.16	107.02	2.24	206.65
2	0.87	80.26	0.66	60.89	1.45	133.77

Fuente: Departamento de investigación y servicios hídricos. Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Julio 2004.

Figura 6 Tr contra Q, para la tabla XXVIII.



Fuente: Elaboración propia.

Para dar credibilidad a los resultados obtenidos se deben hacer aforos y luego éstos compararlos para saber que método es el más eficiente, ya que éstos no presentan una buena correlación, en vista que los mismos son métodos empíricos.

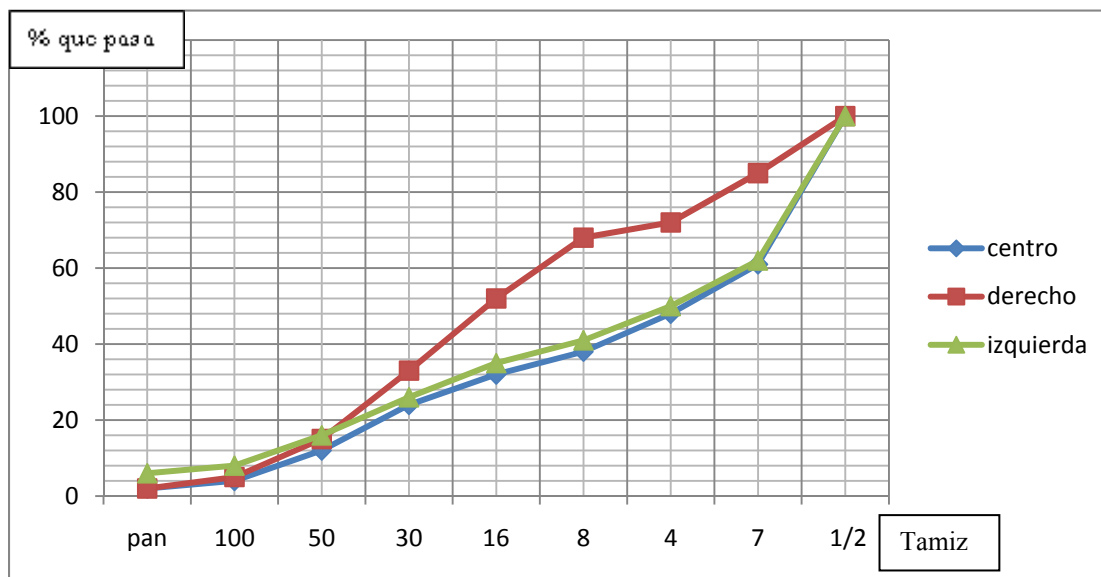
3. APLICACIÓN DE MODELO PROPUESTO

3.1 Valorización de datos de entrada.

3.1.1 Granulometría

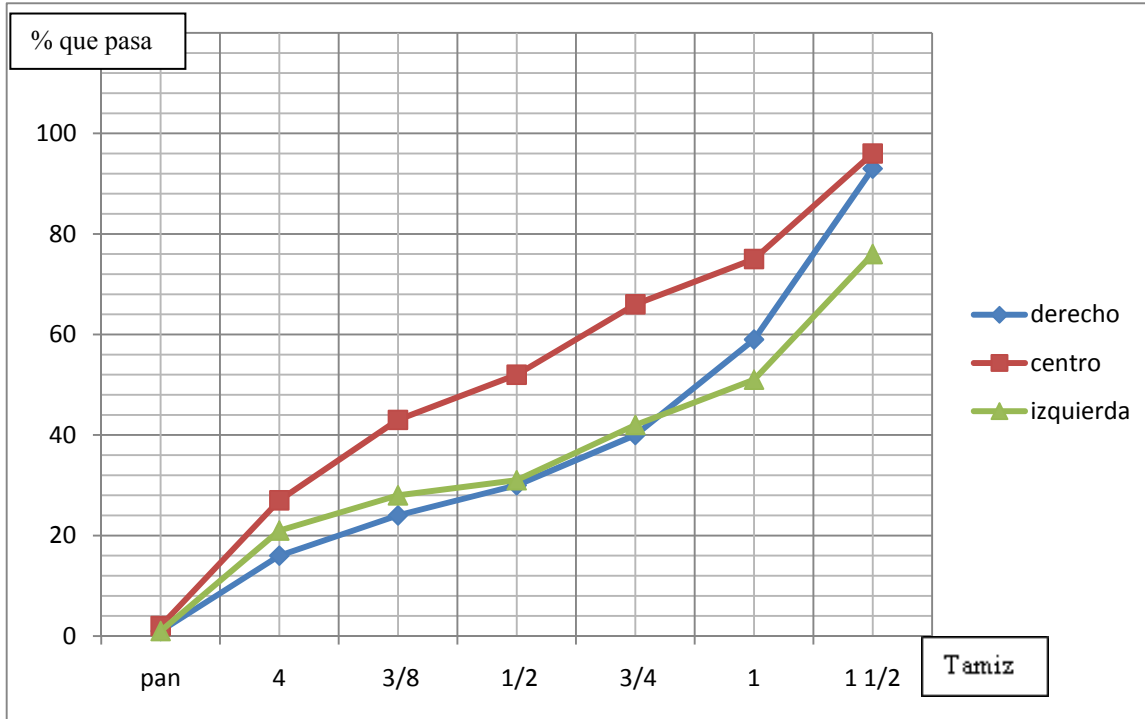
Las muestras tomadas por un técnico capacitado y enviadas al laboratorio para su análisis proporcionan los resultados de características de los sedimentos por río. Se interpreto por sección y río; las muestras en cada una de las secciones se tomaron en el extremo derecho, en el centro y en el extremo izquierdo de la sección transversal.

Figura 7 Quebrada el Frutal: área central presencia de grava arenosa, área derecha arena gravosa y poca presencia de limos o arcillas y área izquierda grava arenosa.



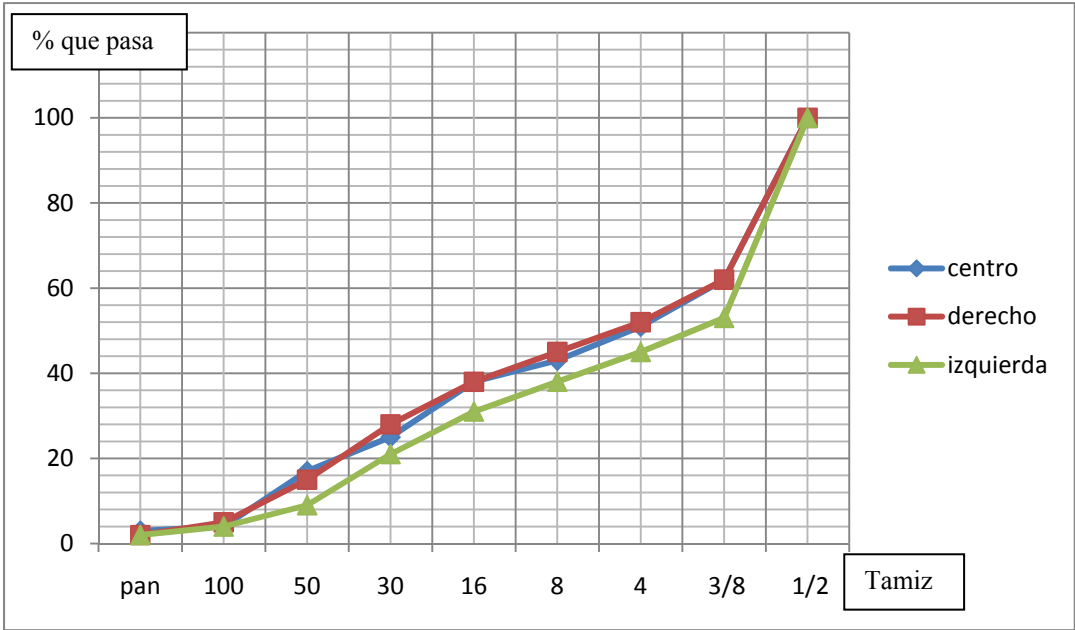
Fuente: Datos obtenidos de campo.

Figura 8 Río Moran o Las Minas: área derecha, grava con muy poca presencia de arena, área izquierda grava con muy poca presencia de arena y área central grava con poca presencia de arena.



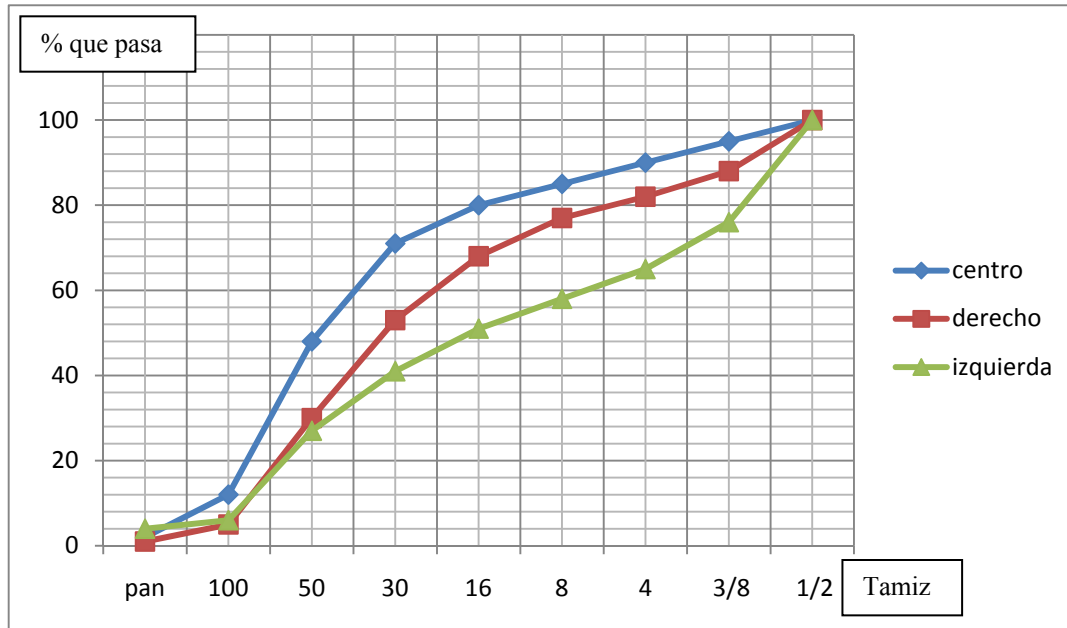
Fuente: Datos obtenidos de campo

Figura 9 Río Pínula: área derecha arena gravosa, área izquierda grava arenosa y área central arena gravosa.



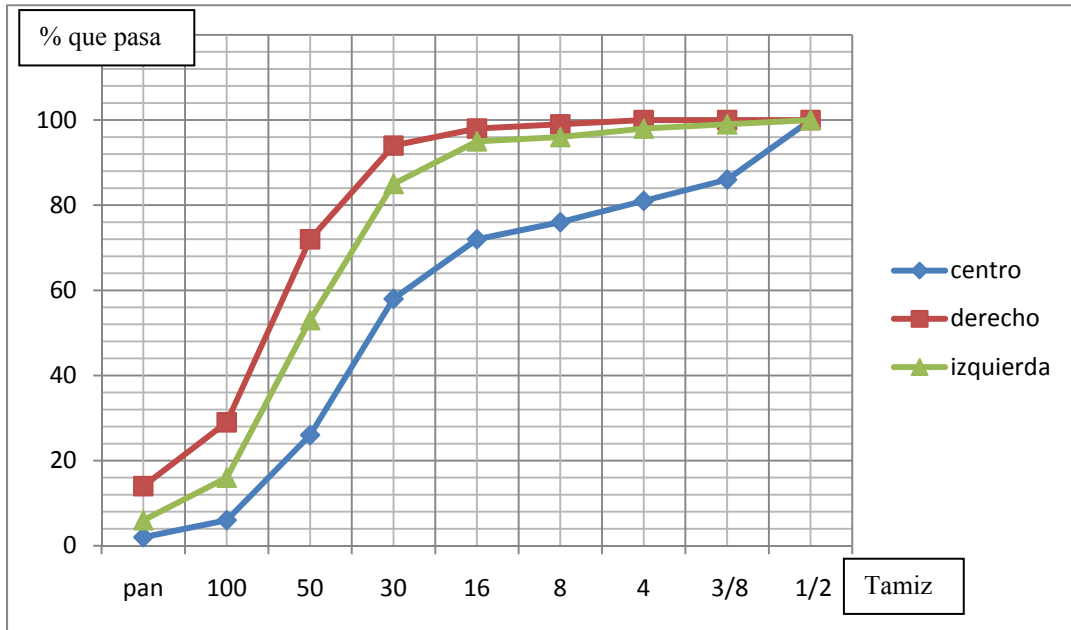
Fuente: Datos obtenidos de campo

Figura 10 Río Zanjón La Palín: área derecha arena con poca presencia de grava, área izquierda arena gravosa y área central arena con poca presencia de grava.



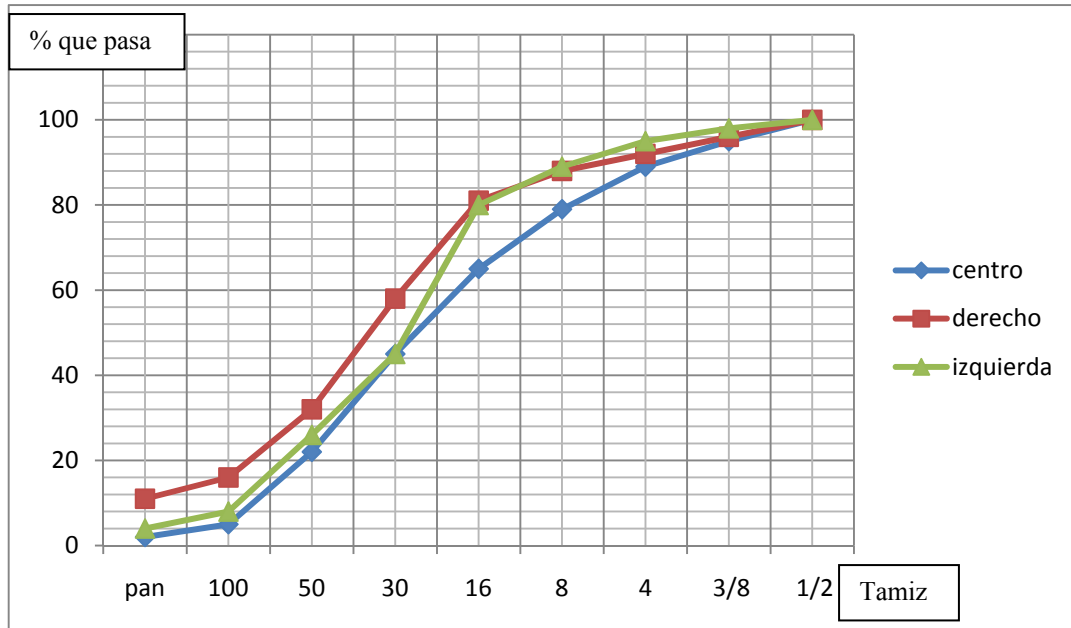
Fuente: Datos obtenidos de campo

Figura 11 Río Villalobos: área derecha arena con poca presencia de limos o arcilla, área izquierda arena con poca presencia de limos o arcilla y área central arena con poca presencia de grava.



