



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

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN ANTE
INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA,
MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL**

Melvin René Pérez Mantanico

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañon Contreras

Guatemala, enero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN ANTE
INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA,
MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MELVIN RENÉ PÉREZ MANTANICO

ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 OBRAS DE PROTECCIÓN ANTE
INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA,
MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 2 de noviembre de 2016.


Melvin René Pérez Mantanico

Guatemala, Septiembre de 2019

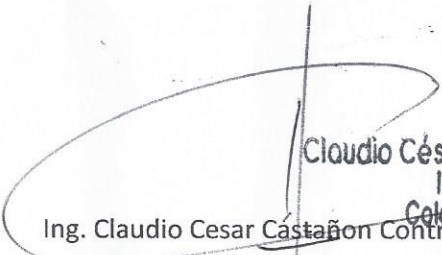
Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ingeniero Aguilar.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: "ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL" elaborado por el estudiante de ingeniería civil Melvin René Pérez Mantanico, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Claudio César Castañon Contreras
Ingeniero Civil
Colegiado No. 5,629

Ingeniero Civil, Colegiado No. 5629

Asesor



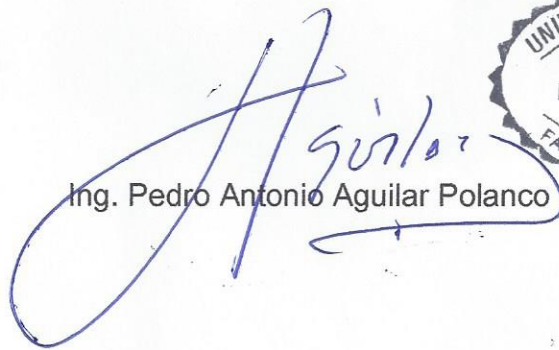
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil y Jefe del Departamento de Hidráulica, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Melvin René Pérez Mantanico **ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, octubre 2019

/mrm.



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 004.2020

La Decana 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 OBRAS DE PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL**, presentado por el estudiante universitario: **Melvin René Pérez Mantanico**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, enero de 2020

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Yahvé	Por su amistad, amor y guía. Isaías 41:10.
Mis padres	Horlando Pérez y Patricia Mantanico. Por su apoyo incondicional y ejemplo persuasivo.
Mis hermanos	Daniel, Rosa y Melanie Pérez Mantanico. Por el apoyo y las experiencias compartidas desde la niñez hasta el día de hoy.
Mi prometida	Dalila Rodriguez, porque eres una bendición de Dios en mi vida, a quien he elegido como mi compañera de camino, amante y amiga.
Mis amigos	Walter Ajuchan, Alfredo Sanchez, Byron Herrera, Luis Lemus, Benyamin Carranza, Daniel Orozco, Cristian Lewis, Martín de León y tantos más. Por ser buenos compañeros de camino y excelentes colegas.
Centro Educativo KINAL	Por tan importante influencia en mi formación académica e integral.

AGRADECIMIENTOS A:

Yahvé	Por el don de la vida, fuente de todo ser. Jeremías 1:5
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser fuente de conocimiento y vivero de ideas.
Facultad de Ingeniería	Por el conocimiento brindado, la experiencia expuesta y la competencia adquirida.
Mi familia	Por el apoyo, entrega y ejemplo. Un regalo de Dios en mi vida.
Mi prometida	Por tu apoyo y entrega.
Mi asesor	El Ing. Claudio Castañon. Por compartir su conocimiento con suma prestancia y caridad.
Mis amigos de la Facultad	Por hacer de éste un mejor viaje.
Corporación GC&S	Por la confianza y las oportunidades de poner en práctica el conocimiento y a prueba el carácter. En especial por la confianza brindada por su dueño, Ing. Fernando García.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Ciclo hidrológico	1
1.2. Fases del ciclo hidrológico.....	2
1.2.1. Precipitación	2
1.2.1.1. Formas de precipitación	3
1.2.1.2. Tipos de precipitación.....	4
1.2.2. Evaporación y transpiración.....	5
1.2.2.1. Evaporación.....	5
1.2.2.2. Superficies de evaporación.....	5
1.2.2.3. Transpiración	6
1.2.2.4. Evapotranspiración	7
1.2.3. Escorrentía superficial	7
1.2.4. Infiltración	7
1.3. Hidrografía de Guatemala	7
1.4. Componentes básicos del riesgo.....	9
1.4.1. Riesgo	9
1.4.2. Amenaza.....	9
1.4.3. Vulnerabilidad	10
1.4.4. Desastre	10

1.4.5.	Inundación.....	10
1.4.5.1.	Desbordamiento de un cauce.....	10
1.4.5.2.	Elevación del nivel del mar en las costas.....	11
1.4.5.3.	Insuficiencia o imposibilidad de drenaje del agua precipitada	11
1.4.5.4.	Elevación del nivel freático.....	11
1.4.5.5.	Inundación en el área de confluencia de dos sistemas fluviales.....	11
1.4.5.6.	Consecuencia de las inundaciones	12
1.5.	Potenciales amenazas hidrometeorológicas que afectan a Guatemala.....	12
2.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA	15
2.1.	Ubicación geográfica.....	15
2.2.	Ubicación político territorial	15
2.3.	Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca de estudio	19
2.3.1.	Área y perímetro de la cuenca de estudio	19
2.3.2.	Forma de la cuenca.....	20
2.3.2.1.	Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad	20
2.3.2.2.	Factor de forma	21
2.3.3.	Características de relieve	23
2.3.3.1.	Pendiente media de la cuenca	24
2.3.3.2.	Histograma de frecuencias altimétricas	25
2.3.3.3.	Curva hipsométrica	25
2.3.3.4.	Pendiente del cauce principal.....	26
2.3.4.	Características de la red de drenaje.....	26

	2.3.4.1.	Orden de la cuenca	26
	2.3.4.2.	Densidad de drenaje.....	27
	2.3.4.3.	Frecuencia de cauces.....	28
3.	APLICACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO HEC-RAS EN EL TRAMO DEL RÍO MOTAGUA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE MORALES, A LA ALTURA DEL CASERÍO BUENA VISTA		31
3.1.	Conceptos básicos de hidráulica de canales abiertos		31
	3.1.1.	Caudal	32
	3.1.2.	Caudal en una crecida.....	32
	3.1.3.	Régimen de flujo de una corriente	33
	3.1.4.	Coeficiente de rugosidad	34
	3.1.5.	Energía específica	35
3.2.	Procesamiento y análisis de la información.....		36
	3.2.1.	Geometría del cauce del río Motagua.....	36
	3.2.2.	Determinación de caudales máximos	37
	3.2.3.	Tipo de flujo del río Motagua	40
	3.2.4.	Régimen del flujo del río Motagua	40
3.3.	Introducción al programa HEC-RAS.....		43
	3.3.1.	Creación de un proyecto.....	43
	3.3.2.	Geometría del cauce	44
	3.3.3.	Datos hidráulicos	45
	3.3.4.	Presentación de resultados	46
	3.3.5.	Características técnicas y sus aplicaciones.....	48
3.4.	Realización de simulaciones, aplicado al tramo del río Motagua ubicado al costado del caserío Buena Vista		49
	3.4.1.	Resultado de la simulación en las secciones transversales del río Motagua para caudales con períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años.....	49

3.4.2.	Resultado de las características hidráulicas del cauce, simulación para caudales con períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años.....	57
4.	PROPUESTA DE LA OBRA DE PROTECCIÓN.....	63
4.1.	Descripción de las obras de protección.....	63
4.1.1.	Bordas.....	63
4.1.2.	Bordas revestidas de roca.....	64
4.1.3.	Espigones.....	64
4.1.4.	Análisis del caso.....	65
4.2.	Propuesta.....	65
4.3.	Diseño de las obras hidráulicas	65
4.3.1.	Período de duración de la obra	66
4.3.2.	Tipos de flujo	66
4.3.3.	Geometría de la sección transversal original.....	66
4.3.4.	Extensión de la protección	67
4.3.5.	Altura de la borda	68
4.3.6.	Tamaño de la roca	69
4.3.7.	Ecuación de diseño	70
4.3.8.	Diseño de filtro	71
4.3.9.	Profundidad del pie	72
4.3.10.	Sección típica	72
4.3.11.	Especificaciones técnicas de la roca.....	73
4.4.	Conservación de la roca.....	74
5.	RECTIFICACIÓN HIDRÁULICA DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN PROPUESTAS	77
5.1.	Realización de simulaciones del modelo HEC-RAS con las estructuras propuestas.....	77
5.2.	Resultado gráfico de las secciones transversales del río Motagua, en los estacionamientos 0+050 al 1+350	77

5.3.	Conclusiones de la modelación hidráulica con el software	
	HEC-RAS	85
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA	91
	APÉNDICES	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo hidrológico	2
2.	Vertientes de Guatemala.....	8
3.	Mapa de riesgo a inundaciones	13
4.	Cuenca de estudio	16
5.	División político territorial de la cuenca de estudio.....	18
6.	Cauce principal	23
7.	Curvas de nivel de la cuenca en estudio.....	24
8.	Curva hipsométrica e histograma de frecuencias	25
9.	Orden de los cauces de la cuenca	27
10.	Valores del coeficiente “n” de rugosidad de Manning.....	35
11.	Levantamiento in situ geo-referenciado sobre imagen satelital para proceder a aplicar MDE	37
12.	Ventana de inicio de programa HEC-RAS	44
13.	Ventana de datos geométricos de programa HEC-RAS	44
14.	Ventana de datos de sección	45
15.	Ventana de introducción de datos hidráulicos.....	45
16.	Ventana tabla de resultados.....	46
17.	Resultado gráfico de secciones transversales	47
18.	Resultados gráficos del perfil del cauce t=2.....	47
19.	Resultados gráficos del perfil del cauce t=10	48
20.	Simulación hidráulica en la sección 1+350	50
21.	Simulación hidráulica en la sección 1+300	50
22.	Simulación hidráulica en la sección 1+250	50

23.	Simulación hidráulica en la sección 1+200	50
24.	Simulación hidráulica en la sección 1+150	51
25.	Simulación hidráulica en la sección 1+100	51
26.	Simulación hidráulica en la sección 1+050	51
27.	Simulación hidráulica en la sección 1+000	51
28.	Simulación hidráulica en la sección 0+950	52
29.	Simulación hidráulica en la sección 0+900	52
30.	Simulación hidráulica en la sección 0+850	52
31.	Simulación hidráulica en la sección 0+800	52
32.	Simulación hidráulica en la sección 0+750	53
33.	Simulación hidráulica en la sección 0+700	53
34.	Simulación hidráulica en la sección 0+650	53
35.	Simulación hidráulica en la sección 0+600	53
36.	Simulación hidráulica en la sección 0+550	54
37.	Simulación hidráulica en la sección 0+500	54
38.	Simulación hidráulica en la sección 0+450	54
39.	Simulación hidráulica en la sección 0+400	54
40.	Simulación hidráulica en la sección 0+350	55
41.	Simulación hidráulica en la sección 0+300	55
42.	Simulación hidráulica en la sección 0+250	55
43.	Simulación hidráulica en la sección 0+200	55
44.	Simulación hidráulica en la sección 0+150	56
45.	Simulación hidráulica en la sección 0+100	56
46.	Simulación hidráulica en la sección 0+050	56
47.	Simulación hidráulica del perfil del cauce del río Motagua para caudales con periodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años.....	57
48.	Extensión longitudinal de la protección en un cauce	68
49.	Base o pie típico	72

50.	Sección típica del tramo	73
51.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+050	78
52.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+100	78
53.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+150	78
54.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+200	78
55.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+250	79
56.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+300	79
57.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+350	79
58.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+400	79
59.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+450	80
60.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+500	80
61.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+550	80
62.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+600	80
63.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+650	81
64.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+700	81
65.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+750	81
66.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+800	81
67.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+850	82
68.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+900	82
69.	Simulación con las obras propuestas en la sección 0+950	82
70.	Simulación con las obras propuestas en la sección 1+000	82
71.	Simulación con las obras propuestas en la sección 1+050	83
72.	Simulación con las obras propuestas en la sección 1+100	83
73.	Simulación con las obras propuestas en la sección 1+150	83
74.	Simulación con las obras propuestas en la sección 1+200	83
75.	Simulación con las obras propuestas en la sección 1+250	84
76.	Simulación con las obras propuestas en la sección 1+300	84
77.	Simulación con las obras propuestas en la sección 1+350	84

78.	Resultado gráfico del perfil del cauce del río Motagua, de la simulación con las obras propuestas en las secciones transversales 0+050 a 1+350	85
-----	--	----

TABLAS

I.	División político territorial de la cuenca de estudio	17
II.	Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas.....	39
III.	Cuantiles de caudales modulares regionales, de acuerdo a las distribuciones de Gumbel y Log-normal.....	39
IV.	Caudales resultantes de utilizar distribución de Gumbel para diferentes períodos de retorno	40
V.	Régimen del flujo para cada estacionamiento del tramo de estudio del río Motagua, períodos de retorno de 2, 10 y 25 años.....	41
VI.	Régimen del flujo para cada estacionamiento del tramo de estudio del río Motagua, períodos de retorno de 50, 100 y 500 años.....	42
VII.	Características hidráulicas del cauce del estacionamiento 0+050 al 0+350.....	58
VIII.	Características hidráulicas del cauce del estacionamiento 0+400 al 0+700.....	59
IX.	Características hidráulicas del cauce del estacionamiento 0+750 al 1+050.....	60
X.	Características hidráulicas del cauce del estacionamiento 1+100 al 1+350.....	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración de la gravedad
B	Ancho medio de una cuenca
Φ	Ángulo de reposo de un material
A	Área
Q	Caudal
Kc	Coefficiente de compacidad
n	Coefficiente de rugosidad de Manning
Y	Energía cinética
H	Energía específica
Z	Energía potencial
D	Equidistancia entre curvas de nivel de un mapa topográfico
E	Este
Kf	Factor de forma
F	Frecuencia de los cauces de una cuenca
°	Grados
°C	Grados Celsius
Ha	Hectárea
Km	Kilómetro
Km²	Kilómetro cuadrado
Km³	Kilómetro cúbico
L	Longitud del cauce principal de una cuenca

Li	Longitud total de las curvas de nivel comprendidas en una cuenca.
m³/s	Metros cúbicos por segundo
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
mm/año	Milímetro por año
mm/h	Milímetro por hora
'	Minutos
WS	Nivel de superficie del agua
N	Norte
F	Número de Froude
W	Oeste
S	Pendiente media de una cuenca
P	Perímetro
davg	Profundidad promedio de flujo en un canal principal
"	Segundos
S	Sur
D50	Tamaño promedio de roca
y	Tirante de agua
V	Velocidad

GLOSARIO

Afluente	Curso de agua, también llamado tributario, que no desemboca en el mar sino en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia.
Área	Es una medida de la extensión de una superficie, expresada en unidades de medida, denominadas unidades de superficie.
Atmósfera	Es la capa de gas que rodea a un cuerpo celeste.
Borda	Son estructuras que se construyen a lo largo de ríos con objeto de confinar el escurrimiento que sobresale de las márgenes durante crecidas, protegiendo la llanura de inundación contra el desbordamiento del mismo.
Caudal	Es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo.
Cuenca	Es un territorio drenado por un sistema de drenaje natural.
HEC-RAS	Centro de Ingeniería Hidrológica y Sistema de Análisis de Ríos (Hydrologic Engineering Center and River Analysis System).

Hidrografía	Rama de la geografía que consiste en la descripción y estudio sistemático de los cuerpos de agua planetarios, especialmente de los recursos hídricos continentales.
Inundación	Ocupación por parte del agua de zonas que habitualmente están libres de ésta, bien por desbordamiento de ríos, mares, deshielos, entre otros.
Meridiano	Semicircunferencias máximas imaginarias del globo terrestre que pasan por los polos norte y sur, cuya utilidad principal es determinar posición en cualquier lugar de la tierra.
Nivel freático	Nivel superior de un acuífero en general. Distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno, en donde la presión de agua en la superficie del acuífero es igual a la presión atmosférica.
Paralelo	Círculo formado por la intersección de la esfera terrestre con un plano imaginario perpendicular al eje de rotación de la tierra.
Precipitación	Es la caída de agua sólida o líquida, por la condensación del vapor, sobre la superficie terrestre.
Radiación solar	Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. No toda la radiación alcanza la

superficie de la tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera, fundamentalmente por el ozono.

Vertiente

Superficie topográfica inclinada, situada entre los puntos altos y los bajos.

RESUMEN

El estudio está enfocado en determinar zonas de inundación en la aldea Buena Vista, municipio de Morales, departamento de Izabal; para lo cual se realizó un estudio hidrológico e hidráulico. Concluyendo que el río Motagua se desborda en esta localidad y adicionalmente se propone la prefactibilidad de obras de protección.

En el capítulo inicial se abordan conceptos fundamentales sobre el ciclo hidrológico, fases del mismo y las particularidades de cada una de ellas. Así como hidrografía de Guatemala y potenciales amenazas hidrometeorológicas sobre el territorio nacional.

En el segundo capítulo se realiza la caracterización de la cuenca de estudio, tomando como punto de control el cauce del río Motagua a la altura del caserío Buena Vista. Estableciendo la ubicación geográfica de la cuenca, división político territorial y parámetros morfométricos de la misma.

Posteriormente en el tercer capítulo se realiza una simulación hidráulica por medio del software HEC-RAS, determinando los caudales máximos por medio del método indicado en el Análisis Regional de Crecidas para la República de Guatemala desarrollado por el INSIVUMEH y aplicándolos a la topografía del área de estudio obtenida por medio de levantamiento topográfico, determinando de esta manera las crecidas perjudiciales para el caserío Buena Vista.

En el cuarto capítulo se realiza la propuesta de obras de protección a utilizar, diseñándola según los parámetros hidráulicos obtenidos en la simulación inicial y finalmente en el quinto capítulo se realiza la rectificación de las obras propuestas, comprobando su eficiencia al volver a correr las crecidas en el software HEC-RAS.

OBJETIVOS

General

Realizar un estudio hidrológico para el diseño de obras de protección ante inundaciones provocadas por el río Motagua en el caserío Buena Vista, municipio de Morales, Izabal.

Específicos

1. Determinar las crecidas máximas esperadas en la cuenca de estudio para determinados periodos de retorno, a la altura del caserío Buena Vista, municipio Morales, Izabal.
2. Efectuar una simulación hidráulica para las crecidas máximas obtenidas por medio del estudio hidrológico, determinando cuales son los que producen desbordes en el caserío Buena Vista.
3. Proponer una solución eficiente de infraestructura para minimizar o eliminar los daños provocados por las inundaciones, considerando las diferentes obras de protección contra inundaciones.
4. Realizar una simulación hidráulica en el área de estudio considerando las obras de protección propuestas.

INTRODUCCIÓN

El caserío Buena Vista en el municipio de Morales, Izabal, se encuentra ubicado a orillas del río Motagua. Motivo por el que es propenso a situaciones de inundación debido al gran caudal que fluye por este río, y la socavación de los márgenes del mismo como consecuencia de su naturaleza meándrica, y como se evidencia en el informe de situación: construcción de espigones y socavación en el río Motagua, Morales, Izabal, elaborado por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED).

Para prevenir y contrarrestar daños en la estructura habitacional y agraria, pero aún más importante, salvaguardar la integridad de los habitantes del caserío Buena Vista es necesario realizar obras de protección contra inundaciones, las cuales deben ser diseñadas con base en el estudio hidrológico de la cuenca.

Para poder determinar una propuesta efectiva contra estos eventos se realizó una simulación hidráulica, por medio de la utilización del software HEC-RAS. Dicha simulación hidráulica se realizó con la topografía del lecho del río; obtenida mediante levantamiento topográfico, y utilizando los datos obtenidos en el estudio hidrológico; realizado con base en la metodología descrita en el Análisis Regional de Crecidas para la República de Guatemala desarrollado por el INSIVUMEH.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Ciclo hidrológico

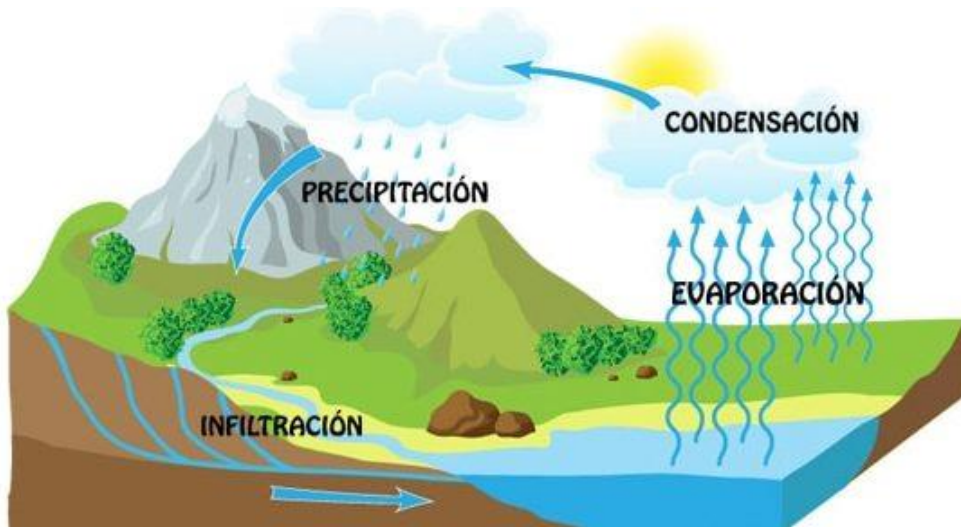
El ciclo hidrológico es el proceso que experimenta el agua en la hidrosfera del planeta tierra, es decir, las diferentes etapas y estados físicos por las que pasa el agua en el espacio comprendido desde un kilómetro debajo de la corteza terrestre hasta unos quince kilómetros arriba de esta.

Como todo ciclo, este proceso no tiene principio ni fin, para explicarlo se tomara como punto de partida la evaporación que ocurre en los cuerpos de agua superficiales (océanos, ríos, lagos, entre otros.) debido al efecto de la radiación solar sobre ellos. Por medio de este proceso el agua cambia su estado físico de líquido a gaseoso, con lo cual el vapor resultante es transportado por el viento y asciende por la atmosfera almacenándose en nubes, hasta el momento en que éstas se condensan y el agua regresa a un estado líquido en forma de precipitación. La precipitación generada puede caer directamente sobre cuerpos de agua superficial, con lo cual el ciclo hidrológico volvería a repetirse, o puede caer sobre la corteza terrestre en donde puede convertirse en flujo superficial (por medio del proceso de escorrentía), infiltrarse en el suelo; en cuyo caso puede convertirse en flujo subsuperficial (correr a través del suelo hasta un cauce), o percolarse profundamente y almacenarse en acuíferos, formando parte del agua subterránea.

La precipitación que no alcanza la corteza terrestre o un cuerpo de agua superficial, es interceptada por la vegetación e infraestructura creada por el

hombre, la mayor cantidad de esta vuelve a evaporarse, continuando de esta forma el ciclo hidrológico.

Figura 1. **Ciclo hidrológico**



<https://concepto.de/ciclo-del-agua/>. Consulta: diciembre de 2017.

1.2. **Fases del ciclo hidrológico**

Las cuatro fases básicas del ciclo hidrológico son: precipitación, escorrentía superficial, evapotranspiración y agua subterránea.

1.2.1. **Precipitación**

Aunque en el medio nacional el término precipitación esté directamente relacionado con el fenómeno de lluvia, posee un concepto más amplio, se refiere a toda forma de hidrometeoro que cae sobre la superficie terrestre y océanos. Un hidrometeoro es un conjunto de moléculas acuosas, que descienden a través de la atmósfera en estado líquido o sólido.

1.2.1.1. Formas de precipitación

- Llovizna: tipo de precipitación de partículas líquidas de agua con un tamaño pequeño de gota, menor a 0,5 mm, se origina en nubes bajas y de poco desarrollo vertical.
- Lluvia: precipitación de partículas líquidas de agua, con un tamaño de 0,5 mm o mayor.
- Escarcha: es una capa de hielo, por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire, que se forma en superficies expuestas por el congelamiento de agua superenfriada que se ha depositado en forma de lluvia o llovizna.
- Nieve: precipitación en forma de pequeños cristales de hielo, provenientes de la congelación de partículas de agua en suspensión en la atmósfera. Principalmente de forma compleja, combinados hexagonalmente y a menudo mezclados con cristales simples; algunas veces los conglomerados forman los copos de nieve, que pueden llegar a tener varios centímetros de diámetro.
- Granizo: gotas de agua sobre enfriadas que se congelan, es precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se produce por nubes convectivas, la mayoría de ellas del tipo cumulonimbos. Los granizos pueden ser esféricos, cónicos o de forma irregular y su diámetro varía entre 5 mm a más de 125 mm.

1.2.1.2. Tipos de precipitación

La precipitación lleva a menudo el nombre del factor responsable del levantamiento del aire que produce el enfriamiento en gran escala y necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación.

La precipitación ciclónica resulta del levantamiento del aire, que converge en un área de baja presión o ciclón. La precipitación ciclónica puede subdividirse como frontal o no frontal. La precipitación frontal resulta del levantamiento de aire cálido a un lado de una superficie frontal sobre aire más denso y frío.

La precipitación de frentes cálidos se forma cuando el aire avanza hacia arriba sobre una masa de aire más frío.

La precipitación de frentes fríos es de naturaleza corta y se forma cuando el aire cálido es obligado a subir por una masa de aire frío que está avanzando, y cuya cara delantera es un frente frío. Los frentes fríos se mueven más rápidamente que los frentes cálidos.

La precipitación convectiva es causada por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias en temperatura pueden ser el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie, de enfriamientos diferenciales en la parte superior de la capa de aire o de ascensos mecánicos, cuando el aire es forzado a pasar sobre una masa de aire frío y más denso, o sobre una barrera montañosa.

La precipitación convectiva es puntual, y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros. La precipitación

orográfica resulta del ascenso mecánico sobre una cadena de montañas. La influencia orográfica es tan marcada en terreno quebrado, que los patrones de las tormentas tienden a parecerse a aquellos de la precipitación media anual.

En la naturaleza, los efectos de estos tipos de enfriamiento a menudo están interrelacionados, y la precipitación resultante no puede identificarse como de un solo tipo.

1.2.2. Evaporación y transpiración

Esta fase del ciclo hidrológico es en la cual la precipitación que llega a la superficie de la tierra retorna a la atmósfera en forma de vapor. De la precipitación que cae en dirección a la superficie de la tierra, una parte se evapora antes de llegar al suelo.

1.2.2.1. Evaporación

Es la transformación del agua líquida en gas cuando se mueve desde la tierra o las fuentes de agua hacia la atmósfera. La fuente de energía para la evaporación es principalmente la radiación solar. La evaporación a menudo incluye la transpiración de las plantas, y en conjunto se le llama evapotranspiración.

1.2.2.2. Superficies de evaporación

Todas las superficies expuestas a la precipitación, tales como vegetales, edificios, calles pavimentadas, son superficies potenciales de evaporación.

Como la tasa de evaporación durante los períodos de lluvia es pequeña, la cantidad de agua precipitada que se evapora está limitada esencialmente a la cantidad necesaria para saturar la superficie.

