



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRA DE PROTECCIÓN CONTRA  
INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE  
CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ**

**Marly Azucel López Sandoval**

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañón Contreras

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRA DE PROTECCIÓN CONTRA  
INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE  
CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARLY AZUCEL LÓPEZ SANDOVAL**

ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Muralles
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento 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 PARA EL DISEÑO DE OBRA DE PROTECCIÓN CONTRA  
INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE  
CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2011.

  
**Marly Azucel Lopez Sandoval**

Guatemala, 15 de octubre de 2012

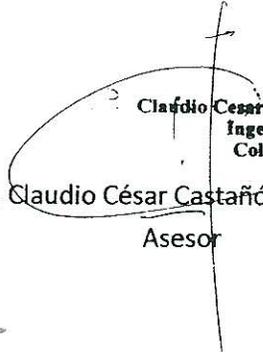
Ingeniero  
Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Coordinador de área de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Aguilar:

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación **“ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ.”**, elaborado por la estudiante Marly Azucel López Sandoval, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona

Sin otro particular, me despido

Atentamente,

  
Claudio César Castañón Contreras  
Ingeniero Civil  
Col. No. 5629  
Ing. Claudio César Castañón Contreras  
Asesor



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



Guatemala,  
4 de marzo de 2013

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

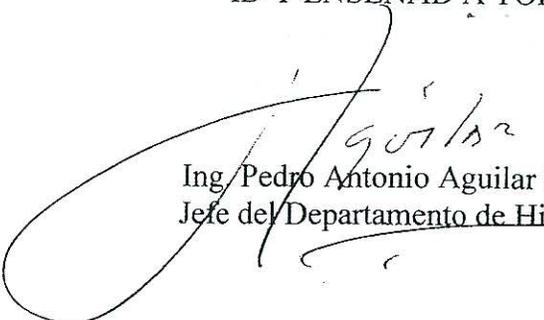
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Marly Azucel López Sandoval, quien contó con la asesoría del Ing. Claudio César Castañón Contreras.

Considero este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

/bbdeb.



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
 Escuela de Ingeniería Civil

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Claudio César Castañón Contreras y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación de la estudiante Marly Azucel López Sandoval, titulado **ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2013.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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 PARA EL DISEÑO DE OBRA DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ**, presentado por la estudiante universitaria: **Marly Azucel López Sandoval**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, mayo de 2013

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Mis padres</b>	Carlos Amílcar López y María del Carmen Sandoval, por brindándome su amor y confianza cada día y enseñarme que con paciencia, esfuerzo y dedicación se logran las metas
<b>Mis hermanos</b>	Lesther Alexander López y Karla Yulissa López, por estar siempre conmigo apoyándome en todo momento.
<b>Mi novio</b>	Luis Eduardo Andrade, por darme su amor y apoyo incondicional.
<b>Mis tíos</b>	José Luis (q.e.p.d.), Dina Esperanza López y María Elena López, por sus sabios consejos
<b>Mi familia</b>	Por ser parte importante en mi vida.
<b>Familia Andrade C.</b>	Por sus consejos y cariño que me brindan cada día

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por ser mí guía y darme la sabiduría de poder culminar cada momento importante de mi vida.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme sus puertas y compartir sus enseñanzas en el transcurso de la carrera de Ingeniería Civil.
<b>Ing. Claudio Castañón</b>	Por brindarme su apoyo incondicional y compartir sus conocimientos durante la realización de mi trabajo de graduación.
<b>Mis maestros</b>	Por sus enseñanzas durante la culminación de la carrera.
<b>Mis amigos</b>	Por los buenos momentos compartidos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Ciclo hidrológico .....	1
1.2. Hidrografía en Guatemala .....	2
1.2.1. Vertiente del Pacífico.....	3
1.2.2. Vertiente del Caribe .....	5
1.2.3. Vertiente del Golfo de México.....	5
1.3. Componentes básicos del riesgo.....	7
1.3.1. Riesgo identificado .....	8
1.3.2. Amenaza.....	8
1.3.3. Amenaza identificada .....	8
1.3.4. Vulnerabilidad .....	8
1.3.4.1. Vulnerabilidad identificada .....	9
1.3.4.2. Vulnerabilidad física.....	9
1.3.4.3. Vulnerabilidad económica.....	9
1.3.5. Desastre .....	9
1.3.5.1. Prevención del desastre .....	10
1.3.6. Inundación .....	10
1.3.6.1. Tipos de inundación.....	10

	1.3.6.1.1.	Inundaciones fluviales... 11	11
	1.3.6.2.	Nivel crítico de inundación (crecida)..... 11	11
	1.3.6.3.	Potenciales amenazas hidrometereológicas que amenazan a Guatemala..... 11	11
	1.3.6.3.1.	Lluvias intensas..... 12	12
	1.3.6.3.2.	Tormentas tropicales..... 12	12
	1.3.6.3.3.	Huracanes..... 12	12
2.		CARACTERIZACIÓN DE LA MICROCUENCA DEL RÍO XULÁ..... 13	13
	2.1.	Ubicación geográfica de la cuenca..... 13	13
	2.2.	Delimitación de la cuenca ..... 14	14
	2.3.	Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca..... 14	14
	2.3.1.	Área de drenaje..... 14	14
	2.3.2.	Tipo y uso de suelo ..... 15	15
	2.3.3.	Pendiente media (S)..... 16	16
	2.3.4.	Histograma de frecuencias altimétricas..... 18	18
	2.3.5.	Curva hipsométrica ..... 18	18
	2.3.6.	Índice de compacidad (K)..... 20	20
	2.3.7.	Factor de forma ..... 22	22
	2.3.8.	Pendiente media del cauce principal ..... 23	23
	2.3.9.	Orden de las corrientes de agua ..... 23	23
	2.3.10.	Densidad de drenaje ..... 24	24
	2.4.	Registros de crecidas del río Xulá..... 26	26
3.		ANÁLISIS DE CRECIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO..... 29	29
	3.1.	Régimen de lluvias en la boca costa ..... 29	29
	3.1.1.	Lluvia multianual..... 30	30

3.2.	Método racional .....	32
3.2.1.	Determinación de la intensidad (i) .....	33
3.2.2.	Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) .....	34
3.2.3.	Cálculo de intensidad de lluvia en la cuenca del río Xulá .....	34
3.2.4.	Cálculo de coeficiente de escorrentía (C) .....	37
3.2.5.	Caudales instantáneos máximos .....	39
3.3.	Análisis regional de crecidas .....	40
3.3.1.	Determinación de caudales .....	44
3.3.2.	Caudales instantáneos máximos en la cuenca del río Xulá.....	45
3.4.	Comparación de resultados.....	46
4.	APLICACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO HEC-RAS EN EL TRAMO CANTÓN SANTA TERESA, DEL RÍO XULÁ, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE CUYOTENANGO .....	47
4.1.	Conceptos básicos de hidráulica de canales abiertos .....	47
4.1.1.	Tipos de flujo en canales abiertos .....	47
4.1.1.1.	Flujo permanente .....	47
4.1.1.2.	Flujo no permanente .....	48
4.1.2.	Geometría de canales .....	48
4.2.	Introducción al programa HEC-RAS .....	49
4.3.	Procesamiento y análisis de la información.....	50
4.3.1.	Levantamiento topográfico.....	50
4.3.2.	Cálculo del caudal instantáneo máximo de diseño utilizado para la simulación hidráulica en HEC-RAS.....	53

4.3.3.	Selección de los coeficientes de rugosidad de Manning.....	53
4.4.	Hidráulica fluvial del río Xulá .....	54
4.5.	Modelación hidráulica, aplicada al tramo del río Xulá ubicado en el municipio de Cuyotenango.....	61
4.6.	Conclusiones de la modelación hidráulica con el software HEC-RAS .....	65
5.	PROPUESTAS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN.....	67
5.1.	Descripción de las obras de protección.....	67
5.1.1.	Muros de protección longitudinal (bordas).....	67
5.1.1.1.	Defensa contra desbordamientos.....	67
5.1.2.	Espigones.....	68
5.2.	Análisis del caso.....	68
5.2.1.	Selección de la estructura propuesta .....	68
5.2.2.	Análisis estructural .....	70
5.2.2.1.	Capacidad soporte del suelo de fundación.....	70
5.2.2.2.	Memoria de cálculo .....	72
6.	RECTIFICACIÓN HIDRÁULICA CON LAS OBRAS DE PROTECCIÓN PROPUESTAS.....	77
6.1.	Modelación hidráulica con el software HEC-RAS con las estructuras propuestas.....	77
6.2.	Conclusiones de la modelación hidráulica con el software HEC-RAS .....	78
	CONCLUSIONES.....	83
	RECOMENDACIONES.....	85

BIBLIOGRAFÍA.....	87
ANEXOS.....	89



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ciclo hidrológico .....	2
2.	Hidrografía de Guatemala .....	3
3.	Cuencas Vertientes de Guatemala.....	7
4.	Mapa de localización de la cuenca del río Xulá.....	13
5.	Definición de área de drenaje de la cuenca del río Xulá .....	15
6.	Histograma de frecuencias altimétricas.....	18
7.	Curva hipsométrica .....	20
8.	Orden de las corrientes .....	24
9.	Distribución de precipitación media mensual, período 1978-2011 estación Retalhuleu.....	30
10.	Datos de precipitación acumulada anual, período 1978 al 2011 estación Retalhuleu.....	31
11.	Áreas del material de la cuenca para el cálculo de los coeficientes de escorrentía superficial .....	37
12.	Geometría de canales abiertos .....	49
13.	Proyección de crecida en el área del cantón Santa Teresa, municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez. ....	51
14.	Proyección de microcuenca del río Xulá .....	52
15.	Sección longitudinal típica proyección de crecida máxima.....	61
16.	Proyección de crecidas del río Xulá, en el primer tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez.....	62
17.	Proyección de crecidas del río Xulá en el tercer tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez.....	62

18.	Proyección de crecidas en el río Xulá en el segundo tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez.....	63
19.	Proyección de crecidas en el río Xulá en el cuarto tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez.....	63
20.	Modelación hidráulica para un período de retorno de 50 años con caudales y crecidas críticas .....	64
21.	Proyección isométrica del muro de protección propuesto.....	70
22.	Detalle del muro de gaviones.....	76
23.	Sección longitudinal del río Xulá con la proyección de crecida máxima y las obras de protección propuesta.....	77
24.	Ubicación de muros de protección del río Xulá, en el primer tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez .....	79
25.	Ubicación de muros de protección, en el segundo tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez.....	79
26.	Ubicación de muros de protección, en el tercer tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez.....	80
27.	Ubicación de muros de protección, en el cuarto tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez.....	80

## TABLAS

I.	Cuencas de la Vertiente del Pacífico .....	4
II.	Cuencas de la Vertiente del Caribe .....	5
III.	Cuencas de la Vertiente del Golfo de México.....	6
IV.	Cálculo de pendiente media de la cuenca del río Xulá .....	17
V.	Cálculo de la curva hipsométrica .....	19
VI.	Índice de compacidad.....	22
VII.	Factor de forma .....	22
VIII.	Resumen de características morfométricas de la cuenca .....	25

IX.	Curvas de intensidad, duración y frecuencia de la estación meteorológica Retalhuleu .....	34
X.	Tiempo de concentración de la cuenca.....	36
XI.	Cálculo de la intensidad de lluvia .....	36
XII.	Valores indicativos de escorrentía .....	38
XIII.	Cálculo de coeficiente de escorrentía .....	38
XIV.	Cálculo de los caudales instantáneos máximos.....	40
XV.	Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas .....	42
XVI.	Cuartiles de caudales modulares regionales k según curva envolvente superior.....	42
XVII.	Cuartiles de caudales modulares regionales k distribución de Gumbel .....	43
XVIII.	Cuartiles de caudales modulares regionales k distribución log-normal .....	44
XIX.	Caudales máximos, asociados a períodos de retorno ( $t_r$ ) en función de caudales modulares regionales k con distribuciones indicadas.....	45
XX.	Comparativa de caudales instantáneos máximos .....	46
XXI.	Coeficientes de rugosidad de Manning (n).....	54
XXII.	Hidráulica fluvial río Xulá, estación indicada .....	55
XXIII.	Factores de capacidad de carga adimensional .....	71



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>Q</b>	Caudal
<b>km</b>	Kilometro
<b>m</b>	Metro
<b>s</b>	Segundo



## **GLOSARIO**

<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>Avenida / crecida</b>	Es la elevación del nivel de un curso de agua mayor que el flujo medio de éste.
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
<b>Cuenca</b>	Espacio delimitado por la unión de todas las cabeceras que forman el río principal o el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural.
<b>HEC</b>	Hidraulic Engineering Center.
<b>HEC-RAS</b>	Hydrologic Engineering Center River Analysis System.
<b>Hidrología</b>	Ciencia que estudia las características y propiedades del agua sobre el suelo y en su interior, y principalmente de la distribución del agua procedente de lluvias reciente.
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional.

<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>Lahares</b>	Son flujos rápidos de mezclas densas de partículas de roca y agua que ocurren en corrientes que fluyen de los volcanes provocadas por fuertes lluvias.
<b>Ramificación/bifurcación</b>	Se refiere a la corriente principal de un río que crea una dirección diferente al río ya existente.
<b>Riachuelo</b>	Pequeño curso de agua de poco caudal.
<b>Ribera</b>	Es el borde de un cuerpo de agua que puede ser grande, como la orilla del mar, o pequeña, como en el caso de los ríos. El término hace referencia a la zona de tierra más cercana al océano, mar, lago, río o quebrada.

## RESUMEN

El río Xulá se encuentra en la región conocida como boca costa, en el área sur occidental de la República de Guatemala, las condiciones climáticas y topográficas de esta área forman una condición particular en la temporada lluviosa, lo que genera inundaciones que afectan al cantón Santa Teresa, en el municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez.

El propósito de este estudio es la identificación de los elementos y las áreas vulnerables a inundaciones dentro del cantón Santa Teresa. Este trabajo de investigación se divide en seis capítulos donde los capítulos uno y dos el objetivo es dar una panorámica de las características físicas e hidromorfológicas de la cuenca del río Xulá y el cuerpo de agua propiamente dicho.

En el capítulo 3, se analizan 2 métodos para la identificación de crecidas, el primer método denominado Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala desarrollado por el Departamento de Investigación y Servicios Hídricos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y se compara con el análisis y cálculo de caudales máximos diseñado para cuencas de áreas reducidas.

En el capítulo 4, se efectúa la modelación hidráulica con los caudales de diseño generados por el método racional sobre la ribera del río Xulá y se proyecta un mapa de inundaciones para identificar las zonas en riesgo dentro del cantón Santa Teresa. Finalmente se proponen estructuras para el desfogue eficiente del caudal de crecida dentro del área de estudio.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Simulación hidráulica del río Xulá y propuesta de obras de protección ante crecidas.

### **Específicos**

1. Conocer los conceptos generales de los componentes básicos del riesgo y la verificación de la amenaza ante inundaciones causadas por crecidas.
2. Utilizar el modelo de simulación HEC-RAS para realizar simulaciones del tramo del río Xulá ubicado en el municipio de Cuyotenango.
3. Proponer obras de protección para minimizar o evitar los daños ocasionados por inundaciones.
4. Determinar las crecidas máximas del río Xulá a la altura del municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez.



## INTRODUCCIÓN

Guatemala se ve afectada por fenómenos naturales como tormentas tropicales que ocasionan intensas lluvias, haciendo que los ríos se desborden, generando inundaciones, esto ha causado daños al ambiente, a la economía pero sobre todo a la seguridad humana.

Debido a las intensas lluvias, comunidades que se encuentran cercanas a los ríos han sido afectadas en casi todo el territorio guatemalteco y en particular al departamento de Suchitepéquez. En la historia reciente el cantón Santa Teresa, del municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez, ha sido afectado por las crecidas del río Xulá, provocando daños significativos de infraestructura y afectando a la población.

Para evitar que la población del cantón Santa Teresa continúe siendo afectado por estas inundaciones se realizará un estudio hidrológico de la microcuenca del río Xulá y el diseño de obras de protección contra inundaciones que puedan contribuir a la reducción de pérdidas tanto materiales como humanas, determinando una posible solución que satisfaga la necesidad de una manera adecuada.



# 1. CONCEPTOS GENERALES

## 1.1. Ciclo hidrológico

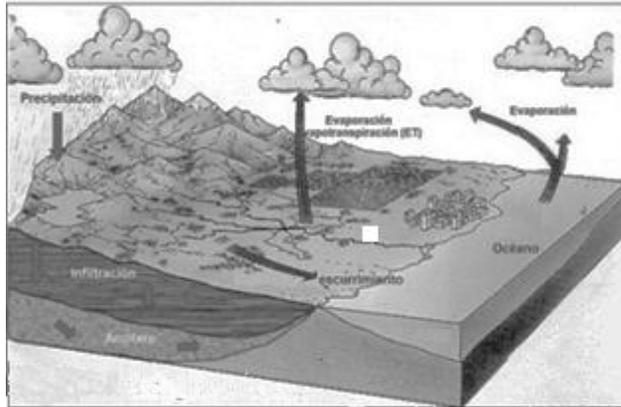
“El ciclo hidrológico describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. Los procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años. Aunque el equilibrio del agua en la Tierra permanece relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido.

El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin y puede empezar en cualquier punto del ciclo mismo. El ciclo puede interpretarse como la transformación del agua de estado líquido a gaseoso por medio de la radiación solar y/o el viento liberando energía en el proceso, que puede detonar cambios en la atmósfera en forma de nubes que se condensan y vuelve a precipitarse nuevamente hacia el suelo.

En el trayecto de la caída hacia el suelo puede volver a evaporarse en el suelo, ser captado por las plantas o infiltrarse hacia las corrientes subterráneas que alimentan manantiales o ríos superficiales que finalmente van a dar al mar, el motor de este ciclo es el sol que con su energía radiante empieza el ciclo nuevamente con la evaporación del agua”.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hidrografía aplicada, Chow Ven Te. p. 2.

Figura 1. **Ciclo hidrológico**



Fuente: Fundamentos de hidrología de superficie. p. 2.

## 1.2. **Hidrografía en Guatemala<sup>2</sup>**

En Guatemala, se ha estimado que el 41 por ciento del agua de lluvia escurre superficialmente y llega a los océanos, principalmente en forma de corrientes de agua que ocurren por todo el territorio nacional en tres grandes vertientes, de acuerdo al punto donde desembocan finalmente todos los ríos que atraviesan o nacen en el país.

En forma general, los ríos en una misma vertiente son similares, para cada vertiente tiene condiciones propias que afectan las características de los ríos que están incluidos en ella. Guatemala cuenta con tres regiones hidrográficas o vertientes desde el punto de vista donde desembocan los ríos: Vertiente del océano Pacífico, Vertiente del Golfo de México y Vertiente del Caribe.

<sup>2</sup> Ríos de Guatemala, INSIVUMEH. p. 1.

Figura 2. **Hidrografía de Guatemala**



Fuente: Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

### **1.2.1. Vertiente del Pacífico**

“Los ríos de esta vertiente son cortos (110 kilómetros en promedio), se originan a una altura media de 3 000 metros sobre el nivel del mar y presentan pendientes fuertes en las partes altas de las cuencas (mayores al 32 por ciento), cambiando bruscamente a pendientes mínimas en la planicie costera, lo que genera grandes zonas susceptibles de inundación en la parte baja al producirse crecidas instantáneas de gran magnitud y corta duración. Asimismo, estos ríos durante el período lluvioso y al sucederse erupciones volcánicas en los volcanes activos en el límite norte de la vertiente, pueden acarrear lahares que provocan inestabilidad de los cauces e inundaciones en las partes bajas. La Vertiente del Pacífico, en Guatemala, ocupa el 25 por ciento en ríos del país.

El rango de las precipitaciones se encuentra entre los 1 500 a 4 500 milímetros anuales, mientras que el rango para el sector norte-sur de la vertiente se encuentra entre 700 a 1 500 milímetros anuales, siendo inferiores los valores en la parte costera y aumentando conforme las elevaciones. A partir de estas informaciones se estima un volumen de esorrentía de 25 500 millones de metros cúbicos por año”<sup>3</sup>.