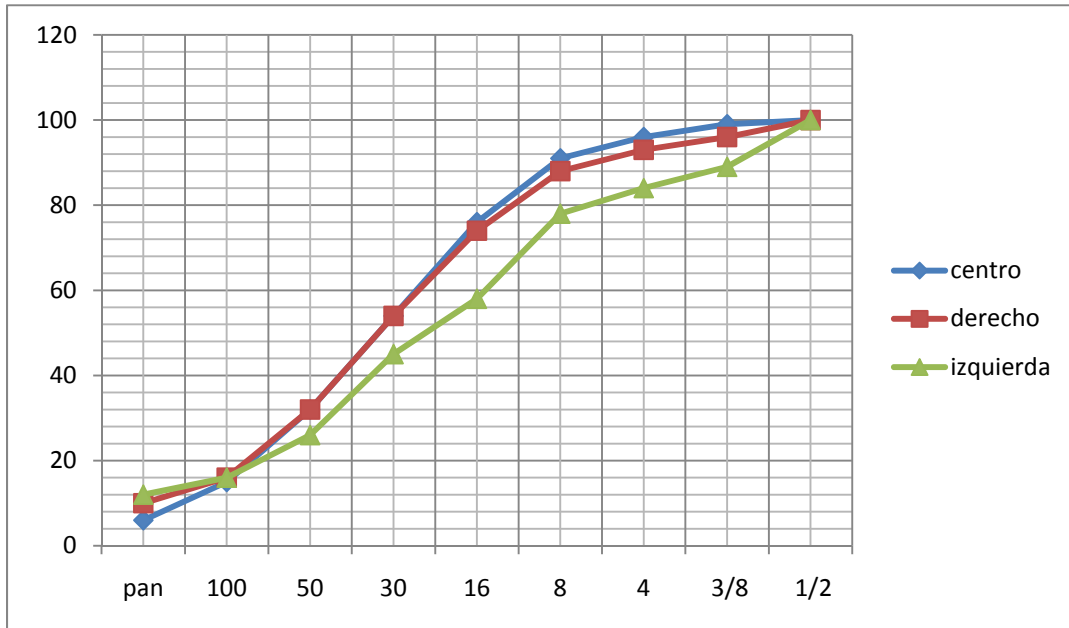
Fuente: Datos obtenidos de campo

Figura 12 Río Platanitos: área derecha arena con poca presencia de grava, limos o arcillas, área izquierda arena y área central arena con poca presencia de grava.



Funete: Datos obtenidos de campo

Figura 13 Río el Arenal: área derecha arena con poca presencia de limos o arcilla, área izquierda arena con poca presencia de grava, limos o arcilla y área central arena con poca presencia de limos o arcilla.



Fuente: Datos obtenidos de campo

3.2 Interpretación de datos.

Los sedimentos fueron descritos como un proceso natural que consiste en el transporte y deposición de sedimentos.(SMITH,1997); puede ser modificado-acelerado o desacelerado, principalmente por efecto de las intervenciones humanas.(ZACHAR, 1982); Está determinado por factores hidrológicos (precipitación, escorrentía, red de drenaje) y la formación de las condiciones estructurales de la zona (pendiente, orientación, tipo de suelo y cobertura). (ZACHAR, 1982)

Las cantidades de sedimentos encontradas son un promedio y están calculados con el caudal diario del estudio de 1999 de la empresa Cordón y Mérida, realizado para AMSA y calculados en base a las pruebas de laboratorio de las empresas Precom (Granulometría), Soluciones ambientales (metales), Universidad de San Carlos (sólidos en suspensión y sedimentables), OD y DBO de la revista memorias de labores AMSA 2007 y la interpretación y análisis está considerado como parte de este estudio del que se desprende además la erosión. Los sedimentos en su mayoría son suelos que se han depositado en el lecho del río de los tipos ya descritos por río, en su mayoría arenas y gravas producto de la erosión de la cuenca, arrastre y rodamiento del cauce.

Debido a que no existen referencias en cuanto al tipo de metales y la cantidad de los mismos en el río Villa Lobos, de manera que no hay parámetro de comparación, se optó por hacer una cuantificación de los metales que aparecen en el Decreto 236-2006, Reglamento de Aguas Residuales y Lodos, y se utilizarán los criterios allí mencionados para la comparación en el presente estudio.

Sobre la carga contaminante que es vertida hacia el lago de Amatitlán por el río Villalobos, se estableció que los máximos, promedios y mínimos (kg/día) de parámetros de nitrógeno, fósforo, así como demanda química y bioquímica de oxígeno son mayores en época lluviosa, ya que es cuando existe el mayor arrastre de sedimentos en dicho río.

3.3 Revisión y calibración de resultados

3.3.1 Análisis estadístico

La escasa información disponible relativa a registros de caudales y sedimentos, impone una evaluación cuidadosa en la extrapolación de las curvas de calibración. Ello se debe a que las curvas de calibración publicadas, no correlacionan bien la información obtenida de los aforos. La dispersión alrededor de la curva ocasiona que la extrapolación no permita estimaciones de caudales confiables para los altos niveles de agua observados. Lo mismo sucede en el caso de las relaciones caudal-sedimento, que se basan en aforos realizados en períodos de caudales bajos y por lo tanto no son representativas de períodos de caudales altos.

La estación meteorológica ubicada en las oficinas centrales del INSIVUMEH es la que cuenta con registros actualizados y datos diarios relativamente prolongados. Esta estación tiene aproximadamente 79 años de poseer información registrada por medio de pluviogramas que permiten la medición, toma y registro de la cantidad de lluvia que cae en el área.

Al realizar la prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov, se observó que los datos de lluvia diaria máxima se ajustan a las distribuciones analizadas, con un nivel de significancia del 5%. El cuadro Δ teórico más cercano a cero se produce en la distribución Log-Normal de 3 parámetros, por lo tanto es la distribución teórica a la que mejor se ajustan los datos de lluvia analizados.

Otro dato importante es que la estación meteorológica INSIVUMEH tiene el registro que el 94% de la cantidad de lluvia cae en la época de mayo a octubre, siendo los meses más lluviosos junio y septiembre.

El comportamiento de la precipitación anual registrada en la estación INSIVUMEH indica que la probabilidad que exista un evento de precipitación mayor de 1600 mm, equivalente a otra tormenta Mitch, es del 2.6%, análisis según la figura 52.

Para el análisis estadístico por medio de HIDROESTA, software para cálculos hidrológicos, se requiere información de lluvia diaria con registros continuos y prolongados. Existen dos estaciones dentro de la cuenca en estudio, para fines del presente estudio solo se utilizó la estación meteorológica INSIVUMEH con registros de 38 años (1970-2008) continuos y en el año 2009 se encuentran datos hasta el mes de agosto, los cuales no se utilizaran para este análisis.

Los datos de estas estaciones sirvieron para el análisis estadístico de valores extremos, aplicando las distribuciones teóricas disponibles en el programa HIDROESTA. El análisis estadístico consiste en el ajuste de diferentes distribuciones teóricas de frecuencia a la serie de datos de lluvia. Se aplicaron las siguientes distribuciones teóricas: Normal, Log-Normal de 2 parámetros, Log-Normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Log-Pearson tipo III, Gumbel y Log-Gumbel (o de Fréchet).

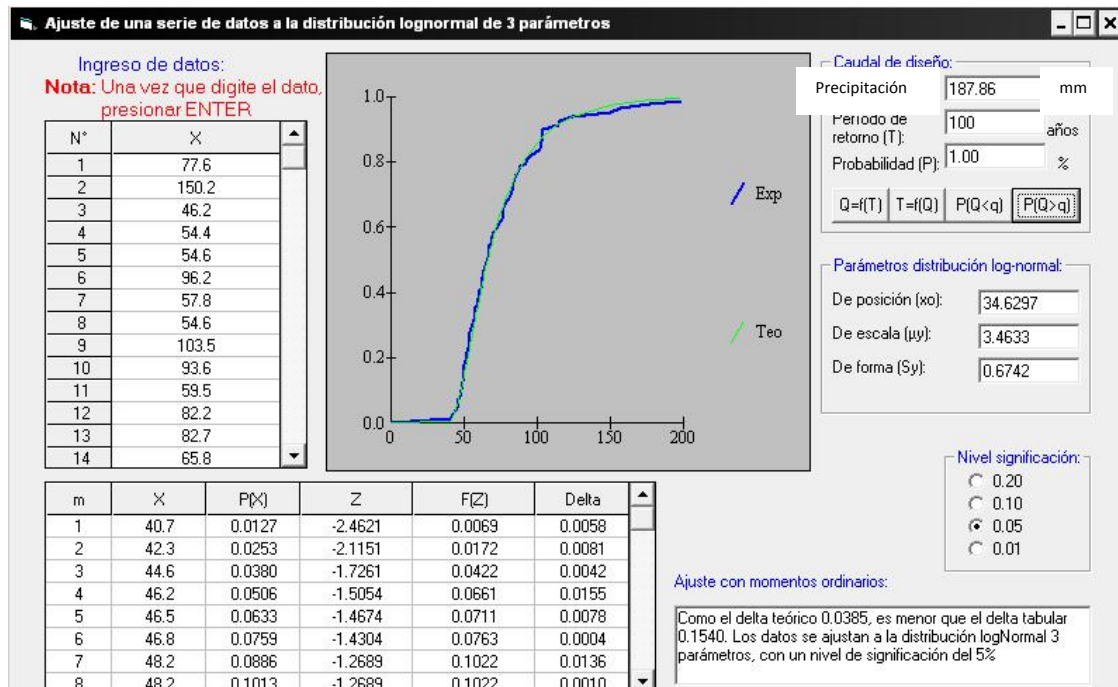
En las tablas XXIX y XXX se presentan los datos calculados para los diferentes periodos de retorno y probabilidad de recurrencia con las distintas distribuciones que se ajustaron a los datos de las dos estaciones antes mencionadas.

Tabla XXIX Magnitud de lluvia máxima en mm, asociada a diferentes períodos de retorno para la serie de la estación meteorológica INSIVUMEH, para el período 1928-2008.

Tr (años)	Normal	LN2	LN3	Log Pearson III	Gumbel	Log Gumbel
2	75.24	70.77	67.13	67.55	70.35	66.96
5	100.27	93.94	91.67	91.88	96.64	90.16
10	113.36	108.94	111.16	110.99	114.04	109.78
20	124.18	123.11	132.16	131.73	130.74	132.6
50	136.34	141.28	162.74	162.45	152.35	169.33
100	144.45	154.86	188.26	188.69	168.54	203.38
Δ Teorico	0.1375	0.0838	0.0378	0.03906	0.0916	0.0500
Δ Tabular	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511	0.1511
α (%)	5	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia

Figura 14 Ajuste de la distribución Log-Normal de 3 parámetros para la estación meteorológica INSIVUMEH, utilizando el programa HIDROESTA.



Fuente: Elaboración propia

Se estimó conveniente utilizar los valores de esta distribución para generar los hietogramas asociados a la estación para un período de retorno de 100 años. En la estación meteorológica INSIVUMEH se utilizará un valor de 187.86 mm.

En el cuadro siguiente se muestra el hietograma de lluvia observada durante 24 horas durante la tormenta Mitch, registrado en la estación Jurún Marinalá el 01/11/98, discretizada a cada 30 minutos, el cual servirá de base para la realización de los hietogramas asociados a diferentes periodos de retorno, discretizados a cada 30 minutos.

Tabla XXX Hietograma de lluvia observada durante 24 horas durante la tormenta Mitch registrado en la estación Jurún Marinalá el 01/11/98, discretizada a cada 30 minutos.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
0.5	2.6	6.5	1.1	12.5	1.6	18.5	12.5
1	3.7	7	2.7	13	1	19	12.7
1.5	4.6	7.5	3.8	13.5	0.7	19.5	8.6
2	6.9	8	0.3	14	0.8	20	9.4
2.5	8.2	8.5	0.4	14.5	1.8	20.5	9.1
3	8.2	9	2.5	15	1.5	21	8.2
3.5	9.0	9.5	0.6	15.5	2	21.5	13.5
4	6.7	10	0.3	16	3.7	22	7.6
4.5	1.8	10.5	0	16.5	2.9	22.5	12.8
5	3.2	11	0	17	4.8	23	10.6
5.5	1.7	11.5	0.1	17.5	9.9	23.5	9.2
6	3.2	12	0.4	18	7	24	8.3
							232.2

Fuente: INDE

Para la realización de los hietogramas asociados para diferentes períodos de retorno se tomó como base los datos de la estación meteorológica INSIVUMEH.

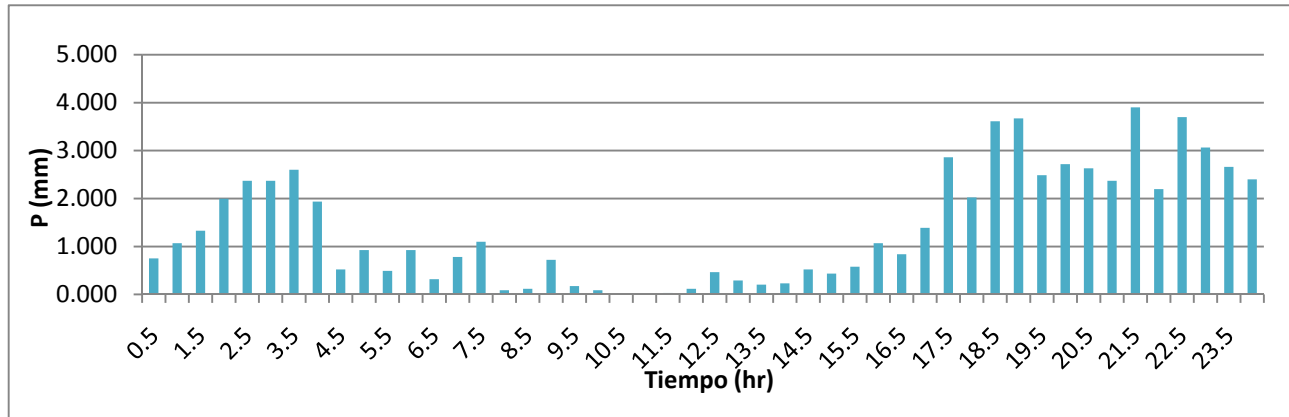
En los siguientes cuadros se muestran los diferentes hietogramas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años respectivamente. Éstos fueron obtenidos de multiplicar los datos del hietograma de la estación Jurún Marinalá por el cociente de la magnitud seleccionada de la distribución Log-Normal con 3 y la magnitud de la lluvia de hietograma de la estación antes mencionada.