La tasa de evaporación desde una superficie de suelo saturado es aproximadamente igual a la evaporación desde una superficie de agua cercana, a la misma temperatura.

Al comenzar a secarse el suelo, la evaporación disminuye y su temperatura aumenta para mantener el balance de energía. Eventualmente, la evaporación cesará pues no existe un mecanismo efectivo para transportar el agua desde una profundidad apreciable. Por lo tanto, la tasa de evaporación desde la superficie del suelo, está limitada por la disponibilidad de agua, o por la oportunidad de evaporación.

1.2.2.3. Transpiración

El proceso de transpiración constituye una fase importante del ciclo hidrológico, debido a que es el mecanismo principal por medio del cual el agua precipitada sobre la superficie del suelo regresa a la atmósfera. Del agua absorbida por el sistema de raíces de una planta, solo una porción minúscula permanece en los tejidos de la misma; virtualmente, toda el agua retorna a la atmósfera en forma de vapor, debido a la transpiración.

Es difícil, generalmente, separar la evaporación y la transpiración en el balance hídrico de una cuenca hidrográfica. Por esta razón, ambos factores se tratan usualmente como uno solo; sin embargo, es necesario tener un conocimiento de cada proceso, para asegurar que las técnicas empleadas concuerdan con la realidad física.

1.2.2.4. Evapotranspiración

Es la cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración vegetal. La evapotranspiración se aproxima a la evaporación de agua libre, siempre y cuando haya una cobertura vegetal completa y que los efectos de los factores meteorológicos en las dos superficies sean lo suficientemente parecidos.

1.2.3. Escorrentía superficial

Es la variedad de rutas por las cuales se mueve el agua a través del suelo. Incluye tanto la escorrentía superficial como la escorrentía a través de canales. Cuando fluye, el agua puede infiltrarse en la tierra, evaporarse en el aire, almacenarse en lagos o embalses, o ser extraída para usos humanos, agrícolas u otros.

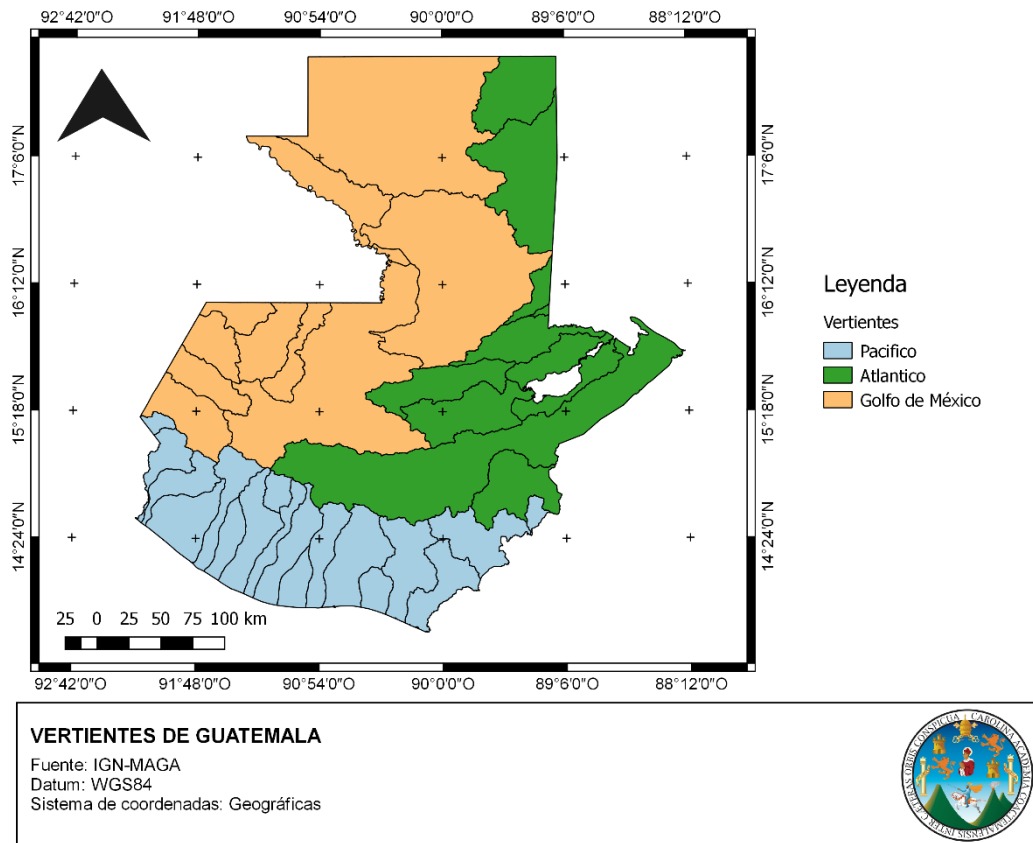
1.2.4. Infiltración

Es el agua de la superficie que penetra en el suelo. Una vez infiltrada, el agua pasa a formar parte de la humedad del suelo o del agua subterránea.

1.3. Hidrografía de Guatemala

Desde el punto de vista hidrográfico, Guatemala está dividida en tres vertientes: la que drena hacia el Océano Pacífico, hacia el mar Caribe y hacia el golfo de México. El área que drena hacia el Océano Pacífico es el 22 % del área total del país, mientras que el área que drena hacia el mar Caribe es el 31 % y hacia el golfo de México es el 47 %.

Figura 2. Vertientes de Guatemala



Fuente: elaboración propia, con base en información del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, empleando Qgis.

Las cuencas que drenan hacia el Océano Pacífico son pequeñas y los ríos recorren un tramo corto (aproximadamente 100 km), desde su nacimiento hasta su desembocadura, con fuerte pendiente en su cabecera y perfil suave en la planicie costera. Las cuencas que drenan en dirección al mar Caribe son más extensas e incluyen la cuenca más larga del país que es la del río Motagua.

Las cuencas que drenan en dirección al golfo de México forman la parte alta de la cuenca del río Usumacinta, que drena en dirección de la República de México.

1.4. Componentes básicos del riesgo

El riesgo es la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. La vulnerabilidad o las amenazas, por separado, no representan un peligro. Pero si se juntan, se convierten en un riesgo, o sea, en la probabilidad de que ocurra un desastre.

1.4.1. Riesgo

Una situación de riesgo es la acción de poner en situación de peligro a bienes o personas que son vulnerables al mismo. Puede cuantificarse como las pérdidas esperadas debido a un tipo de riesgo potencial en una situación dada y en un período de referencia.

1.4.2. Amenaza

Las amenazas son un peligro que afronta una comunidad que resulta de la ocurrencia de un fenómeno natural (inundación, terremoto, entre otros.). Se determina mediante su probabilidad de ocurrencia y la severidad con la cual se manifiesta en ciertos lugares.

La ocurrencia refleja la historia de un evento y la probabilidad de un evento amenazante sobre el cual una comunidad o población no tenga conocimiento, porque no se tiene un antecedente histórico o porque ha ocurrido hace más de una generación y por lo tanto no es recordado.

La severidad de las amenazas naturales se mide usualmente para un lugar específico, aplicando escalas específicas, por ejemplo nivel de inundación para un período de retorno de 100 años.

1.4.3. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el riesgo de sufrir pérdidas como resultado de un fenómeno potencialmente perjudicial. Es una medida agregada del bienestar humano que integra la exposición medioambiental, social, económica y política a un abanico de perturbaciones dañinas.

1.4.4. Desastre

Un desastre es una situación de daño grave que altera la estabilidad y condiciones de vida en una comunidad o población dada, ante la presencia de una energía o fuerza potencialmente peligrosa.

1.4.5. Inundación

Es la sumersión bajo el agua de una zona terrestre que normalmente no está cubierta por la misma, debido a un cambio relativamente rápido del nivel de una masa de agua.

A continuación se describen las causas más frecuentes de inundación:

1.4.5.1. Desbordamiento de un cauce

Se da como consecuencia de una crecida. Consiste en la ampliación temporal del lecho fluvial, el río ocupa su llanura de inundación o cauce mayor.

1.4.5.2. Elevación del nivel del mar en las costas

Se eleva el nivel del mar por situaciones de temporal, huracanes, olas de tsunami, entre otros. Estas elevaciones reducen la capacidad de desagüe de los ríos en crecida, agravándose el proceso.

1.4.5.3. Insuficiencia o imposibilidad de drenaje del agua precipitada

El agua permanece varios días hasta que se evapora o se infiltra. Se da sobre todo en determinadas superficies como terrenos impermeables, zonas urbanas, áreas endorreicas, entre otros.

1.4.5.4. Elevación del nivel freático

Al elevarse el nivel freático se produce encharcamiento superficial.

1.4.5.5. Inundación en el área de confluencia de dos sistemas fluviales

Un río crecido no puede recibir los caudales de sus afluentes, de manera que su propia crecida penetra en sus afluentes y provoca inundaciones al remansar sus descargas.

También pueden coincidir las crecidas de los afluentes, produciendo efectos graves y complejos.

1.4.5.6. Consecuencia de las inundaciones

Las inundaciones constituyen fenómenos físicos que afectan las actividades socioeconómicas realizadas por el hombre.

Hay que destacar que la existencia de inundaciones puede ser beneficiosa para el hombre, incrementa la fertilidad del suelo, limpia cauces, renueva aguas estancadas y acuíferos aprovechables o riego con aguas de avenida en zonas deficitarias.

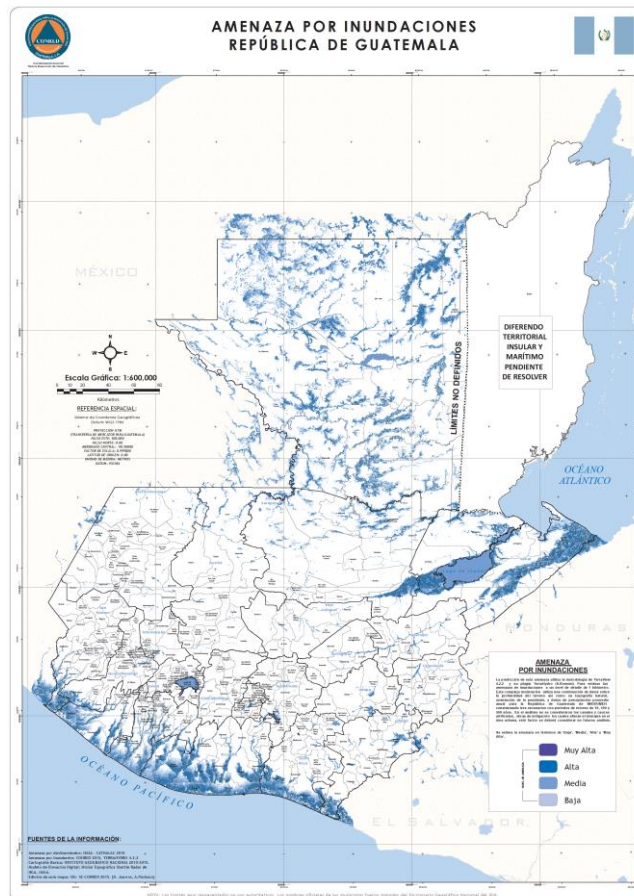
Sin embargo, las consecuencias son, en su mayor parte negativas, y pueden ocasionar daños en infraestructuras como vías de comunicación, viviendas, edificaciones, puentes, entre otros. Repercusiones en actividades humanas como la paralización de actividades, pérdidas económicas, gastos económicos en reparaciones, limpieza general, epidemias y problemas de salud pública por expansión de contaminantes, corte del agua potable, falta de abastecimiento y la pérdida de vidas humanas, tanto directa como indirectamente.

1.5. Potenciales amenazas hidrometeorológicas que afectan a Guatemala

Guatemala es afectada de manera recurrente por eventos de tipo hidrometeorológico, como huracanes, lluvias intensas, temporales y su influencia en las inundaciones y deslizamientos. Según la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, CONRED 2016, existen en Guatemala 4 587 puntos de riesgo a inundaciones que a nivel nacional podrían presentarse. Para lo cual se tienen identificadas tendencias que van desde

bajo, medio, alto y muy alto, con base en los registros de los diferentes poblados en el territorio nacional.

Figura 3. **Mapa de riesgo a inundaciones**



Fuente: Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.

En un análisis realizado sobre los puntos de inundación registrados por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), durante los años 1996 al 2000 se obtuvieron los siguientes resultados:

- Existe una consistencia en la ocurrencia de eventos basados en la pendiente del área; un 82,4 % de los eventos ocurrieron en áreas con pendientes menores al 8 %.

- La vertiente del Pacífico presenta la mayor ocurrencia de eventos con un 60 %, seguida por la vertiente del mar Caribe con un 36 % y el 4 % restante ocurrió en la vertiente del golfo de México.
- La mayor cantidad de eventos ocurrieron en la segunda mitad del invierno; el 65.6 % entre los meses de agosto y septiembre.
- Las cuencas más afectadas fueron las de los ríos María Linda, Motagua, Achiguate y Coyolate.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO MOTAGUA

La cuenca es un área topográficamente delimitada (por un parte aguas) y drenada por un sistema de tributarios, y que representa el área total de terreno sobre un punto en el que drena un. La FAO la define como una zona geográfica drenada por un afluente. Así, la cuenca es una unidad hidrológica a menudo utilizada como una unidad biofísica, socioeconómica y política para la planificación y el manejo de recursos naturales, dado que en ella se expresan las interrelaciones entre agua, suelo y plantas.

2.1. Ubicación geográfica

La cuenca de estudio se trata de una subcuenca del río Motagua, y se encuentra ubicada en la vertiente del océano Atlántico, el cauce principal corre con dirección este a oeste recibiendo los aportes de 730 afluentes, caracterizados por tener drenaje con pendientes leves.

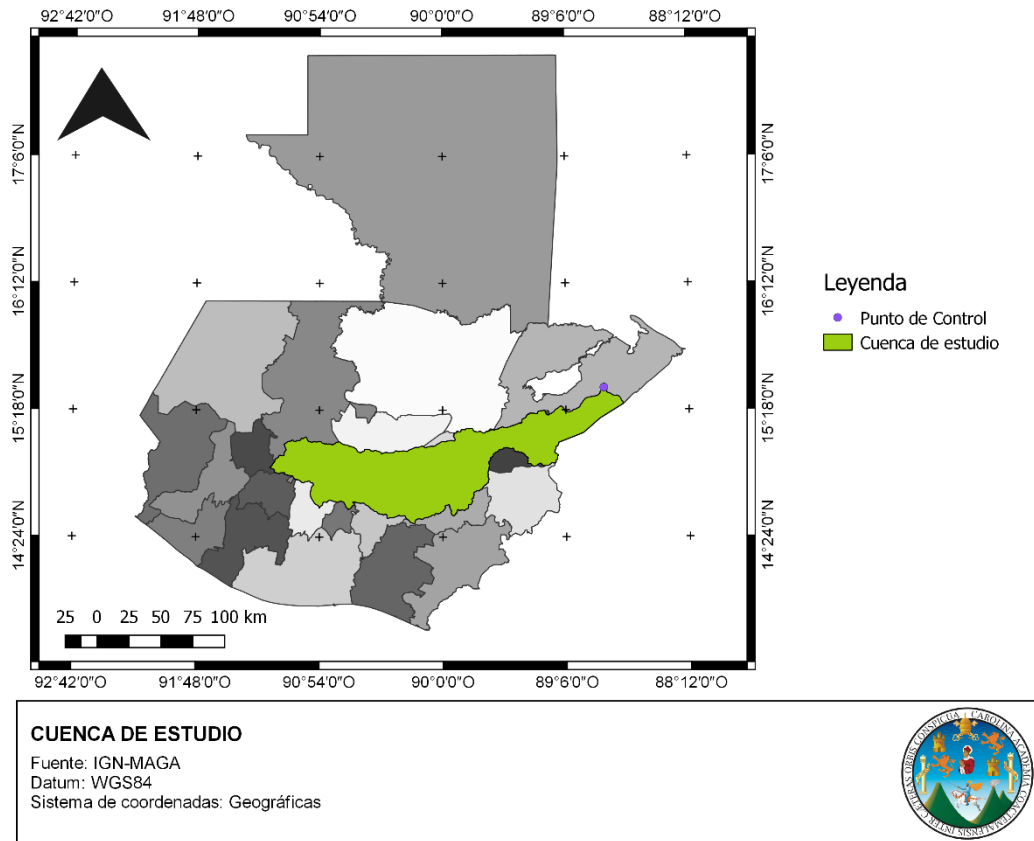
La cuenca se encuentra comprendida entre los meridianos 91°0' y 88°13' longitud oeste y los paralelos 14°56' y 15°43' latitud norte. Tiene como límites geográficos: al norte la cuenta del río Chixoy y el río Polochic, al este la cuenca del río Grande de Zacapa y la frontera con Honduras, al sur de la cuenca de Atitlán a la cuenca del río Olapa y al oeste la cuenta de Atitlán y la cuenca del río Chixoy.

2.2. Ubicación político territorial

La cuenca del río Motagua está ubicada dentro de los departamentos de: Alta Verapaz, Baja Verapaz, Chimaltenango, Chiquimula, El Progreso,

Guatemala, Izabal, Jalapa, Quiché, Sacatepéquez, Sololá, Totonicapán y Zacapa. Y comprende los municipios indicados en la tabla 1.

Figura 4. **Cuenca de estudio**



Fuente: elaboración propia, con base en información del Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, empleando Qgis.

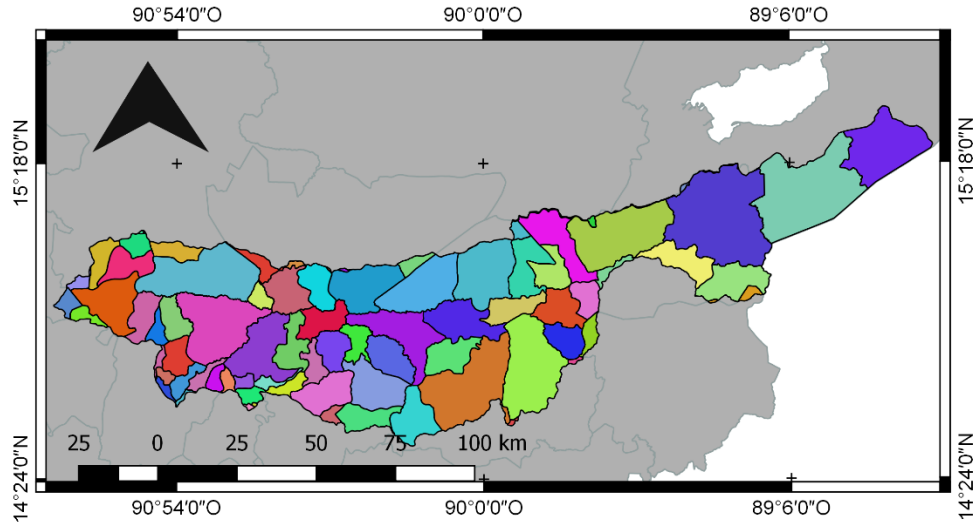
Para determinar la cuenca de estudio se utilizó un modelo de elevación digital que abarca los países de Guatemala y Honduras, ya que la cuenca total del río Motagua cubre ambos territorios, estableciéndose que el 100 % del área que tributa a esta cuenca está en el territorio guatemalteco.

Tabla I. División político territorial de la cuenca de estudio

Departamento	Municipio	Departamento	Municipio
Baja Verapaz	Cubulco	Izabal	El Estor
	San Miguel Chicaj		Morales
	Rabinal		Los Amates
	Salamá		
	San Jerónimo	Jalapa	San Pedro Pinula
	El Chol		Jalapa
	Granados		San Luis Jilotepeque
Chimaltenango	Tecpán Guatemala		Mataquescuintla
	San Martín Jilotepeque		Monjas
	San José Poaquil	Quiché	San Andrés Sajcabaja
	Santa Apolonia		San Pedro Jocopilas
	Comalapa		Zacualpa
	Chimaltenango		San Antonio Ilotenango
	Zaragoza		Santa Cruz del Quiché
	El Tejar		Joyabaj
	Santa Cruz Balanyá		Chinique
	Patzicía		Chiché
San Andrés Iztapa	Patzité		
Chiquimula	Camotán		
	Chiquimula		Pachalum
El Progreso	San Agustín Acasaguastlán	Sacatepéquez	Sumpango
	Morazán		Sto. Domingo Xenacoj
	San Cristóbal Acasaguastlán		Santiago Sacatepéquez
	El Júcaro		San Lucas Sacatepéquez
	Guastatoya		San Bartolomé Millpas
	Sanarate		Altas
	San Antonio La Paz	Alta Verapaz	Panzos
	Sansare	Sololá	Sololá
Guatemala	Chuarrancho	Totonicapán	Totonicapán
	San Raymundo		
	San Juan Sacatepéquez	Zacapa	Gualán
	San José del Golfo		Rio Hondo
	San Pedro Ayampuc		Teculután
	Chinautla		Zacapa
	Palencia		Usumatlán
	San Pedro Sacatepéquez		Estanzuela
	Guatemala		La Unión
	Mixco		Huité
	San José Pinula		Cabañas
	Santa Catarina Pinula		San Diego

Fuente: elaboración propia, con base en información del Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

Figura 5. División político territorial de la cuenca de estudio



Leyenda

Municipios Cuenca de estudio	Guastatoya	San Agustín Acasaguastlán	San Pedro Sacatepéquez
Cabañas	Guatemala	San Andrés Iztapa	San Raymundo
Camotán	Huité	San Andrés Sajcabaja	Sanarate
Chiché	Jalapa	San Antonio Ilotenango	Sansare
Chichicastenango	Joyabaj	San Antonio La Paz	Santa Apolonia
Chimaltenango	La Unión	San Bartolomé Millpas Altas	Santa Catarina Pinula
Chinautla	Los Amates	San Cristóbal Acasaguastlán	Santa Cruz Balanyá
Chinique	Mataquescuintla	San Diego	Santa Cruz del Quiche
Chiquimula	Mixco	San Jerónimo	Santiago Sacatepéquez
Chuarrancho	Monjas	San José del Golfo	Sololá
Comalapa	Morales	San José Pinula	Sto. Domingo Xenacoj
Cubulco	Morazán	San José Poaquil	Sumpango
El Chol	Pachalum	San Juan Sacatepéquez	Tecpán Guatemala
El Estor	Palencia	San Lucas Sacatepéquez	Teculután
El Júcaro	Panzós	San Luis Jilotepeque	Totonicapán
El Tejar	Patzicá	San Martín Jilotepeque	Usumatán
Estanzuela	Patzité	San Miguel Chicaj	Zacapa
Granados	Rabinal	San Pedro Ayampuc	Zacualpa
Gualán	Rio Hondo	San Pedro Jocopilas	Zaragoza
	Salamá	San Pedro Pinula	

DIVISIÓN POLITICO TERRITORIAL
CUENCA DE ESTUDIO
 Fuente: IGN-MAGA
 Datum: WGS84
 Sistema de coordenadas: Geográficas



Fuente: elaboración propia, con base en información del Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, empleando Qgis.

2.3. Determinación de los parámetros morfométricos de la cuenca de estudio

Los parámetros morfométricos de una cuenca son resultantes de la interacción de la geografía, clima y el movimiento del agua superficial. Éstos influyen profundamente en el comportamiento hidrológico de la zona de estudio. Pueden ser de tres tipos: de forma, de relieve y relativos a la red hidrográfica.

Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se precisa de información cartográfica de la topografía de la zona de estudio. Los planos para estos análisis son en escalas desde 1:25,000 hasta 1:100,000, dependiendo de los objetivos del estudio y tamaño de la cuenca en cuestión. En este caso se utilizaron mapas a escala 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

2.3.1. Área y perímetro de la cuenca de estudio

El área de la cuenca de estudio (A) se determinó mediante el software Qgis, sus dimensiones se expresan en kilómetros cuadrados (km²) o en hectáreas (Ha):

$$A = 10\,375,74 \text{ km}^2$$

$$A = 1\,037,574 \text{ Ha}$$

El perímetro de la cuenca de estudio (P), se determinó mediante el software Qgis; sus dimensiones se expresan en kilómetros (km):

$$P = 795,22 \text{ km}$$

2.3.2. Forma de la cuenca

Dada la importancia de la configuración de la cuenca, es conveniente cuantificar esta característica por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua superficial y las respuestas de la cuenca a tal movimiento.

2.3.2.1. Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad

Es la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de la circunferencia de área igual a la cuenca. El coeficiente de compacidad se encuentra mediante la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{P \text{ cuenca}}{P \text{ círculo}} \quad (1)$$

En donde:

Kc = Coeficiente de compacidad

P cuenca = Perímetro de la cuenca medido en kilómetros (km)

P círculo = Perímetro del círculo medido en kilómetros (km)

La fórmula 1 (Ecuación anterior) puede expresarse mediante la fórmula del perímetro del círculo de esta manera:

$$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

En donde:

K_c = Coeficiente de compacidad que es adimensional

P = Perímetro de la cuenca medido en kilómetros (km)

A = Área de la cuenca medida en kilómetros cuadrados (km²)

Cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad. Para una cuenca perfectamente circular el coeficiente de compacidad es igual a uno ($K_c=1$) y cuanto más se aleje de uno, más alargada será la cuenca.

El coeficiente de compacidad de la cuenca de estudio, obtenido mediante la fórmula 2 (Ecuación anterior) es $K_c = 2,2015$.