**Tabla I. Cuencas de la Vertiente del Pacífico**

ÁREA DE CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO			
No.	Cuenca	Área (Km²)	
1.1	Coatán	270	Área total de la Vertiente del Pacífico (Km²) 23 990
1.2	Suchiate	1 054	
1.3	Naranjo	1 273	
1.4	Ocosito	2 035	
1.5	Samalá	1 510	
1.6	Sis-Icán	919	
1.7	Nahualate	1 941	
1.8	Atitlán	541	
1.9	Madre Vieja	1 007	
1.10	Coyolate	1 648	
1.11	acomé	706	
1.12	Achiguate	1 291	
1.13	María Linda	2 727	
1.14	Paso Ondo	512	
1.15	Los Esclavos	2 271	
1.16	Paz	1 732	
1.17	Ostúa-Güija	2 243	
1.18	Olopa	310	

Fuente: Ríos de Guatemala, INSIVUMEH. p. 2.

<sup>3</sup> Ríos de Guatemala, INSIVUMEH. p. 2.

### 1.2.2. Vertiente del Caribe<sup>4</sup>

Los ríos que corresponden a la Vertiente del Atlántico, la longitud es mucho mayor e incluye el río más largo del país, (río Motagua con 486,55 kilómetros). Las pendientes son más suaves y su desarrollo es menos brusco, ya que en la parte montañosa los ríos hacen su recorrido en grandes barrancas y cañones. Las crecidas son de menos duración y los tiempos de propagación son también mayores y los caudales son más constantes durante todo el año.

Tabla II. **Cuencas de la Vertiente del Caribe**

ÁREA DE CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL CARIBE			
No.	Cuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	
2.1	Grande de Zacapa	2 469	Área total de la Vertiente del Caribe
2.2	Motagua	12 670	
2.3	Río Dulce	3 435	
2.4	Polochic	2 811	
2.5	Cahabón	2 459	
2.6	sarstún	2 109	
2.7	Vertiente Belice	8 159	

Fuente: Ríos de Guatemala, INSIVUMEH. p. 3.

### 1.2.3. Vertiente del Golfo de México

Los ríos que corresponden a la Vertiente del Golfo de México poseen grandes longitudes, encontrándose los ríos más caudalosos del país, como son el río Usumacinta, el río Chixoy y el río La Pasión. Las crecidas son de larga

<sup>4</sup> Ríos de Guatemala, INSIVUMEH. p. 3.

duración, los cauces son relativamente estables y los recorridos más sinuosos y sus pendientes son relativamente suaves.<sup>5</sup>

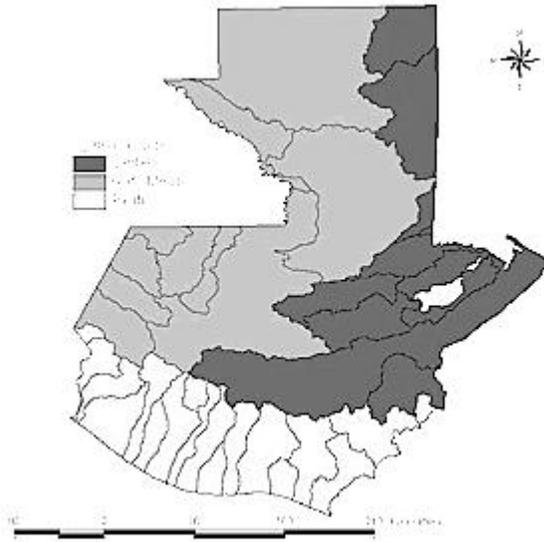
**Tabla III. Cuencas de la Vertiente del Golfo de México**

ÁREA DE CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL GOLFO DE MÉXICO			
No.	Cuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	
3.1	Cuilco	270	Área total de la Vertiente del Golfo de México (Km <sup>2</sup> ) 50 803
3.2	Selegua	1 054	
3.3	Nentón	1 273	
3.4	Pojom	2 035	
3.5	Ixcán	1 510	
3.6	Xacibal	919	
3.7	Chixoy	1 941	
3.8	La Pasión	541	
3.9	Usumacinta	1 007	
3.10	San Pedro	1 648	

Fuente: Ríos de Guatemala, INSIVUMEH. p. 4.

<sup>5</sup> Ríos de Guatemala, INSIVUMEH. p. 3.

Figura 3. **Cuencas Vertientes de Guatemala**



Fuente: Ríos de Guatemala, INSIVUMEH.

### 1.3. **Componentes básicos del riesgo**

Los componentes fundamentales considerados en el análisis de riesgo son la amenaza y la vulnerabilidad. Estos se descomponen en diferentes tipos de amenaza y vulnerabilidad, dependiendo del indicador con que se identifiquen. La intención de este documento es analizar los indicadores que estén relacionados a la seguridad de la población en riesgo a inundaciones ubicada a la orilla del río Xulá, en el cantón Santa Teresa del municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez.

### **1.3.1. Riesgo identificado**

Los riesgos asociados a las inundaciones pueden ser: pérdida de vidas humanas, abandono y pérdida temporal o permanente de bienes inmuebles de la comunidad, además de daños materiales e interrupción de la actividad económica.

### **1.3.2. Amenaza**

La amenaza es un agente agresor externo, socio ambiental, potencialmente destructivo, con cierta magnitud dentro de un cierto lapso de tiempo y en cierta área.<sup>6</sup>

### **1.3.3. Amenaza identificada**

La constituyen las crecidas máximas del río Xulá, provocando inundaciones, lo que crea un riesgo, afectando a los habitantes y a sus propiedades asentadas en su ribera.

### **1.3.4. Vulnerabilidad**

Vulnerabilidad es el grado de pérdida en un elemento o conjunto de elementos en riesgo, con la presencia de un peligro ambiental y/o fenómeno natural de magnitud determinada.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Gustavo Wilches- Chaux. Herramientas para la Crisis Desastres, Ecologismo y Formación Profesional. p. 10.

#### **1.3.4.1. Vulnerabilidad identificada**

La vulnerabilidad la representa un alto porcentaje de la población de escasos recursos que habitan en asentamientos mal ubicados, ambientes deteriorados, descuido de las autoridades que al no contar con suficientes capacidades económicas, educativas, de infraestructura, viven en sitios propensos a inundaciones, tal es el caso de la comunidad del cantón Santa Teresa que habita en las orillas del río Xulá.

#### **1.3.4.2. Vulnerabilidad física**

La constituye la ubicación del asentamiento humano en el cantón Santa Teresa del municipio de Cuyotenango.

#### **1.3.4.3. Vulnerabilidad económica**

Debido a los diferentes grados de pobreza de la población del cantón Santa Teresa, una eventual inundación del área pondrá en riesgo la seguridad económica y por ende la alimentaria de la población.

#### **1.3.5. Desastre**

Se puede definir cuando la población de forma indiscriminada se ve afectada por un evento y la vida social se ve afectada.<sup>7</sup>

Este fenómeno se desarrolla a partir de una serie de causas o características preexistentes, llamados factores de riesgo desencadenantes

<sup>7</sup> Mar Valero Valero, Conceptualización del desastre, p. 3.

afectando la integridad de los humanos, su sociedad, sus bienes y/o los factores naturales en una comunidad y en una localidad determinada, ocasionando pérdidas, alterando el desarrollo normal de las actividades actuales y futuras de la población.

#### **1.3.5.1. Prevención del desastre**

Es la aplicación de medidas para evitar que un evento se convierta en un desastre. Las comunidades tienen que estar preparadas para establecer viviendas lejos de ríos y en lugares altos. En caso de que viva cerca de estos, debe estar consciente de la vulnerabilidad y evacuar a las familias cuando las aguas comiencen a subir, o si así lo indican las autoridades competentes.

#### **1.3.6. Inundación**

Puede definirse como una invasión de las tierras situadas junto a un cauce por el desbordamiento de sus aguas, debido a crecidas del caudal, causado por lluvias abundantes.

##### **1.3.6.1. Tipos de inundación**

El tipo de inundación más ocurrente en el país son las inundaciones fluviales y las causadas por la falla de los sistemas de alcantarillado pluvial de los municipios que no cuentan con la capacidad para los caudales propios de las lluvias intensas.

#### **1.3.6.1.1. Inundaciones fluviales**

Las inundaciones fluviales suelen ocurrir como resultado de precipitaciones intensas dentro de la cuenca. Las tormentas intensas y de movimiento lento y los sistemas tropicales pueden causar inundaciones fluviales. Las inundaciones fluviales más severas son frecuentemente producidas por una combinación de factores causadas por el hombre producido por el uso que le da a tierra cercana al río y por lluvias no muy intensas pero continuas.<sup>8</sup>

#### **1.3.6.2. Nivel crítico de inundación (crecida)**

Una inundación es un evento natural que se produce en las corrientes de agua como resultado de lluvias intensas o continuas que, al sobrepasar la capacidad de absorción del terreno y de los cauces, desbordan e inundan extensiones.

#### **1.3.6.3. Potenciales amenazas hidrometeorológicas que amenazan a Guatemala**

Cada año, alrededor del mundo se forman unos 80 ciclones sobre las cálidas aguas de mares tropicales durante los meses del verano. En el Hemisferio Occidental, los ciclones reciben el nombre de huracanes, del término indígena Hura Kan, o vientos de los dioses. Entre las principales amenazas hidrometeorológicas que afectan al territorio nacional de la República de Guatemala se pueden mencionar:

<sup>8</sup> FEMA U.S department of homeland security.

#### **1.3.6.3.1. Lluvias intensas**

En la temporada lluviosa estos fenómenos locales pueden ocasionar crecidas repentinas, dependiendo de características físicas como el suelo, la topografía, la vegetación; y está directamente relacionado el crecimiento desordenado de las comunidades en las riberas de corrientes de agua.

#### **1.3.6.3.2. Tormentas tropicales**

Es un término meteorológico caracterizado por un centro de baja presión debido al cambio climático generado por dos o más masas de aire de diferente temperatura, sus características principales son igual a las de un huracán, produciendo fuertes lluvias y vientos intensos.

Como antecedente se puede mencionar la tormenta tropical Agatha en el 2010 y la tormenta 12E en el 2011 que afectó a 21 de los 22 departamentos del país, siendo el área de la boca-costera una de las áreas con mayor ocurrencia de eventos (deslaves e inundaciones) relacionadas con la tormenta.

#### **1.3.6.3.3. Huracanes**

Es un término meteorológico usado para referirse a un sistema de tormentas caracterizado por una circulación cerrada alrededor de un centro de baja presión y que produce fuertes vientos y abundante lluvia. Como referencia de los huracanes que han dejado sentir sus efectos negativos en el país se pueden mencionar al huracán Mitch en 1998 y el huracán Stan en 2005.



## **2.2. Delimitación de la cuenca**

El río Xulá tiene como afluente importante el río El Candelero, la cuenca está delimitada al noroccidente por San Andrés Villa seca, al oriente por San Lorenzo, al occidente con los municipios de Retalhuleu y Santa Cruz Muluá, al sur con el área urbana del municipio de Cuyutenango y al norte con San Francisco Zapotitlán.

## **2.3. Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca**

Entre los parámetros morfométricos de la cuenca del río Xulá en el municipio de Cuyutenango, departamento de Suchitepéquez se puede mencionar:

### **2.3.1. Área de drenaje**

El área de drenaje es la superficie en proyección horizontal delimitada por la divisoria de aguas. La divisoria de aguas es una línea imaginaria que pasa por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de estudio de otras cuencas vecinas.<sup>9</sup>

El área de drenaje de la cuenca del río Xulá calculada es de 5,12 kilómetros cuadrados, delimitada desde la curva 680 hasta los 340 metros sobre el nivel del mar, coincidente con el punto de análisis en el aproche del puente sobre el río Xulá, en la entrada al área urbana del municipio de Cuyutenango, departamento de Suchitepéquez.

<sup>9</sup> Morfología de Ríos. Capítulo 11 del Manual de la Ingeniería de Ríos. p. 1.

Figura 5. Definición de área de drenaje de la cuenca del río Xulá



Fuente: Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), abril 2012.

### 2.3.2. Tipo y uso de suelo

Suelo franco arenoso, compuesto de un grano fino color café muy oscuro, de textura muy fina, con potencial hidrógeno neutro, y un drenaje moderado.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

Es un suelo que posee bastante arena pero que cuenta también con limo y arcilla, lo cual le otorga algo más de coherencia entre partículas. Los granos de arena pueden ser vistos a ojo descubierto y sentidos al tacto con facilidad. <sup>11</sup>

### **2.3.3. Pendiente media (S)**

Se refiere al grado de inclinación del terreno expresado en porcentaje, los rangos de pendientes son variables dentro de una cuenca hidrográfica.

$$S = \frac{D L_f}{A}$$

Donde:

D= Equidistancia entre curvas de nivel (kilometros)

L<sub>f</sub>= Longitud total de todas las curvas de nivel comprendidas en la cueca (km)

A= Área de la cuenca (kilómetros cuadrados)

<sup>11</sup> Departamento del área de suelo del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería (CII)

Tabla IV. **Cálculo de pendiente media de la cuenca del río Xulá**

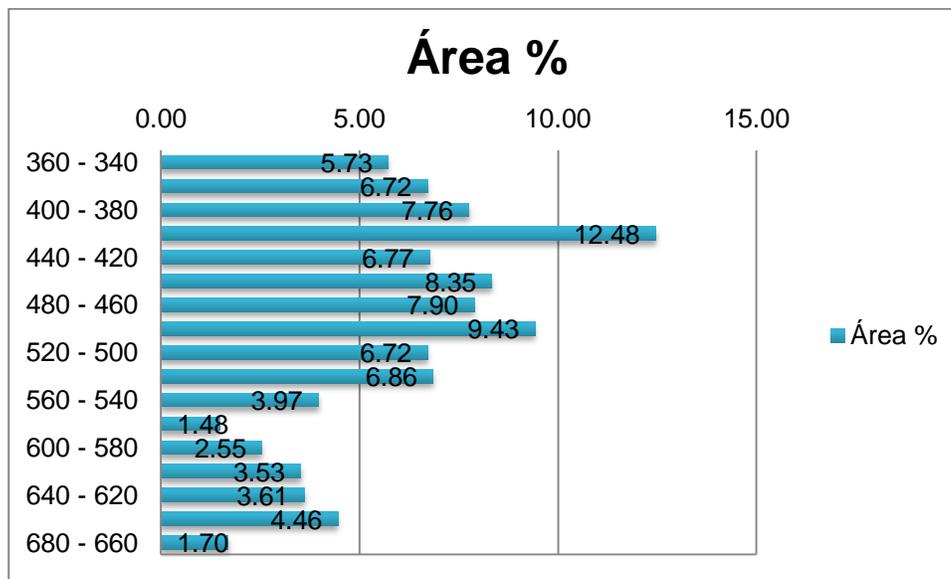
Cálculo de la pendiente media de la cuenca				
Cota	Longitud	Equidistancia	Área Cuenca	Pendiente media
(m)	Km	(Km)	(km)	(S)
680	0,67	0,02	5,12	0,0026
660	0,67	0,02	5,12	0,0026
640	0,49	0,02	5,12	0,0019
620	0,61	0,02	5,12	0,0024
600	0,48	0,02	5,12	0,0019
580	0,51	0,02	5,12	0,0020
560	0,52	0,02	5,12	0,0020
540	0,86	0,02	5,12	0,0034
520	1,37	0,02	5,12	0,0053
500	1,38	0,02	5,12	0,0054
480	2,49	0,02	5,12	0,0097
460	1,68	0,02	5,12	0,0066
440	1,62	0,02	5,12	0,0063
420	1,91	0,02	5,12	0,0075
400	2,12	0,02	5,12	0,0083
380	1,47	0,02	5,12	0,0057
360	1,35	0,02	5,12	0,0053
340	0,90	0,02	5,12	0,0035
Sumatoria porcentaje de pendiente media de la cuenca				7,98

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.4. Histograma de frecuencias altimétricas

Es un histograma que indica el porcentaje del área comprendida entre dos alturas determinadas.

Figura 6. Histograma de frecuencias altimétricas



Fuente: elaboración propia.

### 2.3.5. Curva hipsométrica

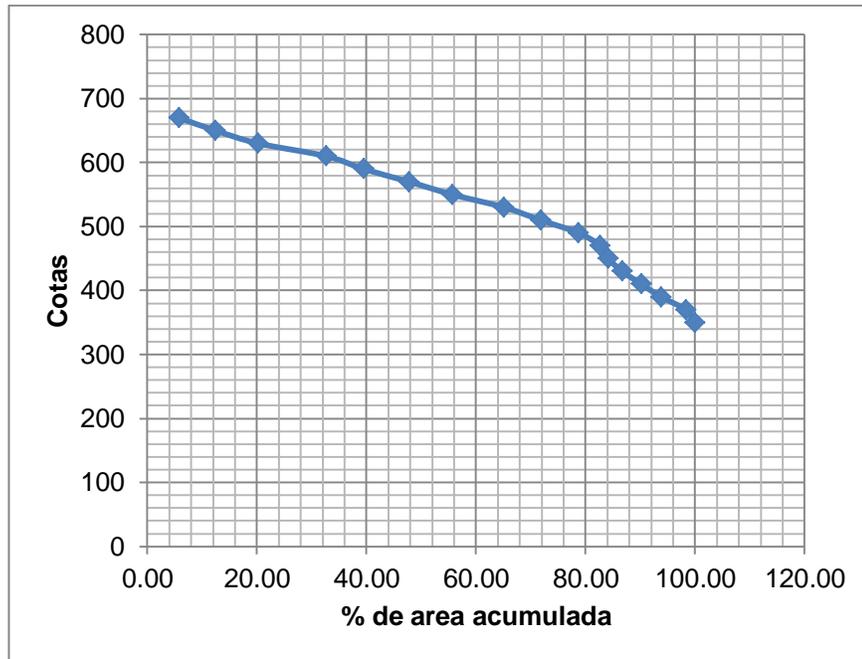
Se define como curva hipsométrica a la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en kilómetros cuadrados o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas.

Tabla V. **Cálculo de la curva hipsométrica**

Curva Hipsométrica de la cuenca y determinación del valor de la altitud media (m.s.n.m.), analítica y gráficamente						
Intervalo entre curvas de nivel (m)		Cota media(Ci) en m.	Área (ai) en km <sup>2</sup>	Área /Total Área (%)	Porcentaje de área acumulado (%)	$\sum (Ci * ai)$
340	360	350	0,29	5,73	5,73	102,61
360	380	370	0,34	6,72	12,45	127,23
380	400	390	0,40	7,76	20,21	154,91
400	420	410	0,64	12,48	32,69	261,82
420	440	430	0,35	6,77	39,45	148,96
440	460	450	0,43	8,35	47,80	192,21
460	480	470	0,40	7,90	55,70	189,93
480	500	490	0,48	9,43	65,12	236,37
500	520	510	0,34	6,72	71,84	175,37
520	540	530	0,35	6,86	78,70	186,10
540	560	550	0,20	3,97	82,67	111,65
560	580	570	0,08	1,48	84,14	43,13
580	600	590	0,13	2,55	86,70	77,04
600	620	610	0,18	3,53	90,22	110,12
620	640	630	0,18	3,61	93,83	116,42
640	660	650	0,23	4,46	98,30	148,46
660	680	670	0,09	1,70	99,99	58,19
			5,12	100,00		2 382,34
H=		$\frac{\sum(Ci * ai)}{A}$	465,48	Msnm.		

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Curva hipsométrica**



Fuente: elaboración propia.

La curva hipsométrica (figura 7) muestra que la pendiente en gran parte de la cuenca no es muy alta, sin embargo, se presenta una fuerte caída de pendiente en la parte final de la misma, lo que puede acelerar la esorrentía y disminuir el tiempo de concentración.

### 2.3.6. Índice de compacidad (K)

La forma superficial de las cuencas hidrográficas tiene interés por el tiempo que tarda en llegar el agua desde los límites hasta la salida de la misma. Uno de los índices para determinar la forma es el coeficiente de compacidad, que es la relación  $K$  existente entre el perímetro de la cuenca  $P$  y el perímetro de un círculo, que tenga la misma superficie de dicha cuenca.

- Área de la circunferencia

$$A = \pi * r^2$$

- Radio en función del área y  $\pi$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

El índice será mayor o igual a la unidad, de modo que cuanto más cercano a ella se encuentre, más se aproximará su forma a la del círculo, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con mayores caudales.

Por otra parte K es un número adimensional independiente de la extensión de las cuencas, cuando K se aleja más del valor unidad significa un mayor alargamiento en la forma de la cuenca.

$$K = \frac{P}{2\pi r}$$

Donde:

K = Índice de compacidad,

A = Área,

P = Perímetro

- Índice de compacidad

$$K = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}}$$

Tabla VI. **Índice de compacidad**

Índice de compacidad	
Perímetro	17,58 Km
Kc	2,19

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.7. Factor de forma

El factor de forma según Horton expresa la relación existente entre el área de la cuenca, y un cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma.