Tabla XXXI Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 2 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
0.5	0.752	6.5	0.318	12.5	0.463	18.5	3.614
1	1.070	7	0.781	13	0.289	19	3.672
1.5	1.330	7.5	1.099	13.5	0.202	19.5	2.486
2	1.995	8	0.087	14	0.231	20	2.718
2.5	2.371	8.5	0.116	14.5	0.520	20.5	2.631
3	2.371	9	0.723	15	0.434	21	2.371
3.5	2.602	9.5	0.173	15.5	0.578	21.5	3.903
4	1.937	10	0.087	16	1.070	22	2.197
4.5	0.520	10.5	0.000	16.5	0.838	22.5	3.701
5	0.925	11	0.000	17	1.388	23	3.065
5.5	0.491	11.5	0.029	17.5	2.862	23.5	2.660
6	0.925	12	0.116	18	2.024	24	2.400
							67.130

Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 2 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.



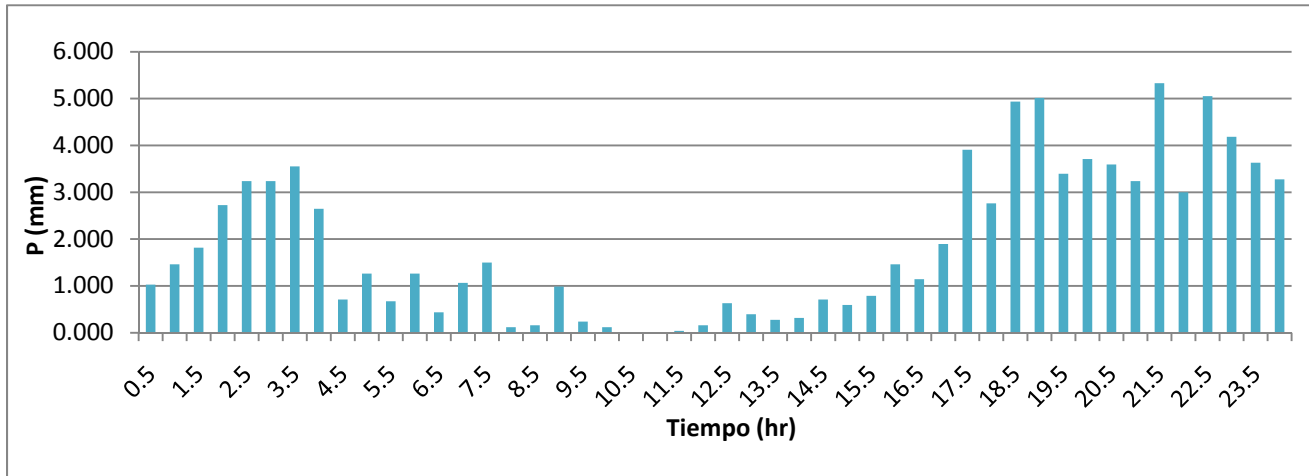
Fuente: Elaboración propia

Tabla XXXII Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 5 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
0.5	1.026	6.5	0.434	12.5	0.632	18.5	4.935
1	1.461	7	1.066	13	0.395	19	5.014
1.5	1.816	7.5	1.500	13.5	0.276	19.5	3.395
2	2.724	8	0.118	14	0.316	20	3.711
2.5	3.237	8.5	0.158	14.5	0.711	20.5	3.593
3	3.237	9	0.987	15	0.592	21	3.237
3.5	3.553	9.5	0.237	15.5	0.790	21.5	5.330
4	2.645	10	0.118	16	1.461	22	3.000
4.5	0.711	10.5	0.000	16.5	1.145	22.5	5.053
5	1.263	11	0.000	17	1.895	23	4.185
5.5	0.671	11.5	0.039	17.5	3.908	23.5	3.632
6	1.263	12	0.158	18	2.764	24	3.277
							91.670

Fuente: Elaboración propia

Figura 16 Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 5 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.



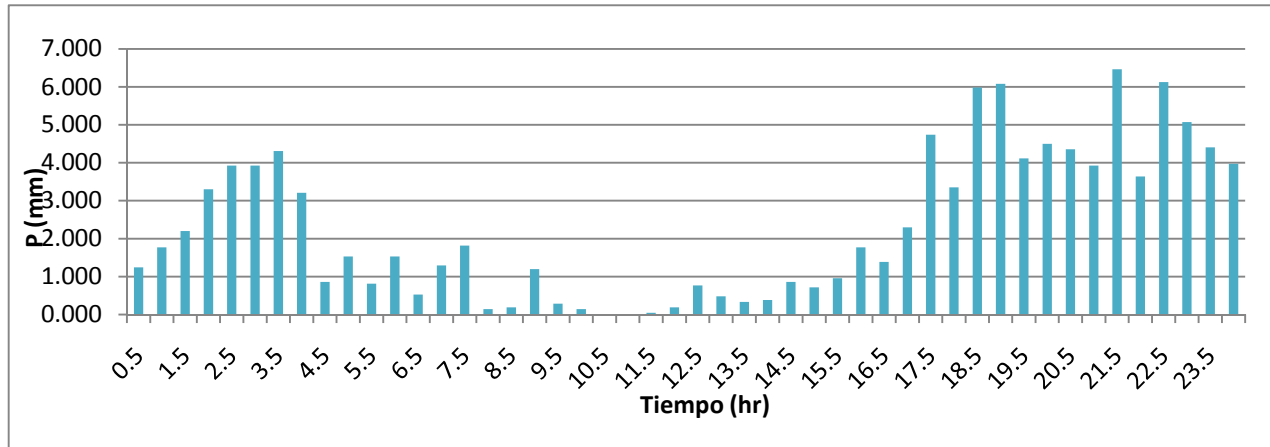
Fuente: Elaboración propia

Tabla XXXIII Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 10 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
0.5	1.245	6.5	0.527	12.5	0.766	18.5	5.984
1	1.771	7	1.293	13	0.479	19	6.080
1.5	2.202	7.5	1.819	13.5	0.335	19.5	4.117
2	3.303	8	0.144	14	0.383	20	4.500
2.5	3.926	8.5	0.191	14.5	0.862	20.5	4.356
3	3.926	9	1.197	15	0.718	21	3.926
3.5	4.309	9.5	0.287	15.5	0.957	21.5	6.463
4	3.207	10	0.144	16	1.771	22	3.638
4.5	0.862	10.5	0.000	16.5	1.388	22.5	6.128
5	1.532	11	0.000	17	2.298	23	5.074
5.5	0.814	11.5	0.048	17.5	4.739	23.5	4.404
6	1.532	12	0.191	18	3.351	24	3.973
							111.160

Fuente: Elaboración propia

Figura 17 Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 10 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.



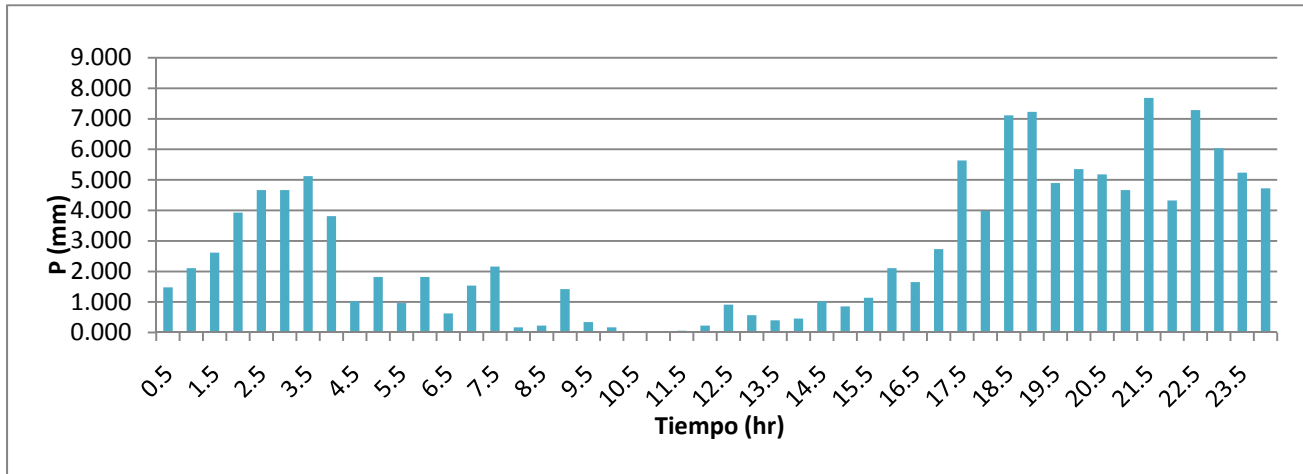
Fuente: Elaboración propia

Tabla XXXIV Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 20 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
0.5	1.480	6.5	0.626	12.5	0.911	18.5	7.115
1	2.106	7	1.537	13	0.569	19	7.228
1.5	2.618	7.5	2.163	13.5	0.398	19.5	4.895
2	3.927	8	0.171	14	0.455	20	5.350
2.5	4.667	8.5	0.228	14.5	1.024	20.5	5.179
3	4.667	9	1.423	15	0.854	21	4.667
3.5	5.122	9.5	0.341	15.5	1.138	21.5	7.684
4	3.813	10	0.171	16	2.106	22	4.326
4.5	1.024	10.5	0.000	16.5	1.651	22.5	7.285
5	1.821	11	0.000	17	2.732	23	6.033
5.5	0.968	11.5	0.057	17.5	5.635	23.5	5.236
6	1.821	12	0.228	18	3.984	24	4.724
							132.160

Fuente: Elaboración propia

Figura 18 Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 20 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.



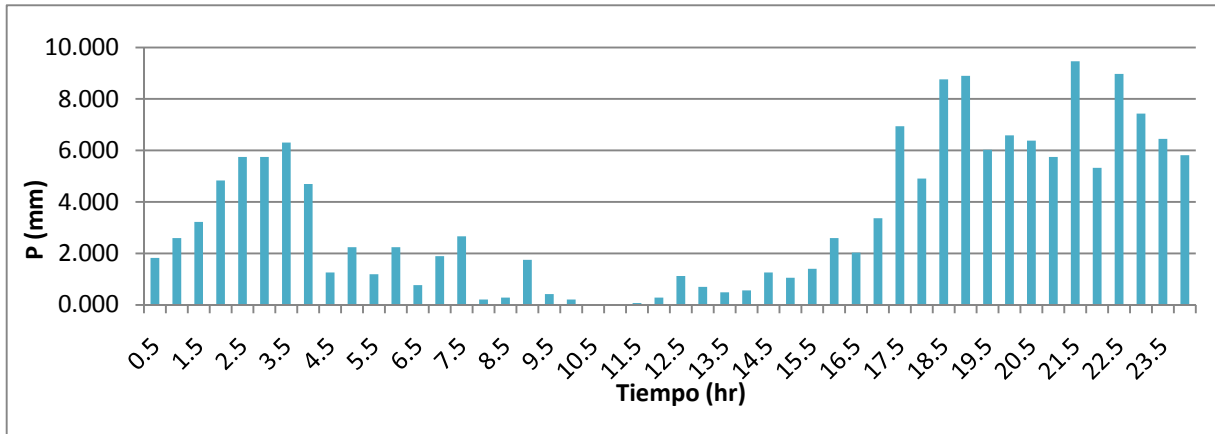
Fuente: Elaboración propia

Tabla XXXV Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 50 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
0.5	1.822	6.5	0.771	12.5	1.121	18.5	8.761
1	2.593	7	1.892	13	0.701	19	8.901
1.5	3.224	7.5	2.663	13.5	0.491	19.5	6.027
2	4.836	8	0.210	14	0.561	20	6.588
2.5	5.747	8.5	0.280	14.5	1.262	20.5	6.378
3	5.747	9	1.752	15	1.051	21	5.747
3.5	6.308	9.5	0.421	15.5	1.402	21.5	9.462
4	4.696	10	0.210	16	2.593	22	5.327
4.5	1.262	10.5	0.000	16.5	2.032	22.5	8.971
5	2.243	11	0.000	17	3.364	23	7.429
5.5	1.191	11.5	0.070	17.5	6.939	23.5	6.448
6	2.243	12	0.280	18	4.906	24	5.817
							162.740

Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 50 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.



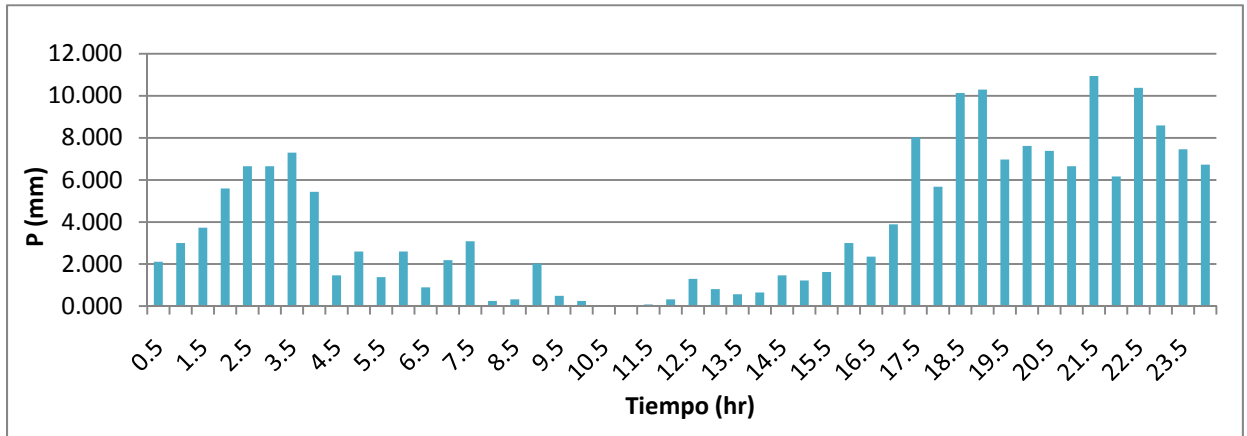
Fuente: Elaboración propia

Tabla XXXVI Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 100 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.

Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)	Hora	P (mm)
0.5	2.108	6.5	0.892	12.5	1.297	18.5	10.135
1	3.000	7	2.189	13	0.811	19	10.297
1.5	3.730	7.5	3.081	13.5	0.568	19.5	6.973
2	5.594	8	0.243	14	0.649	20	7.621
2.5	6.648	8.5	0.324	14.5	1.459	20.5	7.378
3	6.648	9	2.027	15	1.216	21	6.648
3.5	7.297	9.5	0.486	15.5	1.622	21.5	10.945
4	5.432	10	0.243	16	3.000	22	6.162
4.5	1.459	10.5	0.000	16.5	2.351	22.5	10.378
5	2.594	11	0.000	17	3.892	23	8.594
5.5	1.378	11.5	0.081	17.5	8.027	23.5	7.459
6	2.594	12	0.324	18	5.675	24	6.729
							188.260

Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Hietograma de 30 minutos de la tormenta asociada al período de retorno de 100 años, en la estación meteorológica INSIVUMEH, basado en la tormenta observada en la estación Jurún Marinalá.



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Determinación del hidrograma unitario

La determinación del hidrograma unitario de cada una de las sub-cuencas del río Villalobos se realizó de la siguiente manera:

El hidrograma unitario que se utilizará será por el método de Clark, para el cual se utilizaron los datos del estudio de la empresa consultora, TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. en diciembre de 2005, ya que no existen variaciones en estos a la fecha.

Tabla XXXVII Características principales de las sub-cuencas del río Villalobos para el modelo HU. Tc=tiempo de concentración.

CUENCA	Área (km ²)	Elevación (msnm)		Longitud máxima (m)	Tc (hr)	Número Isocronas	Longitud entre isocronas (m)	Duración del Hietograma (hr)
		Mínima	Máxima					
Villalobos-des	322.0	1188	2255	40118	4.57	9	4458	24
Villalobos-cem	313.0	1214	2255	35373	3.99	8	4422	24
El Bosque	6.6	1215	1660	6137	0.73	1	6137	6
Tulujá	11.8	1218	1865	7806	0.84	2	3903	6
Platanitos	52.7	1219	2460	22611	2.22	4	5653	24
Las Minas	36.9	1220	1920	13860	1.57	3	4620	12
Pinula	47.0	1234	1905	20690	2.54	5	4138	24
El Frutal	16.0	1252	1530	11946	1.89	4	2986	12
El Zacatal	2.4	1269	1460	4641	0.73	1	4641	6
El Arenal	16.4	1285	2120	11984	1.24	2	5992	12
San Lucas	46.6	1295	2374	16663	1.65	3	5554	12
Molino	53.3	1295	2255	23981	2.63	5	4796	24

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final, TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre Año 2005.

Para el análisis se debe utilizar el parámetro de la pérdida inicial, ésta se encuentra asociada a la estimación de la curva número CN, en donde se tomó en cuenta el uso del suelo y las condiciones hidrológicas del área en estudio. Para determinar la CN se toma la información ya procesada por el estudio hidrológico de TAHAL realizado a finales del 2005.

A continuación se presenta el cuadro elaborado por TAHAL donde se explica la obtención de la Curva Número CN.

Tabla XXXVIII Valores de CN para las cuencas definidas por los sitios de control indicados.

Sitio de control en el río Villalobos	Valores basados en estudio de uso del suelo				Valores utilizados	
	Actual		Futuro			
	CN-mín	CN-máx	CN-mín	CN-máx	CN-actual	CN-futuro
Villalobos-des	58.8	77	72.2	86.1	63	85
Villalobos/cem	59	77.2	72.9	86.5	63	85
Subcuencas						
El Bosque	57	75.7	80	90.5	65	85
Tulujá	60.2	78.1	80	90.5	65	85
Platanitos	57.6	76.2	80	90.5	75	85
Las Minas	59.7	76.2	80	90.5	60	85
Pinula	71.9	85.9	80	90.5	82	85
El Frutal	78	89.4	80	90.5	85	87
El Zacatal	80	90.6	80	90.5	75	85
El Arenal	51.4	71.2	80	90.5	75	85
San Lucas	60.2	78.1	72.2	86.1	70	85
Molino	56	74.9	59.7	77.7	75	80
Toda la cuenca del río Villalobos es considerada en los grupos hidrológicos A y B.						
USO URBANO: no es uniforme; áreas residenciales con áreas de jardín hasta el 50 % del área del terreno, mientras que otras el área es nula.						
USO RURAL: arbustos, pastos, cultivos anuales, vivienda rural, suelo desnudo.						
USO CULTIVO PERENNE: principalmente plantaciones de café.						
USO BOSQUE: bosques de coníferas, latifoliadas y mixtos, y cobertura arbustiva densa.						

Fuente: Asociación para el Desarrollo Integral del Nor-Oriente (DISNOR), Estudio Hidrológicos del Río Villalobos, Tomo 1, Informe final, TAHAL GROUP, TAHALGUA, S.A. Diciembre 2005.

En la tabla siguiente se presentan los datos de caudal pico para los diferentes periodos de retorno que se están analizando para la desembocadura:

Tabla XXXIX Caudales pico para el río Villalobos hasta el puente La Unión.

Río	Q (m ³ /seg)					
	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
Villalobos	318.20	466.10	589.00	724.80	926.80	1097.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla XL Volúmenes y caudales de escorrentía pluvial, parámetros hidráulicos.

Río	Tramo		Caudal de diseño	Velocidad	Pendiente media	Area Hidraulica
	de	a	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	V (m/s)	S (m/m)	m ²
Río Villalobos	0+000	0+831	410.6	5.4	0.026	76.7
Río Villalobos	0+831	2+025	482	5.25	0.011	91.68
Río Villalobos	2+025	3+926	499	5.05	0.009	98.8
Río Villalobos	3+926	6+522	594	4.8	0.0065	123.91
Río Villalobos	6+522	10+044	837	4.56	0.0041	183.42
Río Villalobos	10+044	10+290	1151	5.39	0.005	213.61
Río Villalobos	10+290	11+032	1175.2	3.37	0.0013	348
Río Villalobos	11+032	15+636	1202.1	4.62	0.0031	260.38
Arenal	0	244	63.8	6.67	0.090	9.55
El Frutal	0	255	72.6	3.07	0.014	23.64
El Molino	0	303	209.4	7.38	0.039	28.37
Pinula	0	270	206.2	8.84	0.088	23.33
Platanitos	0	267	213.4	6.64	0.024	32.13
San Lucas	0	266.5	189	8.19	0.061	23.08
Zacatal	0	222.3	11	3.33	0.045	3.31

Fuente: Elaboración propia

3.4 Hidráulica del área bajo estudio

3.4.1 Caudales de simulación

Para los tramos se realizaron simulaciones para diferentes perfiles de agua, asociados a caudales con períodos de retorno de 100, 50, 20, 10, 5, 2 años. Para esto se consideraron solamente caudales generados directamente por las lluvias.

En las discusiones siguientes se denomina caudal de diseño para un período de retorno de 100 años un caudal de 1097.70 m³/s.

3.4.2 Metodología de análisis

El propósito del análisis hidráulico es la evaluación de los niveles de agua, régimen y velocidades del flujo que se observarían durante la ocurrencia de crecidas a lo largo del tramo del cauce en estudio. Los perfiles de agua indicados se obtienen para los escenarios sin intervención en el cauce del río.

3.4.3 Método hidráulico

La evaluación de los niveles se hace aplicando el modelo matemático HEC-RAS del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. Este modelo se basa en la ecuación hidráulica empírica de MANNING-STRICKLER y la ecuación de la conservación de la masa.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$
$$Q = AV$$

Donde

V	=	velocidad media del flujo en el cauce [m/s],
n	=	coeficiente de rugosidad de M-S [s/m ^{1/3}],
R	=	radio hidráulico [m], R = A/P, A = sección hidráulica [m ²]
P	=	perímetro mojado [m],
S	=	pendiente hidráulica [-],
Q	=	Caudal [m ³ /s]

Como puede observarse en las ecuaciones, se requiere de la configuración geométrica del cauce bajo análisis, así como de sus características hidráulicas.

3.4.4 Geometría del cauce

La geometría del tramo sujeto de análisis se basa en el levantamiento topográfico en detalle del área de influencia hidráulica. El tramo total analizado como se mencionó anteriormente, es aproximadamente de 5,850 mts. Se utilizaron 117 secciones transversales en el cauce del río, espaciadas a cada 50 m, en el tramo desde La Quebrada El Frutal hasta puente La Unión.

3.4.5 Factores de rugosidad

Otra de las características hidráulicas importantes para el análisis es el coeficiente de rugosidad de MANNING-STRICKLER (n) del cauce, el cual fue estimado en base a las observaciones visuales en el campo. Los valores estimados e indicados a continuación se basan en las condiciones que se esperarían durante un evento de crecida. Los valores de rugosidad se estiman tanto para condiciones actuales del cauce.

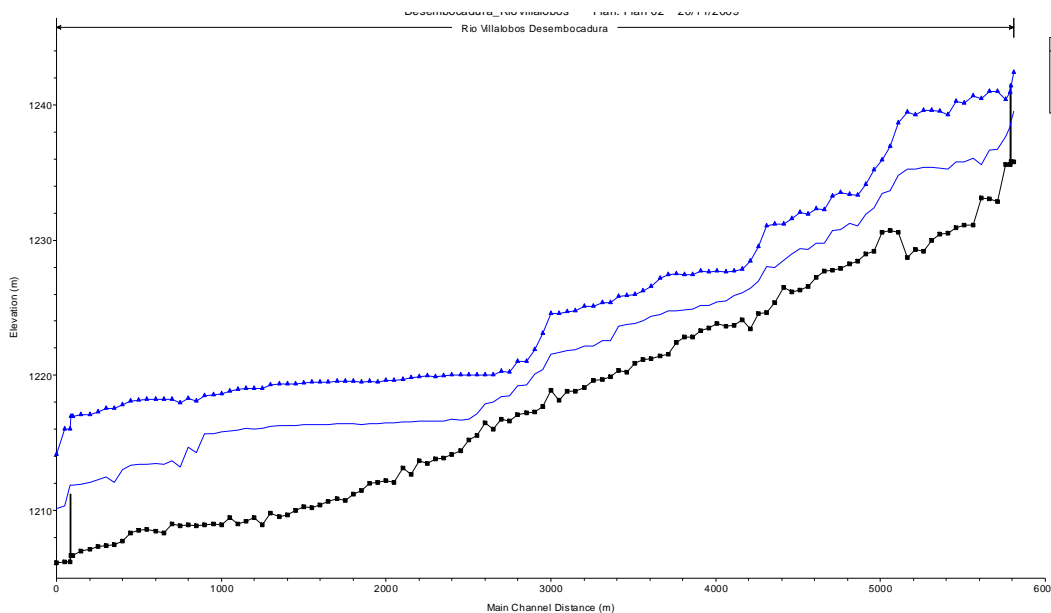
Punto	n
Canal	0.045
Planicie Inundación	0.033

Para la planicie de inundación se utilizó el 0.033 debido a la rugosidad y a los obstáculos que existen en esta área. Para el canal se utilizó el 0.045 debido que existe presencia de vegetación y rocas.

3.4.6 Perfiles de agua

El modelo matemático se aplica, en primer lugar para condiciones del cauce actual; es decir, sin intervención en el mismo. En la figura 21 se presenta el perfil del cauce para eventos con períodos de ocurrencia de 2 y 100 años, para el tramo en estudio. Tomando la desembocadura del río Villalobos como estación 0+000 para el caminamiento a utilizar en las secciones del mismo. Las estaciones para este tramo son desde la estación 5+500 hasta la estación 11+350.

Figura 21 Perfil del cauce principal del río Villalobos entre los puntos bajo estudio para crecidas de 2 y 100 años.

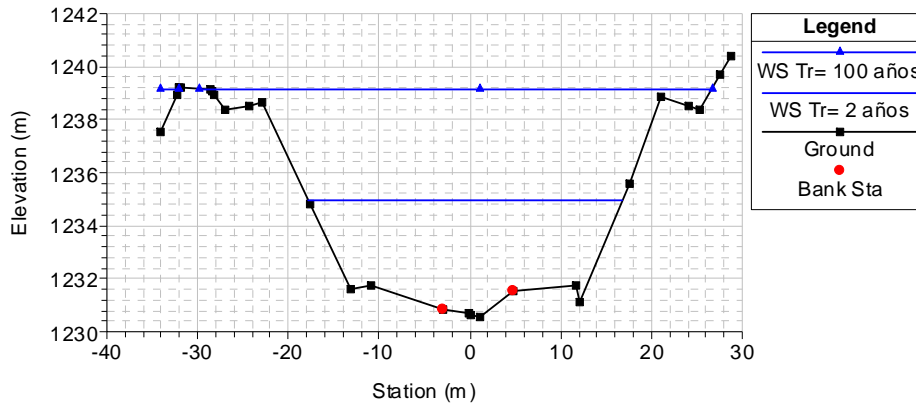


Fuente: Elaboración propia

En las siguientes figuras se aprecian las secciones transversales típicas del tramo en estudio.

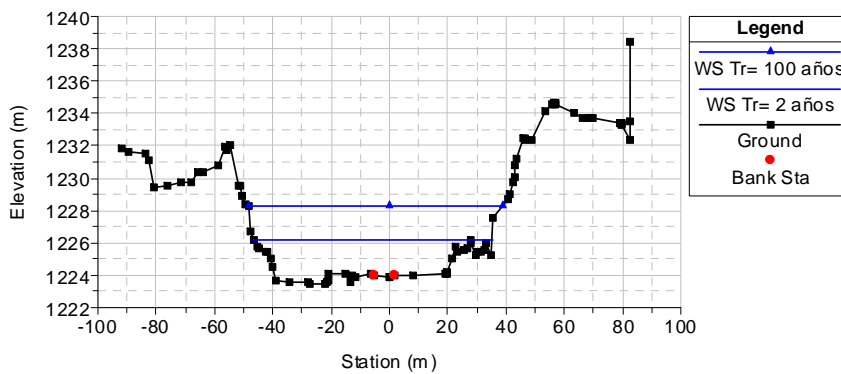
En la mayor parte del tramo se presentan peligros de inundación e inestabilidad en los taludes. La mayoría de las secciones son aptas para la canalización, pero existen tramos donde la sección es estrecha, para las cuales se necesitará un acabado especial. También se tiene que tomar en cuenta que en la mayor parte de este tramo las viviendas están a menos de 50 mts de la orilla río y en casos extremos hay viviendas al borde de caer al río.