2.3.2.2. Factor de forma

Es la relación entre el ancho medio y la longitud del cauce principal de la cuenca. El factor de forma se encuentra mediante la siguiente ecuación:

$$K_f = \frac{B}{L} \quad (3)$$

En donde:

K_f = Factor de forma que es adimensional

B = Ancho medio de la cuenca medido en kilómetros (km)

L = Longitud del cauce principal de la cuenca medido en kilómetros (km)

El ancho medio se obtiene dividiendo el área de la cuenca por la longitud del cauce principal:

$$B = \frac{A}{L} \quad (4)$$

En donde:

B = Ancho medio de la cuenca medido en kilómetros (km)

A = Área de la cuenca medida en kilómetros cuadrados (km²)

L = Longitud del cauce principal de la cuenca medido en kilómetros (km)

Sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (3) se obtiene la siguiente ecuación de factor de forma:

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (5)$$

En donde:

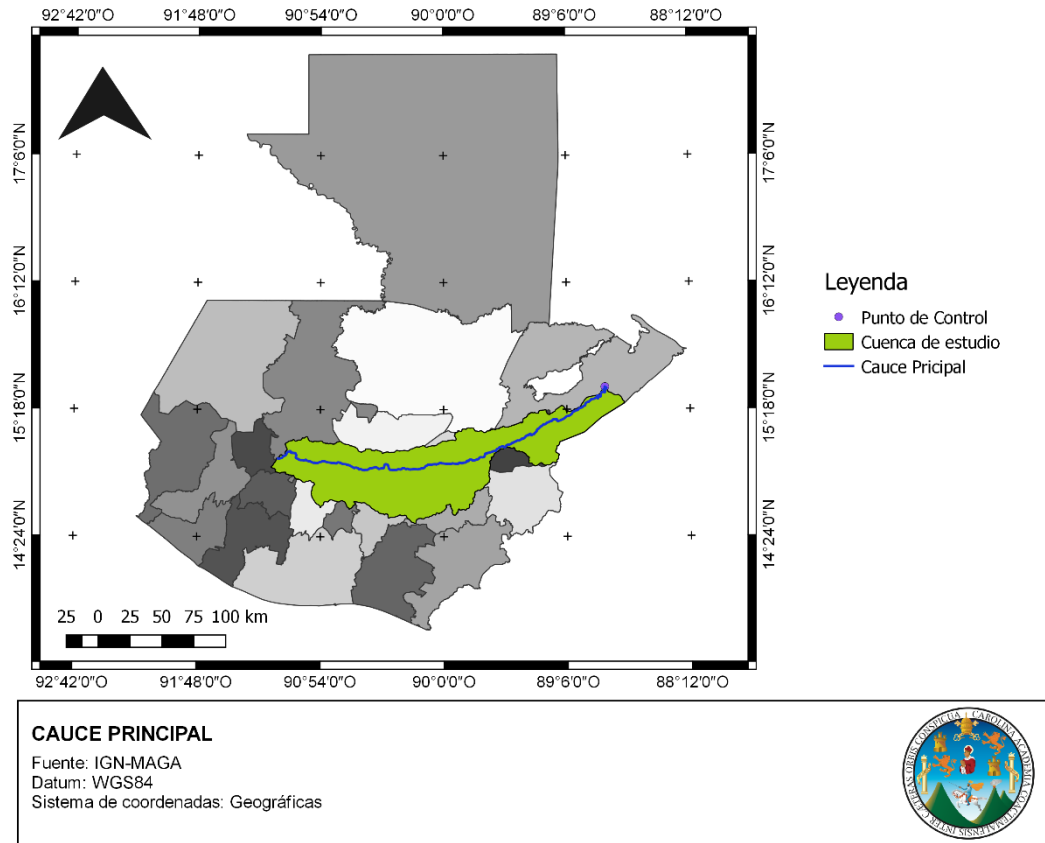
Kf = Factor de forma que es adimensional

A = Área de la cuenca medida en kilómetros cuadrados (km²)

L = Longitud del cauce principal de la cuenca medido en kilómetros (km)

Una cuenca tenderá a ser alargada si el factor de forma se aproxima a cero; mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor de forma tiende a uno. Este factor es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca. El factor de forma de la cuenca de estudio, obtenido mediante la fórmula (Ec. 5) es 0,0953.

Figura 6. **Cauce principal**



Fuente: elaboración propia, con base en información del Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, empleando Qgis.

2.3.3. Características de relieve

Los parámetros relativos al relieve en una cuenca tienen mayor influencia sobre la respuesta hidrológica que los parámetros de forma. Mediante sus características de relieve se puede conocer si un río es joven, maduro o viejo y si pueden aparecer nuevos cauces del mismo, se puede también conocer la variación de su caudal en el tiempo y otros datos importantes en un estudio hidrológico.

2.3.3.1. Pendiente media de la cuenca

La pendiente media está referida al nivel del mar; puede estimarse con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{DLi}{A} \quad (6)$$

En donde:

S = Pendiente media de la cuenca que es adimensional

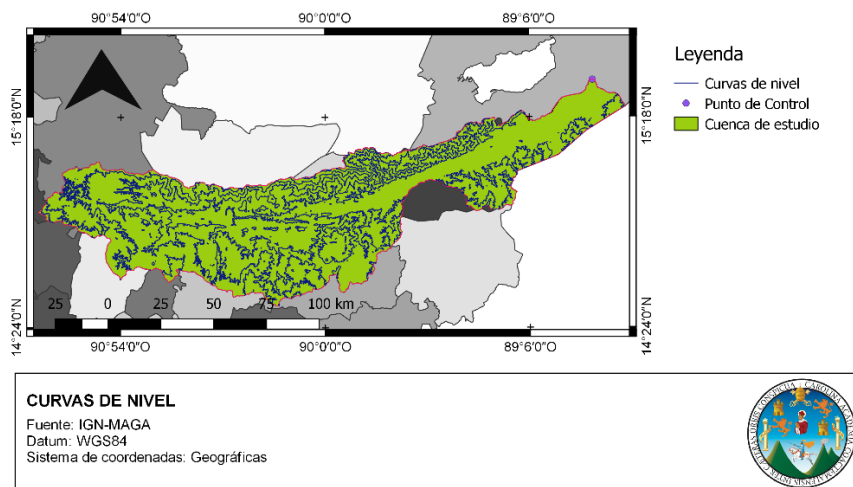
L_i = Longitud total de todas las curvas de nivel comprendidas dentro de cuenca en kilómetros (Km)

D = Equidistancia entre curvas de nivel del mapa topográfico en kilómetros (Km)

A = Área de la cuenca en kilómetros cuadrados (Km²)

El resultado de utilizar la fórmula (6) con los datos de la cuenca es una pendiente media de 30.42 %.

Figura 7. Curvas de nivel de la cuenca en estudio



Fuente: elaboración propia, con base en información del Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, empleando Qgis.

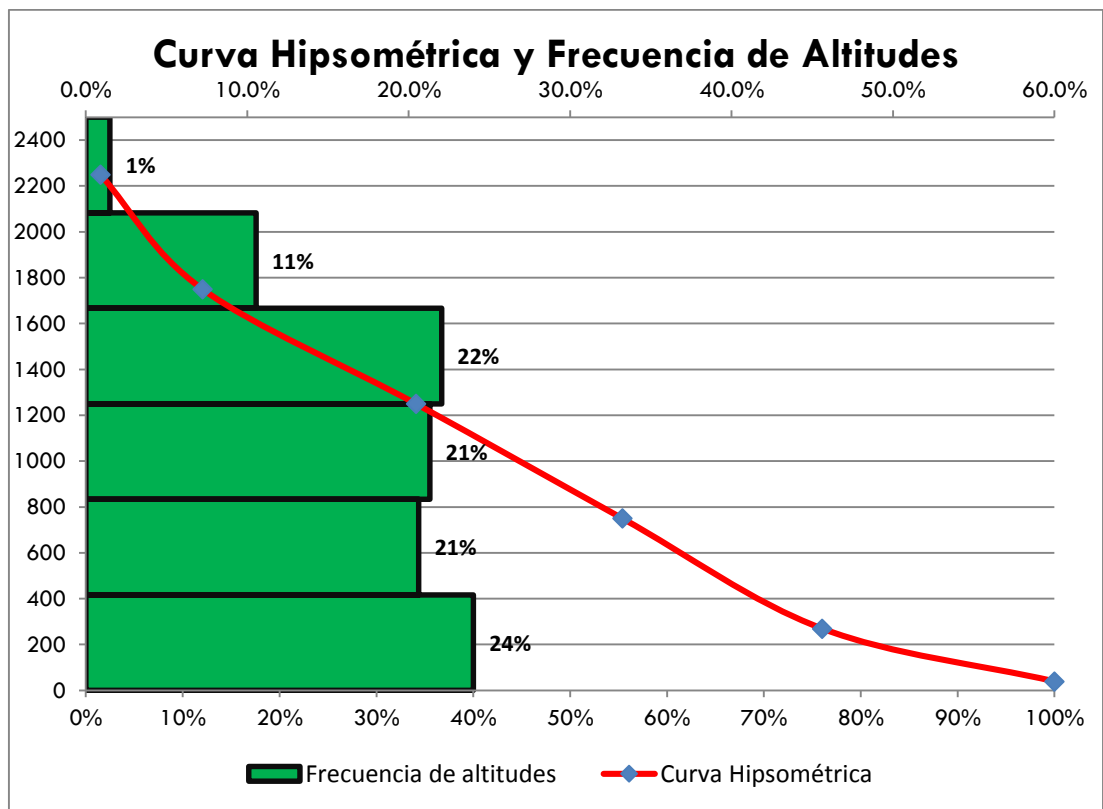
2.3.3.2. Histograma de frecuencias altimétricas

Indica el porcentaje de área comprendida entre dos alturas determinadas. En la figura 8 se muestra el histograma de frecuencias altimétricas de la cuenca de estudio.

2.3.3.3. Curva hipsométrica

Es la representación gráfica del relieve de la cuenca. Es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km²), que existe por encima de una cota determinada.

Figura 8. Curva hipsométrica e histograma de frecuencias



Fuente: elaboración propia, con base en información del Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

2.3.3.4. Pendiente del cauce principal

Es un indicador del grado de respuesta hidrológica de una cuenca a una tormenta. Asimismo, este parámetro permite evaluar el potencial erosivo a partir de la velocidad del flujo, lo que permite conocer las características adecuadas para la estabilización del cauce.

La pendiente del cauce principal está referida al nivel del mar, puede estimarse con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{H}{L} * 100 \quad (7)$$

En donde:

S = Pendiente del cauce principal que es adimensional

H = Desnivel entre los extremos del cauce

L = Longitud del cauce principal de la cuenca medido en kilómetros (km)

La pendiente del cauce principal es de 0,67 %.

2.3.4. Características de la red de drenaje

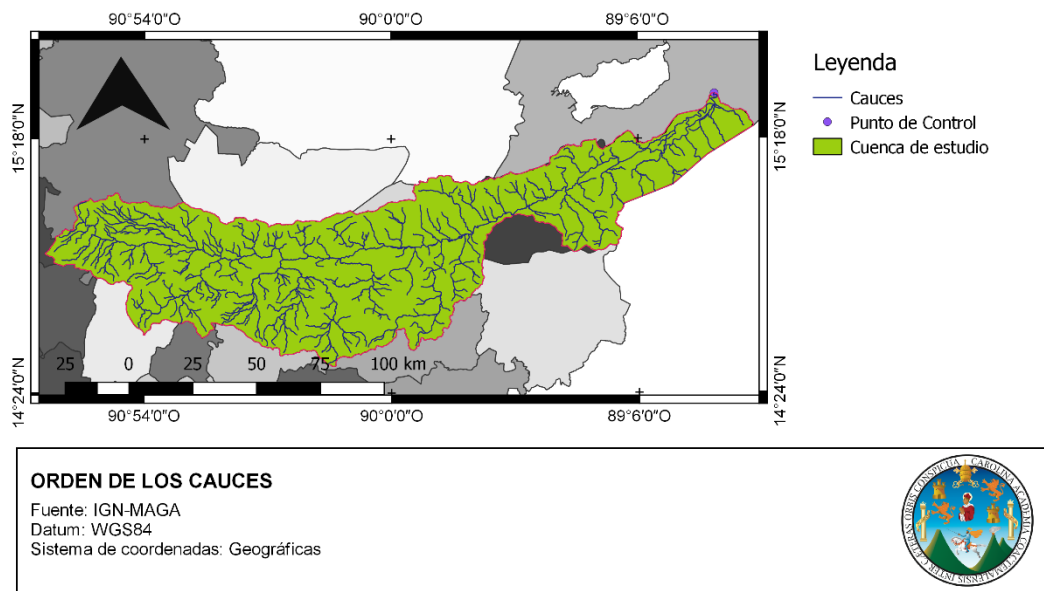
Las características de la red de drenaje permiten deducir la interacción entre el sistema fluvial y las demás características ambientales del territorio de la cuenca.

2.3.4.1. Orden de la cuenca

Es el nivel de importancia de un drenaje que aumenta a medida que tiene más afluentes con orden menor, hasta llegar a un drenaje mayor.

Este indicador también permite definir la disponibilidad de agua combinado con el indicador de régimen; a medida que un drenaje aumenta su orden, expresa un aumento en el número de sus tributarios, hasta llegar al nivel de base a un drenaje de orden mayor. La cuenca de estudio es de orden 5.

Figura 9. Orden de los cauces de la cuenca



Fuente: elaboración propia, con base en información del Instituto Geográfico Nacional y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, empleando Qgis.

2.3.4.2. Densidad de drenaje

Se expresa como la longitud de los cauces por unidad de área y provee una indicación de la eficiencia de drenaje de la cuenca. Puede calcularse la densidad de drenaje con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{\sum L_i}{A} \quad (8)$$

En donde:

D = Densidad de drenaje medido en km/km²

L_i = Longitud de los cauces de todos los cauces y tributarios de la cuenca
Medido en kilómetros (km)

A = Área total de la cuenca medido en kilómetros cuadrados (km²)

Utilizando la fórmula (8) con los datos de la cuenca de estudio, se obtiene como resultado una densidad de drenaje de 0,3117 km/km². Este resultado significa que la cuenca tiene un drenaje muy pobre y evacúa el agua de manera lenta.

2.3.4.3. Frecuencia de cauces

La frecuencia de cauces se define como el número de cauces entre la superficie de la cuenca. La frecuencia de cauces se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \quad (9)$$

En donde:

F = Frecuencia de los cauces o número de cauces por kilómetro cuadrado

N_i = Número de cauces de orden i

A = Área total de la cuenca medido en kilómetros cuadrados (km²)

Utilizando la fórmula (9) con los datos de la cuenca de estudio, se obtiene como resultado una frecuencia de cauces de 0,07 cauces por kilómetro cuadrado.

Según los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros morfométricos de la cuenca de estudio (cuenca del Motagua), se puede decir que esta es irregular, principalmente alargada, incidiendo en la forma en la que se evacuan las lluvias, siendo propensa a inundaciones debido a que su topografía no es excesivamente quebrada.

La pendiente media de la cuenca indica que el terreno es ligeramente quebrado, la elevación media de la cuenca es de 1 500 msnm.

3. APLICACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO HEC-RAS EN EL TRAMO DEL RÍO MOTAGUA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE MORALES, A LA ALTURA DEL CASERÍO BUENA VISTA

3.1. Conceptos básicos de hidráulica de canales abiertos

El flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras; la siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad de flujo respecto del tiempo y el espacio.

Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del mismo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. En la mayor parte de los problemas de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes.

En la mayor parte de los problemas de flujo permanente el caudal es constante a través del tramo del canal en consideración; en otras palabras, el flujo es continuo.

Existe otro tipo de flujo, el no permanente, y ocurre si la profundidad cambia con el tiempo.

3.1.1. Caudal

Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Para cualquier flujo, el caudal (Q) en una sección del canal atravesado por un fluido en una unidad de tiempo, se expresa por:

$$Q = V * A \quad (10)$$

Donde:

V= velocidad media (m/s)

A= área de la sección transversal (m²)

3.1.2. Caudal en una crecida

Consiste en el caudal máximo registrado o esperado, en un cuerpo de agua. Los estudios de las crecidas de un río se basan en los registros disponibles, pero muchas veces la cantidad, precisión y representatividad de los registros no es suficiente para lograr una adecuada confiabilidad en los resultados.

Las crecidas que son de interés desde el punto de vista de un ingeniero proyectista, son justamente aquellas que tienen una pequeña probabilidad de excedencia, o un gran período de retorno. Por consiguiente, se tiene una apreciable incertidumbre en la estimación, tanto por la dificultad de medir valores extremos como por la falta de precisión de dichas magnitudes.

Con el fin de aumentar la confiabilidad de las estimaciones, se han propuesto los métodos regionales de frecuencia de crecidas, los cuales hacen uso de toda la información geográfica e hidrológica disponible en la región de interés. Estos métodos regionales, además, permiten la estimación de cuantiles de gastos máximos en sitios sin registros, apoyándose en la información regional.

En esta investigación se utilizó para el cálculo de caudales de simulación el estudio de “Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala” del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH, 2004), en el que se definen ocho regiones del país; este estudio contempla varios tipos de distribuciones (siete), pero el INSIVUMEH recomienda dos que se ajustan a los datos de crecida de cada región: la distribución log-normal y la de Gumbel.

3.1.3. Régimen de flujo de una corriente

El régimen de flujo de una corriente se clasifica en función del número de Froude, el cual es la relación adimensional entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales; está dada por la ecuación (3.2):

$$F = \frac{V}{\sqrt{gl}} \quad (11)$$

Donde:

F = número de Froude

V = velocidad media del flujo (m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

L = longitud característica (m)

Cuando F es igual a la unidad ($F=1$), se dice que el flujo está en estado crítico. Si F es menor que la unidad ($F<1$) el flujo es subcrítico. En este caso el papel jugado por las fuerzas gravitacionales es más pronunciado; por lo tanto el flujo tiene una velocidad baja. Si es mayor que la unidad ($F>1$) el flujo es supercrítico. En este estado las fuerzas inerciales se vuelven dominantes; el flujo tiene una alta velocidad.

Debido a que el flujo en la mayor parte de los canales está controlado por efectos gravitacionales, un modelo utilizado para simular un canal prototipo con propósitos de prueba debe ser diseñado teniendo en cuenta este efecto; es decir, el número de Froude del flujo en el canal modelo debe ser igual al número de Froude del flujo en el canal prototipo.

3.1.4. Coeficiente de rugosidad

Es el valor que representa la resistencia al flujo por fricción, llamado coeficiente de rugosidad de Manning, se representa como (n) . Es importante para determinar de manera correcta el coeficiente de rugosidad de Manning, y entender los factores que lo afectan, con el fin de disminuir el rango de incertidumbre. Estos factores pueden ser: rugosidad superficial, vegetación, irregularidad y alineamiento del canal, sedimentación y socavación, obstrucción, tamaño y forma del canal, nivel y caudal, cambio estacional, material en suspensión y carga del lecho.

Puede obtenerse el valor del coeficiente de rugosidad de Manning (n) en la guía, para la selección de coeficientes de rugosidad de Manning, para los canales naturales y llanuras de inundación, documento 2339 del Servicio Geológico y de Abastecimiento de Agua de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés).

Figura 10. Valores del coeficiente “n” de rugosidad de Manning

a) Canales sin vegetación	
Sección transversal uniforme, alineación regular sin guijarros ni vegetación, en suelos sedimentarios finos	0,016
Sección transversal uniforme, alineación regular, sin guijarros ni vegetación, con suelos de arcilla duros u horizontes endurecidos	0,018
Sección transversal uniforme, alineación regular, con pocos guijarros, escasa vegetación, en tierra franca arcillosa	0,020
Pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, pocas piedras, hierba fina en las orillas, en suelos arenosos y arcillosos, y también en canales recién limpiados y rastrillados	0,0225
Alineación irregular, con ondulaciones en el fondo, en suelo de grava o esquistos arcillosos, con orillas irregulares o vegetación	0,025
Sección transversal y alineación irregulares, rocas dispersas y grava suelta en el fondo, o con considerable vegetación en los márgenes inclinados, o en un material de grava de hasta 150 mm de diámetro	0,030
Canales irregulares erosionados, o canales abiertos en la roca	0,030

Fuente: Hidráulica aplicada usando HEC-RAS.

3.1.5. Energía específica

La energía específica en una sección de canal se define como la energía de agua en cualquier sección de un canal medida, respecto del fondo de este. La energía específica de una sección de canal abierto se da de acuerdo con la ecuación:

$$H = Z + Y + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (12)$$

La cual establece que la energía específica es (H) en cualquier lugar a lo largo del canal es la suma de la energía potencial (Z+Y) y la energía cinética ($\alpha V^2 / 2g$).

3.2. Procesamiento y análisis de la información

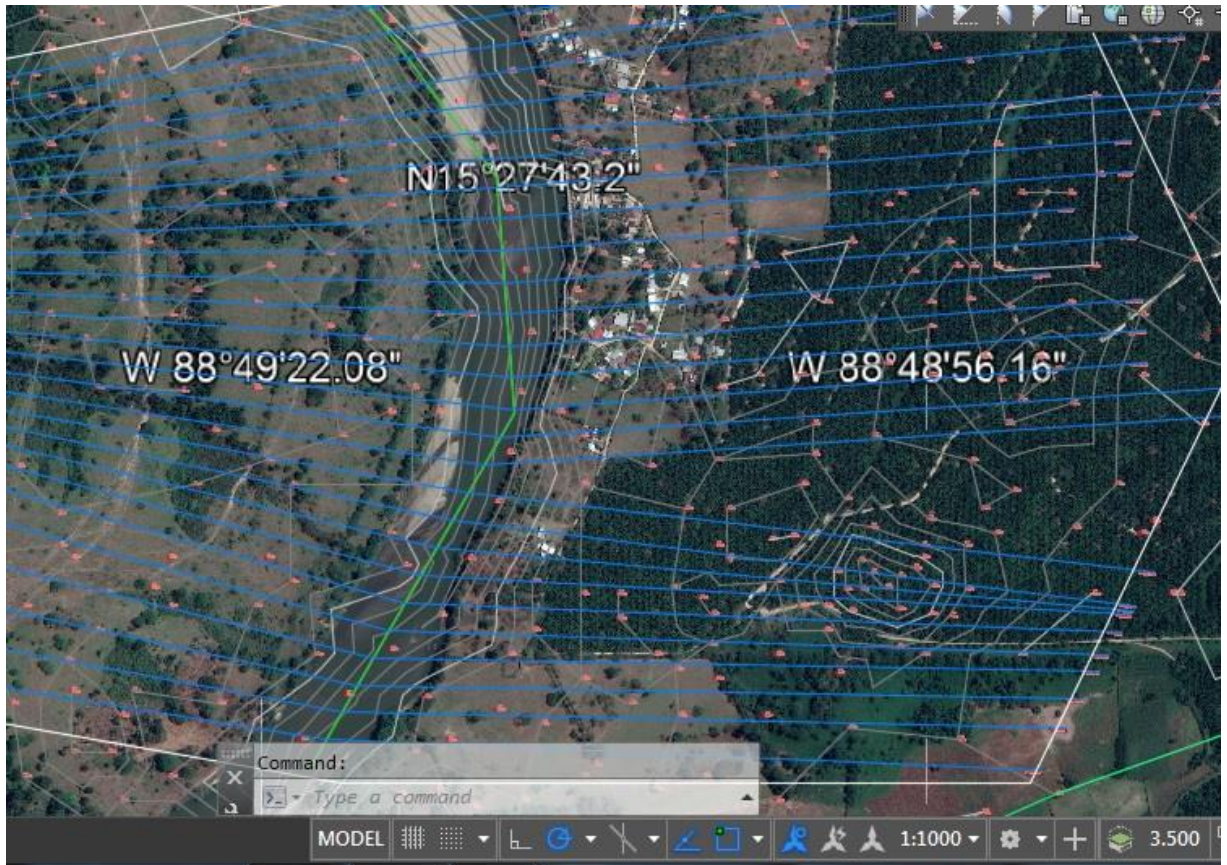
Con el procesamiento de la información recolectada se pretende determinar el comportamiento del río Motagua en el área de influencia del caserío Buena Vista, con caudales máximos para varios períodos de retorno propios del tramo de estudio; con el fin de reducir el riesgo a inundaciones a través del diseño de obras de protección, dando de esta forma solución al problema detallado en el informe de situación: DMI_040_20160229_IS_Construcción de espigones y socavación en el río Motagua, Morales, Izabal_TMCB/WRPG.

3.2.1. Geometría del cauce del río Motagua

La geometría del cauce del río Motagua se obtuvo realizando un levantamiento topográfico del área de estudio durante el mes de marzo de 2017 (época seca, fotografías adjuntas en anexos), utilizando un teodolito marca South. Debido al tamaño del tramo en estudio se combinó el levantamiento topográfico in situ con el modelo digital de elevaciones (MDE), disponible para la república de Guatemala, de 20 metros x 20 metros, para ampliar las secciones transversales hasta un ancho mayor a 2,5 kilómetros.

La geometría del cauce del río Motagua: planta, perfil y secciones transversales se presentan en los planos topográficos del No. 1 al 10.

Figura 11. **Levantamiento in situ geo-referenciado sobre imagen satelital para proceder a aplicar MDE**



Fuente: elaboración propia, empleando Civil 3D 2017.

3.2.2. **Determinación de caudales máximos**

Los caudales utilizados en la simulación hidráulica en el programa HEC-RAS fueron calculados utilizando el análisis regional de crecidas para la República de Guatemala, desarrollado por el departamento de Investigación y Servicios Hídricos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

El cálculo se realizó definiendo la región hidrológica de la cuenca del río Motagua, y corresponde a la región V Motagua.

Para la estimación de los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno, en cualquier sitio de interés, en cualquier región del país, se usa la ecuación (13) obtenida del documento análisis regional de crecidas para la República de Guatemala para el departamento de Investigación y Servicios Hídricos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), así como la ecuación (14), y la tabla II que se encuentra en la siguiente página.

$$Q_{tr} = Q_{mm} * K_{tr} \quad (13)$$

Donde:

Q_{tr} = Caudal para el período de retorno t_r

Q_{mm} = Crecida índice

K_{tr} = Crecida modular (o estandarizada)

La crecida índice se obtiene a partir de la ecuación (14), y de la tabla II, válida para la región a la que pertenece la cuenca de interés, la crecida modular se obtiene de acuerdo con la región y la curva de frecuencia que se estime conveniente (tabla III).

$$Q_{MM} = B N^n \quad (14)$$

En la tabla II, N es el número de estaciones utilizadas, B y n son parámetros de ajuste de la ecuación (14).

En el caso de este cálculo se ha seleccionado la distribución Log-Normal para períodos de retorno de dos (2), diez (10), veinticinco (25), cincuenta (50), cien (100) y quinientos (500) años; los resultados se presentan en la tabla II.

Tabla II. Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas

REGIONES	N	B	n
REGION I: ALTIPLANO OCCIDENTAL	11	0,08	1,03
REGION II: PACIFICO SUR-OCCIDENTAL	10	84	0,24
REGION III: PACIFICO SUR-ORIENTAL	10	0,26	1,04
REGION IV: ALTIPLANO ORIENTAL	4	0,15	1,21
REGION V: MOTAGUA	12	3,62	0,64
REGION VI: POLOCHIC-CAHABON Y BAJO MOTAGUA	17	0,75	0,91
REGION VII: PLANICIE DEL PETEN	5	0,22	0,9
REGION VIII: NOR-OCCIDENTAL	17	2,99	0,65

Fuente: elaboración propia, con base en el análisis regional de crecidas en la República de Guatemala, 2004.

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

Tr	REGIÓN								REGIÓN							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	GUMBEL								LOG-NORMAL							
1000	5,78	5,37	6,45	7,35	4,6	4,16	3,91	4,76	5,69	5,79	14,54	11,18	4,45	7,18	6,28	6,1
500	5,26	4,9	5,86	6,66	4,21	3,82	3,6	4,36	5,01	5,09	11,12	9,26	3,99	5,9	5,25	5,25
100	4,05	3,79	4,48	5,06	3,3	3,02	2,86	3,4	3,59	3,62	5,62	5,66	3,01	3,61	3,35	3,56
50	3,53	3,32	3,89	4,37	2,91	2,67	2,54	2,99	3,04	3,05	4,06	4,43	2,61	2,87	2,71	2,95
30	3,14	2,96	3,44	3,86	2,62	2,42	2,3	2,69	2,66	2,66	3,15	3,63	2,33	2,4	2,3	2,54
25	3,01	2,84	3,29	3,67	2,51	2,32	2,22	2,58	2,53	2,53	2,87	3,37	2,23	2,25	2,17	2,4
20	2,84	2,68	3,09	3,44	2,38	2,21	2,12	2,44	2,37	2,37	2,55	3,06	2,11	2,07	2,01	2,24
10	2,3	2,19	2,48	2,73	1,98	1,85	1,79	2,02	1,89	1,88	1,75	2,2	1,74	1,59	1,58	1,76
5	1,74	1,68	1,84	1,99	1,55	1,48	1,44	1,57	1,43	1,42	1,16	1,46	1,38	1,2	1,21	1,33
2	0,89	0,9	0,87	0,86	0,91	0,92	0,93	0,91	0,82	0,82	0,66	0,65	0,87	0,8	0,82	0,81

Fuente: elaboración propia, con base en el análisis regional de crecidas en la República de Guatemala, 2004.