Tabla VII. **Factor de forma**

Factor de forma	
Área de la cuenca	5,12 km
Longitud del río	5,47 km
Kf	0,17

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.8. Pendiente media del cauce principal

Es la relación entre la altura total del cauce principal y la longitud del mismo. Es decir la diferencia total de elevación del cauce principal (cota máxima – cota mínima), dividida por su longitud total (Lc):

- Pendiente media

Donde:

$S_m$  = Pendiente media del cauce principal

$H_{max}$  = Altura máxima

$H_{min}$  = Altura mínima

L = Longitud del cauce

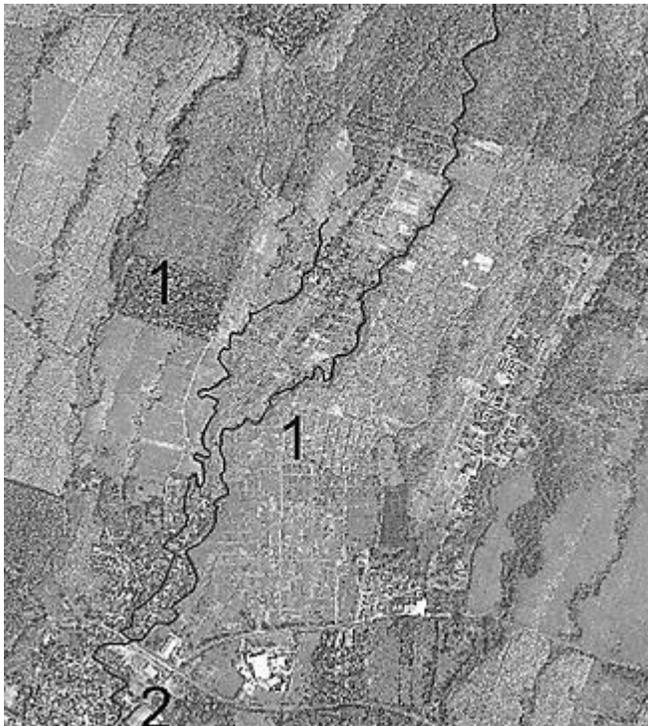
$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$
$$S_m = \frac{500 \text{ m} - 340 \text{ m}}{5\,470 \text{ m}}$$
$$S_m = 2,92 \text{ por ciento}$$

### 2.3.9. Orden de las corrientes de agua

El orden de una corriente es el reflejo del grado de ramificación o bifurcación que presenta una cuenca, y se define como: corrientes de primer orden son aquellos pequeños canales que no tienen tributarios, corrientes de segundo orden se forma cuando se unen dos corrientes de primer orden, corrientes de tercer orden se forma cuando se unen dos corrientes de segundo orden, corrientes de orden n se forman cuando se unen dos corrientes de orden n-1.

El río Xulá está clasificado como de segundo orden y tiene como tributario principal el río El Candelero, en las cercanías del área urbana del municipio.

Figura 8. **Orden de las corrientes**



Fuente: Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), abril 2012.

### **2.3.10. Densidad de drenaje**

Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total. En la medida que los parámetros asociados al sistema de drenaje de la cuenca hidrográfica son de mayor magnitud, es de esperarse que el tiempo de concentración tienda a ser menor con la consiguiente mayor capacidad de producción de caudal superficial por parte de la cuenca.

- Densidad de drenaje

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

Donde:

L = Longitud total de las corrientes de agua

A = Área de la cuenca

$$D_d = \frac{8,37 \text{ Km}}{5,12 \text{ Km}^2}$$

$$D_d = 1,63 \text{ km/km}^2$$

Tabla VIII. **Resumen de características morfométricas de la cuenca**

Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Factor de forma (K <sub>f</sub> )	Índice de compacidad (K <sub>c</sub> )	Longitud río Xulá (km)	Longitud río El Candelero (km)	Número de orden
5,12	7,58	0,17	2,19	5,47	2,89	2
Pendiente media de la cuenca (%)	Altitud media (m)		Pendiente media del cauce (%)	Densidad de Drenaje (km/km <sup>2</sup> )		
7,98	465,48		2,92	1,63		

Fuente: elaboración propia.

## **2.4. Registros de crecidas del río Xulá**

En la historia reciente se han registrado crecidas importantes del río Xulá, generadas por las fuertes lluvias que provocaron la depresión tropical 12E, en el 2011 y la tormenta tropical Ernesto, en el 2012, dejando como resultado a varias familias sin hogar.

La depresión tropical 12E fue la doceava depresión en desarrollarse en el Océano Pacífico durante el 2011. A partir del seis de octubre se presentó un sistema de baja presión al sur de la frontera de Guatemala y México. Este sistema fue organizándose lentamente desde el siete de octubre hasta que finalmente el doce de octubre se convirtió en la depresión tropical 12 E.<sup>12</sup>

La tormenta 12E afectó directamente al área occidental y sur occidental de la República de Guatemala, generando crecidas en los ríos de la boca costa, debido a las altas precipitaciones.

Cuerpos de socorro reportaron diversas emergencias provocadas por lluvias que azotaron el sur del país, donde las mayores inundaciones se registraron en el municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez, por el desbordamiento de río Xulá, causando daños a las viviendas cercanas a sus cauces, dejando 50 casas inundadas<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> Evaluación de daños y pérdidas sectoriales ocasionados por la depresión tropical 12E noviembre del 2011,p. 4

<sup>13</sup> Inundaciones provocada por la Tormenta 12E, CONRED, octubre 2011

El MAGA, institución que integra el Sistema de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), señaló que el departamento con más manzanas afectadas fue Cuyotenango, en donde se identificaron 2 mil 579 manzanas dañadas por las lluvias y que ocasionó que 828 familias resultaran afectadas por el desbordamiento del río Xulá.<sup>14</sup>

La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) emitió la noche del lunes 13 de agosto 2012 una alerta amarilla poblacional en cuatro departamentos por los efectos de la tormenta tropical "Ernesto".

La tormenta tropical Ernesto afectó directamente al municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez, por lo que se registraron inundaciones en los cantones Santa Teresa, Chacalté Sis y Tululá, a consecuencia del desborde del río Xulá, lo cual afectó a 336 personas, 84 familias y 50 personas que fue necesario albergar en el gimnasio municipal Santa Teresa, 42 viviendas presentaron daños leves, 11 daños moderados y tres daños severos. La crecida del río Xulá provocó daños severos a la infraestructura del puente.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Coordinadora Nacional para la Reducción de desastres CONRED, octubre 2011.

<sup>15</sup> Prensa Libre, agosto 2012.



### **3. ANÁLISIS DE CRECIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

La microcuenca del río Xulá se ubica en la región climática denominada boca costa.

#### **3.1. Régimen de lluvias en la boca costa**

Es una región angosta que transversalmente se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Jutiapa, situada en la ladera montañosa de la Sierra Madre, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del Pacífico, con elevaciones de 300 a 1 400 metros sobre el nivel del mar.

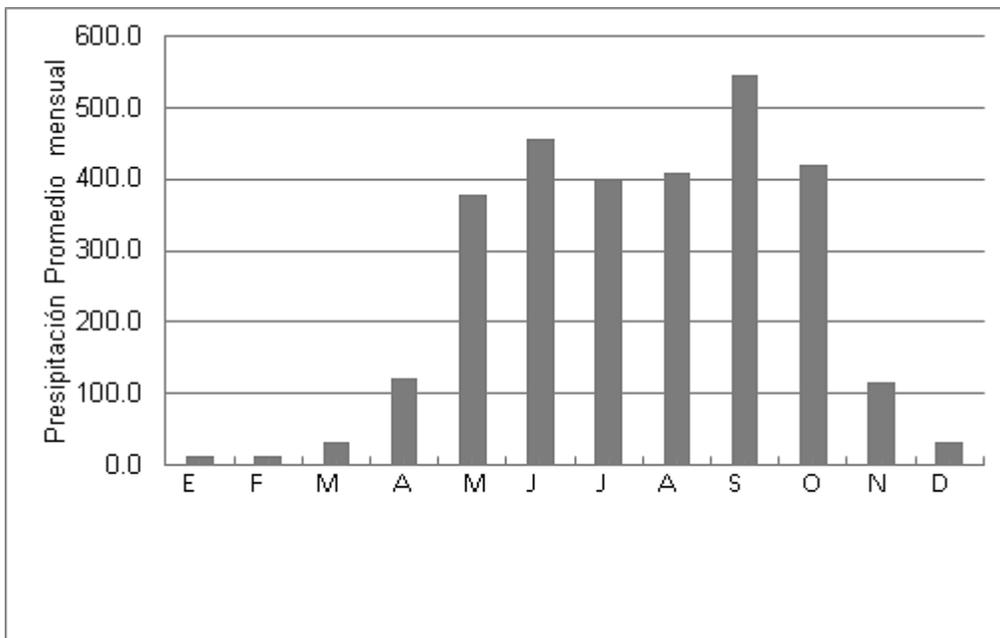
Las lluvias alcanzan los niveles más altos del país juntamente con la transversal del norte, con máximos pluviométricos de junio a septiembre, los valores de temperatura aumentan a medida que se desciende hacia el litoral del Pacífico.

En esta región existe un clima generalizado de género semicálido y sin estación fría bien definida, con carácter de muy húmedo, sin estación seca bien definida.

### 3.1.1. Lluvia multianual

No se encuentran estadísticas de la lluvia multianual de la microcuenca del río Xulá, por lo que se utilizó la información de lluvia registrada en la estación meteorológica Aeropuerto Retalhuleu, ubicada en el municipio de Retalhuleu y la cuál es propiedad del INSIVUMEH.

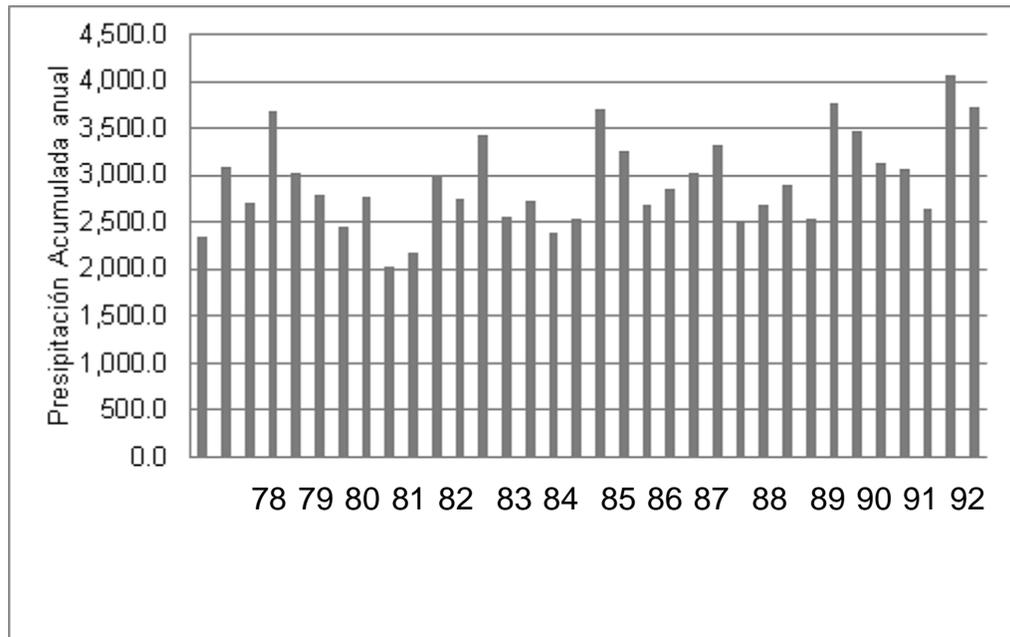
Figura 9. **Distribución de precipitación media mensual, período 1978-2011 estación Retalhuleu**



Fuente: base de datos climáticos, INSIVUMEH.

Se puede observar en la figura 9 que en la región se presenta una clara época lluviosa que se distribuye en los meses de mayo-octubre, presentando dos picos importantes de lluvia en los meses de junio y septiembre.

Figura 10. **Datos de precipitación acumulada anual, período 1978 al 2011 estación Retalhuleu**



Fuente: base de datos climáticos, INSIVUMEH.

Se puede observar en la figura 10 que la precipitación anual a lo largo del período analizado muestra una variabilidad normal del clima, registrándose años secos como en 1986 y años extremadamente lluviosos como el 2010.

En promedio se puede esperar una lluvia anual de 3 025,50 milímetros acumulados anuales.

### **3.2. Método racional**

Es una ecuación que permite calcular los caudales de avenida en cuencas pequeñas, a partir de los datos de precipitación y de las condiciones de escorrentía de la cuenca vertiente. Se denomina racional al ser una expresión coherente, frente a los modelos empíricos.

En el presente estudio se utiliza el método racional como base para el cálculo de los caudales de diseño en la cuenca del río Xulá. Las consideraciones para escoger el método como base para el cálculo se basa en las siguientes premisas:

- La intensidad de la lluvia es uniforme en el tiempo: la duración del aguacero de cálculo igual al tiempo de concentración de la cuenca, es suficientemente corta como para poder asumir que la intensidad de lluvia se mantiene constante a lo largo de su duración.
- La intensidad de la lluvia es uniforme en el espacio: las características del aguacero de cálculo son las mismas en toda la superficie de la cuenca vertiente.
- En las escorrentías que generan la avenida, domina la escorrentía superficial por falta de infiltración.
- El cauce principal es de pequeño tamaño y no tiene capacidad de almacenamiento de agua.

Este método se utiliza en Hidrología para determinar el caudal instantáneo máximo de descarga de una cuenca hidrográfica. La aplicación del método

racional, es por la pequeña área de la cuenca. La ecuación de este método se presenta así:

- Método Racional para el cálculo de caudal instantáneo máximo

$$Q = \frac{(C)(I)(A)}{3,6}$$

Donde:

Q = Caudal instantáneo máximo de descarga en metros cúbicos por segundo

I = intensidad de la precipitación en milímetros por hora

A = área de la cuenca en kilómetros cuadrados

### **3.2.1. Determinación de la intensidad (i)**

Valor medio a lo largo del intervalo de duración igual al tiempo de concentración.

Se obtiene a partir de curva I.D.F. Según lo siguiente:

- Obtención de series de intensidades máximas anuales.
- Análisis estadístico de las series para obtener los cuantiles de los distintos periodos de retorno.
- Para cada período de retorno, el conjunto de puntos correspondientes a las distintas duraciones permite obtener la curva deseada.

### 3.2.2. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF)

Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos de la misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978).

Tabla IX. **Curvas de intensidad, duración y frecuencia de la estación meteorológica Retalhuleu**

pr	2'	5'	10'	20'	25'	30'	50'	100'
A	5 843	1 991	1 150	1321	1315	1221	1215	1217
B	25	14	11	13	13	12	12	12
N	1,037	0,769	0,616	0,633	0,63	0,613	0,61	0,609
R2	0,998	0,988	0,976	0,975	0,975	0,974	0,974	0,974

Fuente: Estudio de intensidades de precipitación en Guatemala, Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), agosto de 2002.

### 3.2.3. Cálculo de intensidad de lluvia en la cuenca del río Xulá

Cuando la intensidad de lluvia excede a la capacidad de infiltración del suelo, se presenta el escurrimiento superficial. La capacidad de infiltración del suelo disminuye durante la precipitación, que tormentas con intensidad de lluvia relativamente baja, produzcan un escurrimiento superficial considerable, si su duración es extensa.

- Cálculo de intensidad de lluvia

$$i = \frac{A}{(B + T_c)^{(n)}}$$

Donde:

A,B y n = son parámetros que están en función del periodo de retorno

T<sub>c</sub> = Tiempo de concentración de la cuenca

- Tiempo de concentración de la cuenca<sup>16</sup>

Es el tiempo necesario para que con una lluvia neta uniforme la totalidad de la cuenca contribuya al hidrógrama de escorrentía superficial.

$$T_c = \frac{3 * L^{1,15}}{154 * H^{0,38}}$$

Donde:

L = longitud de la cuenca (m)

T<sub>c</sub> = tiempo de concentración de la cuenca (minutos)

H = desnivel (m)

<sup>16</sup> Estudio de intensidades de precipitación en Guatemala, Instituto nacional de Sismología, Vulcanología, meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), agosto de 2002.

Tabla X. **Tiempo de concentración de la cuenca**

Tiempo de concentración de la cuenca	
Datos:	
Longitud de cauce	5471,61 metros
Desnivel	465,48 metros
Tiempo de concentración	37,6 minutos

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Cálculo de la intensidad de lluvia**

Periodo de Retorno ( años)	Intensidad de Lluvia	
2	80,16	milímetros/hora
5	96,02	milímetros/hora
10	105,20	milímetros/hora
20	110,27	milímetros/hora
25	111,02	milímetros/hora
30	111,59	milímetros/hora
50	112,35	milímetros/hora
100	112,98	milímetros/hora

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.4. Cálculo de coeficiente de escorrentía (C)

- No toda el agua de lluvia precipitada llega al sistema de drenaje de la cuenca; parte se pierde por factores tales como evaporación, intercepción vegetal, zanjas o depresiones y por infiltración.
- De todos los factores anteriores, el de mayor importancia es el de infiltración, el cual es función de la impermeabilidad del terreno y es por esto que en algunos casos se le llama coeficiente de impermeabilidad.

Figura 11. **Áreas del material de la cuenca para el cálculo de los coeficientes de escorrentía superficial**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

Para el cálculo de los coeficientes de escorrentía superficial se calcularon las áreas parciales de cada uno de los materiales que conforman la microcuenca del río Xulá, según la figura 11.

**Tabla XII. Valores indicativos de escorrentía**

Uso del suelo	Pendiente del terreno	Capacidad de infiltración		
		Alto (suelos arenosos)	Medio (suelos francos)	Bajo (Suelos Arcillosos)
Tierra agrícola	<5%	0,30	0,50	0,60
	5-10 %	0,40	0,60	0,70
	10-30%	0,50	0,70	0,80
Potreros	<5%	0,10	0,30	0,40
	5-10 %	0,15	0,35	0,55
	10-30%	0,20	0,40	0,60
Bosques	<5%	0,10	0,30	0,40
	5-10 %	0,25	0,35	0,50
	10-30%	0,30	0,50	0,60

Fuente: National Engineering Handbook, Sec. 4: Hydrology, USDA, 1972.

**Tabla XIII. Cálculo de coeficiente de escorrentía**

Cálculo de coeficiente de escorrentía superficial			
Tipo de Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Coeficiente	$\sum C_n * A_n$
Áreas pobladas y pavimentos	0,27	0,70	0,19
Áreas pobladas y pavimentos	0,06	0,70	0,04
Áreas pobladas y pavimentos	0,004	0,70	0,00
Áreas pobladas y pavimentos	0,01	0,70	0,01
Áreas pobladas y pavimentos	0,01	0,70	0,01
Áreas pobladas y pavimentos	0,002	0,70	0,001
Total áreas pobladas y pavimentos	0,36	0,70	0,25
Áreas de cultivo	0,67	0,60	0,40
Áreas de cultivo	0,36	0,50	0,18
Áreas de cultivo	0,02	0,50	0,01

Continuación de la tabla XIII.

Áreas de cultivo	0,23	0,50	0,11
Áreas de cultivo	0,61	0,60	0,36
Áreas de cultivo	0,005	0,50	0,00
Áreas de cultivo	0,71	0,50	0,35
Total áreas de cultivo	2,60	0,53	1,43
Cálculo de coeficiente de escorrentía superficial			
Tipo de suelo	Área (km <sup>2</sup> )	Coeficiente	$\sum C_n * A_n$
Áreas con bosque	0,05	0,30	0,014
Áreas con bosque	0,012	0,30	0,004
Áreas con bosque	0,03	0,30	0,008
Áreas con bosque	0,007	0,35	0,002
Áreas con bosque	1,25	0,30	0,376
Áreas con bosque	0,2089	0,35	0,073
Áreas con bosque	0,14	0,30	0,041
Áreas con bosque	0,34	0,30	0,103
Total áreas de bosque	2,03	0,31	0,62
Potreros	0,06	0,35	0,02
Potreros	0,03	0,30	0,01
Potreros	0,03	0,30	0,01
Total áreas de potreros	0,12	0,32	0,04
Área Total	5,12		2,34
$C = \frac{\sum C_n * A_n}{A_T}$		0,46	

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.5. Caudales instantáneos máximos

Para el cálculo de los caudales máximos se utiliza la ecuación VII, método Racional para el cálculo de caudal instantáneo máximo.

$$Q = \frac{(C)(I)(A)}{3,6}$$

Donde:

Q= Caudal instantáneo máximo de descarga en m<sup>3</sup>/s

i = intensidad de la precipitación en milímetros por hora

A = área de la cuenca en kilómetros cuadrados

Tabla XIV. **Cálculo de los caudales instantáneos máximos**

Periodo de retorno ( años)	Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)
2	52,1
5	62,4
10	68,3
20	71,6
25	72,2
30	72,5
50	73
100	73,4

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. **Análisis regional de crecidas**<sup>17</sup>

Es una metodología generada por el INSIVUMEH denominada Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala, la cual fue publicada en el 2004, y está en función de los caudales máximos medios (QMM) y los cuartiles de caudales modulares regionales (K) para un período de retorno dado.