Figura 22 Estación 10+600



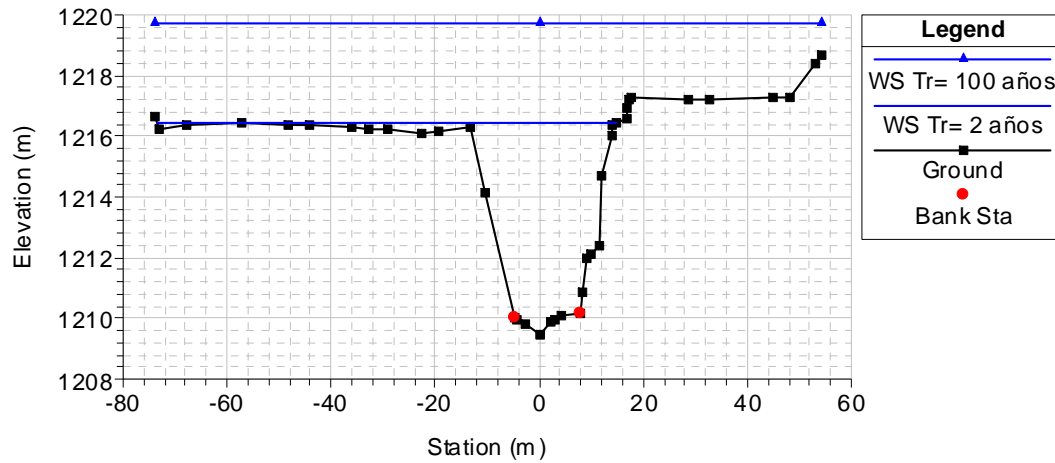
Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Estación 9+600



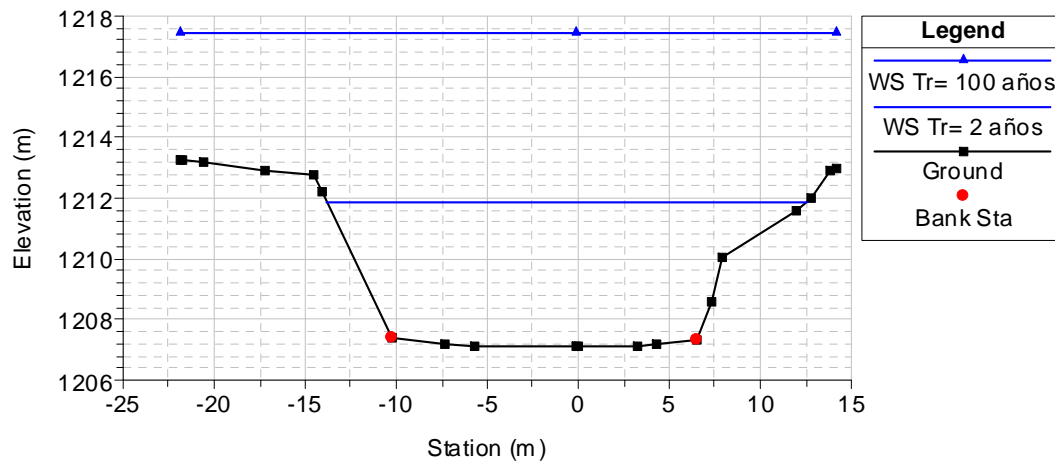
Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Estación 6+700



Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Estación 5+700



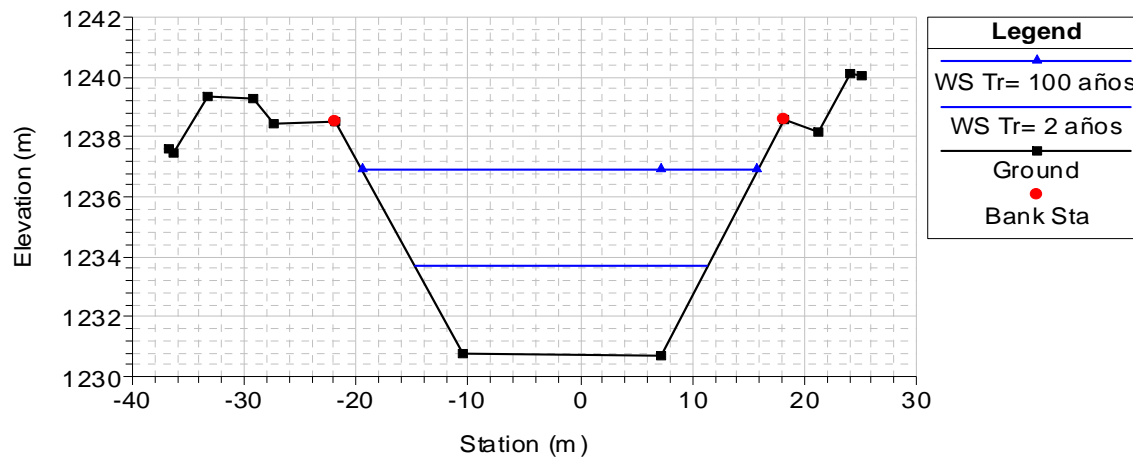
Fuente: Elaboración propia

3.5 Diseño de obras hidráulicas

3.5.1 Tallado de talud

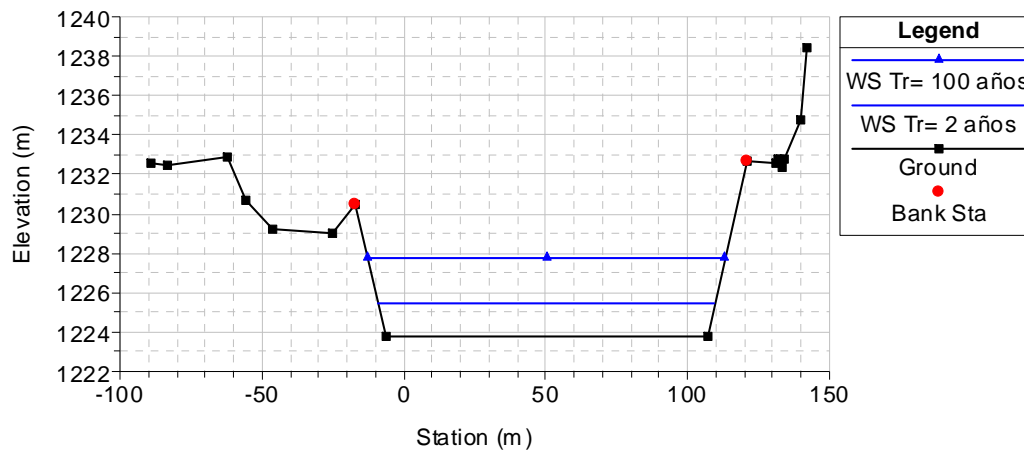
Para el estudio en mención y con los datos aportados se concluyó que se deben tallar los taludes del río para poder canalizar el río y así reducir riesgos. Se maneja que el talud no debe ser mayor de 45° , debido a que los materiales presentan una mayor estabilidad y reposo para soportar el paso de la correntada. También se debe tomar en cuenta que la sección no debe ser menor de 15 metros.

Figura 26 Estación 10+600 sección modificada



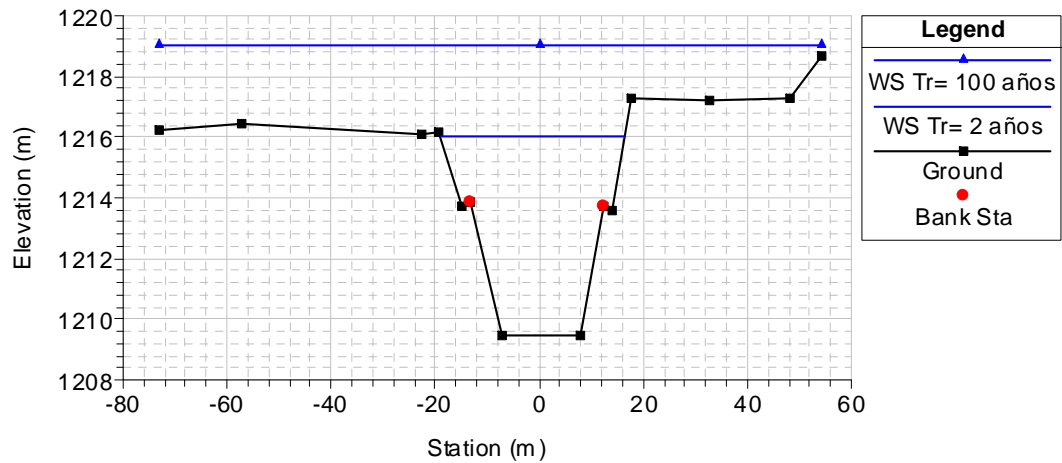
Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Estación 9+600 sección modificada



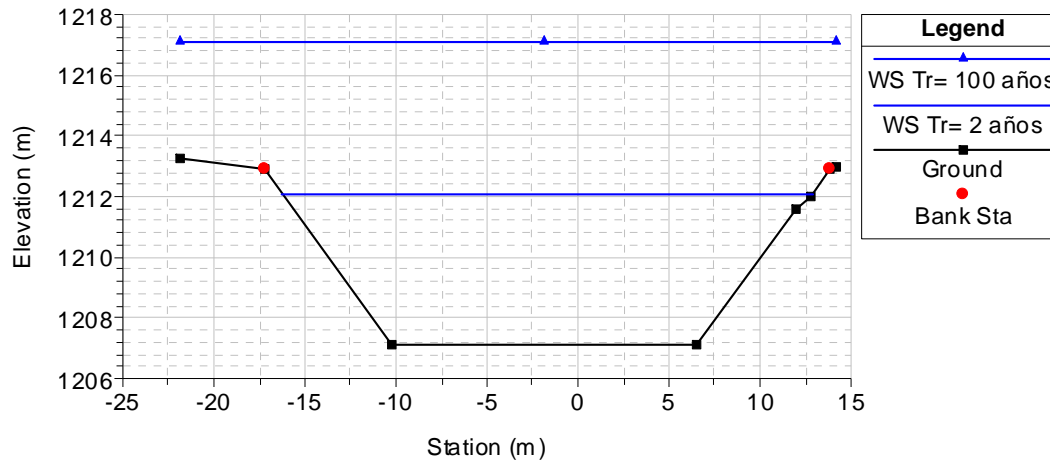
Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Estación 6+700 sección modificada



Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Estación 5+700 sección modificada



Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Protección lateral

Para el diseño de la protección lateral se tomaron en cuenta la velocidad del cauce del río, la calidad de agua, los posibles objetos que arrastre el mismo, el tipo de suelo y las poblaciones cercanas al cauce.

Habiendo tomado en cuenta estos factores pero considerando como los más influyentes la calidad del agua, ya que el río Villalobos presenta elevados índices de contaminación (industrial, química, doméstica entre otros) los cuales afectan la química de los materiales de construcción como lo es el concreto armado, y el costo de la obra, se optó por utilizar roca para la protección donde el agua circula con más fuerza; y pasto (estrella africana) para las áreas de menor impacto, pero necesario para la consolidación del mismo.

Ya que las alturas de corona no son las mismas se propone que la altura de la protección con roca sobre el nivel de agua no sea menor a 3.0 metros y el sobrante sea con estrella africana. Los diseños de los mismos se presentan en el apéndice.

3.5.2.1 Determinación del tamaño de la roca

Para el efecto se utilizó el método del Bureau of Reclamation:

Diámetro de roca (D) =?

Velocidad (V) = 5.2 m / seg

Gravedad específica de la roca (g_p) = 2.3

Gravedad específica del agua (g_w) = 1

Angulo que forma el talud = 45°

Factor de seguridad (F_s) = 1.2

$$D = 0.0668V^2/g_p-1$$

$$\mathbf{D = 1.40 m}$$

Se recomienda se utilice variedad de tamaños, los cuales estén en un intervalo de 0.50 – 1.50 metros.

4. ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO DE LA PROPUESTA

4.1 Costos

Trabajos preliminares	Q. 59,456.82
Explotación y carga de roca	Q. 9,754,397.37
Acarreo de roca	Q. 7,921,965.07
Tallado de taludes	Q. 3,465,518.17
Excavación para cimentación de protección lateral de roca	Q. 6,895,453.54
Filtro para cimentación de protección lateral	Q. 14,095,440.96
Protección lateral de roca y grama	Q. 4,617,284.08
Relleno controlado con material no clasificado del lugar	Q. 5,995,131.97
Costo total	Q. 52,804,647.98

4.2 Beneficios

Éstos se cuantificaron con base a las viviendas que serán protegidas, las cuales se detallan a continuación:

Viviendas bajo nivel económico (38%)	182,000 m ²
Familias de escasos recursos (25%)	120,000 m ²
Grupo familiar ingresos medios (22%)	105,000 m ²
Industria, comerciales, otros (15%)	72,000 m ²
Total	480,000 m²

Remuneración en caso de daños:

182,000 m ² * Q. 1, 800.00/m ²	Q. 327, 600,000.00
120,000 m ² * Q. 1, 800.00/m ²	Q. 216, 000,000.00
105,000 m ² * Q. 2, 800.00/m ²	Q. 295, 680,000.00
72,000 m ² * Q. 3, 500.00/m ²	Q. 252, 000,000.00

Total Q. 1, 091, 280,000.00

4.3 Costo/beneficio

$$\frac{C}{B} = \frac{52804647.98}{1091280000.00} = 0.48$$

El valor de la relación c/b indica que la inversión se recuperará en dos años y un mes, lo cual demuestra que el proyecto es viable.

4.3.1 Costos generales por renglones de trabajo

Tabla XLI Renglones de trabajo.