Después de realizados los cálculos se ha decidido utilizar la distribución de Gumbel para realizar la simulación en HEC-RAS, debido a que es la que mejor se ajusta para los datos utilizados.

Tabla IV. Caudales resultantes de utilizar distribución de Gumbel para diferentes períodos de retorno

Distribución de Gumbel	
Período de retorno Tr (años)	Caudal Q (m ³ /s)
500	5 665,56
100	4 440,94
50	3 916,10
25	3 377,80
10	2 664,56
2	1 224,62

Fuente: elaboración propia, con base en el análisis regional de crecidas en la República de Guatemala, 2004.

3.2.3. Tipo de flujo del río Motagua

El flujo en el río Motagua, para este caso, es permanente; la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante un intervalo de tiempo determinado.

3.2.4. Régimen del flujo del río Motagua

El régimen de flujo del río Motagua se determinó de acuerdo con el número de Froude, el que se calcula utilizando la fórmula (11). Se encuentra el régimen de flujo del río Motagua para cada sección del tramo de estudio en planos topográficos del No.1 al 10, teniendo como resultado los datos de las tablas V y VI.

Tabla V. Régimen del flujo para cada estacionamiento del tramo de estudio del río Motagua, períodos de retorno de 2, 10 y 25 años

PERIODO DE RETORNO	2 AÑOS			10 AÑOS			25 AÑOS		
UNIDADES	Q (m³/s)			Q (m³/s)			Q (m³/s)		
CAUDAL	1 224,62			2 664,56			3 377,80		
ESTACIONAMIENTO	V (m/s)	FR	REGIMEN	V (m/s)	FR	REGIMEN	V (m/s)	FR	REGIMEN
0+050	5,97	1,15	SUPERCRITICO	6,84	1,14	SUPERCRITICO	7,32	1,15	SUPERCRITICO
0+100	5,27	1,00	CRITICO	6,19	1,01	SUPERCRITICO	6,53	0,99	SUBCRITICO
0+150	7,56	1,61	SUPERCRITICO	8,23	1,45	SUPERCRITICO	8,45	1,40	SUPERCRITICO
0+200	5,13	1,01	SUPERCRITICO	6,01	1,01	SUPERCRITICO	6,37	1,00	CRITICO
0+250	2,81	0,46	SUBCRITICO	3,78	0,53	SUBCRITICO	4,13	0,55	SUBCRITICO
0+300	7,71	1,67	SUPERCRITICO	8,78	1,57	SUPERCRITICO	9,13	1,55	SUPERCRITICO
0+350	5,34	1,01	SUPERCRITICO	6,24	1,00	CRITICO	6,62	1,00	CRITICO
0+400	3,35	0,58	SUBCRITICO	3,96	0,54	SUBCRITICO	4,14	0,52	SUBCRITICO
0+450	2,59	0,42	SUBCRITICO	3,27	0,42	SUBCRITICO	3,37	0,40	SUBCRITICO
0+500	7,97	1,84	SUPERCRITICO	9,33	1,83	SUPERCRITICO	3,84	0,50	SUBCRITICO
0+550	7,50	1,61	SUPERCRITICO	8,65	1,58	SUPERCRITICO	9,07	1,58	SUPERCRITICO
0+600	6,41	1,28	SUPERCRITICO	7,38	1,25	SUPERCRITICO	7,72	1,23	SUPERCRITICO
0+650	5,24	1,00	CRITICO	6,23	0,98	SUBCRITICO	6,62	0,97	SUBCRITICO
0+700	3,68	0,62	SUBCRITICO	4,91	0,66	SUBCRITICO	5,36	0,67	SUBCRITICO
0+750	3,82	0,68	SUBCRITICO	4,75	0,67	SUBCRITICO	5,12	0,67	SUBCRITICO
0+800	5,04	0,95	SUBCRITICO	5,53	0,85	SUBCRITICO	5,76	0,81	SUBCRITICO
0+850	2,99	0,49	SUBCRITICO	3,55	0,50	SUBCRITICO	2,90	0,36	SUBCRITICO
0+900	3,26	0,56	SUBCRITICO	3,79	0,53	SUBCRITICO	3,30	0,43	SUBCRITICO
0+950	3,48	0,61	SUBCRITICO	4,07	0,60	SUBCRITICO	3,51	0,48	SUBCRITICO
0+1000	6,54	1,49	SUPERCRITICO	3,90	0,60	SUBCRITICO	3,34	0,46	SUBCRITICO
0+1050	4,87	1,00	CRITICO	5,04	0,85	SUBCRITICO	3,91	0,60	SUBCRITICO
0+1100	3,61	0,71	SUBCRITICO	3,48	0,60	SUBCRITICO	3,04	0,48	SUBCRITICO
0+1150	2,12	0,37	SUBCRITICO	2,46	0,33	SUBCRITICO	2,54	0,32	SUBCRITICO
0+1200	7,00	1,70	SUPERCRITICO	9,01	1,87	SUPERCRITICO	9,69	1,94	SUPERCRITICO
0+1250	6,20	1,44	SUPERCRITICO	8,56	1,76	SUPERCRITICO	9,30	1,84	SUPERCRITICO
0+1300	7,20	1,83	SUPERCRITICO	9,51	2,10	SUPERCRITICO	10,24	2,15	SUPERCRITICO
0+1350	8,22	2,24	SUPERCRITICO	10,43	2,38	SUPERCRITICO	11,18	2,42	SUPERCRITICO

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Régimen del flujo para cada estacionamiento del tramo de estudio del río Motagua, períodos de retorno de 50, 100 y 500 años

PERIODO DE RETORNO	50 AÑOS			100 AÑOS			500 AÑOS		
UNIDADES	Q (m³/s)			Q (m³/s)			Q (m³/s)		
CAUDAL	3 916,10			4 440,94			5 665,56		
ESTACIONAMIENTO	V (m/s)	FR	REGIMEN	V (m/s)	FR	REGIMEN	V (m/s)	FR	REGIMEN
0+050	7,70	1,17	SUPERCRITICO	8,04	1,18	SUPERCRITICO	8,75	1,20	SUPERCRITICO
0+100	6,81	0,98	SUBCRITICO	6,99	0,96	SUBCRITICO	7,40	0,93	SUBCRITICO
0+150	8,61	1,37	SUPERCRITICO	8,77	1,34	SUPERCRITICO	5,84	0,69	SUBCRITICO
0+200	6,58	0,99	SUBCRITICO	6,82	0,98	SUBCRITICO	7,24	0,95	SUBCRITICO
0+250	4,37	0,55	SUBCRITICO	4,57	0,56	SUBCRITICO	4,93	0,56	SUBCRITICO
0+300	9,37	1,53	SUPERCRITICO	9,58	1,53	SUPERCRITICO	9,16	1,36	SUPERCRITICO
0+350	6,82	0,99	SUBCRITICO	7,00	0,98	SUBCRITICO	4,86	0,57	SUBCRITICO
0+400	4,13	0,49	SUBCRITICO	3,68	0,42	SUBCRITICO	3,44	0,37	SUBCRITICO
0+450	3,34	0,38	SUBCRITICO	3,15	0,34	SUBCRITICO	3,26	0,34	SUBCRITICO
0+500	3,74	0,46	SUBCRITICO	3,52	0,41	SUBCRITICO	3,62	0,40	SUBCRITICO
0+550	9,35	1,59	SUPERCRITICO	9,38	1,53	SUPERCRITICO	8,95	1,29	SUPERCRITICO
0+600	7,93	1,21	SUPERCRITICO	7,54	1,08	SUPERCRITICO	5,40	0,63	SUBCRITICO
0+650	6,86	0,95	SUBCRITICO	5,55	0,68	SUBCRITICO	4,40	0,49	SUBCRITICO
0+700	5,43	0,65	SUBCRITICO	5,67	0,66	SUBCRITICO	5,18	0,56	SUBCRITICO
0+750	5,19	0,65	SUBCRITICO	5,47	0,67	SUBCRITICO	5,34	0,60	SUBCRITICO
0+800	4,28	0,53	SUBCRITICO	3,90	0,46	SUBCRITICO	3,43	0,38	SUBCRITICO
0+850	2,78	0,34	SUBCRITICO	2,64	0,31	SUBCRITICO	2,49	0,27	SUBCRITICO
0+900	3,23	0,40	SUBCRITICO	3,08	0,37	SUBCRITICO	2,87	0,32	SUBCRITICO
0+950	3,40	0,44	SUBCRITICO	3,31	0,41	SUBCRITICO	3,06	0,36	SUBCRITICO
0+1000	3,32	0,44	SUBCRITICO	3,19	0,40	SUBCRITICO	2,99	0,35	SUBCRITICO
0+1050	3,53	0,54	SUBCRITICO	3,25	0,49	SUBCRITICO	2,84	0,40	SUBCRITICO
0+1100	2,93	0,44	SUBCRITICO	2,75	0,40	SUBCRITICO	2,52	0,34	SUBCRITICO
0+1150	2,62	0,32	SUBCRITICO	2,65	0,32	SUBCRITICO	2,62	0,29	SUBCRITICO
0+1200	10,15	1,97	SUPERCRITICO	10,55	1,98	SUPERCRITICO	11,37	2,03	SUPERCRITICO
0+1250	9,78	1,88	SUPERCRITICO	10,19	1,92	SUPERCRITICO	10,98	1,95	SUPERCRITICO
0+1300	10,71	2,17	SUPERCRITICO	11,11	2,18	SUPERCRITICO	11,92	2,21	SUPERCRITICO
0+1350	11,66	2,45	SUPERCRITICO	12,08	2,47	SUPERCRITICO	12,92	2,51	SUPERCRITICO

Fuente: elaboración propia.

3.3. Introducción al programa HEC-RAS

El programa HEC-RAS fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center), del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers).

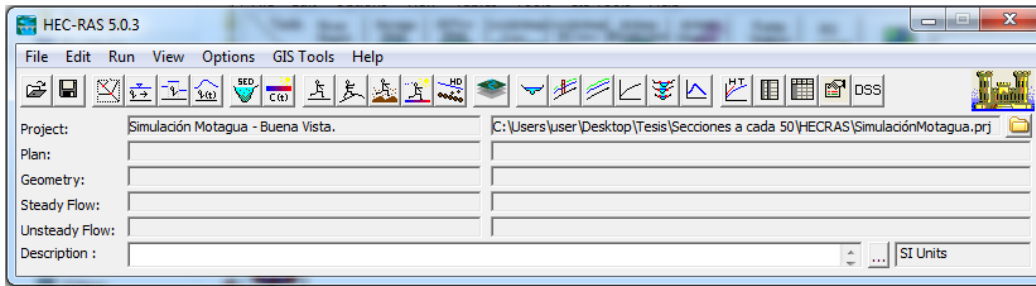
HEC-RAS es un programa de computadora que modela la hidráulica del flujo de agua a través de ríos naturales y otros canales. Los resultados del modelo se pueden aplicar en el manejo de llanuras de inundación, estudios de sistemas de alertas tempranas y diseño de obras de protección contra inundaciones.

El procedimiento computacional básico de HEC-RAS para flujo constante se basa en la solución de la ecuación de energía unidimensional. Las pérdidas de energía son evaluadas por fricción y contracción / expansión. La ecuación de impulso se puede utilizar en situaciones en las que el perfil de la superficie del agua varía rápidamente. Estas situaciones incluyen saltos hidráulicos, sistemas hidráulicos de puentes y perfiles de evaluación en confluencias de ríos.

3.3.1. Creación de un proyecto

Para cada proyecto de HEC-RAS hay dos componentes necesarios: los datos de geometría y de flujo. Los datos de la geometría consisten en una descripción del tamaño, forma y conectividad de la corriente de las secciones transversales. Del mismo modo, los datos de flujo consisten de la tasa de descarga. Todos los nombres de los archivos de proyectos para HEC-RAS se asignan la extensión .prj.

Figura 12. **Ventana de inicio de programa HEC-RAS**

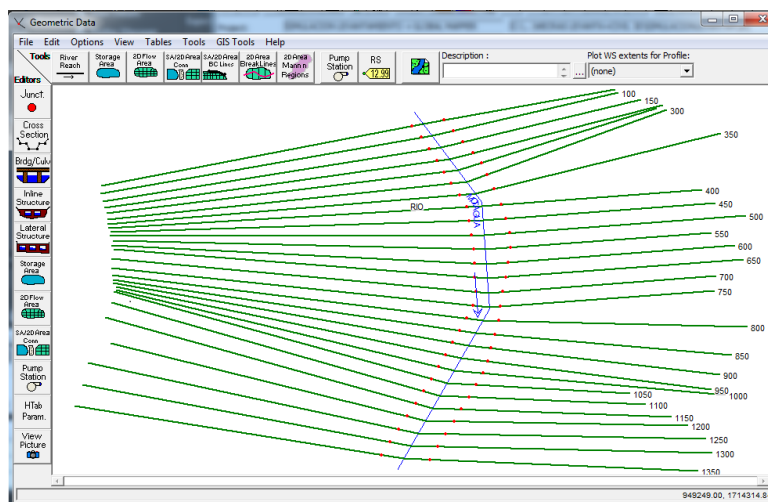


Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

3.3.2. Geometría del cauce

En este caso en específico el levantamiento topográfico se digitalizó por medio del software Civil 3D, obteniendo de esta manera la superficie del cauce del río y posteriormente se realizó la respectiva exportación de datos al software HEC-RAS. Aunque dicho software cuenta con un módulo para ingresar sección por sección es importante dominar la interrelación que actualmente existe entre diferentes software para realizar un estudio y sacarle el máximo provecho a los mismos.

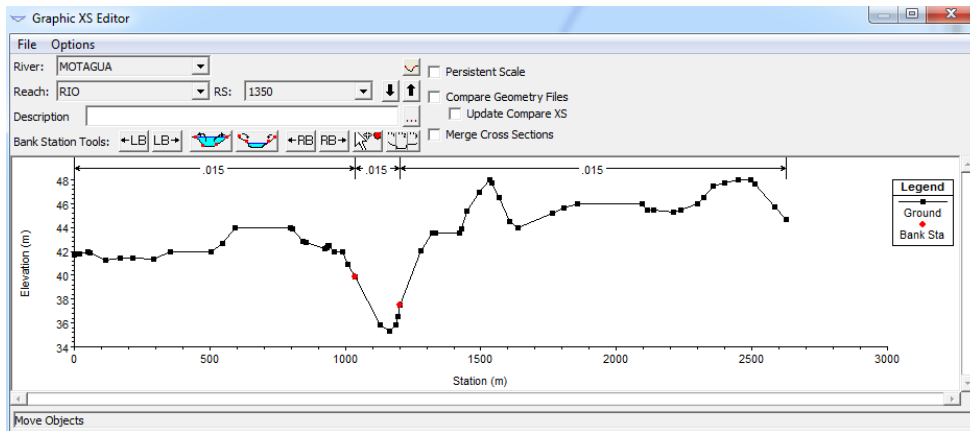
Figura 13. **Ventana de datos geométricos de programa HEC-RAS**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Al momento de realizar la importación de las secciones transversales de Civil 3D a HEC-RAS se pueden visualizar las mismas y realizar las correcciones necesarias, si se requiriere.

Figura 14. **Ventana de datos de sección**

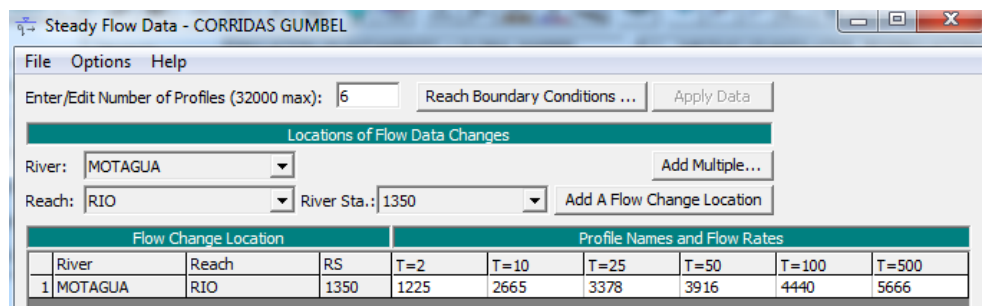


Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

3.3.3. Datos hidráulicos

Para introducir datos hidráulicos, deberá seleccionarse entre las opciones, flujo permanente o flujo no permanente, esto dependerá de las características del flujo. Luego se introducirá el régimen al que pertenece el flujo, las opciones que presenta el programa son régimen subcrítico, supercrítico o mixto.

Figura 15. **Ventana de introducción de datos hidráulicos**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

3.3.4. Presentación de resultados

HEC-RAS presenta en varias formas los resultados, en la figura 16 se muestran los resultados, donde se presentan varias características hidráulicas del flujo.

Figura 16. Ventana tabla de resultados

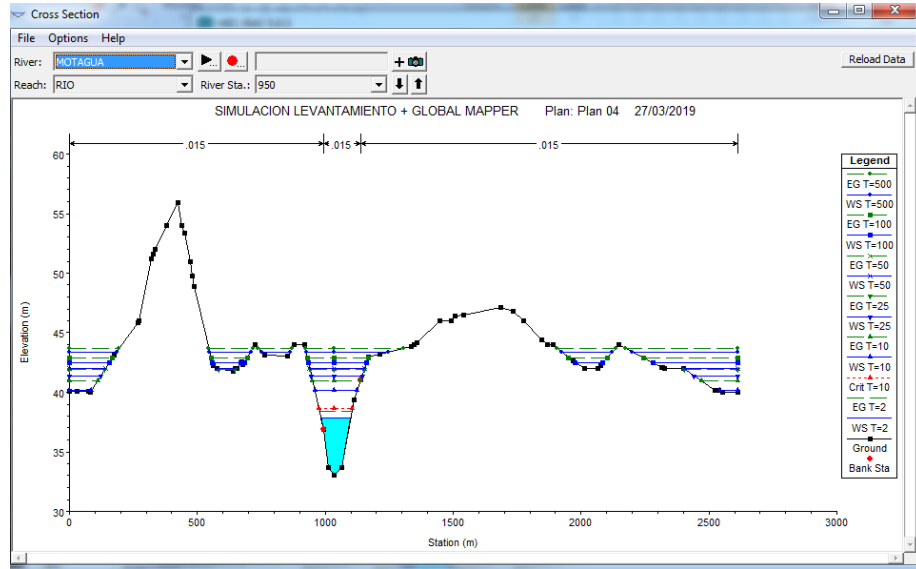
HEC-RAS Plan: PLAN 03 River: MOTAGUA Reach: RIO													Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	
RIO	1350	T=2	1225.00	35.30	37.45	38.49	40.89	0.010017	8.22	149.10	108.98	2.24	
RIO	1350	T=10	2665.00	35.30	38.32	39.89	43.84	0.010017	10.43	258.86	142.73	2.38	
RIO	1350	T=25	3378.00	35.30	38.65	40.41	44.95	0.010011	11.18	308.38	155.79	2.42	
RIO	1350	T=50	3916.00	35.30	38.88	40.76	45.70	0.010017	11.66	344.17	164.60	2.45	
RIO	1350	T=100	4440.00	35.30	39.08	41.09	46.37	0.010008	12.08	378.21	172.55	2.47	
RIO	1350	T=500	5666.00	35.30	39.50	42.43	47.78	0.010012	12.92	454.28	189.12	2.51	
RIO	1300	T=2	1225.00	35.01	37.61	38.46	40.25	0.006395	7.20	170.17	108.30	1.83	
RIO	1300	T=10	2665.00	35.01	38.52	39.97	43.13	0.007607	9.51	280.23	133.75	2.10	
RIO	1300	T=25	3378.00	35.01	38.88	40.52	44.23	0.007742	10.24	329.92	144.62	2.15	
RIO	1300	T=50	3916.00	35.01	39.12	40.90	44.97	0.007684	10.71	366.52	153.65	2.17	
RIO	1300	T=100	4440.00	35.01	39.35	41.42	45.63	0.007615	11.11	402.03	161.93	2.18	
RIO	1300	T=500	5666.00	35.01	39.82	42.72	47.02	0.007507	11.92	482.67	179.31	2.21	
RIO	1250	T=2	1225.00	34.72	37.85	38.43	39.81	0.003708	6.20	197.49	104.32	1.44	
RIO	1250	T=10	2665.00	34.72	38.83	40.03	42.56	0.005102	8.56	311.37	128.91	1.76	
RIO	1250	T=25	3378.00	34.72	39.21	40.61	43.62	0.005408	9.30	363.20	138.66	1.84	
RIO	1250	T=50	3916.00	34.72	39.47	41.43	44.36	0.005594	9.78	400.21	145.23	1.88	
RIO	1250	T=100	4440.00	34.72	39.71	41.76	45.01	0.005716	10.19	435.81	151.27	1.92	
RIO	1250	T=500	5666.00	34.72	40.23	42.62	46.38	0.005723	10.98	516.63	164.81	1.95	
RIO	1200	T=2	1225.00	34.42	37.04	37.83	39.54	0.005330	7.00	174.89	101.10	1.70	
RIO	1200	T=10	2665.00	34.42	38.11	39.47	42.25	0.005781	9.01	295.69	124.41	1.87	
RIO	1200	T=25	3378.00	34.42	38.51	40.07	43.30	0.006139	9.69	348.63	139.44	1.94	
RIO	1200	T=50	3916.00	34.42	38.78	40.65	44.03	0.006136	10.15	387.07	151.08	1.97	
RIO	1200	T=100	4440.00	34.42	39.02	41.13	44.67	0.006126	10.55	424.54	161.62	1.98	
RIO	1200	T=500	5666.00	34.42	39.51	41.77	46.04	0.006163	11.37	509.31	183.25	2.03	
RIO	1150	T=2	1225.00	34.06	38.86	37.17	39.07	0.000200	2.12	611.97	221.91	0.37	
RIO	1150	T=10	2665.00	34.06	41.08	38.50	41.35	0.000138	2.46	1296.13	464.19	0.33	

Total flow in cross section.

Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

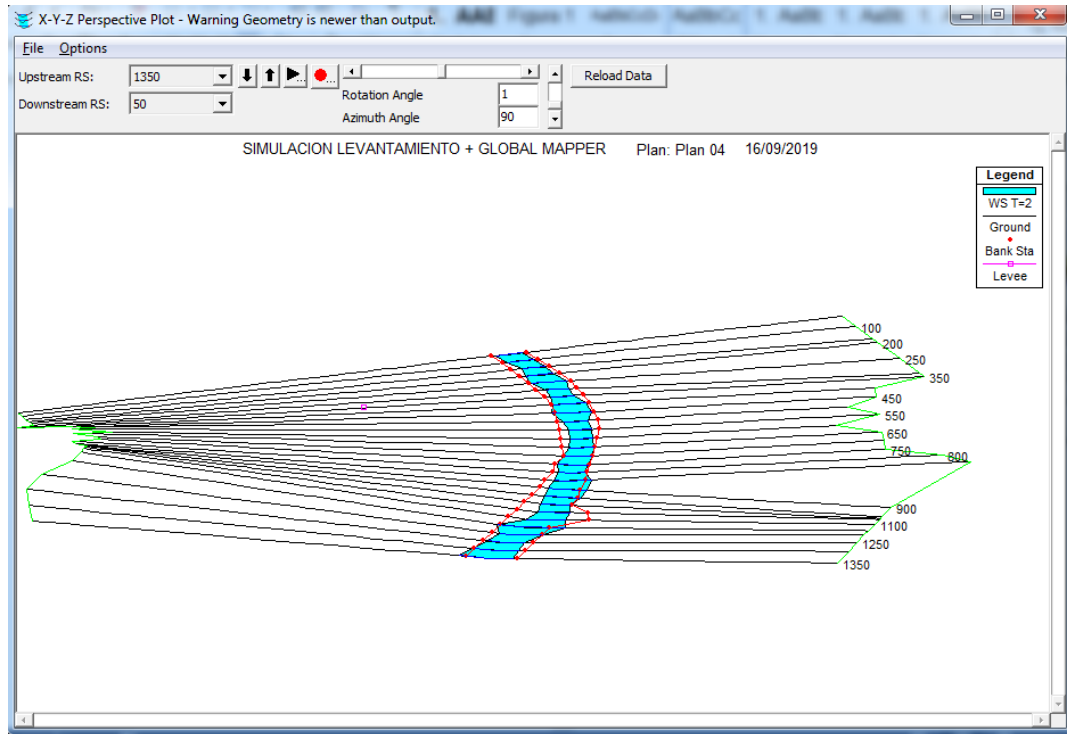
HEC-RAS cuenta con dos salidas gráficas: una salida presenta el nivel del agua en cada una de las secciones transversales introducidas (figura 16), conjuntamente con el nivel de la línea de energía y el nivel crítico, y en otra salida muestra el perfil longitudinal del río (figura 17), con una línea de energía.