<sup>17</sup> Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala p.4

El análisis regional de crecidas consiste en la obtención de los registros de caudales máximos instantáneos observados por las estaciones hidrométricas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y del Instituto Nacional de Electrificación (INDE), cuyos registros tienen una periodicidad mayor a los 8 años.

Para la determinación de las distribuciones de frecuencia de las series de caudales modulares, las distribuciones teóricas utilizadas fueron Gumbel y Log-normal.

El procedimiento propuesto por el Departamento de Investigación y Servicios Hídricos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es el siguiente:

- Estimar el caudal máximo medio (QMM) mediante la ecuación  $QMM = B A^n$ , para la región II, pacífico sur occidental, donde los coeficientes B y n se encuentran en la tabla XIV.
- Obtener los caudales modulares ( $K_{TR}$ ) para un período de retorno a 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 500 y 1000 años de las tablas XV, XVI y XVII.
- Calcular el caudal para los períodos de retorno anteriormente mencionados con la ecuación  $Q_{TR} = QMM * K_{TR}$ .

Donde:

$K_{TR}$  = cuartil de caudal modular regional y que se obtiene de las tablas XV, XVI y XVII.

- De estos cálculos se obtuvieron 30 valores (ver tabla XVIII), para caudales con diferentes períodos de retorno, utilizando las distribuciones de frecuencia Gumbel, Log-normal y la envolvente.

Tabla XV. **Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas**

CURVAS CAUDAL ÍNDICE-ÁREA DE CUENCA TRIBUTARIA				
REGIONES	N	B	n	r <sup>2</sup>
Región I: Altiplano occidental	11,00	0,08	1,03	0,82
Región II: Pacífico sur occidental	10,00	84,00	0,24	0,18
Región III: Pacífico sur oriental	10,00	0,26	1,04	0,80
Región IV: Altiplano oriental	4,00	0,15	1,21	0,89
Región V: Motagua	12,00	3,62	0,64	0,79
Región VI: Polochic-Cahabon y bajo Motagua	17,00	0,75	0,91	0,85
Región VII: Planicie de Peten	5,00	0,22	0,90	0,90
Región VIII: Nororiental	17,00	2,99	0,65	0,75

Fuente: Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala.

Tabla XVI. **Cuartiles de caudales modulares regionales k según curva envolvente superior**

Cuartiles de caudales modulares regionales k según curva envolvente superior								
Región								
Tr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1000,00	6,30	6,70	7,60	7,60	6,30	7,20	4,70	7,00
500	5,73	6	6,8	6,85	5,66	6,45	4,3	6,3
100	4,44	4,44	5,1	5,3	4,2	4,9	3,38	4,7
50	3,95	3,9	4,36	4,6	3,66	4,26	3	4,1

Continuación de la tabla XVI.

Cuartiles de caudales modulares regionales k según curva envolvente superior								
Región								
Tr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
30	3,58	3,53	3,87	4,1	3,25	3,78	2,72	3,64
25	3,44	3,4	3,72	3,9	3,13	3,6	2,62	3,48
20	3,28	3,22	3,47	3,7	2,97	3,4	2,5	3,28
10	2,8	2,7	2,85	3,05	2,48	2,82	2,1	2,75
5	2,3	2,2	2,24	2,4	2	2,28	1,75	2,22
2	1,6	1,49	1,45	1,5	1,38	1,6	1,28	1,5

Fuente: Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala.

Tabla XVII. **Cuartiles de caudales modulares regionales k distribución de Gumbel**

Cuartiles de caudales modulares regionales k distribución de Gumbel								
REGIÓN								
T <sub>r</sub>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1 000,00	5,78	5,37	6,45	7,35	4,60	4,16	3,91	4,76
500,00	5,26	4,90	5,86	6,66	4,21	3,82	3,60	4,36
100,00	4,05	3,79	4,48	5,06	3,30	3,02	2,86	3,40
50,00	3,53	3,32	3,89	4,37	2,91	2,67	2,54	2,99
30,00	3,14	2,96	3,44	3,86	2,62	2,42	2,30	2,69
25,00	3,01	2,84	3,29	3,67	2,51	2,32	2,22	2,58
20,00	2,84	2,68	3,09	3,44	2,38	2,21	2,12	2,44
10,00	2,30	2,19	2,48	2,73	1,98	1,85	1,79	2,02
5,00	1,74	1,68	1,84	1,99	1,55	1,48	1,44	1,57
2,00	0,89	0,90	0,87	0,86	0,91	0,92	0,93	0,91

Fuente: Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala.

Tabla XVIII. **Cuartiles de caudales modulares regionales k distribución log-normal**

Cuartiles de caudales modulares regionales k distribución log-normal								
Región								
Tr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1000,00	5,69	5,79	14,54	11,18	4,45	7,18	6,28	6,10
500,00	5,01	5,09	11,12	9,26	3,99	5,90	5,25	5,26
100,00	3,59	3,62	5,62	5,66	3,01	3,61	3,35	3,56
50,00	3,04	3,05	4,06	4,43	2,61	2,87	2,71	2,95
30,00	2,66	2,66	3,15	3,63	2,33	2,40	2,30	2,54
25,00	2,53	2,53	2,87	3,37	2,23	2,25	2,17	2,40
20,00	2,37	2,37	2,55	3,06	2,11	2,07	2,01	2,24
10,00	1,89	1,88	1,75	2,20	1,74	1,59	1,58	1,76
5,00	1,43	1,42	1,16	1,46	1,38	1,20	1,21	1,33
2,00	0,82	0,82	0,66	0,65	0,87	0,80	0,82	0,81

Fuente: Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala.

### 3.3.1. **Determinación de caudales**<sup>18</sup>

El método utilizado para la determinación de los caudales máximos consiste en la determinación del caudal para un período de retorno determinado. Para la determinación del caudal máximo medio (QMM) se utilizaron los parámetros de ajuste B y n, para cada región de estudio, en el caso de la cuenca del río Xulá la región II, clasificada así por el departamento de investigación y servicios hídricos del INSIVUMEH.

<sup>18</sup> Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala. p. 2.

### 3.3.2. Caudales instantáneos máximos en la cuenca del río Xulá

Para la determinación de un caudal de diseño de las obras de protección se comparan los tres caudales resultantes para un período de retorno determinado en función de los caudales modulares regionales con tres tipos diferentes de distribuciones de frecuencia, en este caso Gumbel, Log-normal y envolvente superior.

Tabla XIX. **Caudales máximos, asociados a períodos de retorno (tr) en función de caudales modulares regionales k con distribuciones indicadas**

Caudales máximos, asociados a períodos de retorno (tr) en función de caudales modulares regionales k con distribuciones indicadas			
TR	QTR GOMBEL (m3/s)	QTR LOG (m3/s)	QTR ENV (m3/s)
1 000	667,54	719,75	832,87
500	609,12	632,74	745,86
100	471,13	450,00	551,94
50	412,71	379,15	484,81
30	367,96	330,66	438,81
25	353,04	314,50	422,65
20	333,15	294,61	400,28
10	272,24	233,70	335,64
5	208,84	176,52	273,48
2	111,88	101,93	185,22

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Comparación de resultados

En la siguiente tabla puede observarse la comparación de resultados con los métodos desarrollados, la diferencia entre resultados es abrumadora, sin embargo, deberán considerarse varios aspectos antes de llegar a una conclusión, como el área considerablemente pequeña de la cuenca en estudio, y las curvas de intensidad, duración y frecuencia utilizadas.

Para fines de diseño de las obras de protección y la modelación hidráulica con el software HEC-RAS, se propone utilizar como caudales de diseño los resultados obtenidos por el método racional, considerándolos un resultado más certero y cercano a la realidad.

Tabla XX. **Comparativa de caudales instantáneos máximos**

	PR	Q <sub>DIS</sub> RACIONAL	Q <sub>TR</sub> GOMBEL	Q <sub>TR</sub> LOG	Q <sub>TR</sub> Envolvente
Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)	2	52,1	173,00	157,62	286,41
Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)	5	62,4	322,93	272,95	422,88
Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)	10	68,3	420,96	361,37	518,99
Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)	20	71,6	515,15	455,56	618,95
Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)	25	72,2	545,90	486,32	653,55
Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)	30	72,5	568,97	511,31	678,54
Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)	50	73,0	638,17	586,27	749,66
Caudales de diseño (m <sup>3</sup> /s)	100	73,4	728,51	695,84	853,46

Fuente: elaboración propia.

## **4. APLICACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO HEC-RAS EN EL TRAMO CANTÓN SANTA TERESA, DEL RÍO XULÁ, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE CUYOTENANGO**

### **4.1. Conceptos básicos de hidráulica de canales abiertos**

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye por una superficie libre y de acuerdo a su origen puede ser natural o artificial.<sup>19</sup> El flujo en canal abierto debe tener una superficie libre, en tanto que el flujo en tubería no la tiene, debido a que en este caso el agua debe llenar completamente el conducto.

#### **4.1.1. Tipos de flujo en canales abiertos**

El flujo de canales abiertos tiene lugar cuando los líquidos fluyen por la acción de la gravedad y solo están parcialmente envueltos por un contorno sólido. El líquido que fluye tiene superficie libre y sobre él no actúa otra presión que la debida a su propio peso y a la presión atmosférica.

##### **4.1.1.1. Flujo permanente**

Se dice que el flujo de un canal es permanente si el tirante del flujo no cambia o puede considerarse constante durante un período de tiempo prudencial.

<sup>19</sup> Ven Te Chow Hidráulica de canales abiertos. p. 19.

#### 4.1.1.2. Flujo no permanente

Es no permanente si la profundidad no cambia con el tiempo. En la mayor parte de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes. Las crecidas son ejemplos de flujos no permanentes y el elemento tiempo se vuelve vital en el diseño de las obras de control de crecidas.

#### 4.1.2. Geometría de canales

La sección transversal de un canal natural es generalmente de forma muy irregular y varia de un lugar a otro, desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio.

- y = Tirante de agua
- T = Espejo de agua o superficie libre de agua
- H-y = Borde libre
- $\theta$  = Ángulo de inclinación de las paredes laterales con la horizontal
- b = Base del canal o ancho de solera
- H = Profundidad total del canal
- C = Ancho de corona
- Z:1 = Talud, horizontal: vertical

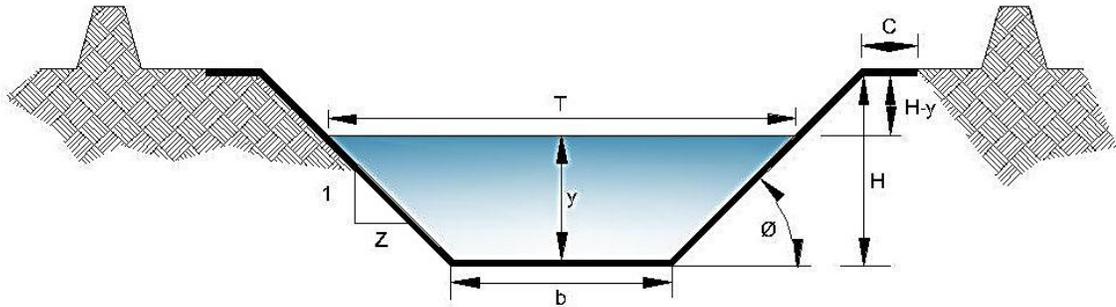
Área hidráulica:  $A = \{(b + Z \cdot y) \cdot y\}$

Radio hidráulico:  $R = A/P$

Perímetro mojado:  $P = b + 2 \cdot y \cdot (1 + Z^2)^{0,5}$

Tirante hidráulico o tirante medio:  $\bar{y} = A/T$

Figura 12. Geometría de canales abiertos



Fuente: LICKEZ, Carlos. Diseño de las obras de mitigación en las áreas susceptibles a inundaciones en el río la Quebrada de las Casas. p. 62.

#### 4.2. Introducción al programa HEC-RAS

HEC-RAS es un paquete integrado de programas de análisis hidráulico distribuido por el centro de ingeniería hidrológica (Hydrologic engineering center (HEC)), en el cual el usuario interactúa a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI) y ejecutable en una plataforma Windows, el programa es capaz de calcular el perfil de superficie de agua de flujo permanente, no permanente e incluye cálculo de sedimentos y diseños hidráulicos.

Los datos ingresados para el procesamiento de análisis y la generación de resultados por el software HEC RAS son:

- La superficie digital del área de estudio, en este caso la superficie donde está ubicado el cantón Santa Teresa.

- Los caudales máximos instantáneos calculados a partir de las curvas de intensidad, duración y frecuencia de la estación meteorológica de Retalhuleu.
- Los coeficientes de rugosidad de Manning, que varían entre 0,05 y 0,07.

Esta información integrada proporciona en forma gráfica, las cotas de crecida y las áreas de inundación (ver tabla XXI).

#### **4.3. Procesamiento y análisis de la información**

Para el ingreso y procesamiento de la información de la cuenca del río Xulá, se utilizó el software HEC-RAS, teniendo cuidado de no ingresar datos que puedan dar como resultado respuestas erróneas, y se utilizó el siguiente procedimiento:

##### **4.3.1. Levantamiento topográfico**

El cantón Santa Teresa es un asentamiento humano, ubicado en la ribera del río Xulá y en el área central del municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez. El área se ha visto afectada actualmente por inundaciones. El área de análisis de crecidas es coincidente con las áreas vulnerables que van desde la estación 0+00 (aguas arriba) a la estación 3+40 (puente sobre la CA-2 occidente), para un total de 340 metros lineales, con un ancho promedio de 15 metros lineales.

El procedimiento para el cálculo de las cotas de crecidas máximas consiste como primer paso un levantamiento topográfico del área de interés, en este caso del cantón Santa Teresa con el estacionamiento antes mencionado,

generando una superficie digital con interpolación de curvas de nivel a cada 0,50 metros, dando la precisión necesaria para los detalles de las secciones longitudinales.

Figura 13. **Proyección de crecida en el área del cantón Santa Teresa, municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez**

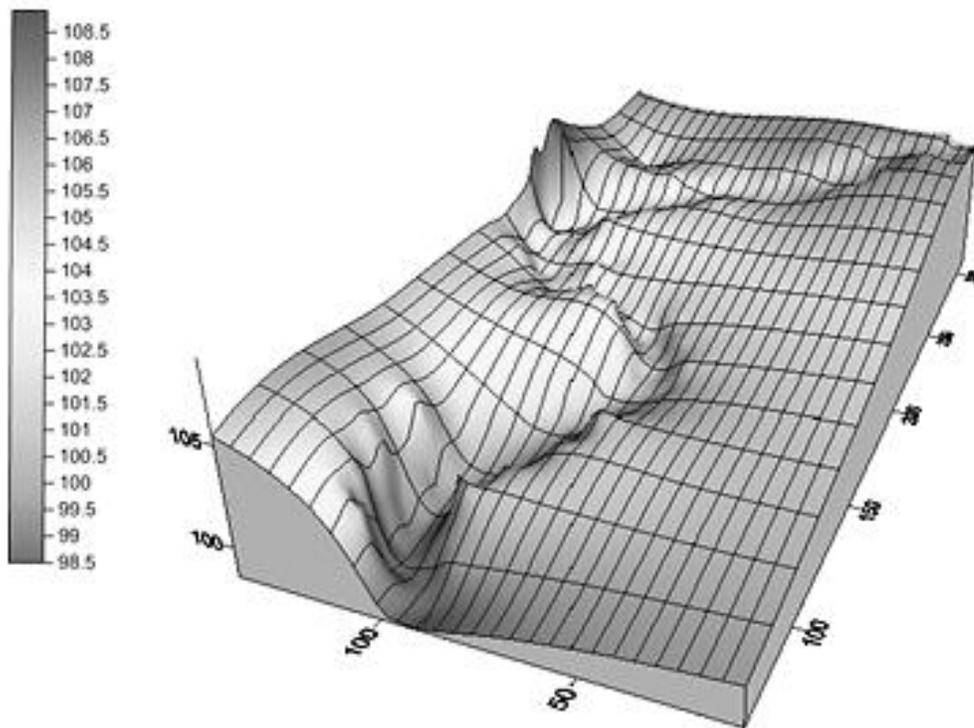


Fuente: elaboración propia, con programa Google Earth.

Para la proyección de crecidas máximas las secciones longitudinales se dibujaron a cada 10 metros, de las cuales se crearon 34, seccionando el río de forma perpendicular al centro de éste, proporcionando información de las pendientes de taludes, necesaria para las cotas de crecida, y la ubicación de las áreas afectadas.

El río Xulá se divide en dos brazos, cada uno con longitudes de 5 470 metros para el principal y 2 890 metros para el secundario, siendo la pendiente media del cauce principal de 2,92 por ciento.

Figura 14. **Proyección de microcuenca del río Xulá**



Fuente: elaboración propia, con programa Land 2009.

Con la información obtenida se generó la figura 14, que es la representación gráfica de la microcuenca, siendo el área con mayor vulnerabilidad a inundaciones ocasionadas por el río Xulá en el cantón Santa Teresa.

#### **4.3.2. Cálculo del caudal instantáneo máximo de diseño utilizado para la simulación hidráulica en HEC-RAS**

La elección está en función del factor de seguridad y el criterio del diseñador. En este caso los resultados que se utilizan para la simulación hidráulica es el caudal calculado por el método racional.

#### **4.3.3. Selección de los coeficientes de rugosidad de Manning**

El coeficiente de rugosidad de Manning, está en función del tipo de suelo del material de fondo del cauce. El río Xulá es un río de la bocacosta de la región suroccidental de la República de Guatemala, la topografía en esta zona se caracteriza por sus altas pendientes y ríos caudalosos, que descienden de la sierra madre, que cruza el país de oriente a occidente, y que también tiene características ígneas, debido a esto el arrastre de los ríos característicos de la región son cantos rodados, de tamaños considerables y de origen ígneo.

En función de estas características se utilizaron los coeficientes de rugosidad recomendados por el método del libro *guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. En la selección de una base de valor  $n$  de las subsecciones de canal, el cual debe ser clasificado como un canal estable o como un canal de arena.

Un canal estable se define como un canal en el que se compone el lecho de suelo firme, grava, guijarros, cantos rodados, o lecho rocoso y el canal permanece relativamente sin cambios durante la mayor parte de la gama de flujo. Las condiciones del lecho del río Xulá se pueden definir como un canal estable debido a la alta concentración de cantos rodados, de diferentes tamaños, que son arrastrados desde aguas arriba de la cuenca.

Tabla XXI. **Coefficientes de rugosidad de Manning (n)**

Material de la cama	Tamaño de la partícula media (mm)	Canales rectos	Canales sin problemas
Arena	0,20	0,012	--
	0,30	0,017	--
	0,40	0,02	--
	0,50	0,022	--
	0,60	0,023	--
	0,80	0,025	--
	1,00	0,026	--
Concreto	--	0,012 a 0,018	
Corte de roca	--		
Suelo firme	--	0,025 a 0,032	
Arena gruesa	1 a 2	0,026 a 0,035	
Grava fina	--		
Grava	2 a 64	0,0258 a 0,035	
Grava gruesa	--		
Roca	más de 256	0,040 a 0,070	

Fuente: guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, section 1.

#### 4.4. Hidráulica fluvial del río Xulá

A continuación se presentan los datos tabulados de la hidráulica fluvial, generados por el software HEC-RAS, en base a los caudales de diseño calculados. Los datos están tabulados por caminamientos y muestran, para cada período de retorno los diferentes caudales, cotas de crecida, velocidad del río y áreas inundadas.