REGLÓN		Unidad	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
No.	Descripción				
1	Trabajos preliminares	m ²	18,638.50	Q3.19	Q59,456.82
2	Explotación y carga de roca	m ³	129,592.10	Q75.27	Q9,754,397.37
3	Acarreo de roca	m ³	129,592.10	Q61.13	Q7,921,965.07
4	Tallado de taludes	m ³	156,598.20	Q22.13	Q3,465,518.17
5	Excavación para cimentación de protección lateral de roca	m ³	105,097.60	Q65.61	Q6,895,453.54
6	Filtro para cimentación de protección lateral	m ³	95,361.89	Q147.81	Q14,095,440.96
7	Protección lateral de roca y grama	m ³	136,243.26	Q33.89	Q4,617,284.08
8	Relleno controlado con material no clasificado del lugar	m ³	234,459.60	Q25.57	Q5,995,131.97
			TOTAL		Q52,804,647.98

FUENTE: Elaboración propia

4.3.2 Trabajos y tiempo de ejecución.

Tabla XLII Trabajos y tiempo de ejecución

Renglón	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto Total
1	TRABAJOS PRELIMINARES	m3	18,638.50	Q 3.19	Q 59,456.82
3	EXPLOTACIÓN Y CARGA DE ROCA	m3	129,592.10	Q 75.27	Q 9,754,397.37
3	ACARREO DE ROCA	m3	129,592.10	Q 61.13	Q 7,921,965.07
4	CORTE Y PERFILADO DE TALUDES	m3	156,598.20	Q 22.13	Q 3,465,518.17
5	EXCAVACIÓN PARA CIMENTACIÓN DE PROTECCIÓN LATERAL	m3	105,097.60	Q 65.61	Q 6,895,453.54
6	FILTRO PARA CIMENTACIÓN DE PROTECCIÓN LATERAL	m3	95,361.89	Q 147.81	Q14,095,440.96

7	PROTECCIÓN LATERAL DE ENROCADO	m3	136,243.26	Q 33.89	Q 4,617,284.08
8	RELLENO CONTROLADO CON MATERIAL NO CLASIFICADO DEL LUGAR	m3	234,459.60	Q 25.57	Q 5,995,131.97
MONTO DEL CONTRATO					Q 52,804,647.98 Total por período Total acumulado % Por período % Acumulado

1	2	3	4	5
18,638.50 m3				
Q 59,456.82				
9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3
Q 750,338.03	Q 750,338.03	Q 750,338.03	Q 750,338.03	Q 750,338.03
9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3
Q 609,381.74	Q 609,381.74	Q 609,381.74	Q 609,381.74	Q 609,381.74
		17,399.80 m3	17,399.80 m3	17,399.80 m3
		Q 385,057.57	Q 385,057.57	Q 385,057.57
			26,274.40 m3	26,274.40 m3
			Q 1,723,863.38	Q 1,723,863.38
				15,893.65 m3
				Q 2,349,240.41

Q 1,419,176.59	Q 1,359,719.77	Q 1,744,777.34	Q 3,468,640.72	Q 5,817,881.13
Q 1,419,176.59	Q 2,778,896.36	Q 4,523,673.70	Q 7,992,314.42	Q 13,810,195.55
2.69%	2.58%	3.30%	6.57%	11.02%
2.69%	5.26%	8.57%	15.14%	26.15%

6	7	8	9	10
---	---	---	---	----

9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3
Q 750,338.03	Q 750,338.03	Q 750,338.03	Q 750,338.03	Q 750,338.03
9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.62 m3
Q 609,381.74	Q 609,381.74	Q 609,381.74	Q 609,381.74	Q 609,381.74
17,399.80 m3	17,399.80 m3	17,399.80 m3	17,399.80 m3	17,399.80 m3
Q 385,057.57	Q 385,057.57	Q 385,057.57	Q 385,057.57	Q 385,057.57
26,274.40 m3	26,274.40 m3			
Q 1,723,863.38	Q 1,723,863.38			
15,893.65 m3	15,893.65 m3	15,893.65 m3	15,893.65 m3	15,893.64 m3
Q 2,349,240.41	Q 2,349,240.41	Q 2,349,240.41	Q 2,349,240.41	Q 2,349,238.93
			27,248.65 m3	27,248.65 m3
			Q 923,456.75	Q 923,456.75

	33,494.23 m3	33,494.23 m3	33,494.23 m3	33,494.23 m3
	Q 856,447.46	Q 856,447.46	Q 856,447.46	Q 856,447.46
Q 5,817,881.13	Q 6,674,328.59	Q 4,950,465.21	Q 5,873,921.96	Q 5,873,920.48
Q 19,628,076.68	Q 26,302,405.27	Q 31,252,870.48	Q 37,126,792.44	Q 43,000,712.92
11.02%	12.64%	9.38%	11.12%	11.12%
37.17%	49.81%	59.19%	70.31%	81.43%

11	12	13
----	----	----

9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.66 m3
Q 750,338.03	Q 750,338.03	Q 750,341.04
9,968.62 m3	9,968.62 m3	9,968.66 m3
Q 609,381.74	Q 609,381.74	Q 609,384.19
17,399.80 m3		
Q 385,057.57		
27,248.65 m3	27,248.65 m3	27,248.66 m3

100

Q 923,456.75	Q 923,456.75	Q 923,457.09
33,494.23 m3	33,494.23 m3	33,494.22 m3
Q 856,447.46	Q 856,447.46	Q 856,447.21
Q 3,524,681.55	Q 3,139,623.98	Q 3,139,629.53
Q 46,525,394.47	Q 49,665,018.45	Q 52,804,647.98
6.67%	5.95%	5.95%
88.11%	94.05%	100.00%

FUENTE: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. La quebrada El Frutal a puente La Unión es el trecho medio del río Villalobos, en este tramo la topografía presenta una ligera pendiente, las gradientes que se pueden encontrar, principalmente del puente El Frutal hasta la confluencia con el río Pínula, se deben a la modificación del río, ya que se le han cercenado varios meandros para aprovechamiento urbano, lo que ha incrementado la pendiente, ha estrechado su cauce y se ha transformado en un río rectilíneo, lo que ha traído como consecuencia la desestabilización de los taludes, profundización del cauce y el incremento de la erosión.
2. Este tramo se ve muy alterado, ya que los aportes principales son la quebrada El Frutal, el drenaje de la parte central del municipio de Villa Nueva y el río Platanitos, los cuales aportan caudal de gran impacto que incide en el cambio continuo en la sección de dicho río.
3. El comportamiento del canal del río lo determina básicamente su configuración rectilínea a la que fue sometido por los propietarios de los terrenos adyacentes y los urbanizadores que alteraron su cauce, por lo que el río buscará su estabilidad a través de la conformación de meandros para minimizar la pendiente.

4. Debido a la escasa información hidrológica de la cuenca, los parámetros que normalmente se obtienen de las series hidrológicas no tienen alta confiabilidad, lo que agrega grados de libertad e incertidumbre a los cálculos.
5. Los resultados obtenidos mediante el programa HEC-HMS, para la simulación de las crecidas de diseño, se consideran satisfactorios para ser utilizados en la modelación hidráulica.
6. La observación visual de campo indica que el comportamiento real de cada subcuenca corresponde bien con los estudios teóricos realizados, de acuerdo con estos conceptos, puede concluirse que la subcuenca de los ríos Villalobos y Tulujá son las más susceptibles a la erosión.
7. El desempeño adecuado de esta clase de obras depende de la coordinación que se logre entre autoridades municipales, gubernamentales y vecinos.
8. No se podrá con la ejecución de las obras propuestas evitar futuras inundaciones, pero se podrán prevenir deslaves y minimizar las pérdidas materiales.

RECOMENDACIONES

1. Realizar evaluaciones, análisis y diagnósticos periódicos una vez por semana como mínimo, para garantizar que las estructuras no están siendo afectadas tanto por fenómenos naturales o actividades antrópicas que puedan alterar su estabilidad.
2. Puesto que se considera que la protección será efectiva para disminuir la erosión de las márgenes y a pesar de que la degradación del cauce será detenida, el cálculo señaló que para disminuir en forma cardinal la carga de sedimentos que ingresa al lago, será necesario disminuir sustancialmente otros procesos o tipos de erosión.
3. Para el mantenimiento de este tipo de obra se debe dialogar con los vecinos para formar organizaciones comunitarias (COCODES) para llegar a un acuerdo con autoridades municipales a efecto de implementar un reglamento para penalizar a las personas que no contribuyan.
4. El uso de los programas HIDROESTA, HEC-RAS Y HEC-HMS, son recomendables para ser utilizados en otras vertientes del país, siguiendo los lineamientos del presente trabajo de graduación.

REFERENCIAS

1. Fernando Garcia Márquez. **Curso básico de topografía.** (México: Editorial Pax México, Librería Carlos Cesarman, S.A., 2003) p. 1
2. Alfredo Arche. **Sedimentología, volumen 1.** (1ra. Edición ilustrada; España: Consejo Superior De Investigaciones Científicas, 1989) pp. 1-3
3. Eduardo Martínez Marin, Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. **Hidrología practica.** (2ª. Edición; España: Universidad Politécnica de Madrid, 2001) pp. 1-10
4. Jaime Arviza Valverde, Iban Balbastre Peralta y Pablo González Altozano. **Ingeniería rural: Hidráulica.** (Valencia: Editorial de la UPV, 2002) p. 5
5. T.C. Sheng. **Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas.** (Roma: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, 1992) p. 3
6. Jesús Suarez. **Cuencas hidrográficas.** Educación ambiental. República Bolivariana de Venezuela, Ministerio del poder popular para la defensa, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada, UNEFA.
7. Web del profesor. **Geomorfología de cuencas.** (Venezuela: Universidad de los Andes. webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf) cap. 4 pp. 2-32.
8. Felipe Zepeda G. **Hidrología.** (Universidad Autónoma de Querétaro, Escuela de Ingeniería, 1980) p. 120.

9. Departamento de investigación y servicios hídricos. Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Julio 2004. pp 2-8

BIBLIOGRAFÍA

1. Alexandrov, Y., Laronne, J.B. and Reid, I., 2003. Suspended sediment concentration and its variation with water discharge in a dryland ephemeral channel, northern Negev, Israel. *Jour. of Arid Environments*, 53(1), pp 73-84.
2. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA- (1995) El Lago de Amatitlán, Estudios Ecológicos.
3. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA- (1997). Informe Final. Proyecto de Evaluación del Problema de Erosión y Transporte de Sedimentos en la Sub-Cuenca del río Villalobos. Cordón y Mérida Ingenieros. Agosto de 1997.
4. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA- (1998). Estudio de Impacto Ambiental para la Construcción de Diques de Sedimentación en la Cuenca del Villalobos y Lago de Amatitlán, Guatemala. Arq. Gustavo A. Mayén H. Guatemala, Diciembre de 1998.
5. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA-. (1999). Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Villalobos. Restauración de ríos y Manejo de Sedimentos Río (Zanjón) El Zacatal. C y M - ESI Ingenieros. Guatemala Abril de 1999.
6. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA- (1999). Estudio de los Sedimentos en el Lecho de los Ríos de la Cuenca del Lago de Amatitlán. C y M – ESI Ingenieros. Guatemala, julio de 1999.
7. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA-. (1999). Evaluación Hidrológica de los Efectos del Huracán Mitch en la Cuenca del Lago de Amatitlán. C y M – ESI Ingenieros. Guatemala, julio de 1999.

8. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán - AMSA-. (2001). Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Villalobos. Informe de Mediciones. Junio 1999, Julio 1999, Agosto 1999, Septiembre 1999 y Octubre 1999. C y M – ESI Ingenieros. Guatemala, 1999.
9. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán - AMSA- (2001). Batimetría del Lago de Amatitlán. Informe Final. Estudios Servicios e Inversiones. Mayo 2001.
10. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán - AMSA- AMSA (2002). Estudio Hidrológico de la cuenca del río Villalobos. Informe final de los estudios realizados por CyM-ESI, Ingenieros.
11. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán - AMSA- (2002). Informe Final. Reporte de Sedimentos en la Cuenca del Río Villalobos.
12. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán -AMSA- (2004) Estabilización del Cauce del Río Villalobos en la Ciudad de Guatemala, Programa de Fortalecimiento Institucional, Evaluación de la componente de estabilización y canalización del Cauce del Río Villalobos.
13. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán - AMSA- (2005). Informe Final. Estudios de Topografía y Geología de la Cuenca Hidrográfica del río Villalobos. Guatemala, Abril de 2005.
14. Basterrechea, M. (1986). Limnología del lago de Amatitlán. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
15. Basterrechea, M. (1997). El lago de Amatitlán: década de estudios limnológicos 1985-1995. Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala.
16. CATIE (1987). Estudios recientes sobre la contaminación del lago de Amatitlán. Publicación del simposium, estudios recientes sobre la contaminación del lago de Amatitlán (ocho reportes).

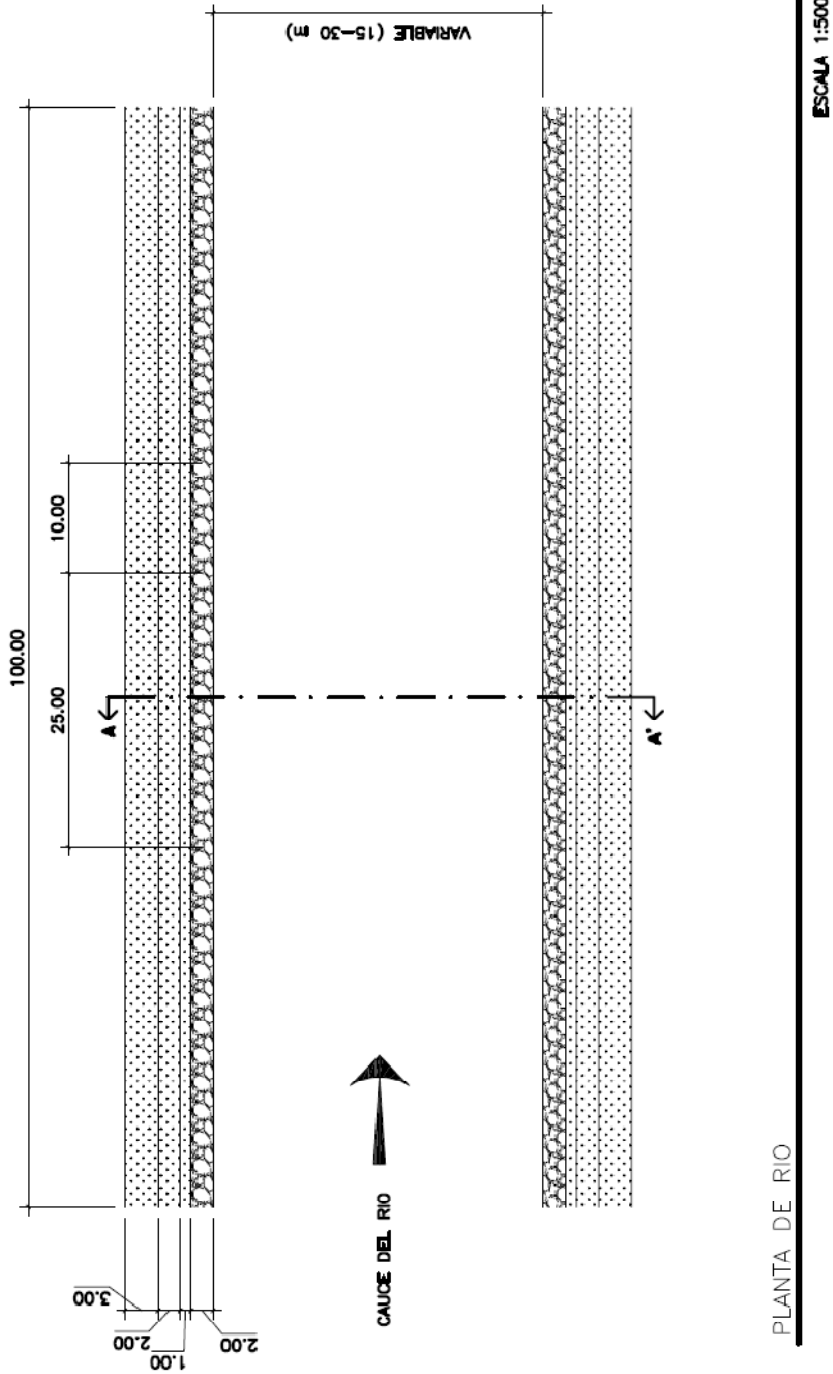
17. Cernica, J.N., 1995. Geotechnical Engineering: Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York, NY.
18. Chow, V.T. (1981), Computation of flood frequencies for combined annual peak flows of Rio Bao and Rio Jaque del Norte at the site of Tavera – Bao Project, unpublished manuscript.
19. Clark, C.K. (1945), Storage and the Unit Hydrograph, Transactions AMERICAN Society of Civil Engineers, Vol. 110, pp 1419-1488.
20. Ferguson, R.I., 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 12: 95 – 104.
21. Hakanson, L., and M. Janson. 1983. Principles of Lake Sedimentology. Springer-Verlag, Berlin.
22. Garcia, C., Laronne, J.B. and Sala, M., 1999. Variable source areas of bedload in a gravel bed stream. *Journal of Sedimentary Research*, 69 (1), 39-43.
23. INSIVUMEH-IGN-ONU (1976). Estudio de aguas subterráneas en el valle de la Ciudad de Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
24. INSIVUMEH (2002), Estudio de intensidades de precipitación en la República de Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
25. INSIVUMEH (2005), Resumen del impacto asociado al huracán Stan en Guatemala. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
26. Laronne, J.B. and Reid, I., 1993. Very high rates of bedload sediment transport by ephemeral desert rivers. *Nature*, 36, 148-150 and 113.