Figura 17. Resultado gráfico de secciones transversales



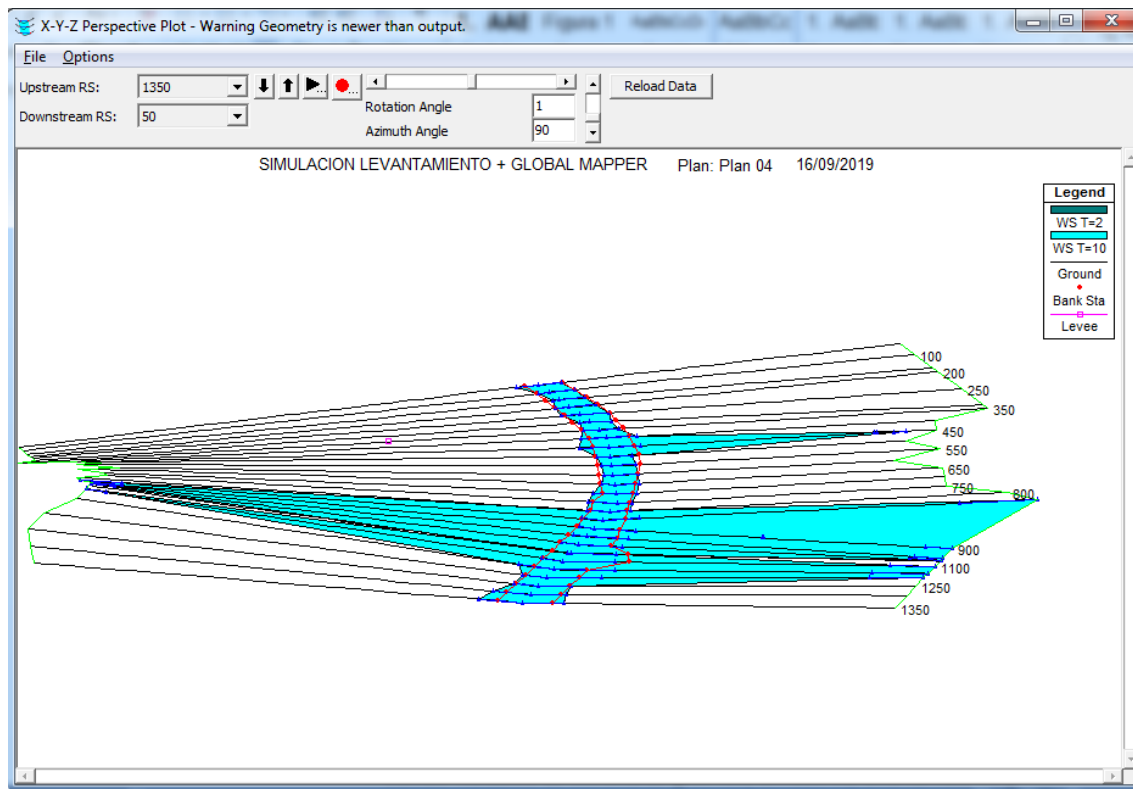
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 18. Resultados gráficos del perfil del cauce t=2



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 19. **Resultados gráficos del perfil del cauce t=10**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

3.3.5. **Características técnicas y sus aplicaciones**

El programa HEC-RAS es ejecutable en entorno Microsoft Windows y presenta las siguientes características técnicas:

- Cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, entre otros.)
- Visualización gráfica de datos y resultados
- Edición gráfica de secciones

Algunas de las aplicaciones del programa HEC-RAS son la modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

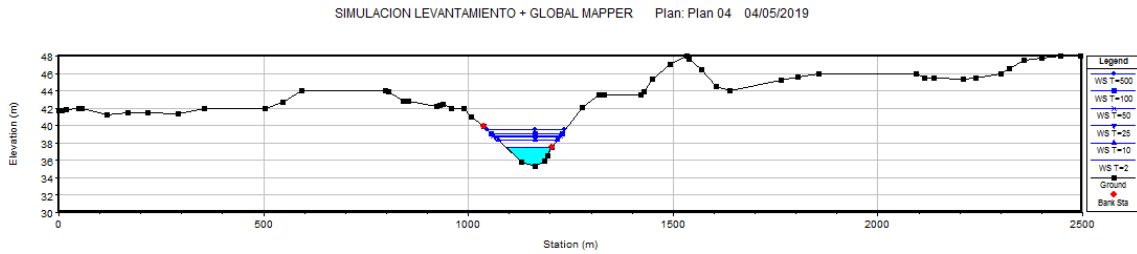
3.4. Realización de simulaciones, aplicado al tramo del río Motagua ubicado al costado del caserío Buena Vista

A continuación se presenta la simulación realizada con el programa HEC-RAS, donde se pueden observar los niveles de agua para las crecidas máximas del tramo en estudio; en los períodos de retorno correspondientes. Con este ejercicio se determinaron las áreas que son vulnerables a inundación, como consecuencia de su topografía.

3.4.1. Resultado de la simulación en las secciones transversales del río Motagua para caudales con períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años

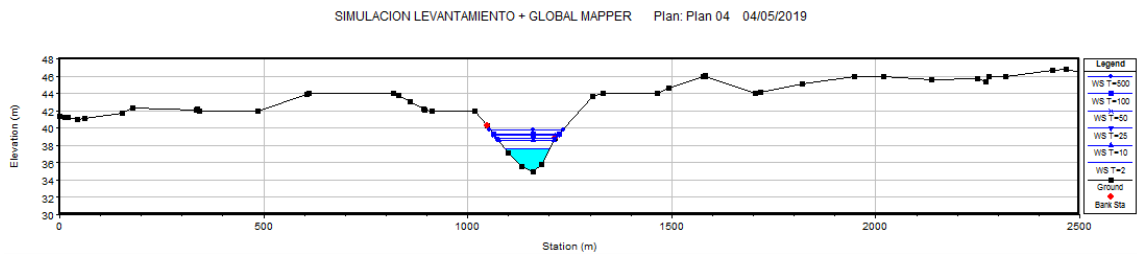
En la simulación hidráulica realizada con el programa HEC-RAS, se puede observar que el río se mantiene en su cauce natural para los períodos de 2 a 500 años en las secciones 1+200 a 1+350, y sale del mismo a partir del periodo de retorno de 10 años en las secciones 0+350 a 1+150 siendo peligroso para la comunidad del caserío Buena Vista a partir del nivel delimitado por la crecida para el período de retorno de 25 años. De la sección 0+050 a 0+300 el cauce natural es suficiente para contener la crecida para el periodo de 500 años. A continuación se presentan las gráficas de la simulación hidráulica del tramo, a través de secciones transversales a cada 50 metros.

Figura 20. Simulación hidráulica en la sección 1+350



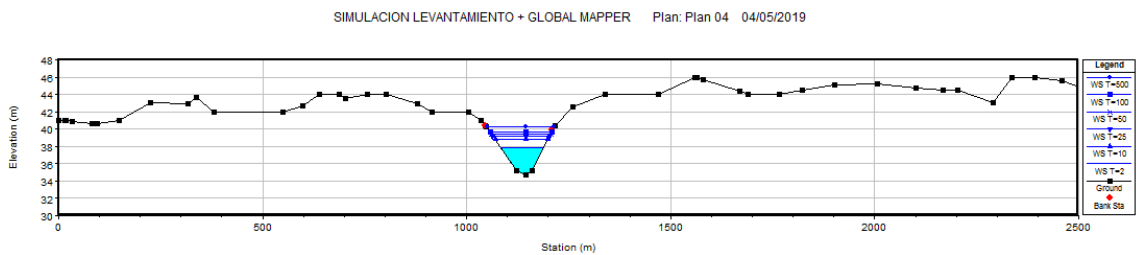
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 21. Simulación hidráulica en la sección 1+300



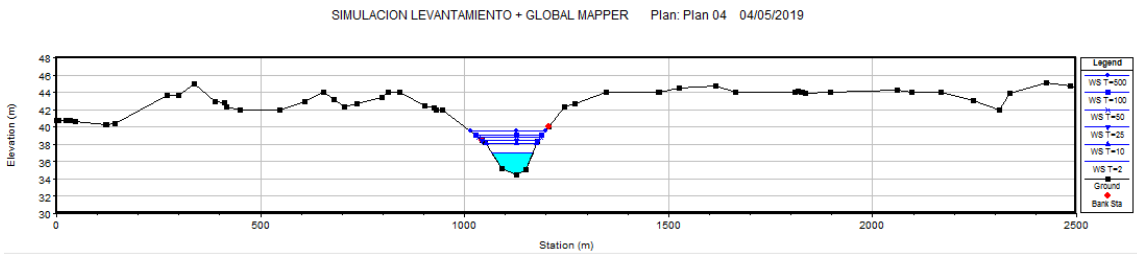
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 22. Simulación hidráulica en la sección 1+250



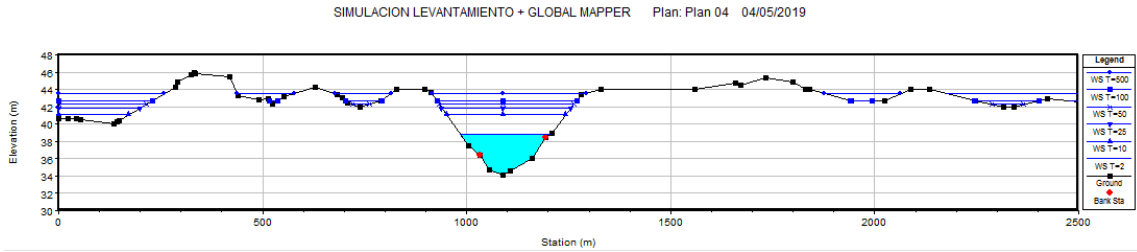
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 23. Simulación hidráulica en la sección 1+200



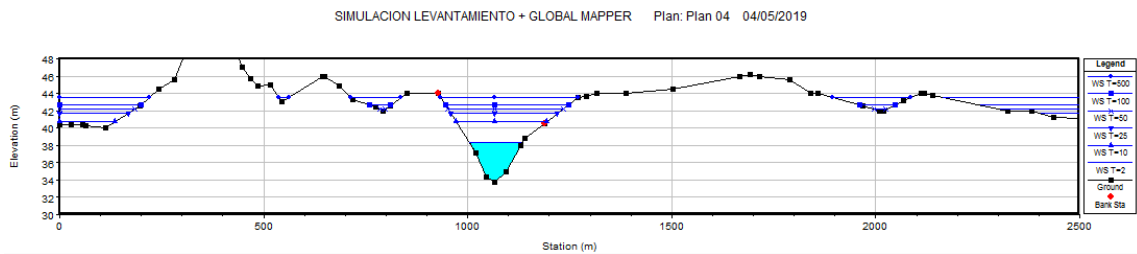
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 24. **Simulación hidráulica en la sección 1+150**



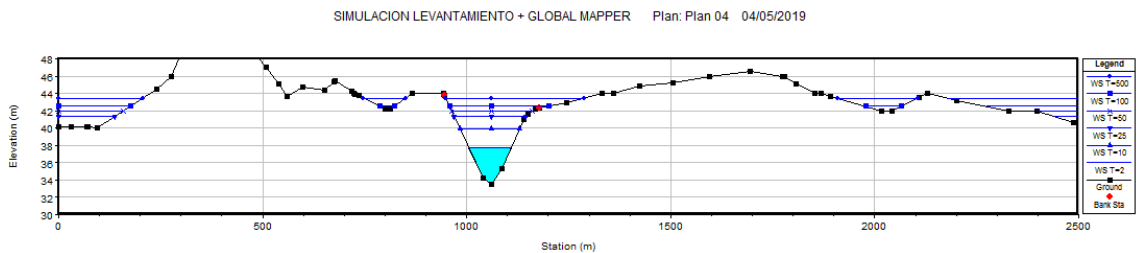
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 25. **Simulación hidráulica en la sección 1+100**



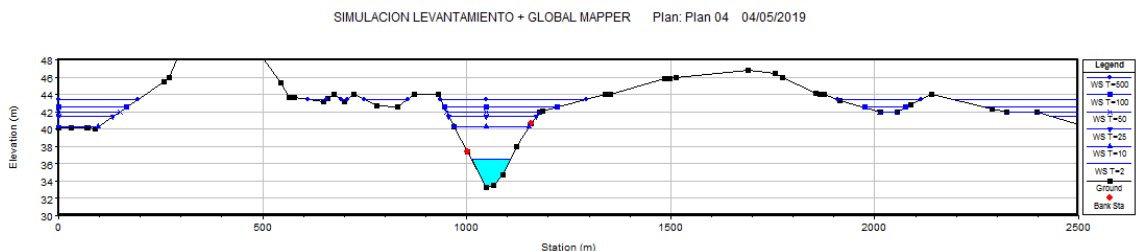
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 26. **Simulación hidráulica en la sección 1+050**



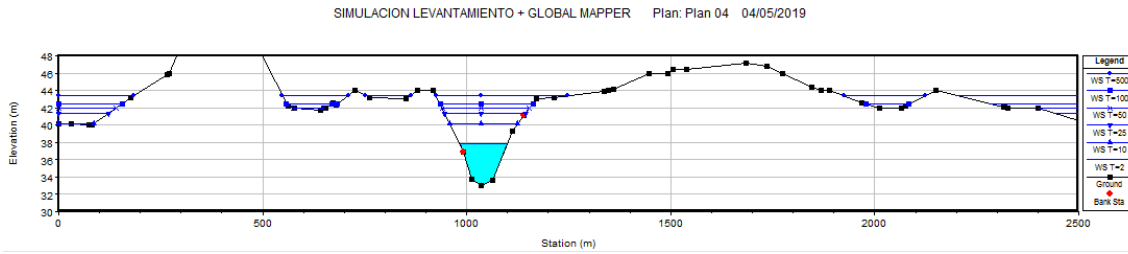
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 27. **Simulación hidráulica en la sección 1+000**



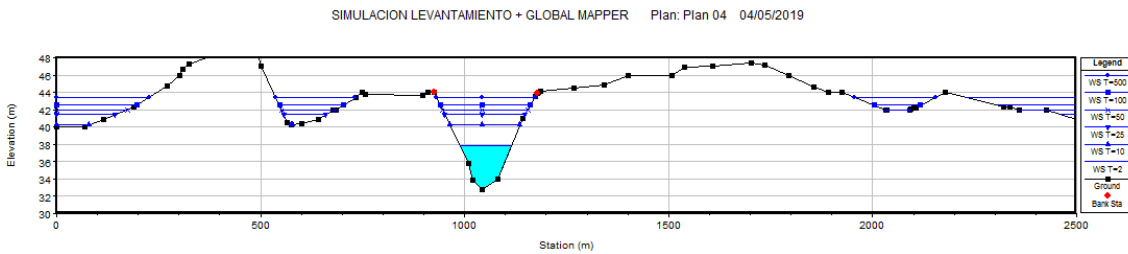
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 28. Simulación hidráulica en la sección 0+950



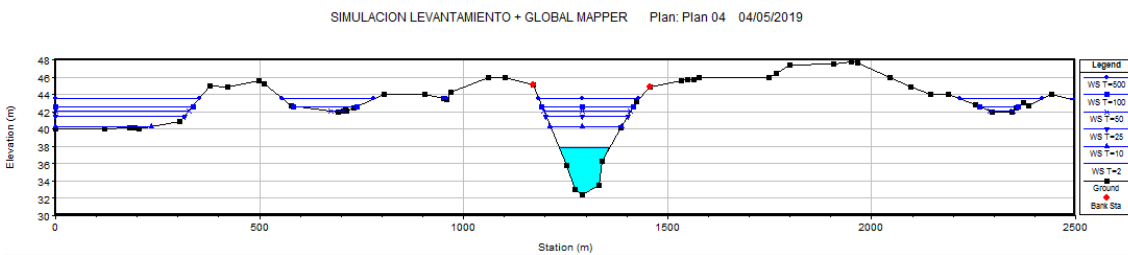
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 29. Simulación hidráulica en la sección 0+900



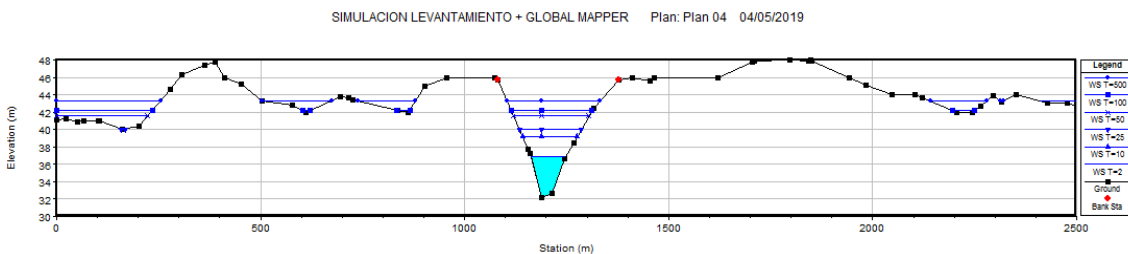
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 30. Simulación hidráulica en la sección 0+850



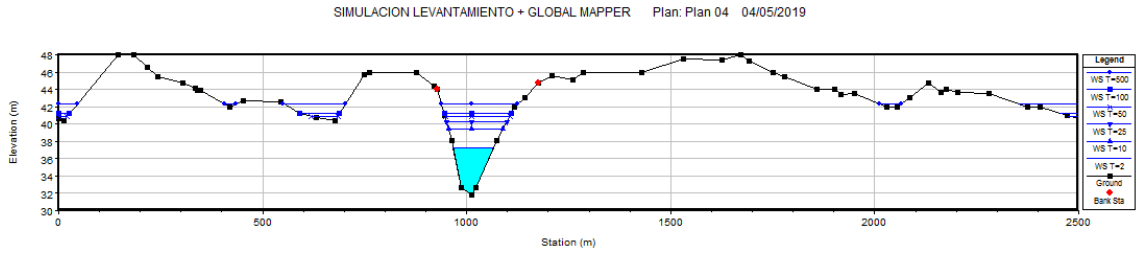
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 31. Simulación hidráulica en la sección 0+800



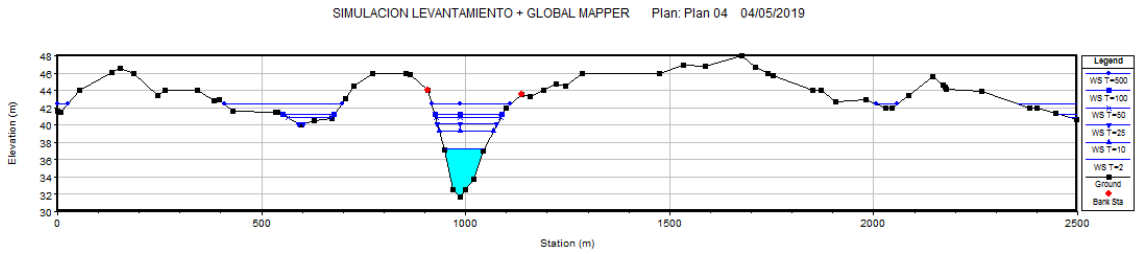
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 32. **Simulación hidráulica en la sección 0+750**



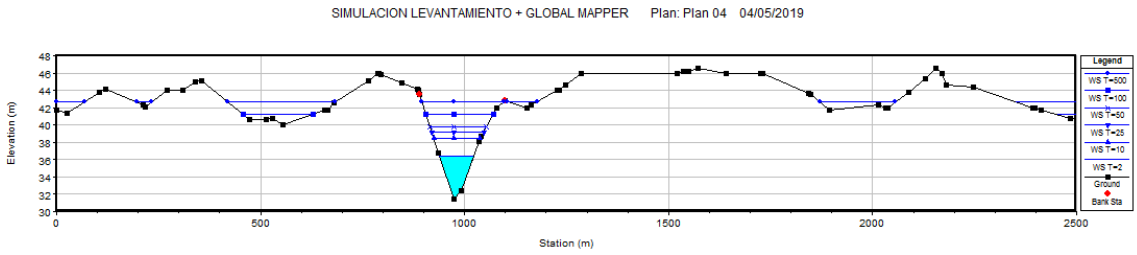
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 33. **Simulación hidráulica en la sección 0+700**



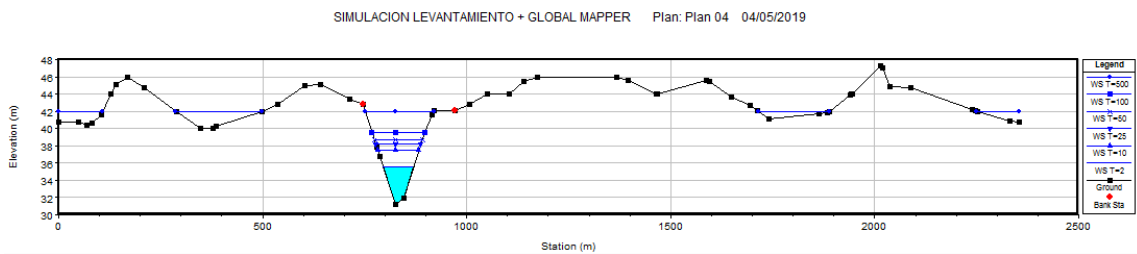
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 34. **Simulación hidráulica en la sección 0+650**



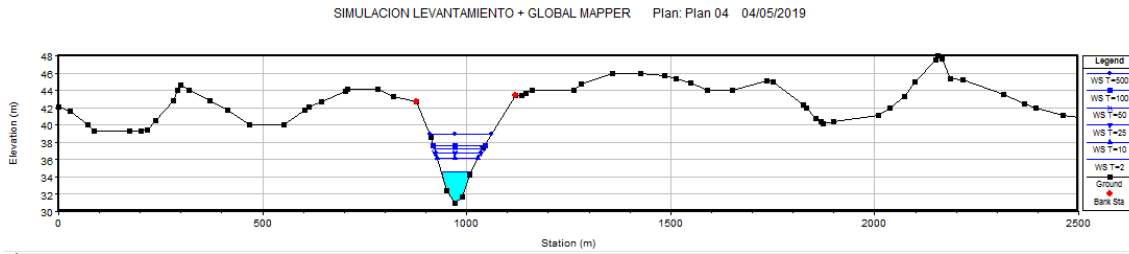
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 35. **Simulación hidráulica en la sección 0+600**



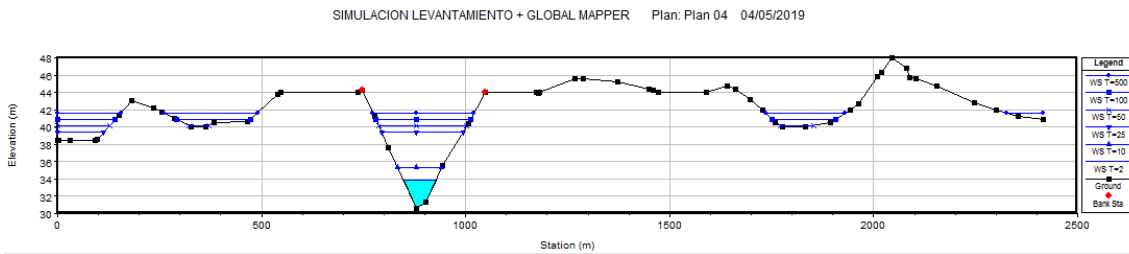
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 36. Simulación hidráulica en la sección 0+550



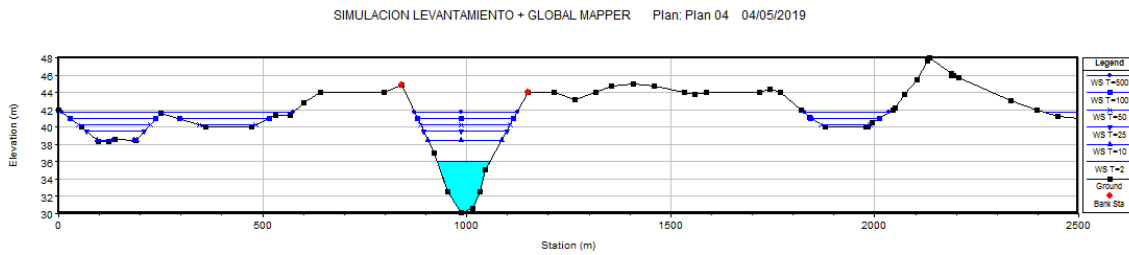
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 37. Simulación hidráulica en la sección 0+500



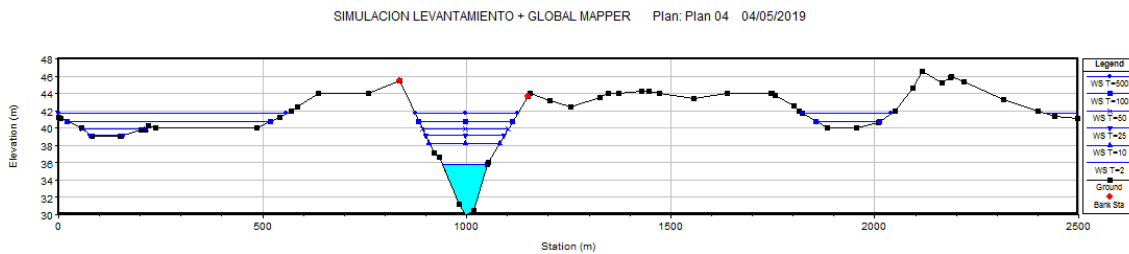
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 38. Simulación hidráulica en la sección 0+450



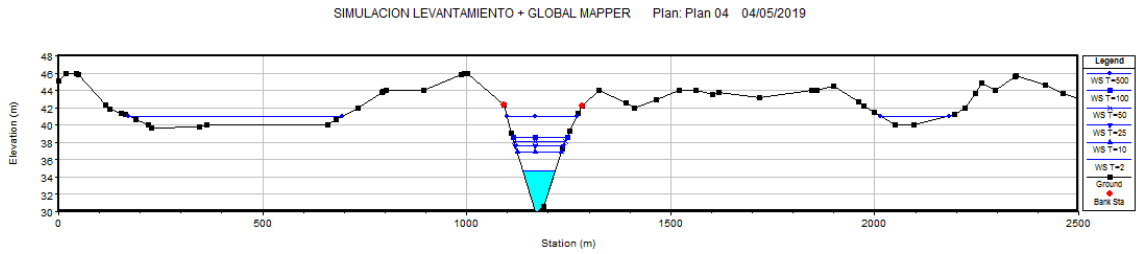
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 39. Simulación hidráulica en la sección 0+400



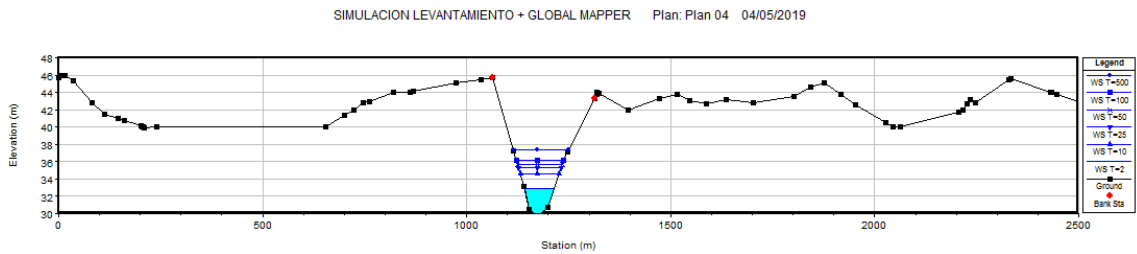
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 40. **Simulación hidráulica en la sección 0+350**



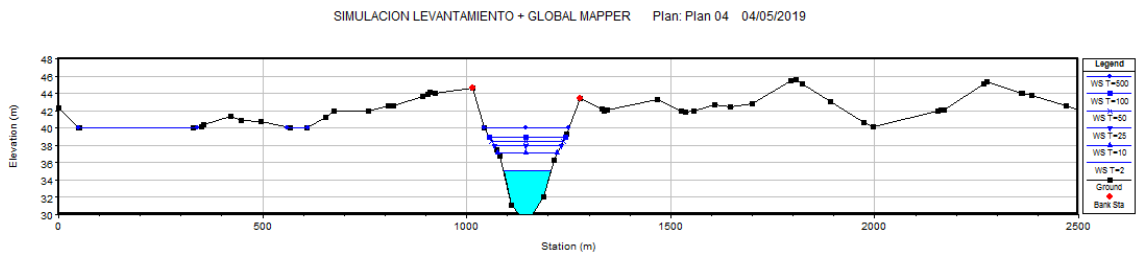
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 41. **Simulación hidráulica en la sección 0+300**



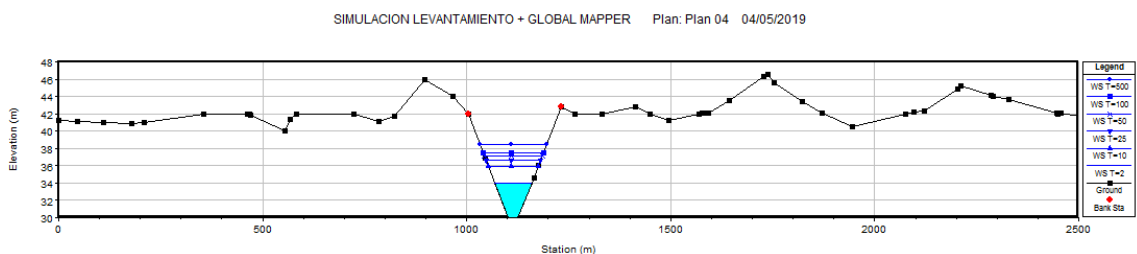
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 42. **Simulación hidráulica en la sección 0+250**