Tabla XXII. **Hidráulica fluvial río Xulá, estación indicada**

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
0+00	2	52,10	106,2	107,35	107,35	3,33	17,76	0,99
0+00	5	62,40	106,20	107,48	107,48	3,52	20,33	0,99
0+00	10	68,30	106,20	107,56	107,56	3,62	21,75	0,99
0+00	20	71,60	106,20	107,60	107,60	3,67	22,58	0,99
0+00	25	72,20	106,20	107,61	107,61	3,68	22,72	0,99
0+00	30	72,50	106,20	107,61	107,61	3,68	22,79	0,99
0+00	50	73,00	106,20	107,62	107,62	3,69	22,91	0,99
0+00	100	73,40	106,20	107,62	107,62	3,70	23,00	0,99

Estación	Período Retorno	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
0+10	2	52,10	106,20	107,16	107,16	3,08	19,01	1,01
0+10	5	62,40	106,20	107,27	107,27	3,27	21,64	1,01
0+10	10	68,30	106,20	107,34	107,34	3,35	23,20	1,00
0+10	20	71,60	106,20	107,37	107,37	3,42	23,93	1,01
0+10	25	72,20	106,20	107,37	107,37	3,42	24,08	1,01
0+10	30	72,50	106,20	107,38	107,38	3,43	24,16	1,01
0+10	50	73,00	106,20	107,38	107,38	3,44	24,29	1,01
0+10	100	73,40	106,20	107,39	107,39	3,44	24,39	1,01

Continuación de la tabla XXII.

Estación	Período Retorno  (Años)	Caudal Total  (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima  (m)	Crecida máxima  (m)	Cota Inundación  (m)	Velocidad   (m/s)	Área   (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
0+20	2	52,10	105,90	107,26	107,26	3,09	19,76	0,95
0+20	5	62,40	105,90	107,37	107,37	3,29	22,45	0,97
0+20	10	68,30	105,90	107,44	107,44	3,38	24,09	0,96
0+20	20	71,60	105,90	107,48	107,48	3,43	24,98	0,96
0+20	25	72,20	105,90	107,48	107,48	3,44	25,14	0,96
0+20	30	72,50	105,90	107,49	107,49	3,44	25,22	0,96
0+20	50	73,00	105,90	107,49	107,49	3,45	25,35	0,96
0+20	100	73,40	105,90	107,50	107,50	3,45	25,46	0,96

Estación	Período Retorno	Caudal Total  (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima  (m)	Crecida máxima  (m)	Cota Inundación  (m)	Velocidad   (m/s)	Área   (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
0+30	2	52,10	105,90	106,85	106,85	2,99	19,71	0,98
0+30	5	62,40	105,90	106,96	106,96	3,16	22,55	0,98
0+30	10	68,30	105,90	107,02	107,02	3,24	24,20	0,98
0+30	20	71,60	105,90	107,05	107,05	3,29	25,06	0,98
0+30	25	72,20	105,90	107,06	107,06	3,31	25,12	0,98
0+30	30	72,50	105,90	107,06	107,06	3,32	25,20	0,98
0+30	50	73,00	105,90	107,07	107,07	3,32	25,35	0,98
0+30	100	73,40	105,90	107,07	107,07	3,33	25,46	0,98

Continuación de la tabla XXII.

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
0+40	2	52,10	105,30	106,28	106,28	3,17	18,41	1,02
0+40	5	62,40	105,30	106,41	106,41	3,32	21,27	1,01
0+40	10	68,30	105,30	106,47	106,47	3,44	22,59	1,02
0+40	20	71,60	105,30	106,50	106,50	3,52	23,25	1,03
0+40	25	72,20	105,30	106,49	106,49	3,56	23,14	1,04
0+40	30	72,50	105,30	106,50	106,50	3,57	23,21	1,04
0+40	50	73,00	105,30	106,51	106,51	3,56	23,43	1,03
0+40	100	73,40	105,30	106,50	106,50	3,60	23,31	1,05

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
0+50	2	52,10	105,30	106,48	106,48	3,33	23,01	0,98
0+50	5	62,40	105,30	106,60	106,60	3,49	26,58	0,98
0,+50	10	68,30	105,30	106,65	106,65	3,59	28,40	0,98
0+50	20	71,60	105,30	106,68	106,68	3,65	29,36	0,99
0+50	25	72,20	105,30	106,69	106,69	3,66	29,53	0,99
0+50	30	72,50	105,30	106,69	106,69	3,67	29,61	0,99
0+50	50	73,00	105,30	106,69	106,69	3,67	29,75	0,99
0+50	100	73,40	105,30	106,70	106,70	3,68	29,86	0,99

Continuación de la tabla XXII.

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
1+00	2	52,10	104,40	105,51	105,51	2,88	25,65	0,87
1+00	5	62,40	104,40	105,59	105,59	3,11	28,67	0,91
1+00	10	68,30	104,40	105,61	105,61	3,33	29,40	0,97
1+00	20	71,60	104,40	105,64	105,64	3,35	30,88	0,96
1+00	25	72,20	104,40	105,65	105,65	3,34	31,32	0,95
1+00	30	72,50	104,40	105,66	105,66	3,35	31,43	0,95
1+00	50	73,00	104,40	105,66	105,66	3,37	31,47	0,96
1+00	100	73,40	104,40	105,66	105,66	3,37	31,65	0,96

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
1+50	2	52,10	103,50	104,47	104,47	2,93	22,26	0,95
1+50	5	62,40	103,50	104,57	104,57	3,11	25,23	0,96
1+50	10	68,30	103,50	104,63	104,63	3,17	27,24	0,95
1+50	20	71,60	103,50	104,66	104,66	3,22	28,14	0,96
1+50	25	72,20	103,50	104,65	104,65	3,27	27,94	0,97
1+50	30	72,50	103,50	104,66	104,66	3,27	28,07	0,97
1+50	50	73,00	103,50	104,66	104,66	3,27	28,24	0,97
1+50	100	73,40	103,50	104,66	104,66	3,28	28,30	0,97

Continuación de la tabla XXII.

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
2+00	2	52,10	101,70	102,84	102,85	3,21	17,47	0,98
2+00	5	62,40	101,70	102,92	102,98	3,56	19,09	1,05
2+00	10	68,30	101,70	102,97	103,06	3,71	20,14	1,07
2+00	20	71,60	101,70	103,00	103,10	3,79	20,75	1,08
2+00	25	72,20	101,70	103,01	103,11	3,80	20,86	1,08
2+00	30	72,50	101,70	103,01	103,11	3,81	20,91	1,08
2+00	50	73,00	101,70	103,02	103,11	3,82	21,00	1,08
2+00	100	73,40	101,70	103,02	103,12	3,83	21,07	1,08

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
2+50	2	52,10	100,80	101,74	101,74	2,76	19,91	0,99
2+50	5	62,40	100,80	101,84	101,84	2,93	22,62	0,99
2+50	10	68,30	100,80	101,90	101,90	3,00	24,28	0,98
2+50	20	71,60	100,80	101,93	101,93	3,05	25,11	0,98
2+50	25	72,20	100,80	101,93	101,93	3,07	25,14	0,99
2+50	30	72,50	100,80	101,93	101,93	3,07	25,22	0,99
2+50	50	73,00	100,80	101,93	101,93	3,08	25,35	0,99
2+50	100	73,40	100,80	101,94	101,94	3,09	25,45	0,99

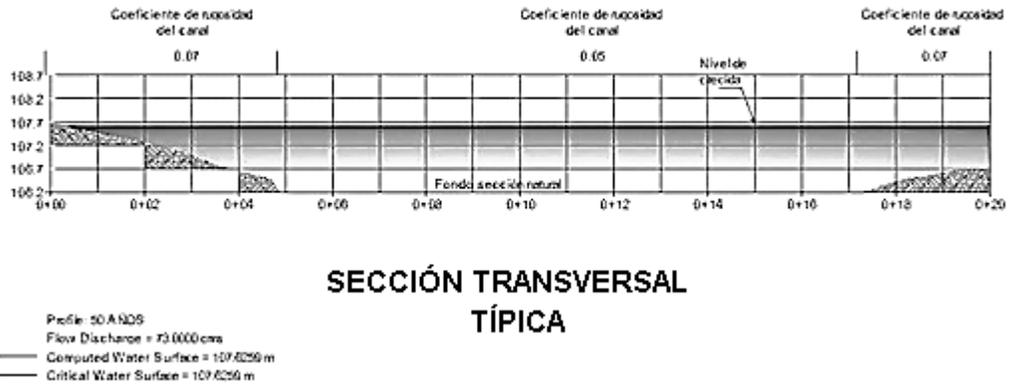
Continuación de la tabla XXII.

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
3+00	2	52,10	98,70	99,74	99,93	3,92	13,97	1,36
3+00	5	62,40	98,70	99,82	100,07	4,30	15,32	1,43
3+00	10	68,30	98,70	99,87	100,14	4,45	16,24	1,45
3+00	20	71,60	98,70	99,88	100,17	4,62	16,42	1,49
3+00	25	72,20	98,70	99,88	100,18	4,67	16,40	1,51
3+00	30	72,50	98,70	99,88	100,18	4,68	16,41	1,51
3+00	50	73,00	98,70	99,88	100,19	4,70	16,46	1,52
3+00	100	73,40	98,70	99,88	100,19	4,72	16,49	1,52

Estación	Período Retorno (Años)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /s)	Cota canal mínima (m)	Crecida máxima (m)	Cota Inundación (m)	Velocidad (m/s)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de Froude
3+40	2	52,10	98,70	100,16	100,16	3,73	15,34	0,99
3+40	5	62,40	98,70	100,34	100,34	3,95	17,53	0,98
3+40	10	68,30	98,70	100,43	100,43	4,08	18,61	0,99
3+40	20	71,60	98,70	100,48	100,48	4,15	19,24	0,99
3+40	25	72,20	98,70	100,49	100,49	4,16	19,36	0,99
3+40	30	72,50	98,70	100,49	100,49	4,17	19,43	0,99
3+40	50	73,00	98,70	100,50	100,50	4,18	19,51	0,99
3+40	100	73,40	98,70	100,51	100,51	4,19	19,58	0,99

Fuente: cálculo Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC- RAS).

Figura 15. **Sección longitudinal típica proyección de crecida máxima**



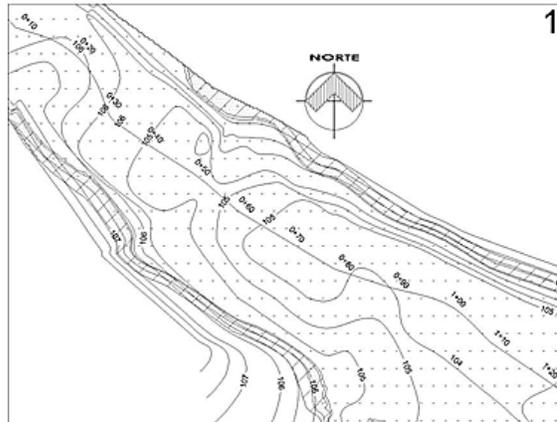
Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

En la sección típica se muestran los datos de las cotas de crecidas máximas, el coeficiente de rugosidad de Manning. Lo cual da una idea general de la información obtenida en la tabla XXII.

#### 4.5. **Modelación hidráulica, aplicada al tramo del río Xulá ubicado en el municipio de Cuyotenango**

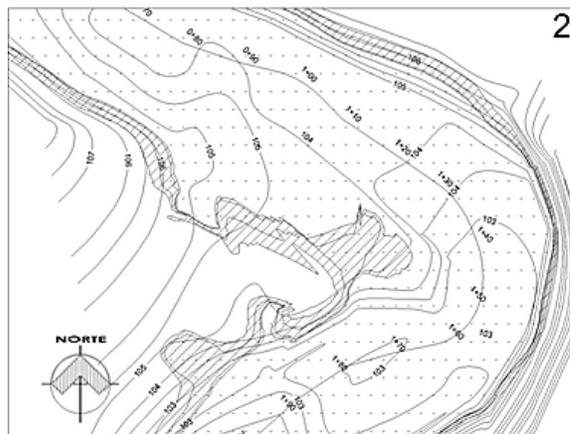
Con ayuda de ortofotos del área de estudio y las proyecciones de crecidas generadas por el software HEC RAS se generan mapas de inundación para el período de retorno de 50 años.

Figura 16. **Proyección de crecidas del río Xulá, en el primer tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez**



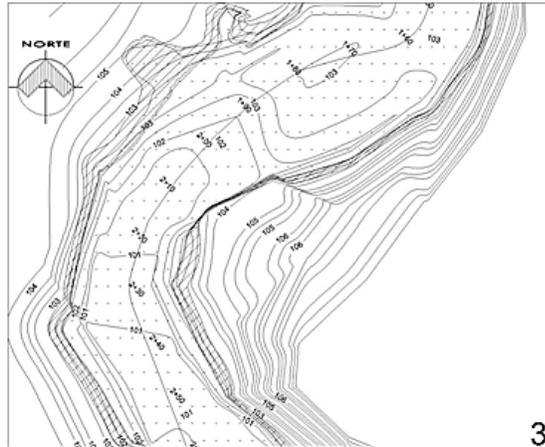
Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

Figura 17. **Proyección de crecidas del río Xulá en el tercer tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez**



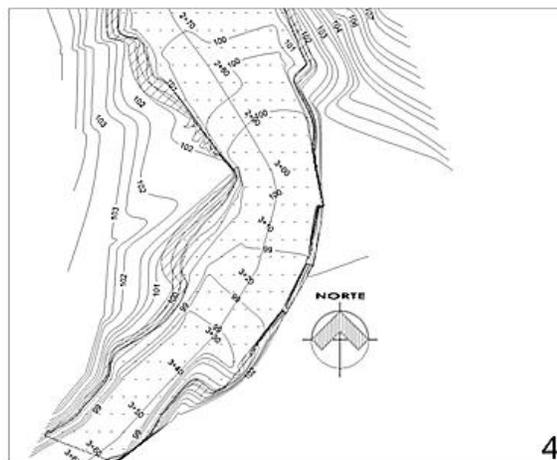
Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

Figura 18. **Proyección de crecidas en el río Xulá en el segundo tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez**



Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

Figura 19. **Proyección de crecidas en el río Xulá en el cuarto tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez**



Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

Como puede observarse la proyección de crecidas muestran las áreas con diferentes grados de inundación consecuente a los caudales de diseños calculados anteriormente. Con base en criterio anterior no se considera importante generar mapas de inundación de todos los períodos de retorno, y se presenta un mapa con las proyecciones de inundaciones para un período de retorno de 50 años, que considera el de crecidas y caudales críticos.

Figura 20. **Modelación hidráulica para un período de retorno de 50 años con caudales y crecidas críticas**



Fuente: Sistema de Información Geográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

#### **4.6. Conclusiones de la modelación hidráulica con el software HEC-RAS**

Como puede observarse en el mapa con la proyección de crecida crítica las áreas con mayor riesgo de inundación y que deberán considerarse para la implementación de obras de defensa a inundaciones son:

- 0+00 a 0+100: en el inicio del área de estudio se encuentra un área con altas probabilidades de inundación que afectará al cantón Santa Teresa, por lo que se protegerá esta área en ambas márgenes de la ribera.
- 0+100 a 0+150: los meandros producen migración de sólidos sedimentables por el proceso de erosión en las curvas, por lo que se deberá proteger el área del meandro en ambas riberas.
- 0+340: el descenso temporal del fondo del río puede provocar un hundimiento diferencial en las pilas y estribos del puente, por lo que se deberán proteger las riberas del río Xulá en el área cercana a los aproches del puente.



## **5. PROPUESTAS DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN**

### **5.1. Descripción de las obras de protección**

El agua es uno de los recursos naturales más valiosos de cualquier país debido, a los beneficios sociales y económicos que se derivan de su consciente explotación; sin embargo, junto con las ventajas existen también algunos inconvenientes tales como las inundaciones. Dentro de las técnicas utilizadas en la construcción de obras destinadas a la protección de riberas de ríos, se tienen las siguientes:

- Emplazamiento de espigones
- Muros de protección longitudinal

#### **5.1.1. Muros de protección longitudinal (bordas)**

Un muro de contención es un elemento estructural que soporta el empuje lateral de un material a granel. Las obras de protección efectuadas con muros longitudinales, persiguen dos objetivos: defensa contra desbordamientos y protección directa de riberas.

##### **5.1.1.1. Defensa contra desbordamientos**

En los ríos de la boca costa el desfogue del caudal es ineficiente debido a diferentes configuraciones de las relaciones cauce/suelo, por esta razón en épocas de avenidas la sección útil resulta insuficiente para descargar el caudal, la defensa contra desbordamientos tiene como finalidad la delimitación de los

sectores con deficiencia de desfogue de caudal a través de emplazamientos de muros longitudinales que impiden el desborde del cauce.

### **5.1.2. Espigones**

El termino espigón se usa a menudo cuando se hace referencia a cualquier obra construida en dirección del río, desde la orilla, con cualquier ángulo en la dirección del flujo, con el objeto de desviar el flujo hacia el área deseada, evitando así la erosión de las riberas.

## **5.2. Análisis del caso**

Una de las características del río Xulá es su sección profunda, debido a ciertas características del suelo y a la pendiente de la cuenca que permite velocidades del flujo que arrastran grandes cantidades de sólidos.

Sin embargo, la sección no es lo suficientemente ancha para permitir el eficiente desfogue del caudal en épocas de avenidas, esta característica tampoco permite usar espigones como solución de protección de riberas.

La solución propuesta, en función de las características del cauce, es la construcción de muros longitudinales, hechos con gaviones, sobre las áreas identificadas anteriormente, utilizando para su diseño las alturas de crecidas máximas calculadas con el software HEC-RAS.

### **5.2.1. Selección de la estructura propuesta**

Se propone un método económico para la construcción de muros que protegerán las áreas susceptibles a inundaciones en la ribera del río Xulá, es el

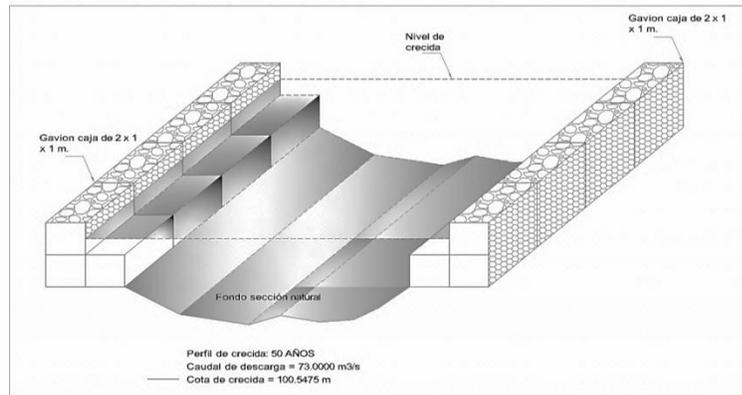
uso de elementos fabricados con gaviones de sección triangular, elaborados en el sitio, con material del lugar aprovechando el canto rodado abundante en el cauce del río. Por su fácil colocación no se necesita mano de obra calificada. El diseño de los gaviones se basa según la Norma de la American Standard Testing of Materials (ASTM), la norma que regula la malla de los gaviones es la ASTM A 975-97.

Los gaviones son cestas de malla triple torsión de alambre de medidas variables, cuya unidad es dividida uniformemente en celdas. Posteriormente, las cestas son conectadas a unidades similares, llenadas con roca en el sitio del proyecto, para formar estructuras flexibles, permeables y monolíticas usadas como muros de retención.

El alambre usado en los gaviones es fabricado de acero dúctil, fuertemente galvanizado (clase III) y tejido con triple torsión, para conformar una malla, lo cual forma una estructura íntegra, continua y resistente. Cuando los gaviones serán colocados en ambientes agresivos, se adiciona al alambre galvanizado un recubrimiento adicional de cloruro de polivinilo (pvc) antes de ser tejido en la malla. El pvc protegerá al alambre y le dará futura resistencia contra agentes químicos, biológicos o corrosivos, además proporciona flexibilidad, permeabilidad, resistencia y versatilidad, son las características más notables que los gaviones aportan para sus distintos usos y diferentes condiciones<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Fuente: Macafferri

Figura 21. **Proyección isométrica del muro de protección propuesto**



Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

## 5.2.2. Análisis estructural

Se refiere al uso de las ecuaciones de la resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura resistente, como edificaciones.

### 5.2.2.1. Capacidad soporte del suelo de fundación<sup>21</sup>

Para determinar la capacidad soporte del suelo se utilizará el método de Terzagui, el análisis se refiere a la determinación de parámetros de resistencia de los suelos mediante el ensayo de compresión triaxial, se basa en la norma AASHTO T234. El tipo de ensayo es no consolidado no drenado (UU), los parámetros obtenidos son el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y cohesión ( $C_u$ ), los

Fuente: DAS, Braja M. Principios de ingeniería de cimentaciones, factores de capacidad de carga de Terzaghi. p. 158.

cuales se emplean en el análisis de estabilidad de la estructura propuesta para la mitigación de inundaciones.