27. Lewis, G.F., Matias, R.D. and Garcia Ovalle, J.G., 2005. Análisis del manejo de desechos sólidos municipales en el área urbana del municipio de Coatepeque. Agua, Saneamiento & Ambiente (Órgano de divulgación científica de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala), 1/2, 8-15.
28. Muñoz, C.E. (1973). La eutrofización del lago de Amatitlán. Estudio especial, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
29. NOAA (2005), NHC/TPC Archives, www.nhc.noaa.gov, consultado el 20 de noviembre de 2005.
30. Powell, M.D., Reid, I., Laronne, J.B. and Frostick, L.E., 1996. Bedload as a component of sediment yield from a semiarid watershed of the northern Negev. *Int'l Assoc. Hydrological Sciences*, Publ. 236, 389-397.
31. Reid, I. and Laronne, J.B., 1995. Bedload sediment transport in an ephemeral stream and a comparison with seasonal and perennial counterparts. *Water Resources Research*, 31 (3), 773-781.
32. Rickenmann, D., 1997. Sediment transport in Swiss torrents. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 937-951.
33. Tabarini, A. (1981). Eutrofización del lago de Amatitlán. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
34. U.S. Soil Conservation Service (1972), Hydrology: National Engineering Handbook, Section 4, US Department of Agriculture, Washington DC.
35. Williams, G.P., 1989. Sediment concentration versus water discharge during single hydrological events in rivers. *Journal of Hydrology*, Vol. 111, 89 – 106.

36. Walling, D.E., 1977. Limitations on the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers. 34-48. *IAHS Publ.* No. 122.

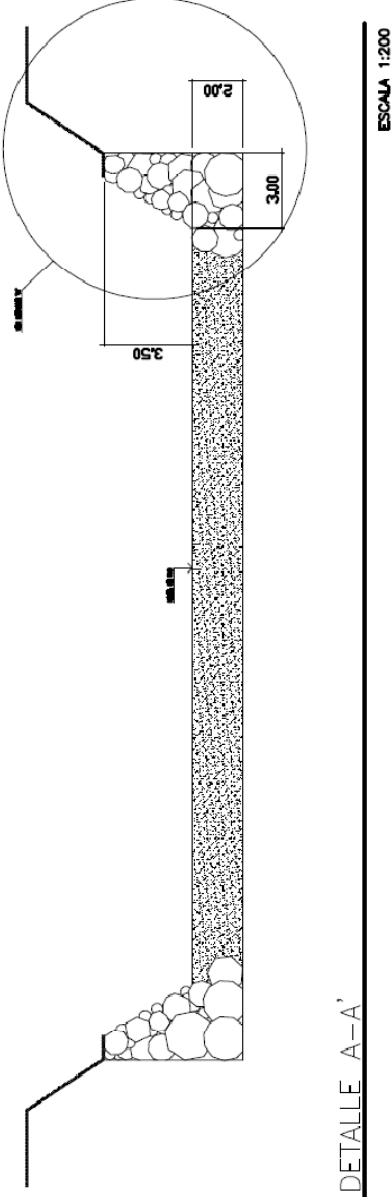
APÉNDICE

Figura 30 Planta de río



Fuente: Elaboración personal

Figura 31 Detalle A-A' del rio.



Fuente: Elaboración personal.

Figura 32 Detalle "A" de protección lateral

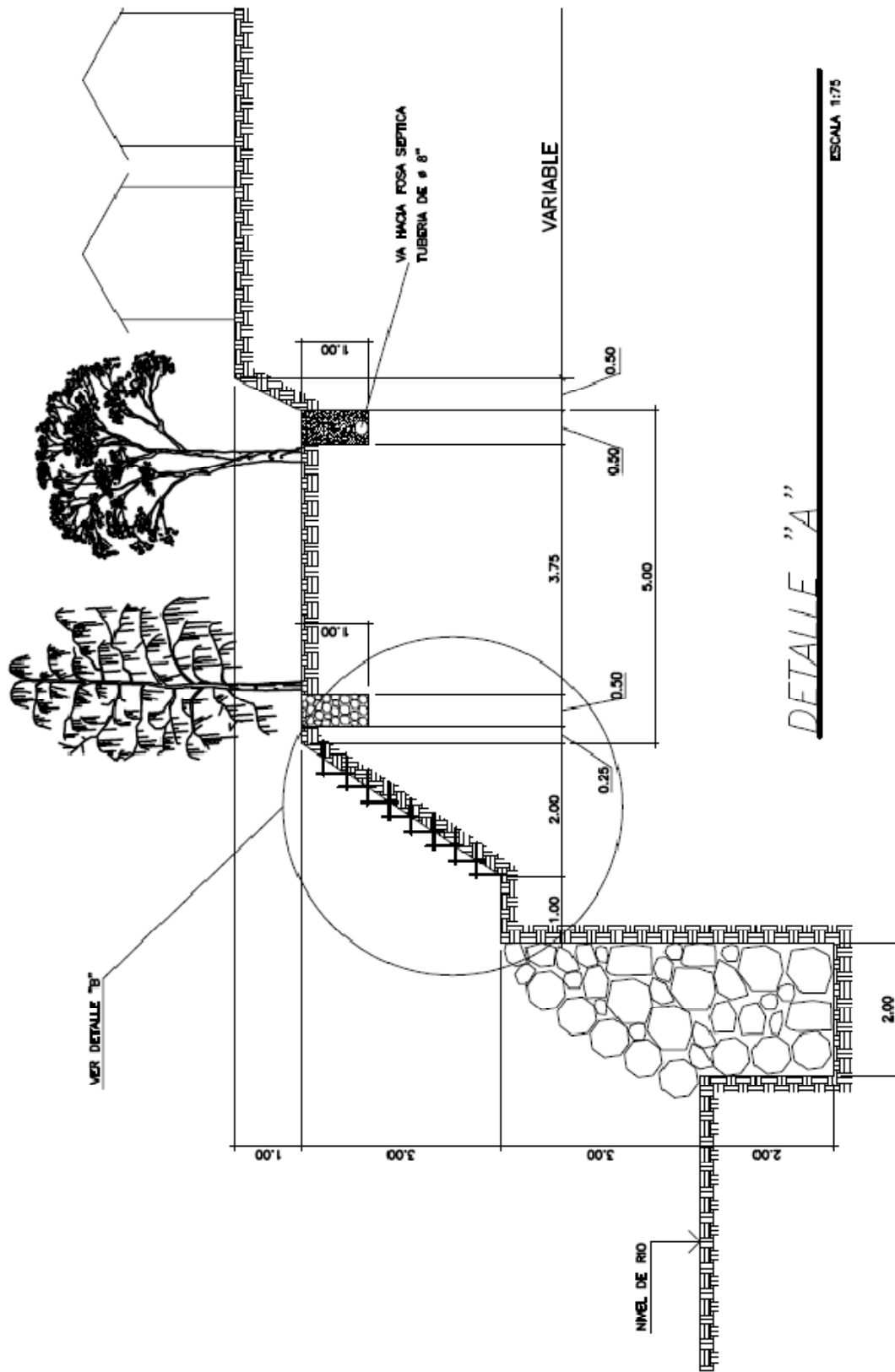


Figura 33 Detalle "B" protección lateral

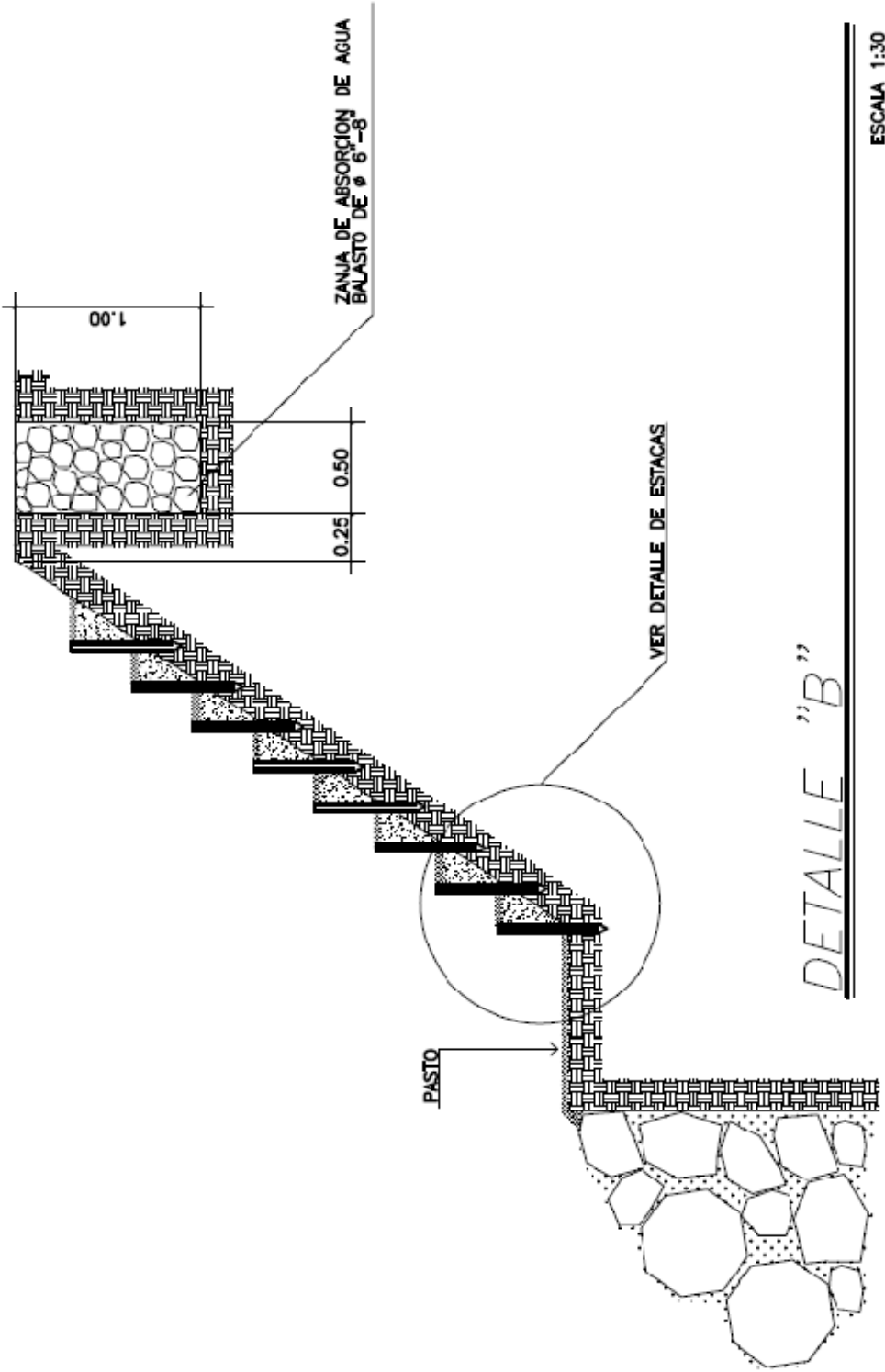
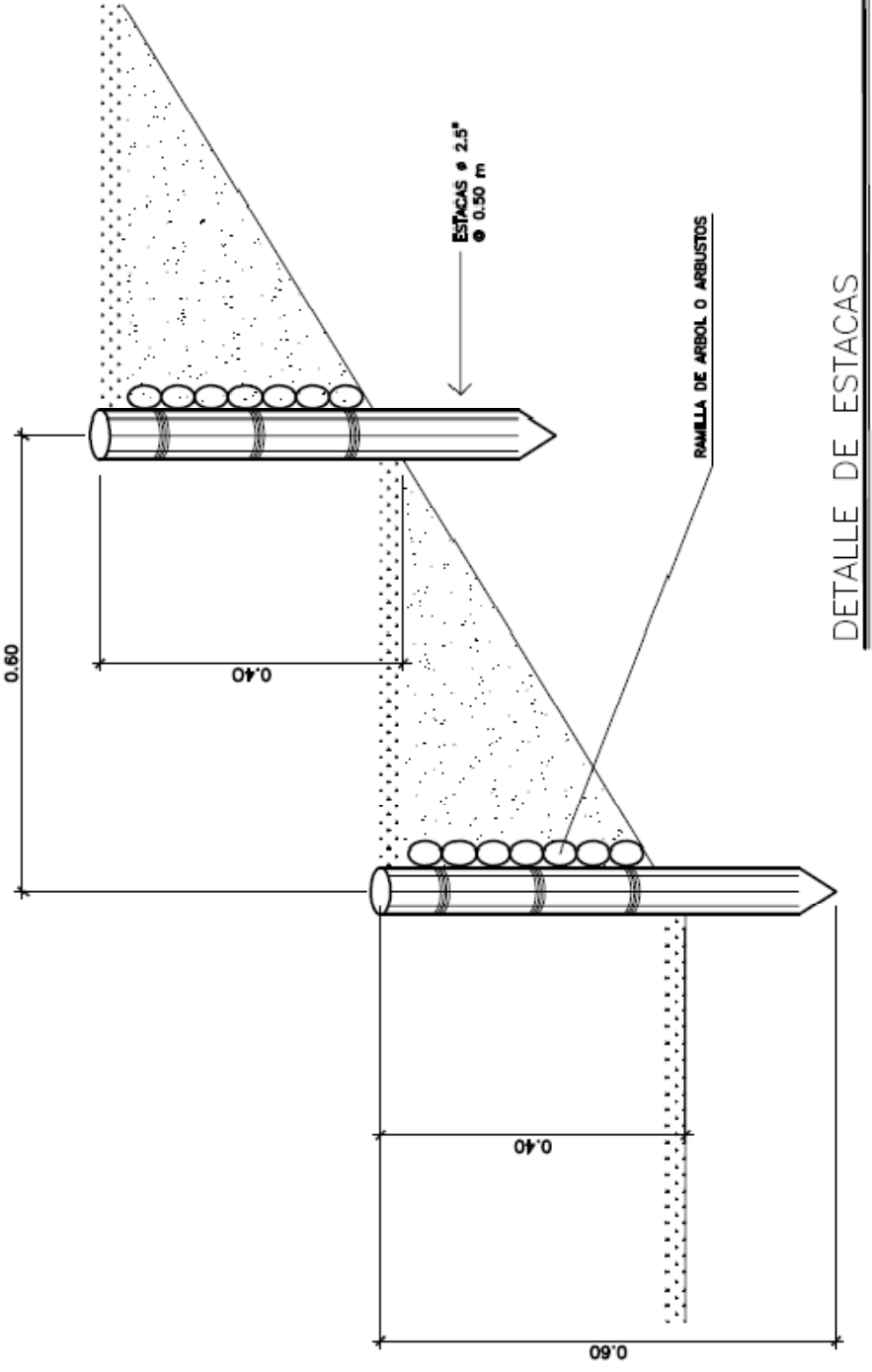