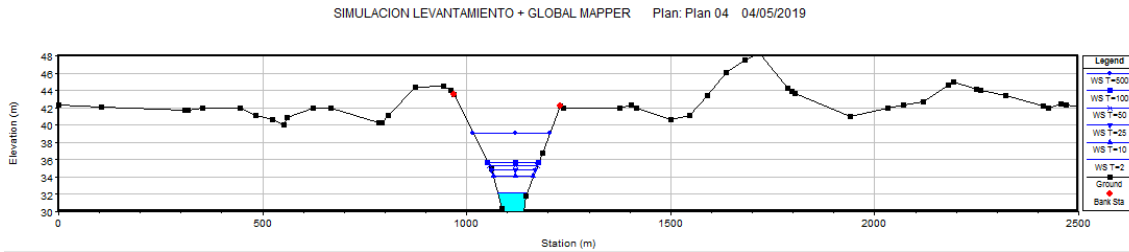
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 43. **Simulación hidráulica en la sección 0+200**



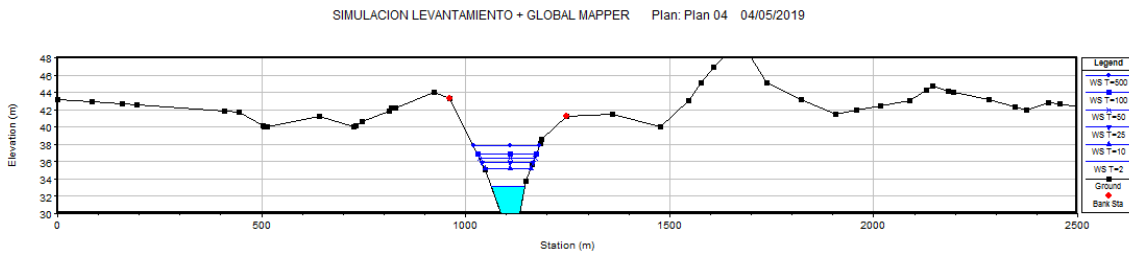
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 44. Simulación hidráulica en la sección 0+150



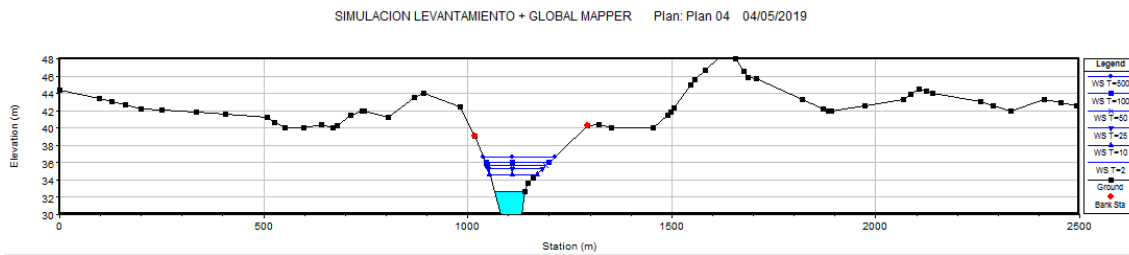
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 45. Simulación hidráulica en la sección 0+100



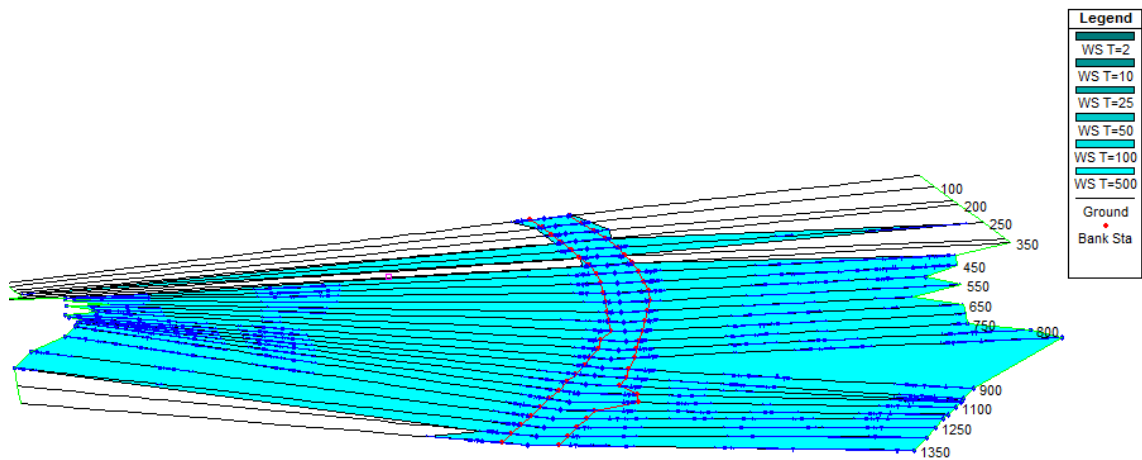
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 46. Simulación hidráulica en la sección 0+050



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 47. **Simulación hidráulica del perfil del cauce del río Motagua para caudales con periodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

3.4.2. **Resultado de las características hidráulicas del cauce, simulación para caudales con períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años**

De la simulación realizada con el programa HEC-RAS se generaron también las características hidráulicas en el cauce: caudal, elevación de la superficie del agua, velocidad, área de la sección, ancho de la superficie del agua y el número de Froude; para los períodos de retorno: 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años. Estas características son la base para el diseño de las obras de protección del cauce del río en áreas de riesgo a inundación.

**Tabla VII. Características hidráulicas del cauce del estacionamiento
0+050 al 0+350**

ESTACIONAMIENTO	PERFIL	CAUDAL TOTAL (m³/s)	ELEVACION SUPERFICIE DE AGUA (m)	VELOCIDAD DEL CANAL (m/s)	AREA DEL CANAL (m²)	ANCHO SUPERFICIE DE AGUA (m)	NUMERO DE FROUDE
0+050	T=2	1 225,00	32,60	5,97	205,02	74,74	1,15
0+050	T=10	2 665,00	34,63	6,84	391,61	116,63	1,14
0+050	T=25	3 378,00	35,26	7,32	471,04	134,18	1,15
0+050	T=50	3 916,00	35,65	7,70	525,09	144,91	1,17
0+050	T=100	4 440,00	35,99	8,04	576,38	155,09	1,18
0+050	T=500	5 666,00	36,69	8,75	692,59	176,79	1,20
0+100	T=2	1 225,00	33,14	5,27	232,51	82,70	1,00
0+100	T=10	2 665,00	35,18	6,19	430,83	112,63	1,01
0+100	T=25	3 378,00	35,93	6,53	520,04	126,30	0,99
0+100	T=50	3 916,00	36,42	6,81	583,76	135,22	0,98
0+100	T=100	4 440,00	36,90	6,99	651,79	144,14	0,96
0+100	T=500	5 666,00	37,90	7,40	805,10	162,44	0,93
0+150	T=2	1 225,00	32,15	7,56	162,04	71,89	1,61
0+150	T=10	2 665,00	34,05	8,23	323,93	98,06	1,45
0+150	T=25	3 378,00	34,79	8,45	399,66	108,15	1,40
0+150	T=50	3 916,00	35,28	8,61	455,41	116,74	1,37
0+150	T=100	4 440,00	35,73	8,77	509,12	125,08	1,34
0+150	T=500	5 666,00	39,10	5,84	1 037,98	188,42	0,69
0+200	T=2	1 225,00	34,01	5,13	238,99	90,43	1,01
0+200	T=10	2 665,00	35,92	6,01	443,14	122,17	1,01
0+200	T=25	3 378,00	36,62	6,37	531,44	133,52	1,00
0+200	T=50	3 916,00	37,11	6,58	598,84	141,57	0,99
0+200	T=100	4 440,00	37,52	6,82	659,30	148,42	0,98
0+200	T=500	5 666,00	38,46	7,24	806,27	163,88	0,95
0+250	T=2	1 225,00	35,07	2,81	435,74	116,16	0,46
0+250	T=10	2 665,00	37,19	3,78	708,62	145,82	0,53
0+250	T=25	3 378,00	37,97	4,13	829,69	163,11	0,55
0+250	T=50	3 916,00	38,50	4,37	919,52	174,84	0,55
0+250	T=100	4 440,00	39,00	4,57	1 009,05	185,79	0,56
0+250	T=500	5 666,00	40,07	4,93	1 249,17	583,58	0,56
0+300	T=2	1 225,00	32,88	7,71	158,86	72,93	1,67
0+300	T=10	2 665,00	34,61	8,78	303,66	95,27	1,57
0+300	T=25	3 378,00	35,27	9,13	369,96	104,06	1,55
0+300	T=50	3 916,00	35,72	9,37	418,02	110,00	1,53
0+300	T=100	4 440,00	36,13	9,58	463,70	115,36	1,53
0+300	T=500	5 666,00	37,36	9,16	618,59	136,10	1,36
0+350	T=2	1 225,00	34,75	5,34	229,35	80,10	1,01
0+350	T=10	2 665,00	36,85	6,24	427,02	107,68	1,00
0+350	T=25	3 378,00	37,59	6,62	510,63	118,28	1,00
0+350	T=50	3 916,00	38,14	6,82	577,03	126,58	0,99
0+350	T=100	4 440,00	38,63	7,00	640,91	134,08	0,98
0+350	T=500	5 666,00	41,03	4,86	1 849,02	1 137,77	0,57

Fuente: elaboración propia.

**Tabla VIII. Características hidráulicas del cauce del estacionamiento
0+400 al 0+700**

ESTACIONAMIENTO	PERFIL	CAUDAL TOTAL (m³/s)	ELEVACION SUPERFICIE DE AGUA (m)	VELOCIDAD DEL CANAL (m/s)	AREA DEL CANAL (m²)	ANCHO SUPERFICIE DE AGUA (m)	NUMERO DE FROUDE
0+400	T=2	1 225,00	35,76	3,35	365,25	108,68	0,58
0+400	T=10	2 665,00	38,21	3,96	709,23	171,72	0,54
0+400	T=25	3 378,00	39,16	4,14	892,92	274,77	0,52
0+400	T=50	3 916,00	39,89	4,13	1 126,19	364,52	0,49
0+400	T=100	4 440,00	40,76	3,68	1 788,02	950,10	0,42
0+400	T=500	5 666,00	41,66	3,44	2 774,02	1 215,22	0,37
0+450	T=2	1 225,00	36,03	2,59	476,57	131,38	0,42
0+450	T=10	2 665,00	38,50	3,27	868,16	228,09	0,42
0+450	T=25	3 378,00	39,51	3,37	1 180,44	345,49	0,40
0+450	T=50	3 916,00	40,24	3,34	1 504,55	652,85	0,38
0+450	T=100	4 440,00	40,95	3,15	2 054,70	914,03	0,34
0+450	T=500	5 666,00	41,70	3,26	2 857,20	1 199,65	0,34
0+500	T=2	1 225,00	33,88	7,97	153,66	80,12	1,84
0+500	T=10	2 665,00	35,29	9,33	285,58	107,27	1,83
0+500	T=25	3 378,00	39,40	3,84	1 011,25	312,44	0,50
0+500	T=50	3 916,00	40,15	3,74	1 272,49	474,30	0,46
0+500	T=100	4 440,00	40,88	3,52	1 711,97	709,52	0,41
0+500	T=500	5 666,00	41,63	3,62	2 331,98	919,01	0,40
0+550	T=2	1 225,00	34,55	7,50	163,26	73,62	1,61
0+550	T=10	2 665,00	36,20	8,65	307,95	101,28	1,58
0+550	T=25	3 378,00	36,81	9,07	372,57	111,44	1,58
0+550	T=50	3 916,00	37,21	9,35	418,78	118,17	1,59
0+550	T=100	4 440,00	37,66	9,38	473,77	126,42	1,53
0+550	T=500	5 666,00	38,89	8,95	643,85	150,81	1,29
0+600	T=2	1 225,00	35,57	6,41	191,10	75,18	1,28
0+600	T=10	2 665,00	37,49	7,38	360,92	101,42	1,25
0+600	T=25	3 378,00	38,22	7,72	438,17	111,17	1,23
0+600	T=50	3 916,00	38,72	7,93	496,03	117,95	1,21
0+600	T=100	4 440,00	39,53	7,54	595,38	128,75	1,08
0+600	T=500	5 666,00	42,01	5,40	1 498,10	766,08	0,63
0+650	T=2	1 225,00	36,43	5,24	233,65	83,57	1,00
0+650	T=10	2 665,00	38,47	6,23	434,53	114,35	0,98
0+650	T=25	3 378,00	39,21	6,62	523,94	127,91	0,97
0+650	T=50	3 916,00	39,73	6,86	593,20	137,49	0,95
0+650	T=100	4 440,00	41,20	5,55	1 035,02	511,24	0,68
0+650	T=500	5 666,00	42,65	4,40	2 143,22	1 103,82	0,49
0+700	T=2	1 225,00	37,26	3,68	333,45	95,89	0,62
0+700	T=10	2 665,00	39,35	4,91	572,82	132,55	0,66
0+700	T=25	3 378,00	40,13	5,36	681,92	159,02	0,67
0+700	T=50	3 916,00	40,82	5,43	849,13	343,79	0,65
0+700	T=100	4 440,00	41,18	5,67	982,82	395,32	0,66
0+700	T=500	5 666,00	42,42	5,18	1 710,06	760,34	0,56

Fuente: elaboración propia.

**Tabla IX. Características hidráulicas del cauce del estacionamiento
0+750 al 1+050**

ESTACIONAMIENTO	PERFIL	CAUDAL TOTAL (m³/s)	ELEVACION SUPERFICIE DE AGUA (m)	VELOCIDAD DEL CANAL (m/s)	AREA DEL CANAL (m²)	ANCHO SUPERFICIE DE AGUA (m)	NUMERO DE FROUDE
0+750	T=2	1 225,00	37,25	3,82	320,65	98,47	0,68
0+750	T=10	2 665,00	39,45	4,75	573,19	133,22	0,67
0+750	T=25	3 378,00	40,26	5,12	686,45	149,70	0,67
0+750	T=50	3 916,00	40,93	5,19	851,24	326,19	0,65
0+750	T=100	4 440,00	41,25	5,47	967,94	391,56	0,67
0+750	T=500	5 666,00	42,32	5,34	1 499,31	665,93	0,60
0+800	T=2	1 225,00	36,91	5,04	243,06	85,07	0,95
0+800	T=10	2 665,00	39,20	5,53	491,95	133,35	0,85
0+800	T=25	3 378,00	40,05	5,76	621,49	248,29	0,81
0+800	T=50	3 916,00	41,55	4,28	1 300,47	624,64	0,53
0+800	T=100	4 440,00	42,20	3,90	1 758,33	842,45	0,46
0+800	T=500	5 666,00	43,27	3,43	2 891,87	1 361,62	0,38
0+850	T=2	1 225,00	37,87	2,99	420,70	124,14	0,49
0+850	T=10	2 665,00	40,27	3,55	864,35	539,06	0,50
0+850	T=25	3 378,00	41,52	2,90	1 675,12	728,37	0,36
0+850	T=50	3 916,00	42,10	2,78	2 121,86	932,05	0,34
0+850	T=100	4 440,00	42,59	2,64	2 633,59	1 145,79	0,31
0+850	T=500	5 666,00	43,48	2,49	3 809,15	1 468,95	0,27
0+900	T=2	1 225,00	37,84	3,26	387,79	125,54	0,56
0+900	T=10	2 665,00	40,23	3,79	779,38	343,59	0,53
0+900	T=25	3 378,00	41,45	3,30	1 378,08	614,29	0,43
0+900	T=50	3 916,00	42,02	3,23	1 760,98	851,92	0,40
0+900	T=100	4 440,00	42,52	3,08	2 229,69	1 012,90	0,37
0+900	T=500	5 666,00	43,43	2,87	3 267,00	1 268,32	0,32
0+950	T=2	1 225,00	37,80	3,48	355,37	115,68	0,61
0+950	T=10	2 665,00	40,16	4,07	700,01	324,85	0,60
0+950	T=25	3 378,00	41,40	3,51	1 216,27	493,75	0,48
0+950	T=50	3 916,00	41,98	3,40	1 531,97	637,41	0,44
0+950	T=100	4 440,00	42,47	3,31	1 950,75	939,83	0,41
0+950	T=500	5 666,00	43,40	3,06	2 996,83	1 390,22	0,36
1+000	T=2	1 225,00	36,50	6,54	187,41	95,51	1,49
1+000	T=10	2 665,00	40,25	3,90	731,06	351,40	0,60
1+000	T=25	3 378,00	41,47	3,34	1 281,32	528,90	0,46
1+000	T=50	3 916,00	42,01	3,32	1 585,06	713,96	0,44
1+000	T=100	4 440,00	42,51	3,19	1 989,26	885,64	0,40
1+000	T=500	5 666,00	43,41	2,99	2 992,86	1 344,35	0,35
1+050	T=2	1 225,00	37,69	4,87	251,37	103,79	1,00
1+050	T=10	2 665,00	39,90	5,04	528,67	146,94	0,85
1+050	T=25	3 378,00	41,34	3,91	1 049,61	496,63	0,60
1+050	T=50	3 916,00	41,97	3,53	1 391,80	581,83	0,54
1+050	T=100	4 440,00	42,51	3,25	1 801,38	891,25	0,49
1+050	T=500	5 666,00	43,44	2,84	2 828,80	1 289,73	0,40

Fuente: elaboración propia.

**Tabla X. Características hidráulicas del cauce del estacionamiento
1+100 al 1+350**

ESTACIONAMIENTO	PERFIL	CAUDAL TOTAL (m³/s)	ELEVACION SUPERFICIE DE AGUA (m)	VELOCIDAD DEL CANAL (m/s)	AREA DEL CANAL (m²)	ANCHO SUPERFICIE DE AGUA (m)	NUMERO DE FROUDE
1+100	T=2	1 225,00	38,34	3,61	339,02	130,08	0,71
1+100	T=10	2 665,00	40,70	3,48	827,19	419,22	0,60
1+100	T=25	3 378,00	41,67	3,04	1 350,35	648,88	0,48
1+100	T=50	3 916,00	42,17	2,93	1 707,55	824,73	0,44
1+100	T=100	4 440,00	42,65	2,75	2 146,38	1 007,26	0,40
1+100	T=500	5 666,00	43,52	2,52	3 173,32	1 357,85	0,34
1+150	T=2	1 225,00	38,86	2,12	611,97	221,91	0,37
1+150	T=10	2 665,00	41,08	2,46	1 296,13	464,19	0,33
1+150	T=25	3 378,00	41,84	2,54	1 685,54	574,51	0,32
1+150	T=50	3 916,00	42,28	2,62	1 974,31	768,90	0,32
1+150	T=100	4 440,00	42,69	2,65	2 340,96	1 045,97	0,32
1+150	T=500	5 666,00	43,52	2,62	3 447,20	1 558,04	0,29
1+200	T=2	1 225,00	37,04	7,00	174,89	101,10	1,70
1+200	T=10	2 665,00	38,11	9,01	295,69	124,41	1,87
1+200	T=25	3 378,00	38,51	9,69	348,63	139,44	1,94
1+200	T=50	3 916,00	38,78	10,15	387,07	151,08	1,97
1+200	T=100	4 440,00	39,02	10,55	424,54	161,62	1,98
1+200	T=500	5 666,00	39,51	11,37	509,31	183,25	2,03
1+250	T=2	1 225,00	37,85	6,20	197,49	104,32	1,44
1+250	T=10	2 665,00	38,83	8,56	311,37	128,91	1,76
1+250	T=25	3 378,00	39,21	9,30	363,20	138,66	1,84
1+250	T=50	3 916,00	39,47	9,78	400,21	145,23	1,88
1+250	T=100	4 440,00	39,71	10,19	435,81	151,27	1,92
1+250	T=500	5 666,00	40,23	10,98	516,63	164,81	1,95
1+300	T=2	1 225,00	37,61	7,20	170,17	108,30	1,83
1+300	T=10	2 665,00	38,52	9,51	280,23	133,75	2,10
1+300	T=25	3 378,00	38,88	10,24	329,92	144,62	2,15
1+300	T=50	3 916,00	39,12	10,71	366,52	153,65	2,17
1+300	T=100	4 440,00	39,35	11,11	402,03	161,93	2,18
1+300	T=500	5 666,00	39,82	11,92	482,67	179,31	2,21
1+350	T=2	1 225,00	37,45	8,22	149,10	108,98	2,24
1+350	T=10	2 665,00	38,32	10,43	258,86	142,73	2,38
1+350	T=25	3 378,00	38,65	11,18	308,38	155,79	2,42
1+350	T=50	3 916,00	38,88	11,66	344,17	164,60	2,45
1+350	T=100	4 440,00	39,08	12,08	378,21	172,55	2,47
1+350	T=500	5 666,00	39,50	12,92	454,28	189,12	2,51

Fuente: elaboración propia.

4. PROPUESTA DE LA OBRA DE PROTECCIÓN

4.1. Descripción de las obras de protección

La obra de protección del cauce de un río, consiste en estructuras, ya sean transversales al cauce: represas, o longitudinales, ubicadas en las márgenes del río, con el fin de reducir el riesgo de inundación, erosión y socavación de la infraestructura y áreas de trabajo cercanas. Éstas pueden ser revestimientos naturales o artificiales en los taludes del cauce, bordas de roca, bordas revestidas con morteros, espigones, diques de concreto armado, gaviones, entre otros.

La obra de protección del río Motagua, en el tramo cercano al caserío Buena Vista, Morales, es necesaria para reducir el riesgo de pérdidas económicas y humanas al momento de una crecida mayor a la que el cauce actual puede transportar.

4.1.1. Bordas

Las bordas son estructuras que se construyen a lo largo de los ríos, con el fin de confinar el escurrimiento que sobresale de las márgenes durante las crecidas, protegiendo la llanura de inundación contra su desbordamiento.

La ubicación de una borda se determina a partir de las llanuras de inundación; el diseño de bordas tiene que tomar en cuenta la mecánica de ríos, pero al mismo tiempo la construcción de bordas afecta el régimen del flujo del río.

Cuando un río no está protegido por bordas, la velocidad del caudal de descarga se reduce a medida que el agua se extiende sobre un área más extendida y los sedimentos en suspensión acarreados tienden a depositarse en el fondo de estos cauces; si el río está protegido por bordas, tiene la tendencia a elevar el nivel del agua y a aumentar la velocidad del flujo. Estos efectos aumentan su capacidad erosiva, por lo que el diseño debe considerar tales efectos y para ello es importante conocer los mecanismos de interacción entre ríos y bordas.

4.1.2. Bordas revestidas de roca

Este tipo de bordas se conocen como enrocados o “rip rap”, y se puede describir como una borda con una capa de roca, depositada para evitar la erosión de la misma. Este tipo de estructura es flexible debido a que las partículas individuales actúan independientemente de la masa.

Al igual que en el caso de las bordas tradicionales, la ubicación de una borda revestida de roca se determina a partir de las llanuras de inundación, teniendo menor importancia las condiciones de terreno de cimentación; sin embargo, en algunos casos es importante que se coloque al pie de la borda un cimiento conformado de la misma roca, para evitar el asentamiento de esta en este punto.

4.1.3. Espigones

Son estructuras colocadas perpendicularmente al sentido de la corriente, con un extremo unido al margen del río. El propósito de estas estructuras consiste en alejar de la orilla las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material del margen se erosione.

4.1.4. Análisis del caso

En el caso del tramo en estudio, se pudo observar durante el levantamiento topográfico, así como después de realizar entrevistas y conversar con los pobladores de la aldea que el problema principal es el socavamiento del margen derecho (dirección aguas abajo), ya que hace una década la distancia del poblado al margen del río era de aproximadamente 20 metros, distancia que gradualmente ha ido disminuyendo hasta contar en la actualidad en algunos lugares hasta con una distancia de 3 metros del inicio de terrenos y viviendas.

4.2. Propuesta

Después de analizar el caso de estudio se propone una borda revestida de roca en el margen derecho del río para evitar así la progresiva erosión del mismo, enviando el flujo hacia el margen opuesto en el cual no hay población, únicamente una llanura de pastoreo. La borda se diseñara para un periodo de retorno de 100 años.

4.3. Diseño de las obras hidráulicas

Para realizar el diseño de bordas revestidas fue necesario determinar el período de duración de la obra, tipo de flujo en las áreas a proteger, la geometría de la sección transversal original, la extensión de la protección, la altura de la borda, las especificaciones técnicas de la roca a utilizar, y la profundidad del pie de la borda en el cauce.

4.3.1. Período de duración de la obra

“El período de duración de las obras estructurales contiguas a cualquier río y cuerpos de agua, por lo general, tienen un intervalo de duración entre 10 a 20 años. En la mayoría de casos, estos períodos de duración se aplican también al revestimiento de roca y otros tipos de revestimientos”¹.

4.3.2. Tipos de flujo

Los flujos en canales abiertos pueden ser clasificados desde tres puntos de vista. Estos tres puntos de vista son: el flujo uniforme, que varía de manera gradual y flujo no uniforme que varía rápidamente; el flujo permanente y no permanente y los regímenes de flujo discutidos en el capítulo 3 de este documento: subcrítico, crítico y supercrítico.

El diseño está basado en el caso que presenta el río Motagua y que ha sido determinado en el capítulo 3 de este documento.

Se determinó que este río tiene un flujo uniforme, permanente y con un régimen que varía para diversos períodos de retorno, en su mayoría, entre régimen subcrítico y supercrítico.

4.3.3. Geometría de la sección transversal original

El diseño de este tipo de obra de protección requiere del análisis de la geometría de las secciones transversales del río. Las secciones transversales del río son necesarias para establecer los parámetros hidráulicos como el

¹ MAZA, José. *Manual de ingeniería de ríos, estabilización y rectificación de ríos*. p. 90.

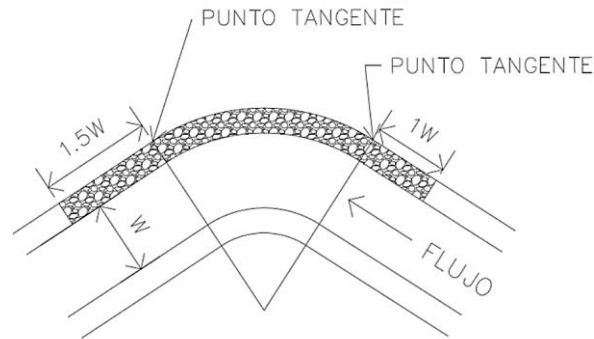
tirante del flujo, el ancho de la lámina de agua, velocidad, radio hidráulico, entre otras.

La selección de una sección transversal en el río para el análisis es muy subjetiva. Debe intentarse seleccionarla con condiciones originales que simulen razonablemente la peor condición respecto de la estabilidad de la borda y el revestimiento de roca. Un problema que puede surgir en el intento de la selección de una sección transversal para el análisis de la sección típica es el de intentar establecer el lecho del río para el diseño. Una superficie de un canal en un lugar de interés puede proveer la geometría necesaria.

4.3.4. Extensión de la protección

La longitud de protección requerida por un banco de protección en particular, depende mucho de las condiciones del lugar. En general, un revestimiento debería ser continuo para una distancia mayor que la longitud que se ve afectada por la fuerza del flujo del canal que puede causar un desprendimiento. Uno de los criterios para establecer los límites longitudinales de protección en una curva es el que se ilustra en la figura 48; ésta muestra las distancias mínimas recomendadas para una protección, tomando en consideración el ancho del río. Todas las líneas de referencia pasan a través de las tangentes a la curva en la entrada o salida de una curvatura.