- Cálculo de carga última

$$q_u = C(N_c) + q(N_q) + \frac{1}{2}(\gamma)(B)(N_\gamma)$$

Donde:

$N_c, N_q, N_\gamma$  = Factores de capacidad de carga adimensionales de Terzaghi

$\gamma$  = Peso específico del suelo

$B$  = Base transversal de la cimentación

$C$  = Cohesión

$D_f$  = Cota de desplante

$q = \gamma(D_f)$

Tabla XXIII. Factores de capacidad de carga adimensional

$\Phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\Phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5,7	1	0	13	12,11	4,02	1,26
1	6	1,1	0,01	14	12,86	4,45	1,52
2	6,3	1,22	0,04	15	13,68	4,92	1,82
3	6,62	1,35	0,06	16	14,6	5,45	2,18
4	6,97	1,49	0,1	17	15,12	6,04	2,59
5	7,34	1,64	0,14	18	16,56	6,7	3,07
6	7,73	1,81	0,2	19	17,69	7,44	3,64
7	8,15	2	0,27	20	18,92	8,26	4,31
8	8,6	2,21	0,35	21	20,27	9,19	5,09
9	9,09	2,44	0,44	22	21,75	10,23	6,00
10	9,61	2,69	0,56	23	23,36	11,4	7,08
11	10,76	3,29	0,85	24	25,13	12,72	8,34
12	11,41	3,63	1,04				

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.2.2. Memoria de cálculo

Las memorias de cálculo son los procedimientos descritos de forma detallada de cómo se realizaron los cálculos de las ingenierías que intervienen en el desarrollo de un proyecto de construcción.

$$q_u = C(N_c) + q(N_q) + \frac{1}{2}(\gamma)(B)(N_\gamma)$$

$$q_u = 6\,240 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} (23,36) + 0,50 \text{ m} (11,4) + \frac{1}{2} \left( 1510 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (2)(7,08)$$

$$q_u = 15,64 \frac{\text{kilogramo}}{\text{cm}^2}$$

- Cálculo del coeficiente de empuje activo ( $K_a$ )

Donde:

$$\beta = 90^\circ$$

$$\phi = 22,72^\circ$$

$$\varepsilon = 0$$

$$\delta = 0,90 \phi, \text{ debido que atrás del muro hay geotextil}$$

$$K_a = \frac{\text{Sen}^2(\beta + \phi)}{\text{Sen}^2(\beta) \text{sen}(\beta - \delta) \left[ 1 + \left( \frac{\text{sen}(\phi - \delta) \text{sen}(\phi - \varepsilon)}{\text{sen}(\beta - \delta) \text{sen}(\beta - \varepsilon)} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$K_a = \frac{\text{Sen}^2(90 + 22,72)}{\text{Sen}^2(90) \text{sen}[90 - 0,90(22,72)] \left[ 1 + \left( \frac{\text{sen}(22,72 - (0,90)(22,72)) \text{sen}(22,72 - 0)}{\text{sen}(90 - (0,9)(22,72)) \text{sen}(90 - 0)} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$K_a = 0,7210$$

- Empuje activo ( $E_A$ )

Donde:

$$\gamma_{\text{suelo}} = 1\,510 \frac{\text{kilogramo}}{\text{metro cúbico}}$$

$H_m$  = altura del muro

$K_a$  = coeficiente de empuje activo

$$E_A = \frac{1}{2} (\gamma_{\text{suelo}}) (H_m^2) (K_a)$$

$$E_A = \frac{1}{2} \left( 1510 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (2^2) (0,7210) = 2\,177,42 \text{ kilogramos}$$

- Momento por volcamiento ( $M_v$ )

$$M_v = E_A (H_m) \left( \frac{1}{3} \right) = (2\,177,42 \text{ kg})(2 \text{ m}) \left( \frac{1}{3} \right) = 1451,61 \text{ kilogramo-metro}$$

Cálculo del momento estabilizante ( $M_E$ )

- Peso total del muro de gaviones ( $W_t$ )

$$W_t = (2 \text{ m})(1 \text{ m})(1 \text{ m})(0,80) \left( 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (3 \text{ gaviones}) = 12\,960 \text{ kilogramos}$$

Donde:

0,80 = relación de vacíos

2 metros x 1 metros x 1 metros = dimensiones del gavión

$$\gamma_{\text{roca}} = 2\,700 \frac{\text{kilogramo}}{\text{metro cúbico}}$$

- Momento estabilizante ( $M_E$ )

$$M_E = 12\,960(0,50)(2,00) = 12\,960 \text{ kilogramo – metro}$$

- Factor de seguridad de volcamiento ( $F_s$ )

$$F_s = \frac{M_E}{M_V} > 2$$

$$F_s = \frac{12\,960 \text{ kg-m}}{1\,451,61 \text{ kg-m}} = 8,92 > 2 \text{ Cumple}$$

- Factor de seguridad de deslizamiento ( $F_{sv}$ )

$$N = \sum W = 12\,960 = 12\,960 \text{ kilogramos}$$

$$F_{sv} = \frac{\mu^* N}{E_A} = \frac{\tan(22,72^\circ) * 12\,960 \text{ kilogramos}}{2\,177,42 \text{ kilogramos}} = 2,49 > 1,5 \text{ Cumple}$$

- Punto de aplicación de la normal

$$x \left( \sum N \right) = M_E - M_V$$

$$X = \frac{M_E - M_V}{\sum N} = \frac{12\,960 \text{ kg-m} - 1\,451,61 \text{ kg-m}}{12\,960 \text{ kilogramos}} = 0,88 \text{ metros}$$

- Excentricidad

$$e = \frac{B}{2} - X$$

$$e = \frac{2}{2} - 0,88 \text{ metros} = 0,12 \text{ metros}$$

$$\frac{B}{6} > e = \frac{2}{6} > 0,12$$

- Verificación de la presión en el suelo de fundación

$$\sigma_1 = \frac{N}{\text{Área}} \left( 1 \pm \frac{6(e)}{B} \right)$$

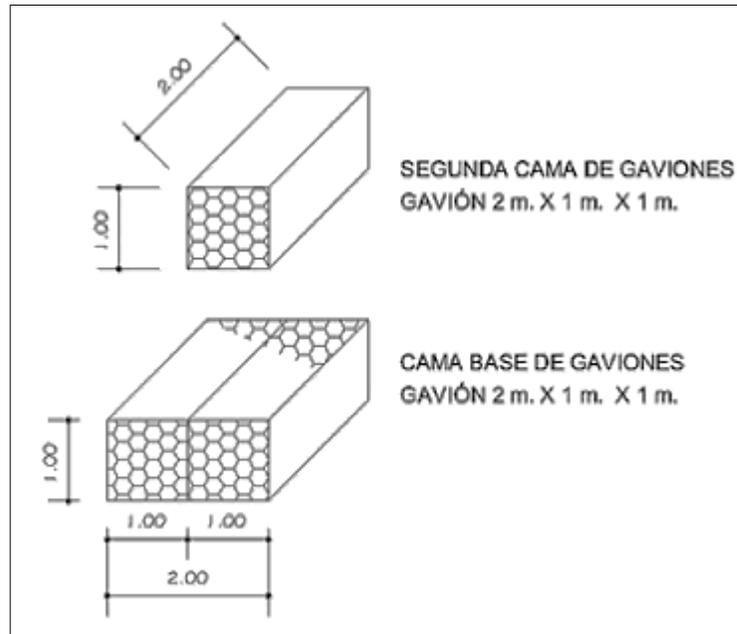
$$\sigma = \frac{12\,960 \text{ kg}}{(2 \text{ gaviones})(200 \text{ cm})(100 \text{ cm})} \left( 1 \pm \frac{6(0,12 \text{ cm})}{200 \text{ cm}} \right)$$

$$\sigma^1 = 0,3251 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 15,64 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma^2 = 0,3228 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > 0$$

En conclusión la carga por metro cuadrado aportada por los materiales que conforman el muro de prevención de inundaciones en el río Xulá es soportada por el suelo de fundación.

Figura 22. **Detalle del muro de gaviones**



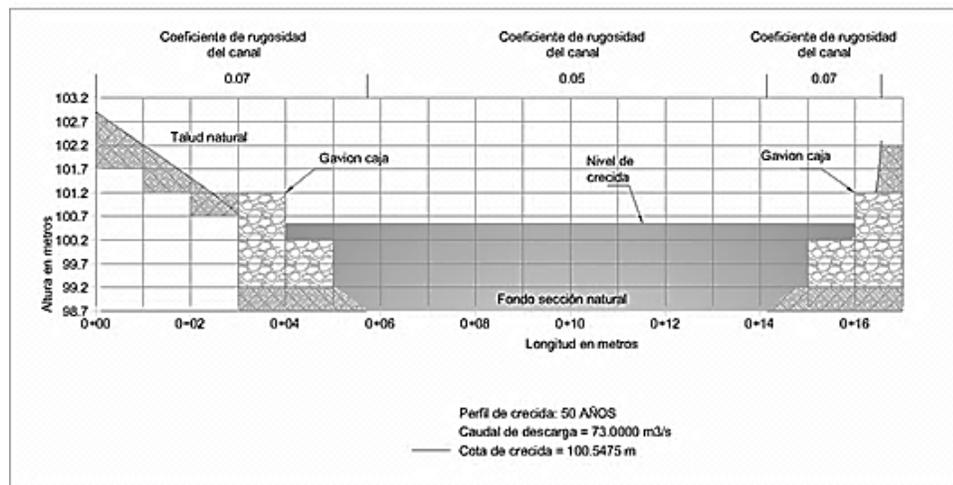
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCad 2010.

## 6. RECTIFICACIÓN HIDRÁULICA CON LAS OBRAS DE PROTECCIÓN PROPUESTAS

### 6.1. Modelación hidráulica con el software HEC-RAS con las estructuras propuestas

Para comprobar que las crecidas del río Xulá serán contenidas por las estructuras propuestas de protección de ribera, en el área del cantón Santa Teresa del municipio de Cuyotenango, se agregó a las secciones transversales la sección típica el muro de defensa para comprobar de forma hidráulica su funcionamiento.

Figura 23. Sección longitudinal del río Xulá con la proyección de crecida máxima y las obras de protección propuesta



Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

Como puede observarse en la proyección de crecida para un caudal de 73,0 metros cúbicos por segundo, equivalente para un período de retorno de 50 años, la obra de protección propuesta soporta el tirante con un margen de seguridad aceptable.

Por lo que se considera una solución viable el muro de defensa de la ribera del río Xulá con una altura de 2 metros, construido con gavión caja de 2 metros de largo, por 1 metro de ancho, por 1 metro de alto.

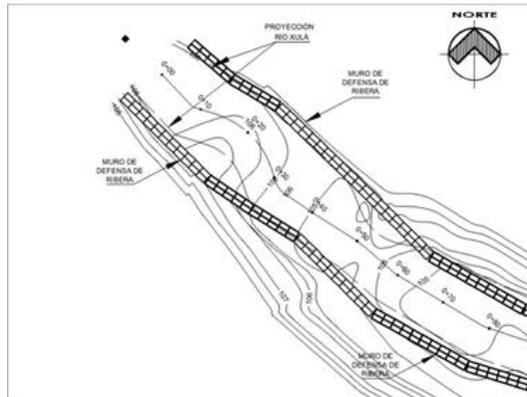
## **6.2. Conclusiones de la modelación hidráulica con el software HEC-RAS**

Para determinar los resultados de la modelación hidráulica conviene auxiliarse de los elementos visuales dispuestos por el software HEC-RAS, considerando que los datos de la hidráulica fluvial, que es otro parámetro para analizar la modelación, ya se presentó en la tabla XX.

A continuación pueden observarse los resultados de la modelación hidráulica, junto con los muros de protección de ribera propuestos anteriormente, del río Xulá segmentado en cada área de estudio.

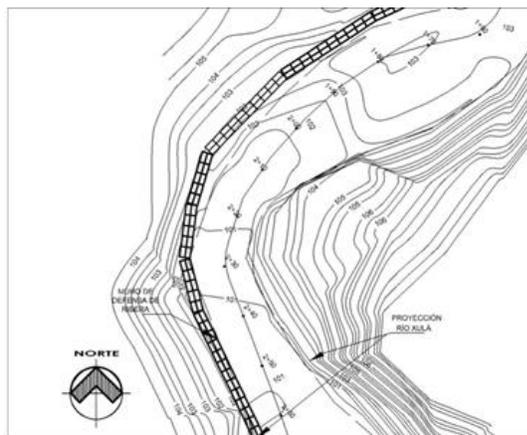
El área en estudio es el asentamiento humano conocido como cantón Santa Teresa, ubicado en el del municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez y está dividida en diferentes áreas críticas en función de la vulnerabilidad de la población que vive en la ribera, éste es el criterio que se utilizó para ubicar la protección, también se consideró la topografía del terreno en las áreas donde el tirante de la crecida no será de riesgo para los habitantes.

Figura 24. **Ubicación de muros de protección del río Xulá, en el primer tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez**



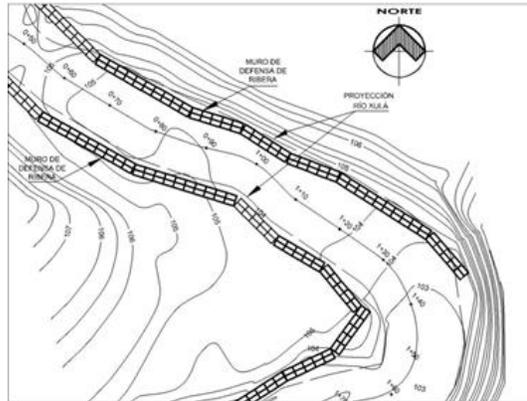
Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

Figura 25. **Ubicación de muros de protección, en el segundo tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez**



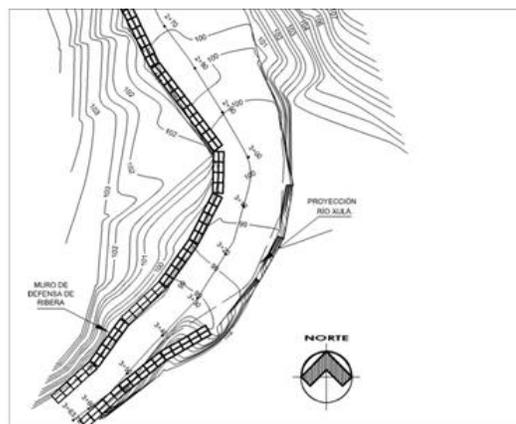
Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

Figura 26. **Ubicación de muros de protección, en el tercer tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez**



Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

Figura 27. **Ubicación de muros de protección, en el cuarto tramo del cantón Santa Teresa, Cuyotenango, Suchitepéquez**



Fuente: elaboración propia, con programa Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).

En conclusión se puede advertir que el diseño de los muros de protección permite el desfogue canalizado del caudal para un período de retorno de 50 años, proveyendo así de protección al asentamiento humano ubicados en la ribera del río Xulá.



## CONCLUSIONES

1. Los habitantes y la infraestructura del cantón Santa Teresa, cercanas al río Xulá, municipio de Cuyotenango, departamento de Suchitepéquez, se encuentra en altos niveles vulnerables a inundaciones debido a la probabilidad de intensas lluvias, ocasionando crecidas que no son soportadas por la sección natural del río Xulá.
2. El 73,8 por ciento del área del cantón Santa Teresa está propensa a inundaciones que tienen un período de retorno de 50 años.
3. De los 363 metros de longitud analizados del río Xulá, 268 metros necesitan la construcción de bordas para asegurar que el río no se salga de su cauce y genere inundaciones
4. Deberá considerarse las áreas con mayor riesgo e implementar obras de defensa para reducir daños a inundaciones periódicas que puedan afectar a los habitantes, por lo que se deberá proteger el área en ambos márgenes de la ribera.
5. El software HEC-RAS es una herramienta muy útil y práctica para evaluaciones hidráulicas y en este caso para determinar zonas propensas a inundaciones.



## RECOMENDACIONES

1. Debido a la alta probabilidad de ocurrencia de una avenida máxima en época lluviosa en el área de estudio, se deberán considerar los diseños de obras de protección a inundaciones en las áreas identificadas como de alto riesgo.
2. Deberá planificarse un sistema de drenaje sanitario con su correspondiente sistema de tratamiento en las poblaciones que descargan sus desechos en el río Xulá, para evitar la continua contaminación del mismo.
3. Construir los gaviones con material del lugar, aprovechando el canto rodado del cauce del río, teniendo la precaución necesaria para no inestabilizar las paredes naturales del mismo.
4. Cuantificar los materiales (según planos y especificaciones propuestas) para solicitar financiamiento para la construcción de las bordas.
5. Fomentar este tipo de análisis a otras zonas pobladas de Guatemala, con recurrencia a inundaciones



## BIBLIOGRAFÍA

1. CHOW, Ven Te. *Hidráulica de canales abiertos*. Colombia: Mc Graw-Hill, 2004. 667 p.
2. GRACIA SANCHEZ, Jesús; MAZA ÁLVAREZ, José Antonio. *Morfología de ríos*. México: UNAM, 2003. 50 p.
3. JUAREZ DÍAZ, Jaime. *Control de erosión en zonas tropicales*. Colombia: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2001. 555 p.
4. Organización Meteorológica Mundial. *Gestión integrada de crecidas: Documento conceptual*. Suiza: Organización Meteorológica mundial, 2009. 32 p.
5. REVISTA UN-HABITAT. *Gestión comunitaria de riesgos*. Lima, Perú: Foro Ciudades para la Vida, 2002. 136 p.
6. WILCHES-CHAUX, Gustavo. *Herramientas para la crisis: desastres, ecologismo y formación profesional*. Colombia: SENA, 1989. 335 p.



## **ANEXOS**



# Ensayo de compresión triaxial

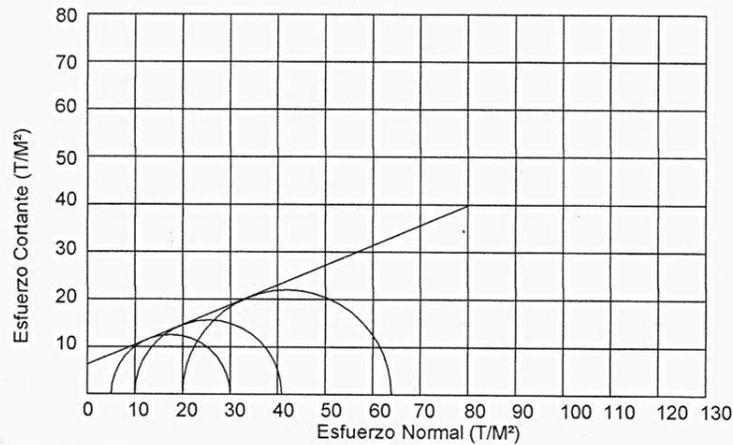


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 138 S.S. O.T.: 29,776  
 INTERESADO: Marly Azucel López Sandoval  
 PROYECTO: Estudio Hidrológico para el Diseño de Protección contra Inundaciones de Río Xulá  
 Ubicación: Cantón Santa Teresa Municipio de Cuyotenango, Departamento de Suchitepequez  
 pozo: 1 Profundidad: 2.50 m Muestra: 1



### PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 22.72$	COHESIÓN: $C_u = 6.24 \text{ T/m}^2$
---	--------------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.  
 DESCRIPCION DEL SUELO: Arena limosa con partículas de pomez color café  
 DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"  
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	1	1
PRESION LATERAL (T/m <sup>2</sup> )	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q$ (T/m <sup>2</sup> )	32.08	42.04	57.46
PRESION INTERSTICIAL $u$ (T/m <sup>2</sup> )	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA $Er$ (%)	3.0	4.5	8.0
DENSIDAD SECA (T/m <sup>3</sup> )	1.36	1.36	1.36
DENSIDAD HUMEDA (T/m <sup>3</sup> )	1.65	1.65	1.65
HUMEDAD (%H)	21.2	21.2	21.2

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio Escuelas Universitarias zona 12  
Teléfono directo 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

# Ensayo de análisis granulométrico



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No.: 140 S.S.

O.T.: 29,776

Interesado: Marly Azucel López Sandoval

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico, con tamices.