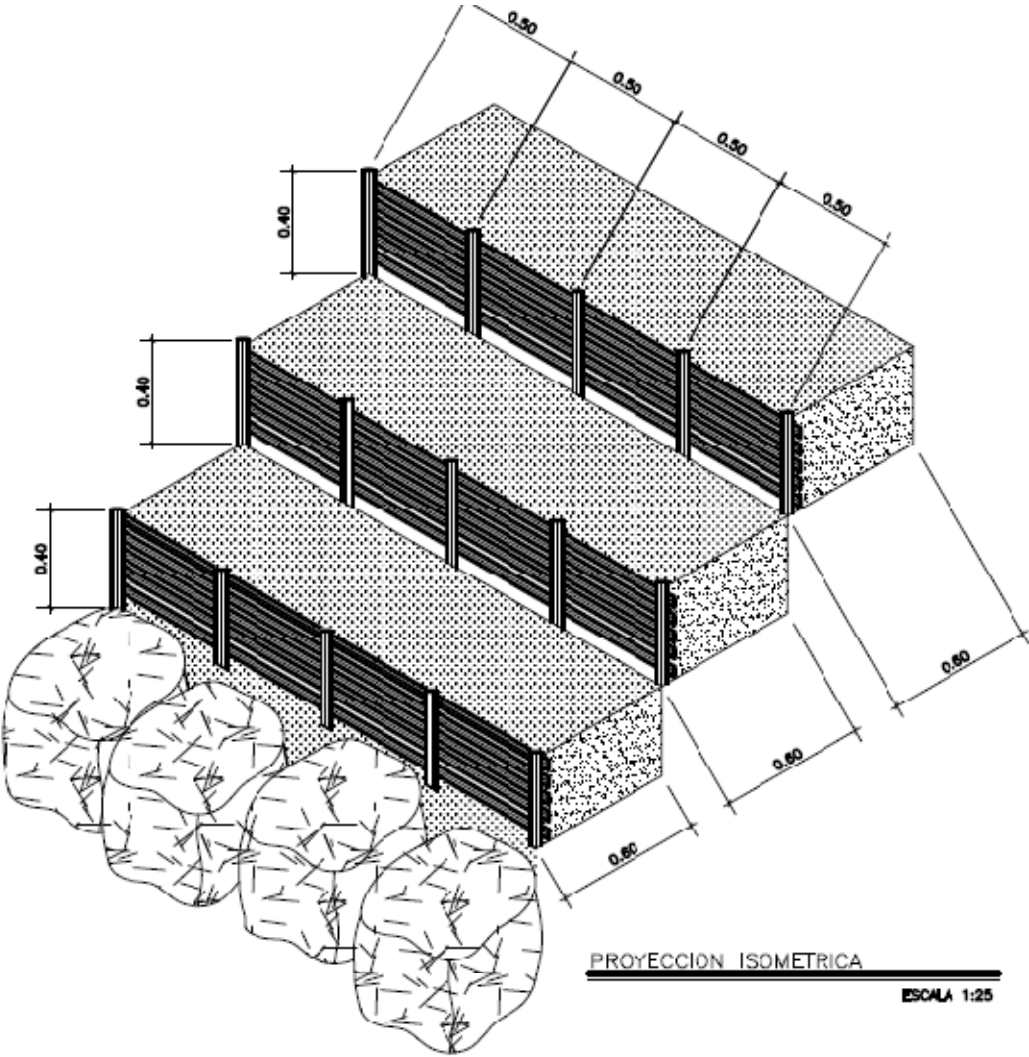
Figura 34 Detalle de estacas



DETALLE DE ESTACAS

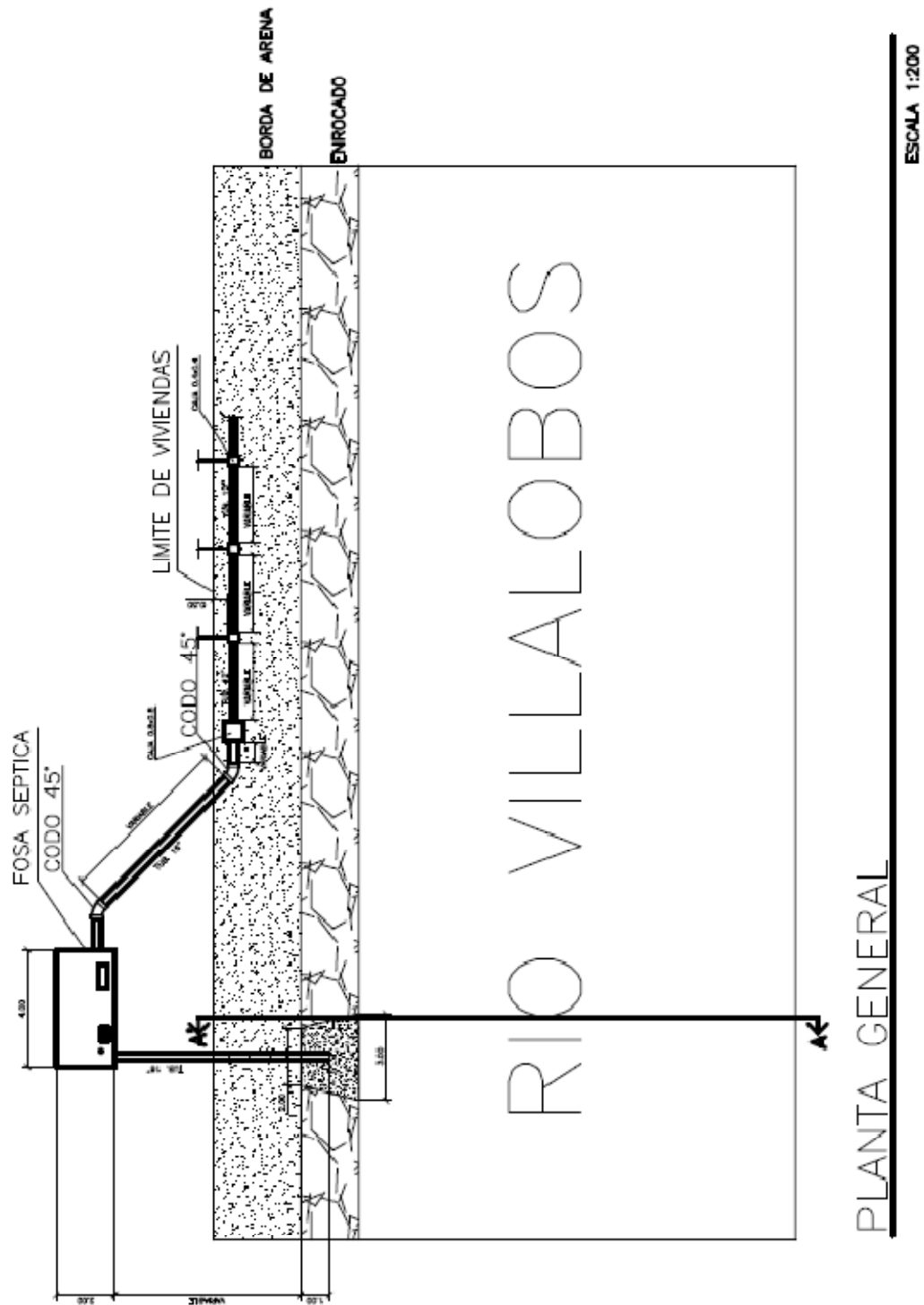
ESCALA 1:7.5

Figura 35 Proyección isométrica de talud.



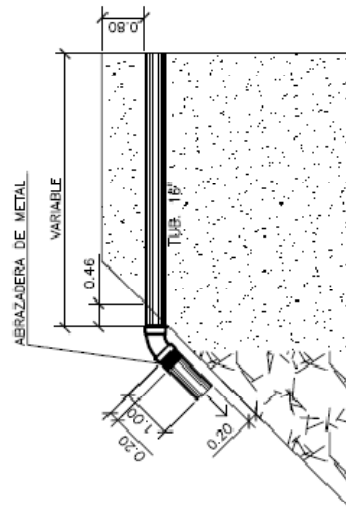
Fuente: Elaboración personal

Figura 36 Planta general para salida de drenajes a río.



Fuente: Elaboración personal.

Figura 37 Sección A-A' para salida de drenaje hacia río.



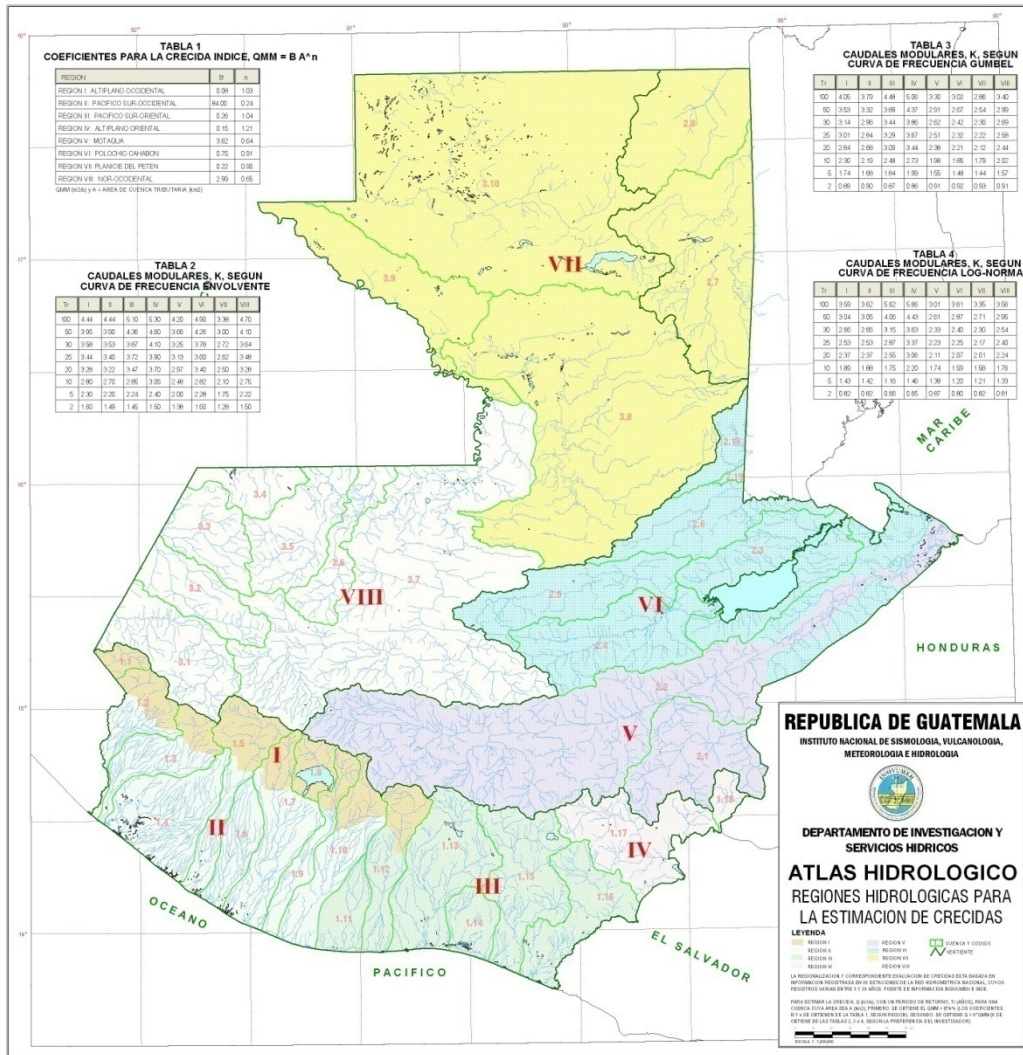
SECCION A-A'

ESCALA 1:125

Fuente: Elaboración personal.

ANEXO

Figura 38 Regiones hidrológicas para la estimación de crecidas.



Fuente: Elaborado por el Departamento de Investigaciones y Servicios Hídricos, del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).