Figura 48. **Extensión longitudinal de la protección en un cauce**



Fuente: US Army corps of engineers. *Design rip rap revetment HEC 11*. p. 32.

Este criterio se basa en el análisis de las condiciones de flujo en curvas de los canales simétricos bajo condiciones ideales de laboratorio. Condiciones reales rara vez son tan simples. Un diseñador puede encontrar el criterio anterior, difícil de aplicar en longitudes ligeramente curvas o en canales que tienen longitudes muy irregulares, o que no tienen curvas simétricas. Por lo tanto los criterios anteriores solo deben ser utilizados como un punto de partida.

En este caso se diseñó una borda desde la estación 0+250 hasta la estación 1+200, como se muestra en planos topográficos No. 11 al 16.

El tramo a ser protegido tiene una extensión de 928,32 m y según las recomendaciones de la extensión longitudinal, el tramo tiene una longitud de ancho promedio aguas abajo de 279,29 m y aguas arriba de 552,32 m. Por lo que el tramo tiene una longitud total de 1,759,93 m.

4.3.5. Altura de la borda

La altura de la borda se determinó por la altura de la lámina de agua de la crecida, la que se estimó mediante la simulación hidráulica con el programa

HEC-RAS más una altura de borda libre. La borda libre se provee para asegurar un grado de protección por la acción de las olas (por el viento), saltos hidráulicos, irregularidades del flujo debido a transiciones o intersecciones de flujo.

La altura de la borda libre no puede fijarse por una simple fórmula. El impacto de cada uno de los factores listados anteriormente deben ser considerados individualmente y su impacto en conjunto, para determinar una altura determinada de borda libre. Sin embargo, estos factores son difíciles de medir; por lo que pueden considerarse valores mínimos de 0,30 m a 0,60 m en tramos libres de restricciones y de 0,61 m a 0,90 m, para tramos con restricciones (transiciones o intersecciones de flujo).

La borda típica tiene una altura de 0,90 m, tomando en consideración todas las secciones transversales, en las que la crecida de un caudal de período de retorno de 100 años, cuya altura del espejo de agua sobrepasa los márgenes naturales del río una altura de 0,60 m, más una altura de borde libre de 0,30 m.

4.3.6. Tamaño de la roca

La estabilidad de una partícula en una borda en particular está en función de su tamaño, ya sea expresado en términos de su peso o diámetro equivalente. La efectividad de la roca de la protección depende del tamaño adecuado para el sitio donde ha sido instalada.

4.3.7. Ecuación de diseño

Una ecuación de diseño para la protección se basa en la teoría de la fuerza de tracción; sin embargo, utiliza la velocidad como parámetro de diseño primario, como se demuestra en la ecuación 15, recomendada en *Design of riprap revetment*, capítulo 4, por la US Army Corps of Engineers, 1989.

$$D_{50} = \frac{0.00594V_a^3}{d_{avg}^{0.5} * k_1^{1.5}} \quad (15)$$

Donde:

D_{50} = tamaño promedio de la roca (m)

V_a = velocidad promedio en el canal principal (m/s)

d_{avg} = profundidad promedio de flujo en el canal principal (m)

K_1 = constante adimensional que está dada por la fórmula 16

$$K_1 = \left[1 - \left(\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi} \right) \right]^{0.5} \quad (16)$$

Donde:

Θ = ángulo de la borda con la horizontal

Φ = ángulo de reposo de la roca

El diámetro promedio de la roca en el tramo a proteger es de 0,40 m, obtenidos a partir de las fórmulas 15 y 16, tramo que tiene las siguientes características: velocidad promedio en el canal principal de 5,02 m/s, profundidad promedio del flujo en el canal principal de 9,02 m, ángulo de la borda con la horizontal de treinta grados y un ángulo de reposo de la roca de cuarenta grados.

4.3.8. Diseño de filtro

Un filtro es una capa de transición de grava, rocas pequeñas o tejido situado entre el suelo subyacente y la estructura. El filtro evita la ascensión de las partículas finas del suelo a través de huecos en la estructura, distribuye el peso de estructura de enrocado para proporcionar un asentamiento uniforme y permite el alivio de presiones hidrostáticas dentro de los suelos.

El diseño apropiado de un filtro de tipo granular es crítico para la estabilidad de la capa de roca en un canal.

Si las aberturas en el filtro son demasiado grandes, el flujo excesivo que atraviesa el filtro puede provocar erosión y fallo del material de la borda debajo del filtro.

Por otro lado, si las aberturas en el filtro son demasiado pequeñas, la acumulación de presiones hidrostáticas, tras el filtro, pueden provocar un deslizamiento plano a lo largo del filtro que resulta en un fallo de tipo deslizamiento transversal.

“El diámetro promedio de la roca de filtro deberá ser equivalente al 15 % del diámetro promedio de la roca de revestimiento de la borda”². Lo que significa que para el tramo a proteger con borda, el diámetro promedio de la roca de filtro es de 0,06 m.

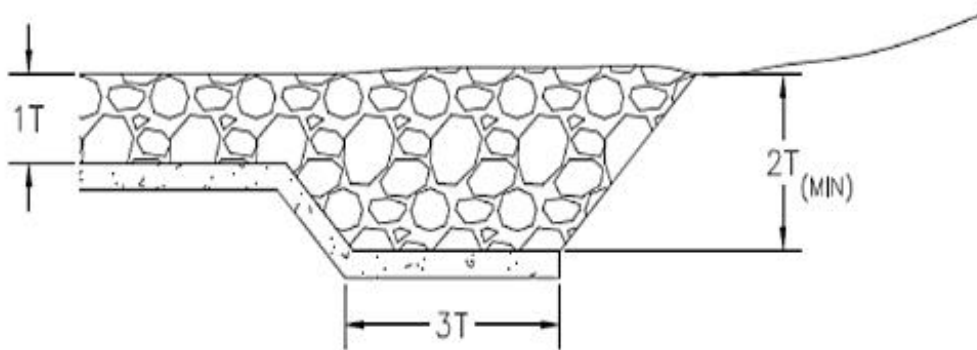
²US Army Corps of Engineers. *Design rip rap revetment HEC 11*. p. 49.

4.3.9. Profundidad del pie

El debilitamiento de la protección de revestimiento de los pies ha sido identificado como uno de los mecanismos principales de insuficiencia de las bordas revestidas. En el diseño de la protección de las orillas, las estimaciones de la profundidad de socavación son necesarias para que la capa de protección se coloque suficientemente profunda en el lecho del río para evitar socavación. La profundidad máxima de socavación debe tener en cuenta la degradación del canal, así como la erosión natural y la deposición de sedimentos.

Una base o pie típico debe tener las dimensiones que se ilustran en la figura 49, en donde T representa el espesor de la capa de roca de la borda.

Figura 49. **Base o pie típico**

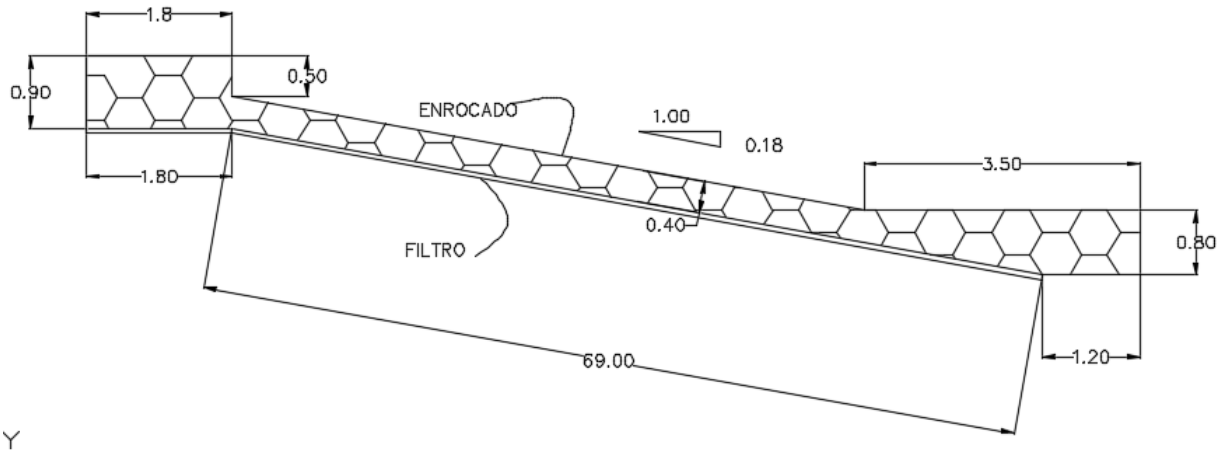


Fuente: US Army Corps of Engineers. *Design rip rap revetment HEC 11*. p. 54.

4.3.10. Sección típica

A continuación se presentan los detalles de la sección típica del tramo a proteger.

Figura 50. **Sección típica del tramo**



Fuente: elaboración propia, empleando, AutoCAD 2017.

4.3.11. **Especificaciones técnicas de la roca**

Antes de colocar la roca se deben efectuar los trabajos de excavación y colocación del filtro indicado en los planos. La roca se debe colocar con una orientación estable, con un mínimo de vacíos, de tal forma que se produzca un patrón aleatorio en la colocación.

Se deben utilizar fragmentos de roca con un tamaño menor que el tamaño mínimo de la roca, para acuñar las rocas más grandes fijamente en su posición y para llenar los vacíos existentes entre las rocas grandes. El rostro expuesto de la masa de roca debe quedar razonablemente uniforme, sin proyecciones, extendiéndose fuera de la alineación de la pendiente.

La fuente de la roca debe ser seleccionada anticipadamente al momento que la roca sea requerida en la obra. Algunas otras especificaciones técnicas que debería cumplir son:

- **Peso específico de la roca:** se denomina peso específico de un mineral al cociente entre su peso y el peso de un volumen equivalente de agua a 4°C (condiciones de máxima densidad del agua), siendo un valor adimensional. Cada mineral tiene un peso definido por centímetro cúbico; este peso característico se describe generalmente comparándolo con el peso de un volumen igual en agua; el número resultante es lo que se llama peso específico del mineral. El peso específico mínimo de la roca debe ser 2,48 (adimensional).
- **Ensayo de abrasión:** para las rocas será requerido el ensayo de abrasión con la máquina de Los Ángeles (AASHTO T96), como resultado de dicho ensayo el porcentaje de pérdida de la roca no debe ser mayor de 40 % después de 500 revoluciones.
- **Ensayo de resistencia a sulfatos:** en localizaciones donde la roca estará expuesta a aguas salitrosas, debe usarse el ensayo de resistencia a sulfatos (AASHTO T 104 para roca expuesta, usando sulfato de sodio).

4.4. Conservación de la roca

La obra de protección propuesta está propensa a desgaste, asentamiento, y a ser arrastrada por el río Motagua; este tipo de obra hidráulica, a pesar de tener teóricamente un período de vida de hasta 20 años.

En la realidad puede tener un período de vida mucho más corto, debido a causas muy diversas como el robo del material de recubrimiento, el arrastre de basura de gran tamaño del río, entre otros.

La conservación de esta obra en particular deberá consistir primeramente de la colocación de una capa de material para siembra de gramínea; debe asegurarse que esta crezca hasta que exista cobertura sobre toda la superficie de la obra. Adicionalmente, deben realizarse inspecciones trimestrales para verificar que la roca esté en su sitio; de lo contrario deberá reponerse con roca de iguales dimensiones.

5. RECTIFICACIÓN HIDRÁULICA DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN PROPUESTAS

5.1. Realización de simulaciones del modelo HEC-RAS con las estructuras propuestas

Utilizando las obras propuestas en el cauce del río Motagua y ubicándolas en los tramos mencionados en el capítulo anterior y como se muestra en los planos, se procedió nuevamente a realizar la simulación hidráulica.

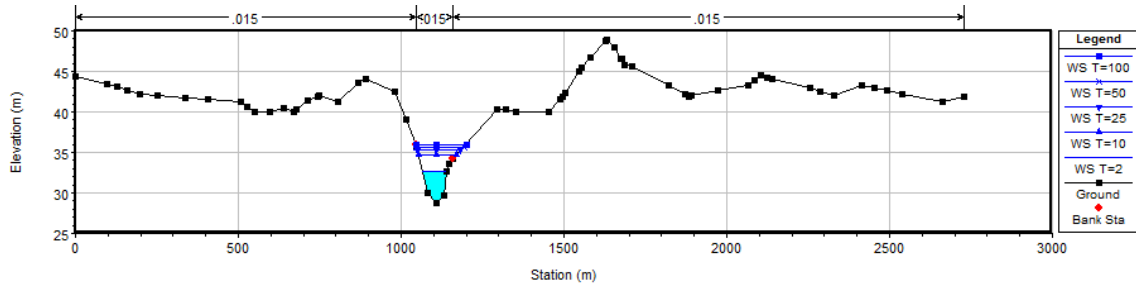
La simulación hidráulica del tramo del río Motagua ubicado al costado del caserío Buena Vista, se realizó para los períodos de retorno de: 2, 10, 25, 50 y 100 años.

5.2. Resultado gráfico de las secciones transversales del río Motagua, en los estacionamientos 0+050 al 1+350

A continuación se presentan la simulación hidráulica con el programa HEC-RAS, del tramo del río Motagua en estudio, con la implementación de las bordas revestidas de roca diseñadas como obra de protección, en las márgenes del mismo.

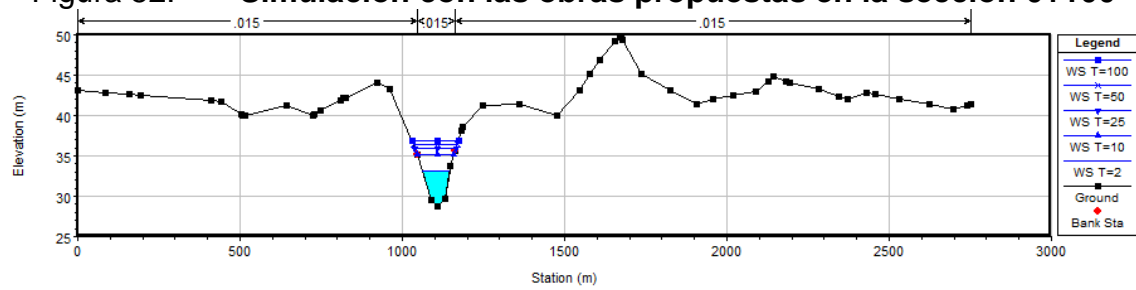
Se observa que el río mantiene su desplazamiento dentro del cauce, desde la estación 0+050 a la 1+150, y no se desborda para ninguno de los períodos de retorno definidos anteriormente; como se observó en la simulación descrita anteriormente, donde no existe la obra de protección.

Figura 51. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+050



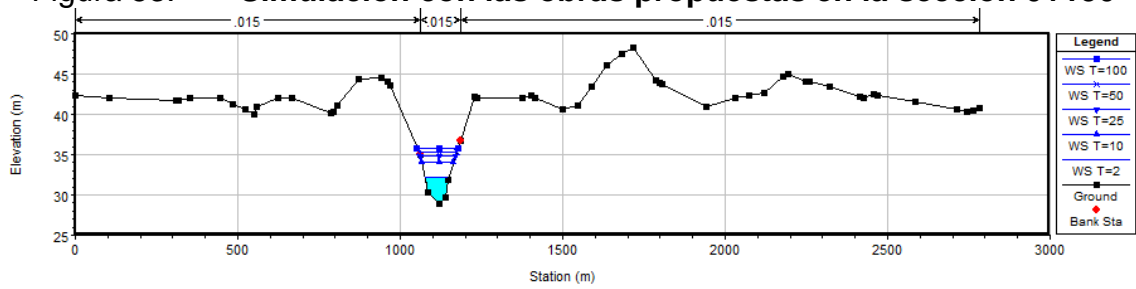
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 52. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+100



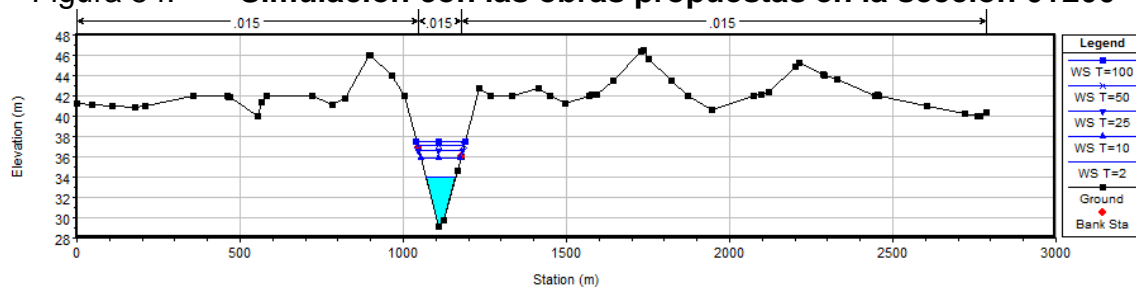
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 53. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+150



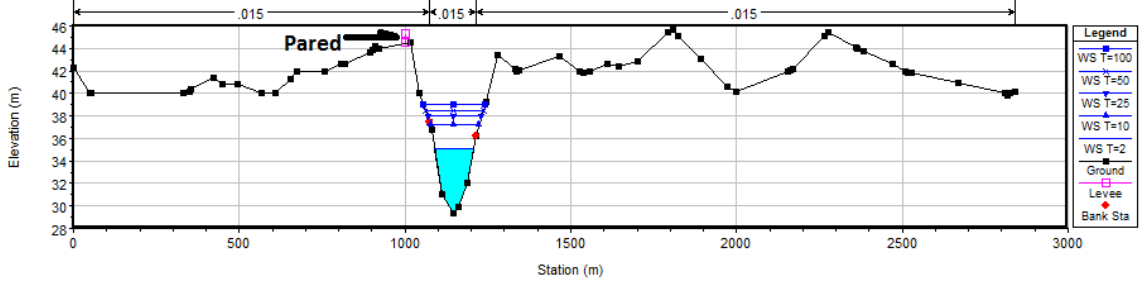
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 54. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+200



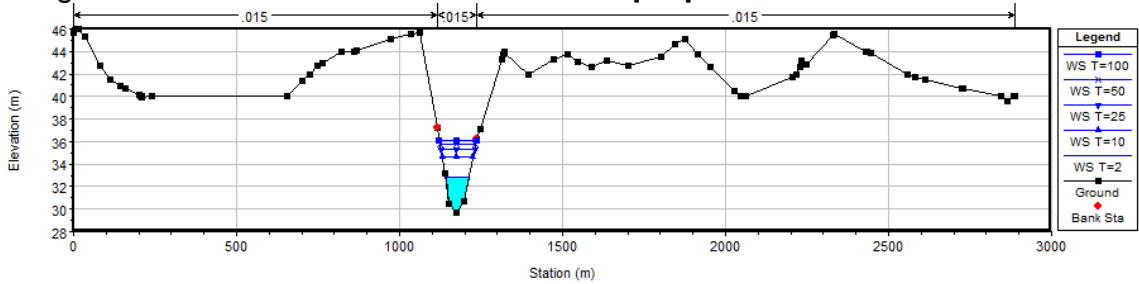
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 55. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+250



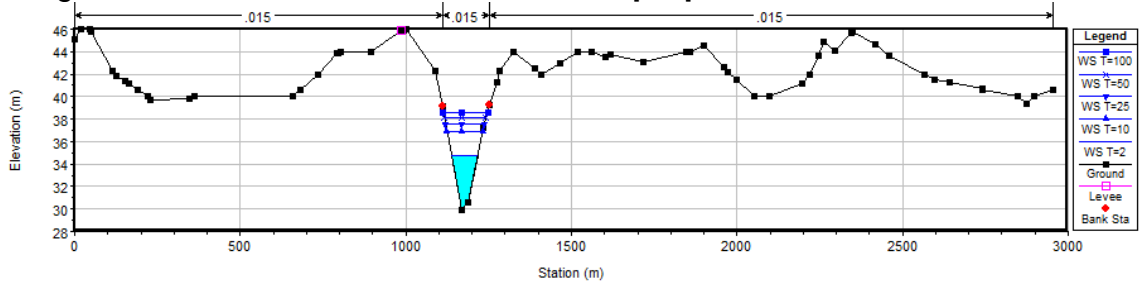
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 56. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+300



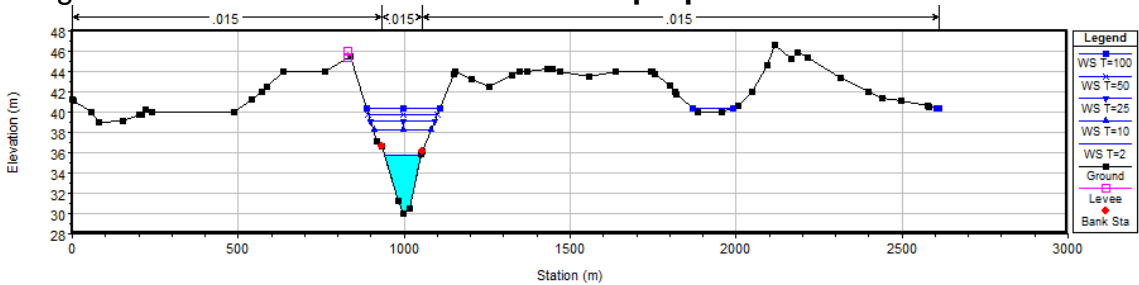
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 57. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+350



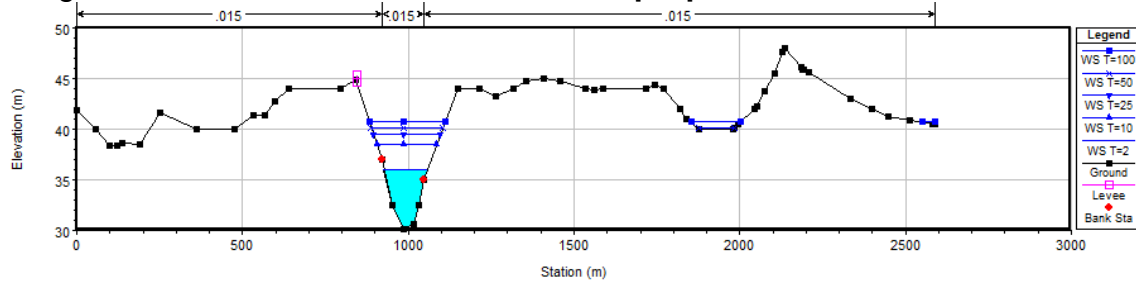
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 58. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+400



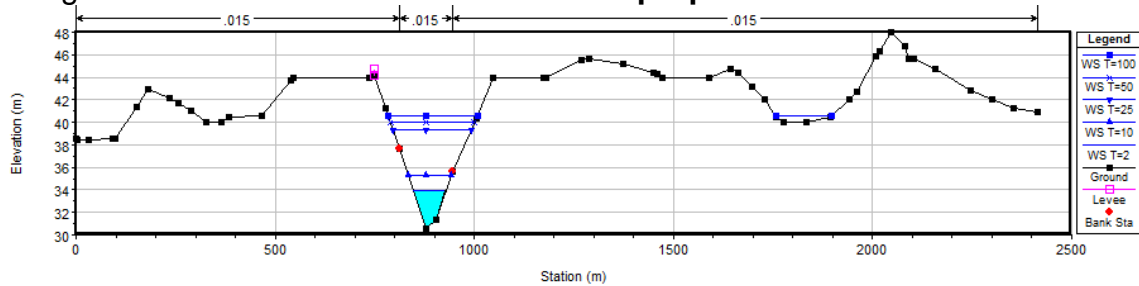
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 59. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+450



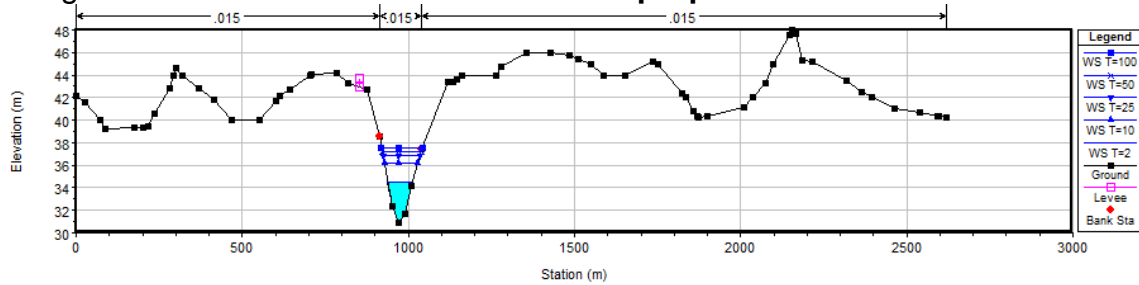
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 60. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+500



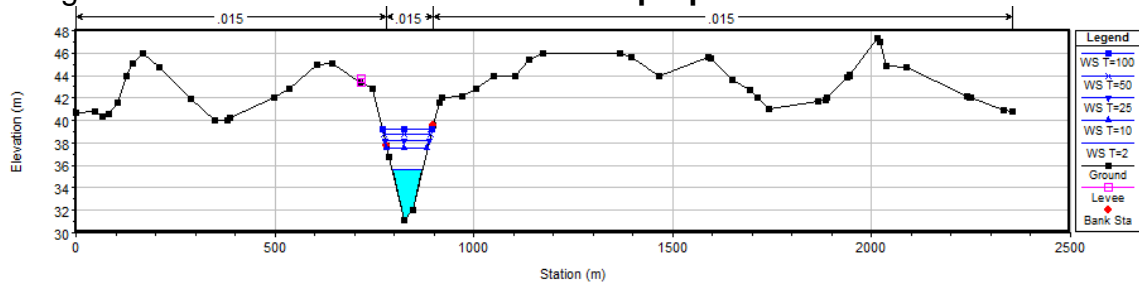
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 61. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+550



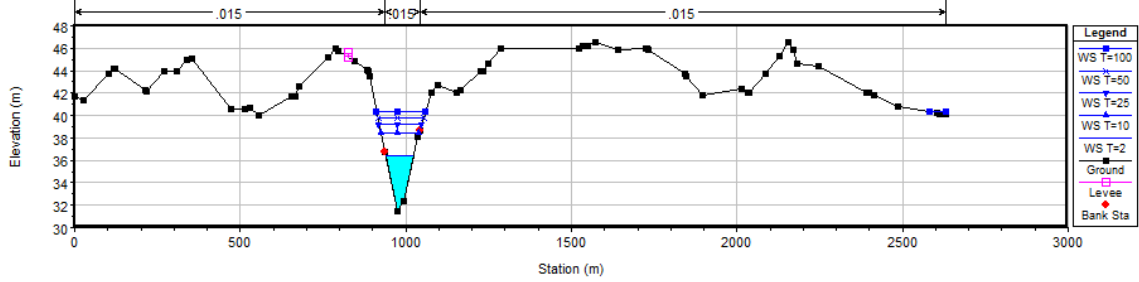
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 62. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+600