Norma: A.A.S.H.T.O. T-27,

Proyecto: Estudio Hidrológico para el Diseño de Protección contra Inundaciones de Río Xulá

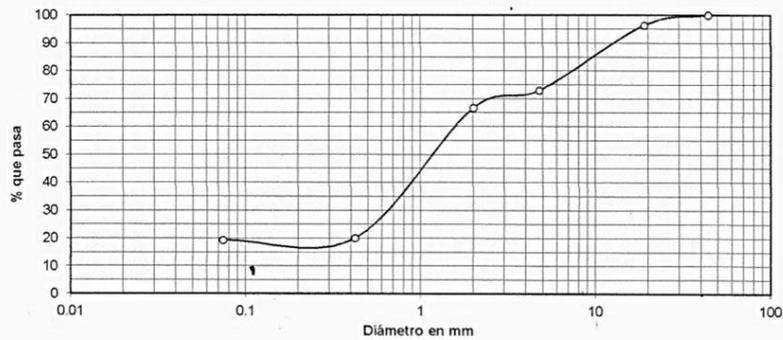
Fecha: 17 de mayo del 2012

Análisis con Tamices:		
Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
2"	44.1	100.00
3/4"	19.00	96.34
4	4.76	72.96
10	2.00	66.76
40	0.42	20.08
200	0.074	19.32

% de Grava: 23.38

% de Arena: 57.30

% de Finos: 19.32



Descripción del suelo: Arena limosa con partículas de pomez color café

Clasificación: S.C.U.: SP-SM

P.R.A.: A-1-b

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Vo. Bo.:

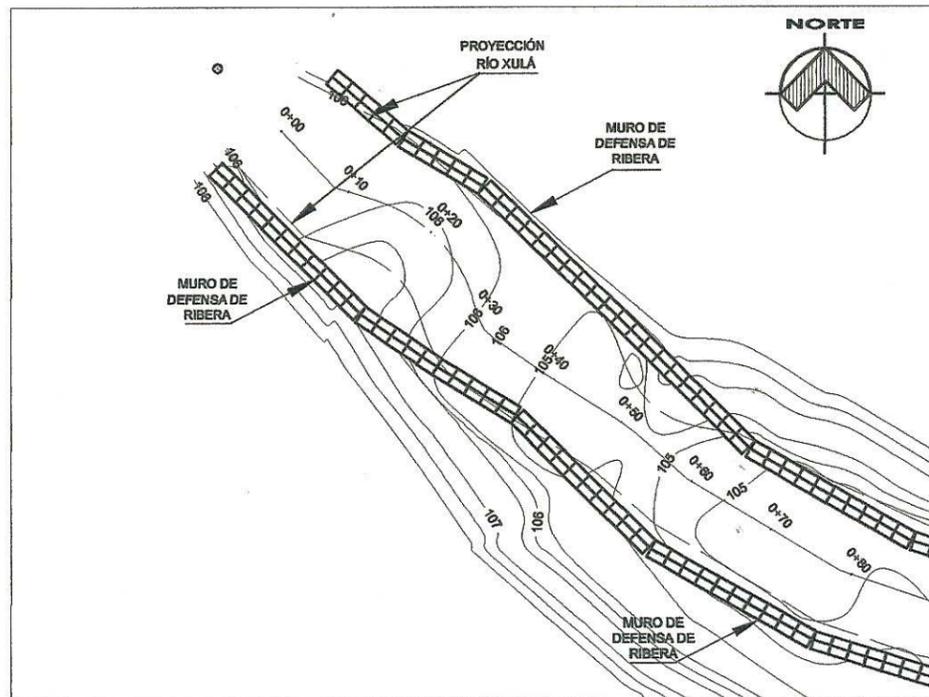
Atentamente,

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos

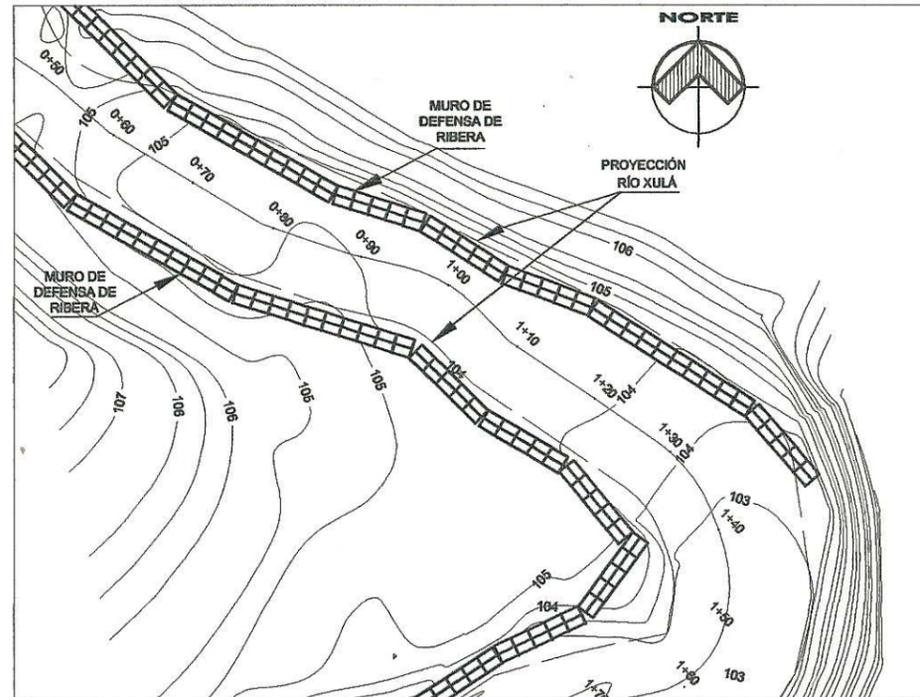


FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



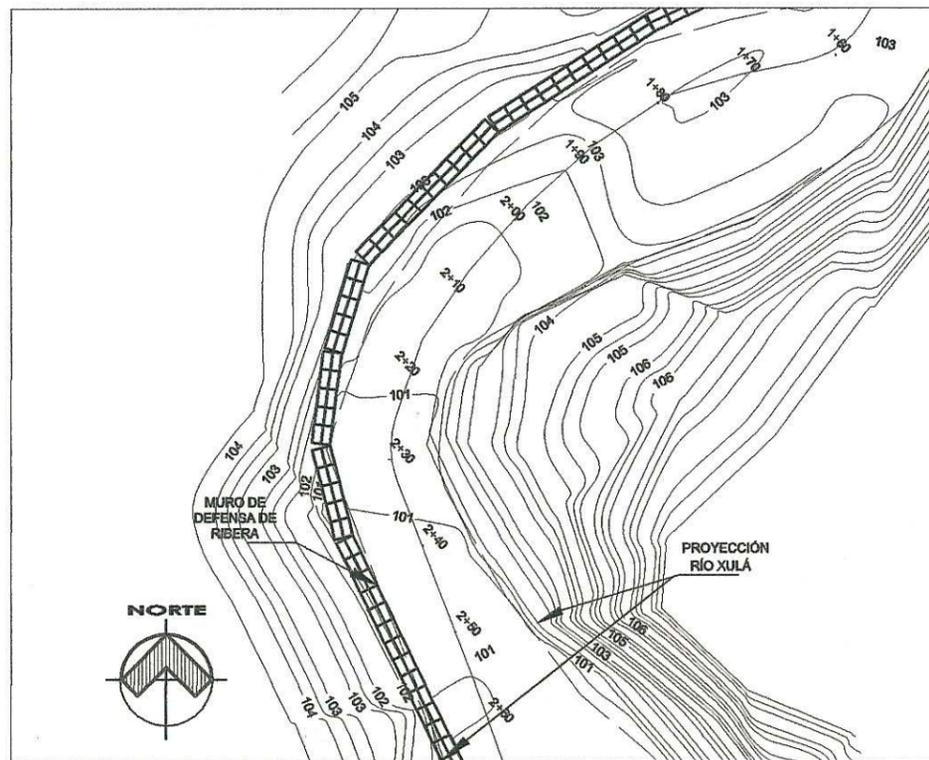
PLANTA DE LOCALIZACIÓN DE MUROS DE PROTECCIÓN DE LA ESTACIÓN 0+00 A 0+80

ESCALA 1:200



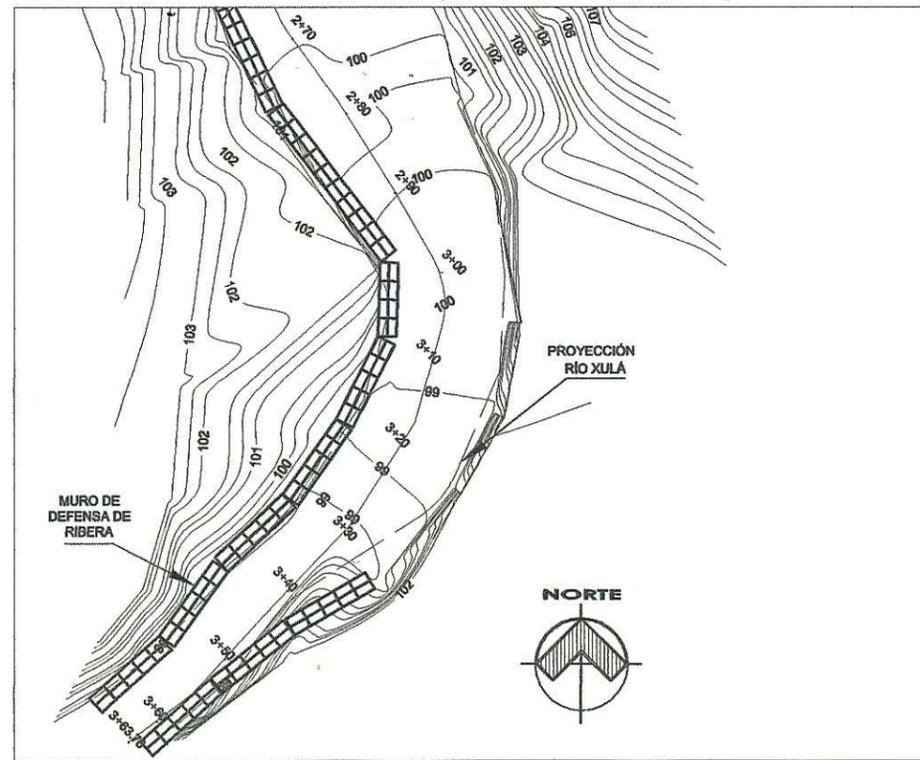
PLANTA DE LOCALIZACIÓN DE MUROS DE PROTECCIÓN DE LA ESTACIÓN 0+80 A 1+70

ESCALA 1:200



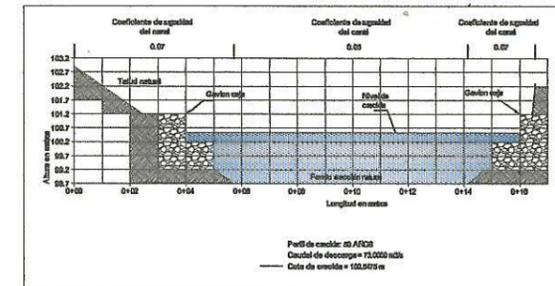
PLANTA DE LOCALIZACIÓN DE MUROS DE PROTECCIÓN DE LA ESTACIÓN 1+70 A 2+60

ESCALA 1:200



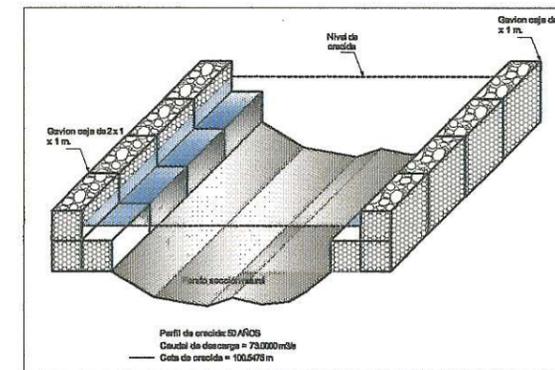
PLANTA DE LOCALIZACIÓN DE MUROS DE PROTECCIÓN DE LA ESTACIÓN 2+70 A 3+63.76

ESCALA 1:200



SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA

ESCALA 1:100



PROYECCIÓN ISOMÉTRICA DEL MURO DE PROTECCIÓN

ESCALA 1:100



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CONTENIDO:

UBICACIÓN DE MUROS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES Y SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA

PROYECTO:

ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ

DISEÑO / DIBUJO / CALCULO:

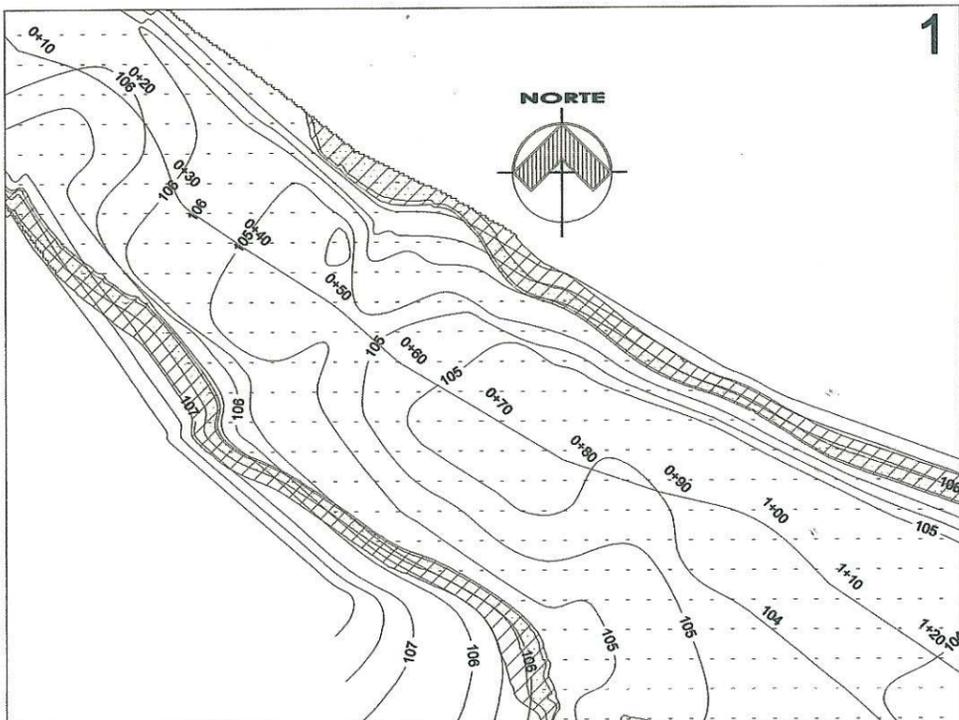
MARLY AZUCEL LÓPEZ SANDOVAL  
CARNE: 2004-12774

APROBÓ:

Claudio Cesar Castañon Contreras  
Ingeniero Civil  
Colegiado 5,629

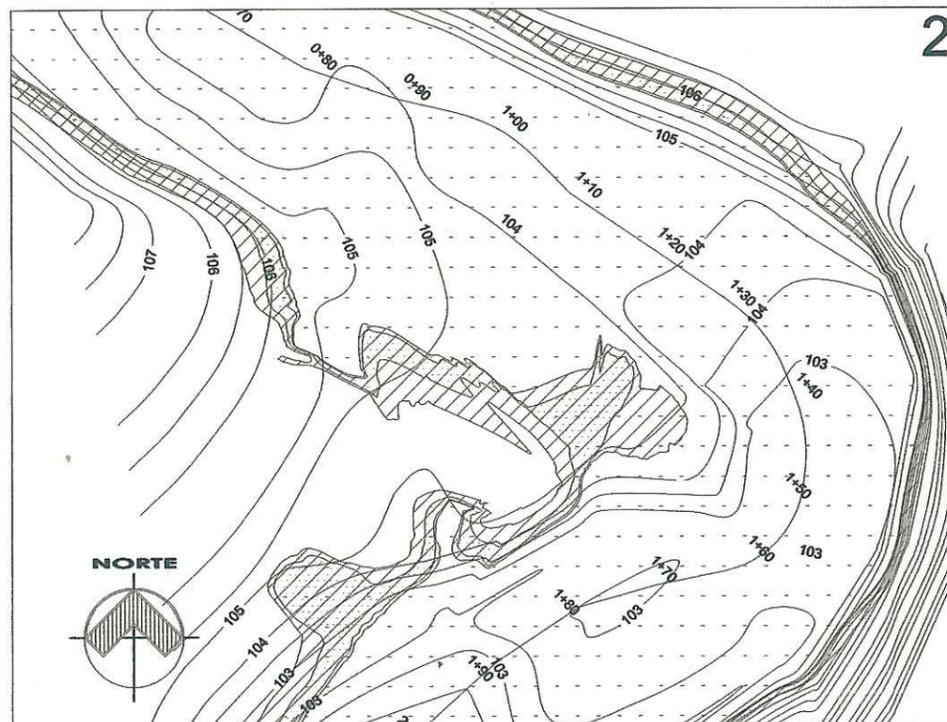
PLANO No: 1

5



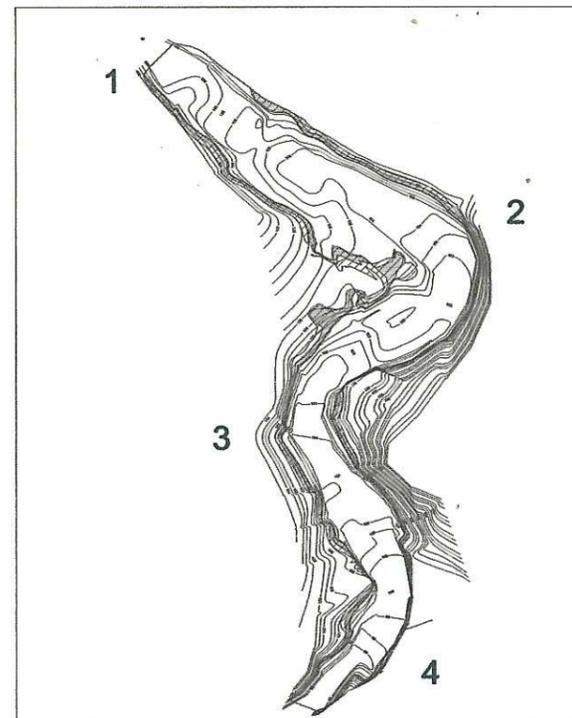
PLANTA DE PROYECCIÓN DE CRECIDA EN LA ESTACIÓN  
0+00 HASTA 0+80

ESCALA 1:200



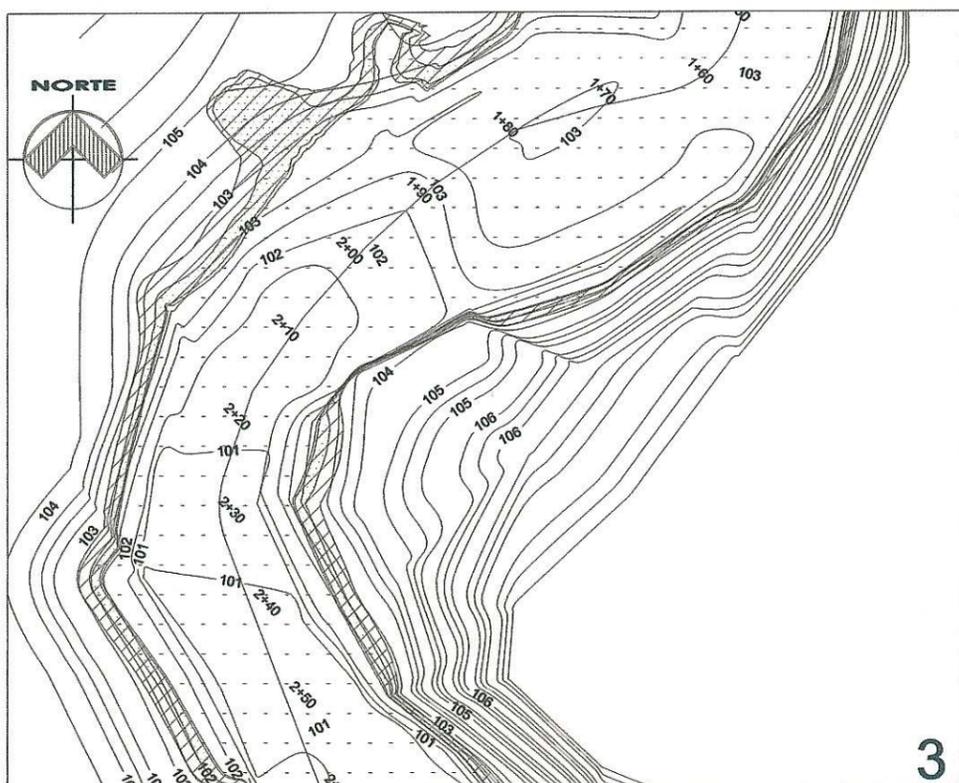
PLANTA DE PROYECCIÓN DE CRECIDA EN LA ESTACIÓN  
0+80 HASTA 1+70

ESCALA 1:200



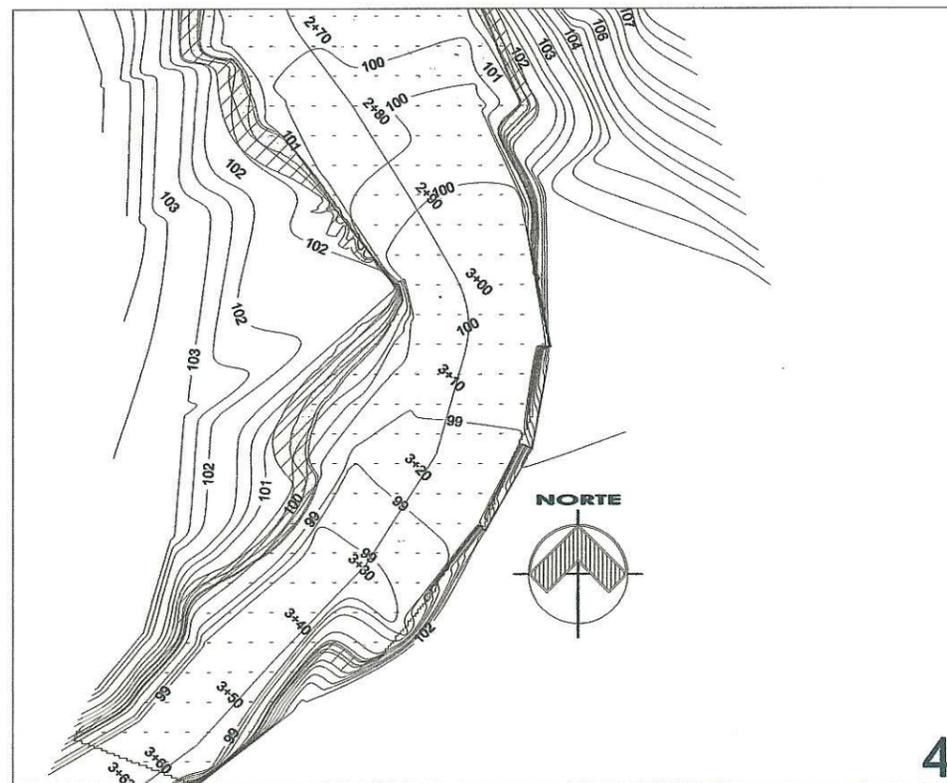
UBICACIÓN DE LAS ÁREAS EN ESTUDIO  
RIO XULÁ CUYOTENGO, SUCHITEPÉQUEZ

ESCALA 1 : 600



PLANTA DE PROYECCIÓN DE CRECIDA EN LA ESTACIÓN  
1+70 HASTA 2+60

ESCALA 1:200



PLANTA DE PROYECCIÓN DE CRECIDA EN LA ESTACIÓN  
2+60 HASTA 3+63.76

ESCALA 1:200

**NOMENCLATURA**

-  AREA INUNDADA POCO PROFUNDA
-  AREA INUNDADA EN LA SECCION CENTRAL DEL CANAL DEL RÍO
-  AREA INUNDADA POCO PROFUNDA
-  0+300 ESTACIÓN
-  -100 COTA EN CURVA DE NIVEL



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE  
GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**CONTENIDO:**

**PROYECCIÓN DE  
CRECIDA**

**PROYECTO:**

ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL  
DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN  
CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO  
XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA,  
MUNICIPIO DE CUYOTENANGO,  
DEPARTAMENTO DE  
SUCHITEPÉQUEZ

**DISEÑO / DIBUJÓ / CALCULÓ:**

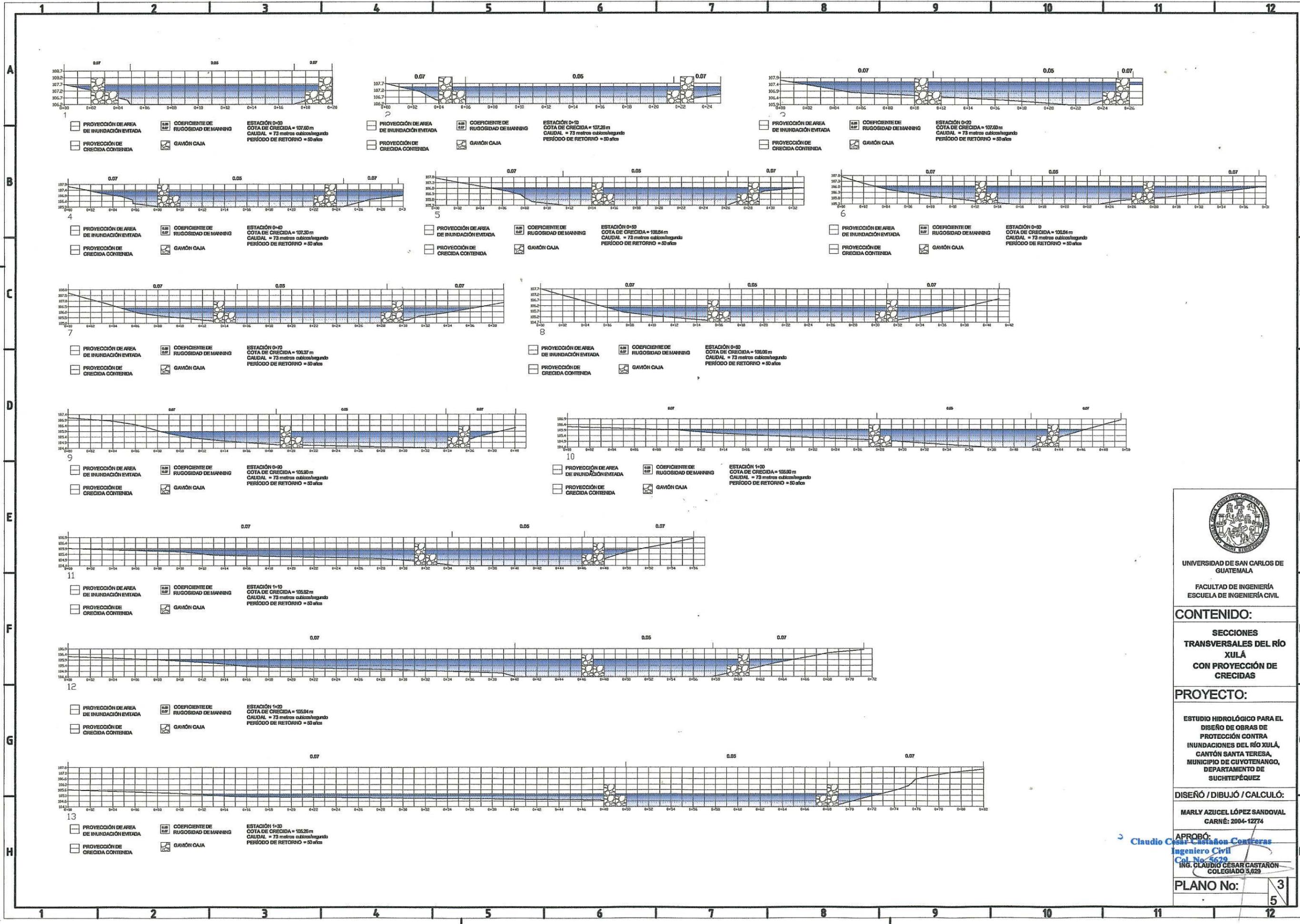
MARLY AZUCEL LÓPEZ SANDOVAL  
CARNÉ: 2004-22774

**APROBÓ:**

Claudio Cesar Castañón Contreras  
Ingeniero Civil  
Colegiado No. 6223

**PLANO**

No: 2/5



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**CONTENIDO:**  
 SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO XULÁ CON PROYECCIÓN DE CRECIDAS

**PROYECTO:**  
 ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHITEPÉQUEZ

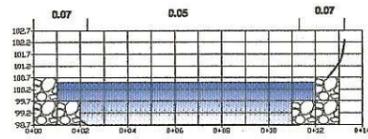
**DISEÑO / DIBUJO / CALCULO:**  
 MARLY AZUCEL LÓPEZ SANDOVAL  
 CARNÉ: 2004-12774

**APROBÓ:**  
 Claudio César Castañón Contreras  
 Ingeniero Civil  
 Col. No. 5629  
 ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN  
 COLEGIADO 5,629

**PLANO No:** 3/5

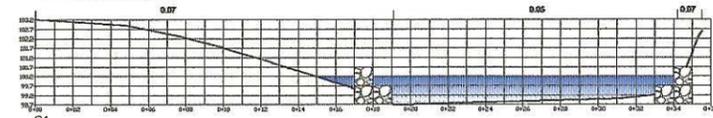
# SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO XULÁ CON PROYECCIÓN DE CRECIDAS CON UN PERÍODO DE RETORNO A 50 AÑOS

ESCALA 1: 400



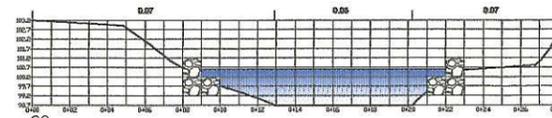
ESTACIÓN 3-00  
COTA DE CRECIDA = 100.00 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



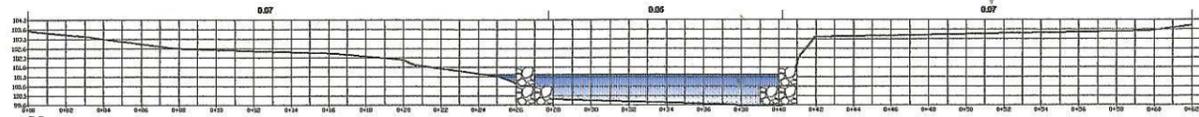
ESTACIÓN 3-10  
COTA DE CRECIDA = 100.00 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



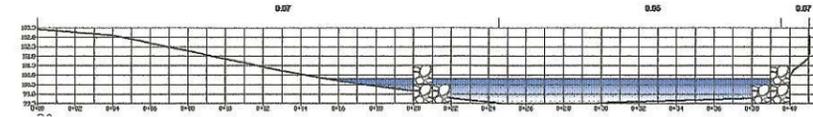
ESTACIÓN 3-20  
COTA DE CRECIDA = 100.00 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



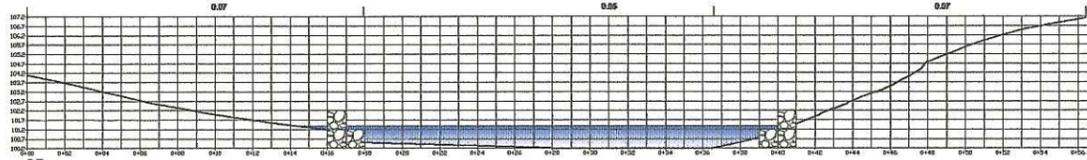
ESTACIÓN 2-80  
COTA DE CRECIDA = 101.20 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



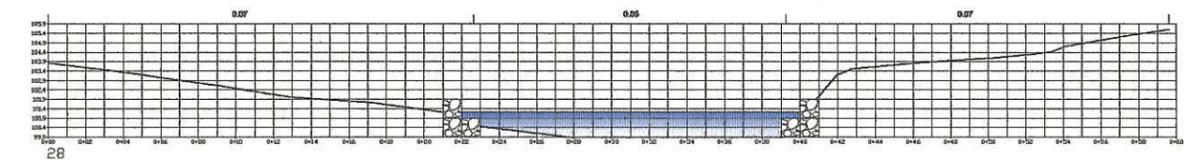
ESTACIÓN 3-00  
COTA DE CRECIDA = 100.00 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



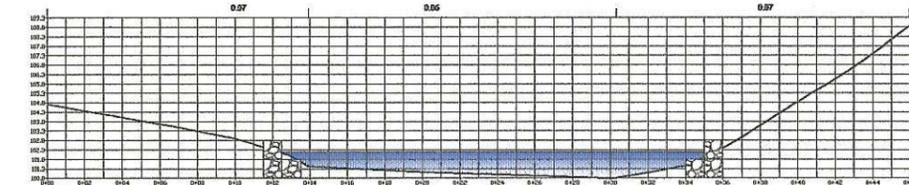
ESTACIÓN 2-70  
COTA DE CRECIDA = 101.20 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



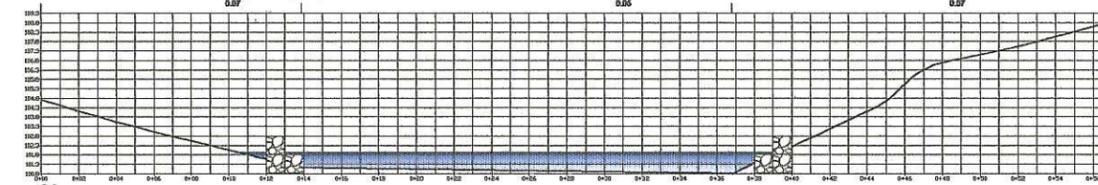
ESTACIÓN 2-80  
COTA DE CRECIDA = 101.20 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



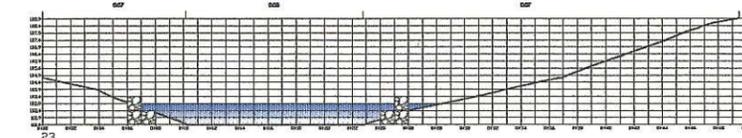
ESTACIÓN 2-80  
COTA DE CRECIDA = 102.20 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



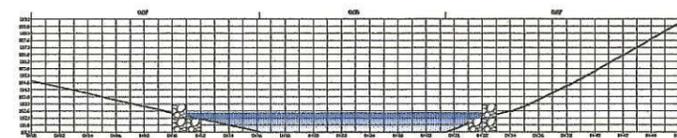
ESTACIÓN 3-00  
COTA DE CRECIDA = 101.00 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



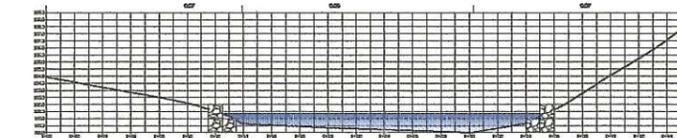
ESTACIÓN 2-30  
COTA DE CRECIDA = 102.00 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



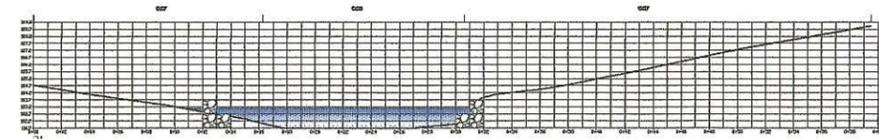
ESTACIÓN 2-40  
COTA DE CRECIDA = 102.45 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



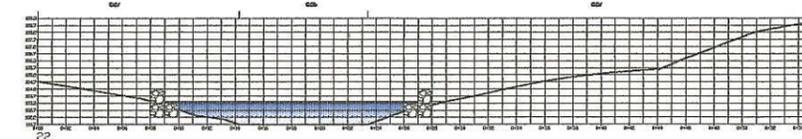
ESTACIÓN 2-80  
COTA DE CRECIDA = 102.20 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



ESTACIÓN 2-10  
COTA DE CRECIDA = 103.10 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



ESTACIÓN 2-20  
COTA DE CRECIDA = 103.30 m  
CAUDAL = 73 metros cúbicos/segundo  
PERÍODO DE RETORNO = 50 años

- PROYECCIÓN DE ÁREA DE INUNDACIÓN EVITADA
- PROYECCIÓN DE CRECIDA CONTENIDA
- COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING
- GAVIÓN CAJA



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

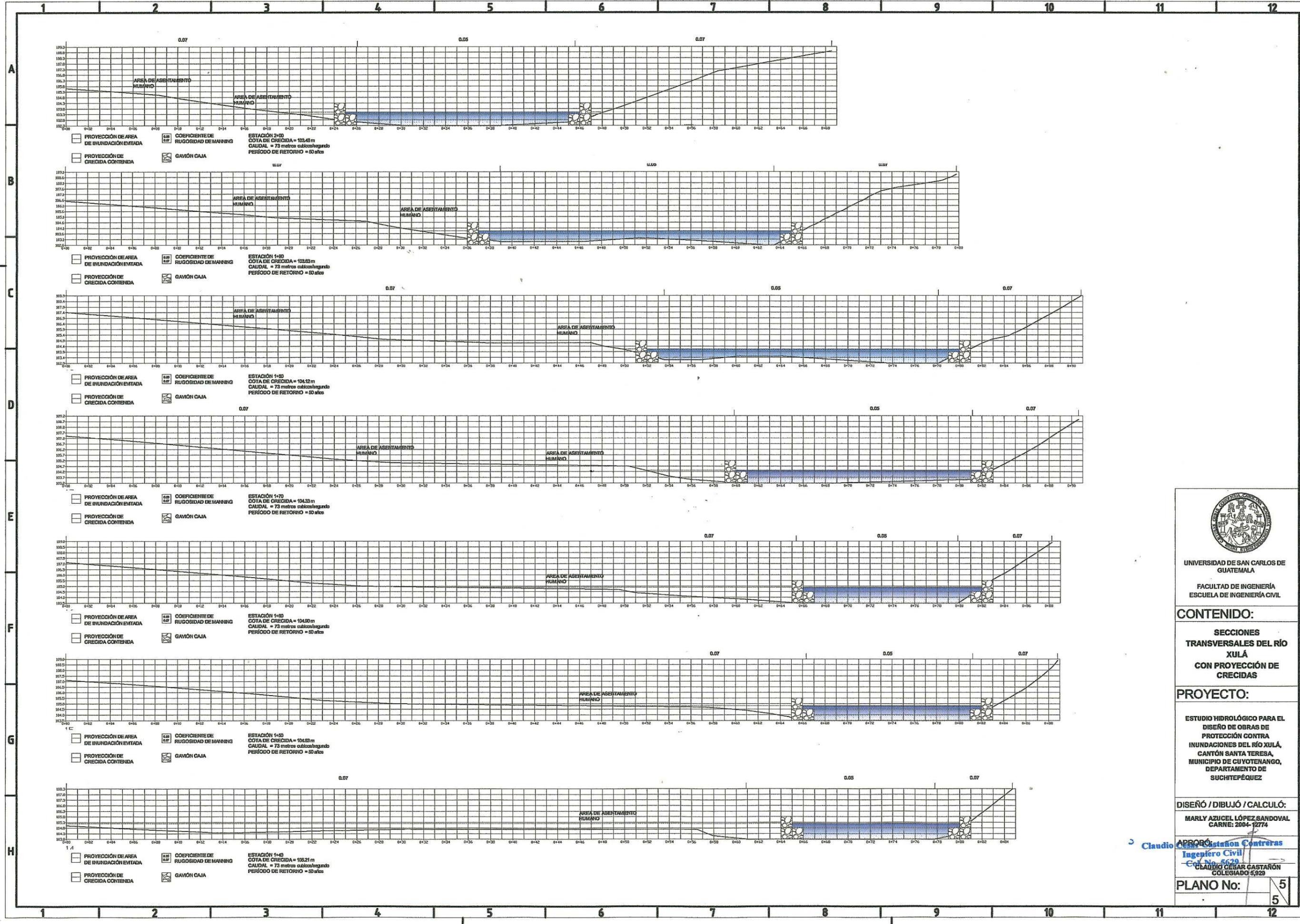
**CONTENIDO:**  
SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO XULÁ CON PROYECCIÓN DE CRECIDAS

**PROYECTO:**  
ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHTEPÉQUEZ

**DISEÑO / DIBUJO / CALCULO:**  
MARLY AZICEL LÓPEZ SANDOVAL  
CARNÉ: 2004-12774

**APROBADO:**  
Claudio César Castañón Contreras  
Ingeniero Civil  
Col. No. 5629  
ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN  
COLEGIADO: 5829

**PLANO No:** 4



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**CONTENIDO:**  
 SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO XULÁ CON PROYECCIÓN DE CRECIDAS

**PROYECTO:**  
 ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO XULÁ, CANTÓN SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUYOTENANGO, DEPARTAMENTO DE SUCHTEPÉQUEZ

**DISEÑO / DIBUJO / CALCULÓ:**  
 MARLY AZUCEL LÓPEZ SANDOVAL  
 CARNE: 2004-12774

**APROBÓ:**  
 Claudio César Contreras  
 Ingeniero Civil  
 No. 4629  
 CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN  
 COLEGIADO 5,929

**PLANO No:** 5/5