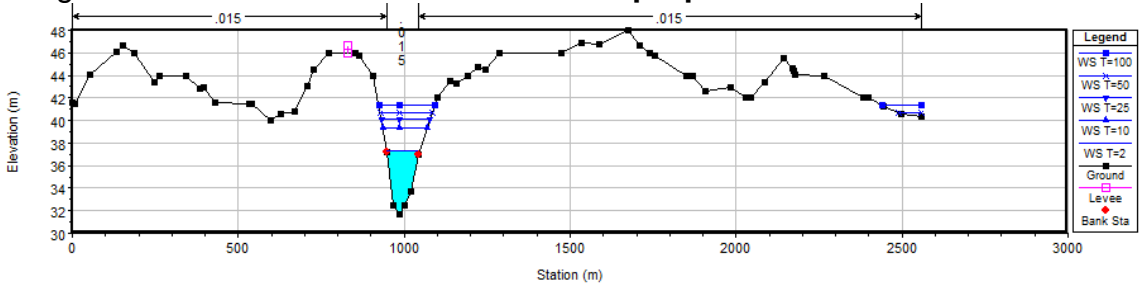
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 63. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+650



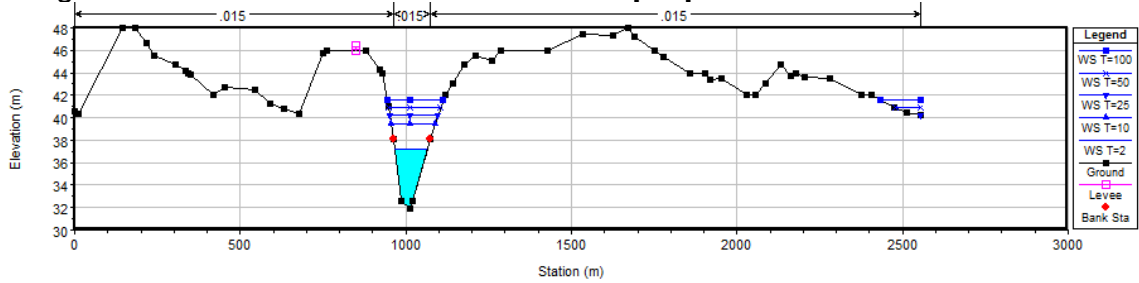
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 64. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+700



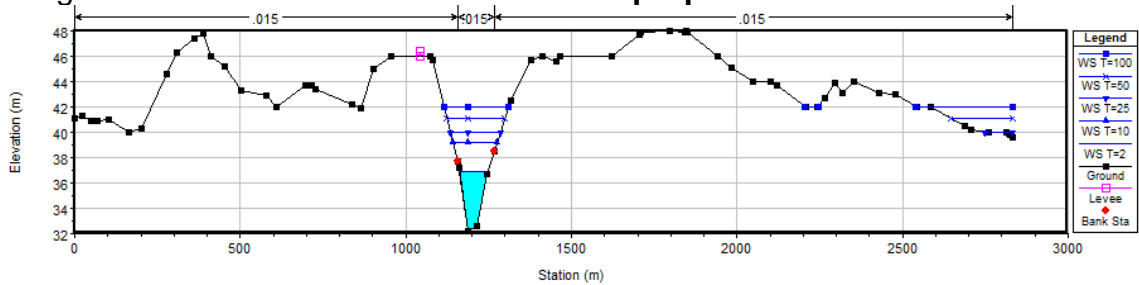
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 65. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+750



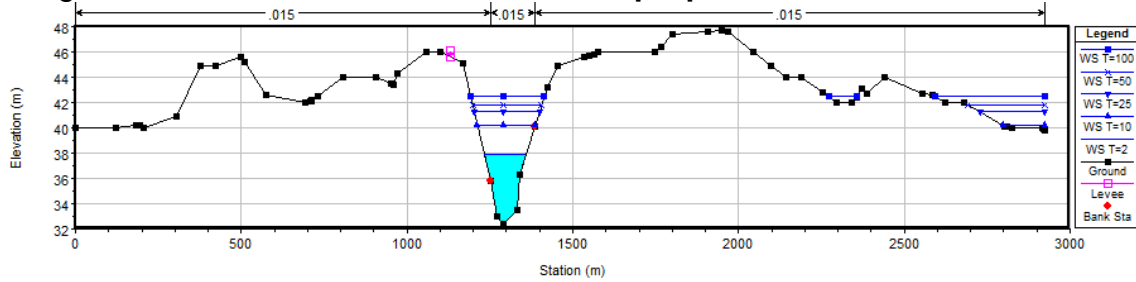
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 66. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+800



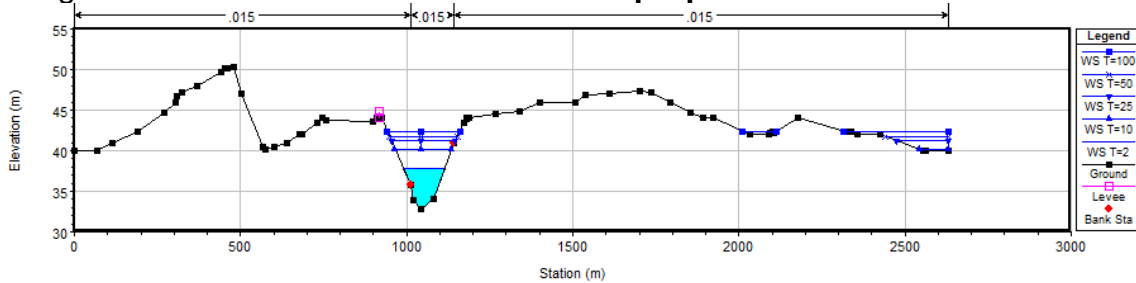
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 67. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+850



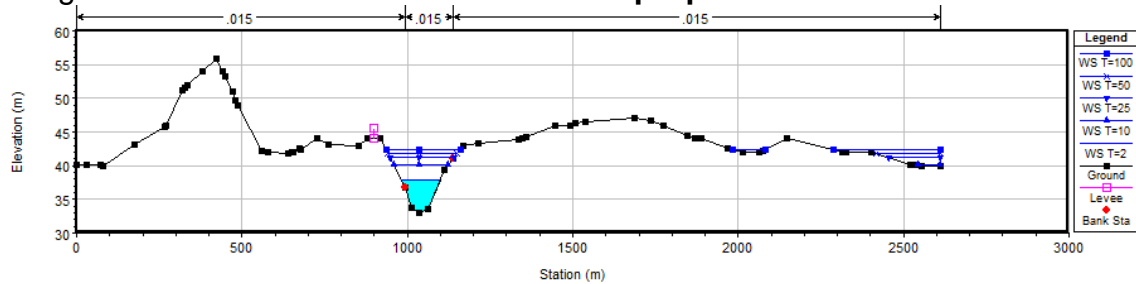
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 68. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+900



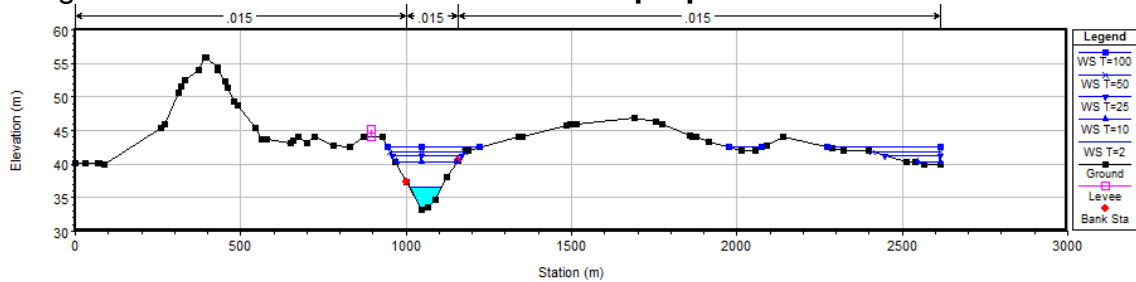
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 69. Simulación con las obras propuestas en la sección 0+950



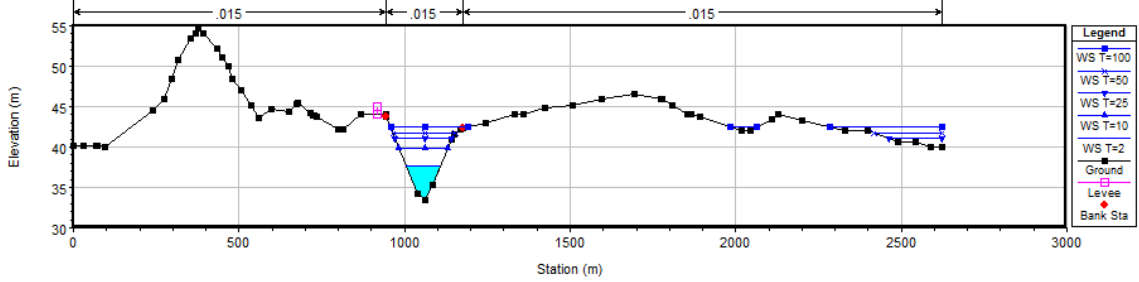
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 70. Simulación con las obras propuestas en la sección 1+000



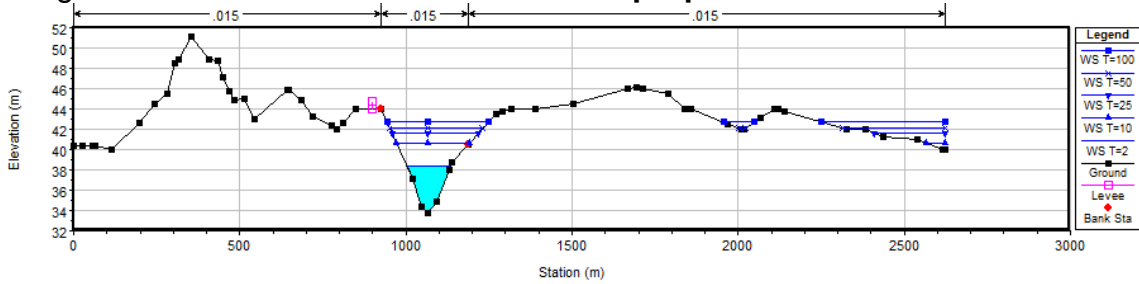
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 71. Simulación con las obras propuestas en la sección 1+050



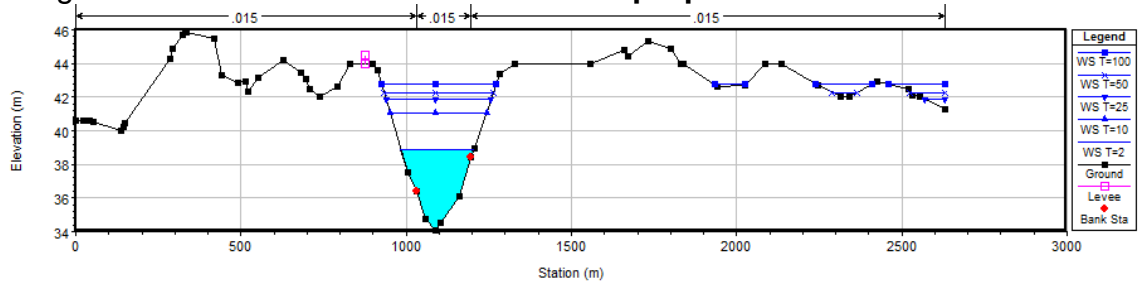
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 72. Simulación con las obras propuestas en la sección 1+100



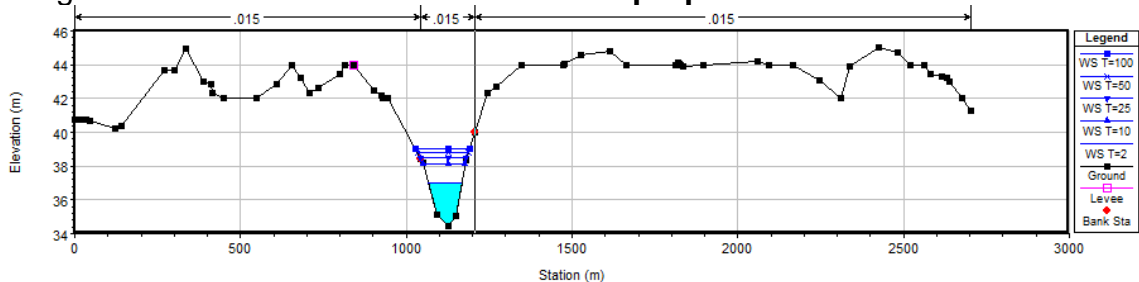
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 73. Simulación con las obras propuestas en la sección 1+150



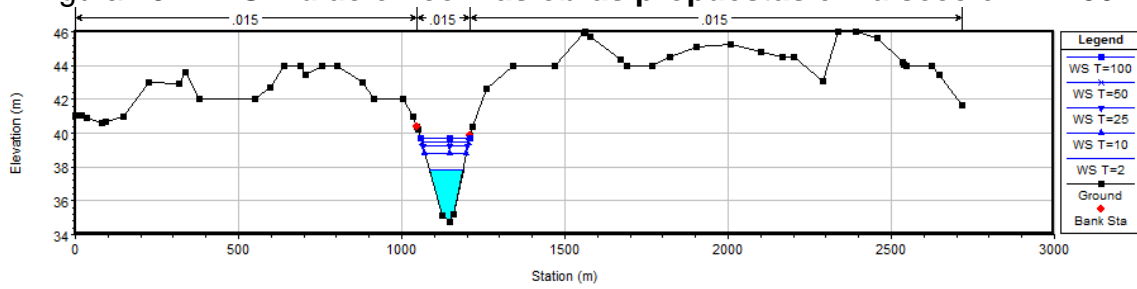
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 74. Simulación con las obras propuestas en la sección 1+200



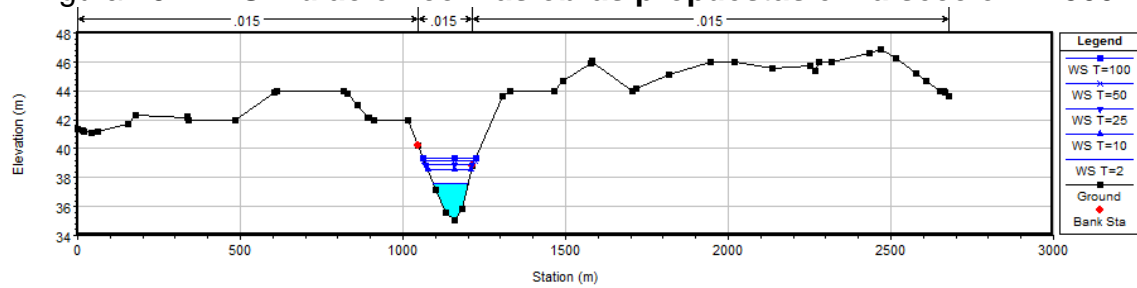
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 75. Simulación con las obras propuestas en la sección 1+250



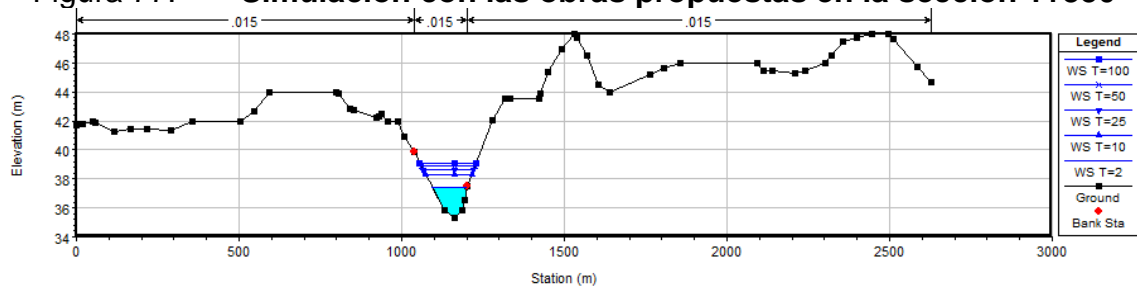
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 76. Simulación con las obras propuestas en la sección 1+300



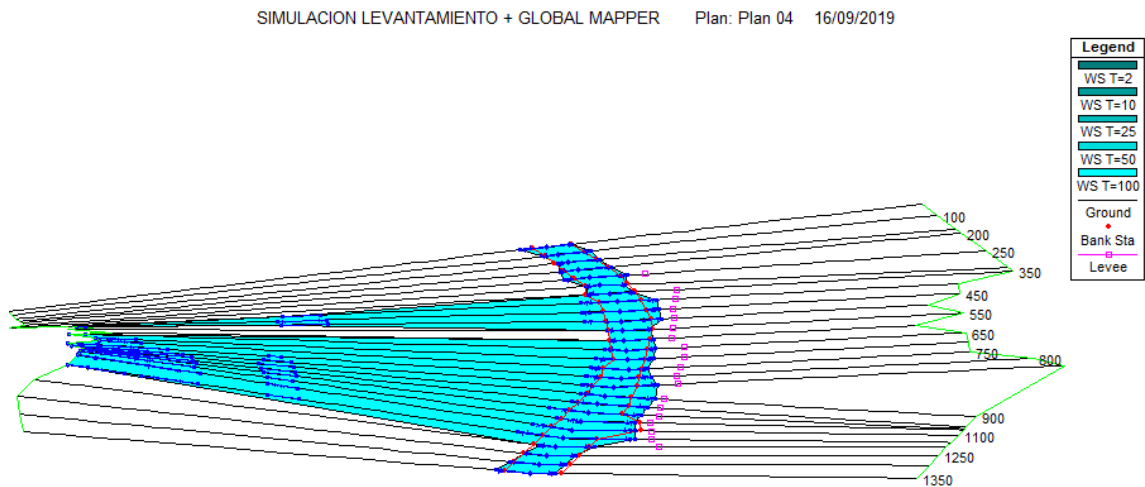
Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 77. Simulación con las obras propuestas en la sección 1+350



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

Figura 78. **Resultado gráfico del perfil del cauce del río Motagua, de la simulación con las obras propuestas en las secciones transversales 0+050 a 1+350**



Fuente: elaboración propia, empleando HEC-RAS.

5.3. Conclusiones de la modelación hidráulica con el software HEC-RAS

Por medio de la simulación hidráulica realizada con el software HEC-RAS, se determinaron las llanuras de inundación y la altura del espejo de agua del río Motagua para caudales de períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Como parte de los resultados de la simulación se obtuvieron los datos hidráulicos del río Motagua, parámetros tales como; velocidad, régimen del flujo y energía específica del flujo.

A partir de los datos hidráulicos proporcionados por la simulación en HEC-RAS se realizó el diseño de las obras hidráulicas propuestas. En este caso el diseño de bordas con recubrimiento de roca. La velocidad del flujo fue utilizada para la determinación del diámetro del recubrimiento de rocas; la altura del espejo de agua fue utilizada para el diseño geométrico de la borda, y las gráficas de las secciones transversales después de la simulación determinaron la ubicación de las obras.

Finalmente una simulación hidráulica con obras propuestas en el cauce del río Motagua demostró que para caudales con períodos de retorno de 2, 10, 25, 50, y 100 años, se eliminan las áreas de inundación y el riesgo potencial de la población del caserío Buena Vista, ubicada del lado izquierdo del cauce del río, a favor del caminamiento (aguas arriba), ubicada en las cercanías de la ribera del río Motagua.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que la crecida máxima para un periodo de retorno de 100 años en la cuenca de estudio es de 4 440,94 m³/s, caudal con el que se diseñaron las obras de protección propuestas.
2. Se determinó que las crecidas con periodos de retorno mayores a 25 años son las que causan desbordamiento en el tramo del río Motagua a la altura del caserío Buena Vista, municipio de Morales, es decir, las crecidas con caudales superiores a 3 377,80 m³/s.
3. Se hizo una propuesta a nivel de prefactibilidad de obras de protección contra inundaciones en el tramo en estudio, eficiente, con base en la información obtenida mediante la simulación hidráulica.
4. Se corroboró la efectividad de las obras de protección propuestas por medio de una simulación hidráulica, asegurándose que no existan llanuras de inundación en el área en la cual se encuentra ubicado el caserío Buena Vista.

RECOMENDACIONES

1. La municipalidad de Morales, Izabal, debe tener control sobre las diferentes obras de control de cauce que se realizan en los márgenes del río, ya que las mismas pueden repercutir a nivel de socavamiento aguas abajo en los márgenes del río.
2. Este estudio es a nivel de prefactibilidad en lo que a infraestructura se refiere, y deberá realizarse un estudio de suelos antes de ejecutar las obras de protección.
3. Se requiere de un replanteo topográfico previo a realizar las obras de protección propuestas, dicho replanteo debe ser realizado con tecnologías contemporáneas como lo son: estación total y localizador GPS profesional.
4. Impulsar por parte de la Universidad de San Carlos de Guatemala estudios de este tipo para atender las situaciones de riesgo a nivel nacional, estudios como éste son idóneos para establecer la magnitud de los proyectos a ejecutar a nivel de prefactibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANLEU, Rafael. *Inventario de cuencas en Guatemala*. Secretaría Ejecutiva de CEPREDENAC Proyecto cuenca Guacalate, Guatemala, 2006. 41 p.
2. CARRILLO MUÑOZ, Victoria Yasmina. *Propuesta de obras de protección para inundaciones provocadas por el río Guacalate en Masagua, Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 94 p.
3. CHOW, Ven Te., MAIDMENT, David. *Hidrología aplicada*. Colombia; 1994. 584 p.
4. INSIVUMEH. *Análisis regional de crecidas en la República de Guatemala*. Guatemala, 2004. 17 p.
5. LÓPEZ SANDOVAL, Marly Azucel. *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 de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 92 p.
6. MAZA ALVAREZ, José. *Manual de ingeniería de ríos, estabilización y rectificación de ríos*. División de estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 2012. 89 p.

7. NANIA, Leonardo., MORELO Emilio. *Manual básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1*. Curso de especialización de modelación de urbanismo y ordenación del territorio. Universidad de Granada, España, 1997. 59 p.
8. SOTELO AVILA, Gilberto. *Apuntes de hidráulica, diseño hidráulico de obras*. UNAM, Facultad de Ingeniería, 1994. 646 p.
9. U.S. Army Corps of Engineers. *Design of rip rap revetment*. Hydraulic Engineering Circular No. 11, 1989. 193 p.

APÉNDICES

El levantamiento topográfico se realizó en el tramo de estudio durante el mes de marzo de 2017, coordinando esfuerzos con la población del caserío Buena Vista, quienes apoyaron activamente durante el levantamiento con trabajo de chapeo, movilización en barca y otras labores.

Apéndice 1. Levantamiento topográfico



Fuente: elaboración propia, equipo de trabajo (izquierda del teodolito estudiantes FIUSAC, derecha pobladores del caserío).

Apéndice 2. Estación durante levantamiento



Fuente: elaboración propia, estación durante levantamiento topográfico.

Apéndice 3. Taquimetría en lecho de río



Fuente: elaboración propia, taquimetría en lecho de río.

Apéndice 4. Radiaciones



Fuente: elaboración propia, vistas desde instrumento.

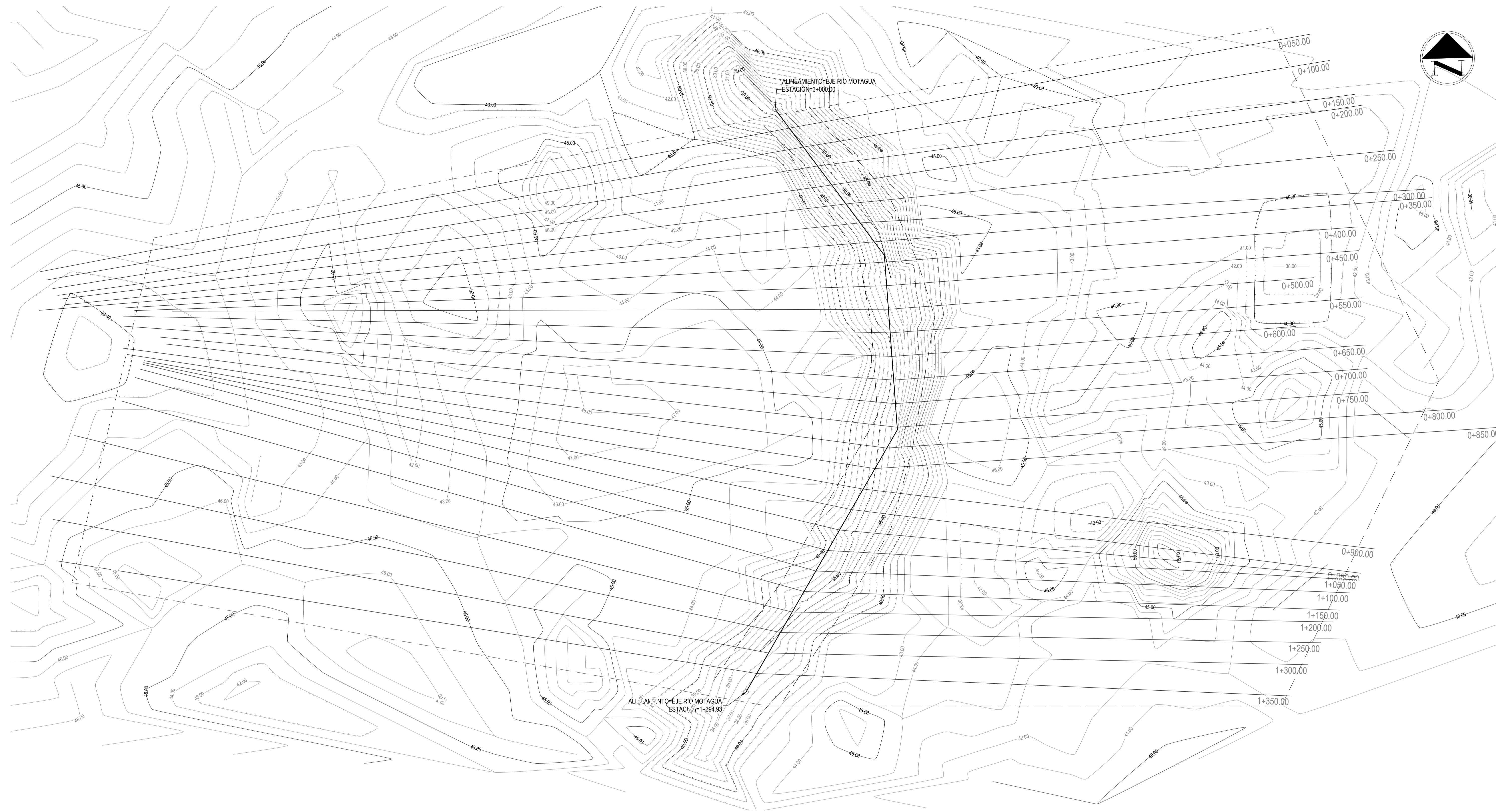
Apéndice 5. Taquimetría en márgenes del río



Fuente: elaboración propia, taquimetría en márgenes del río.

Apéndice 6. **Planos de levantamiento topográfico y propuesta de obras de protección**

Fuente: elaboración propia.



PLANTA GENERAL
 ESCALA: 1: 4000



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

TRABAJO DE GRADUACION
 ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
 PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO
 MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
 IZABAL.

DIBUJO
 MELVIN PÉREZ MANTANICO
 FECHA:
 ABRIL 2019

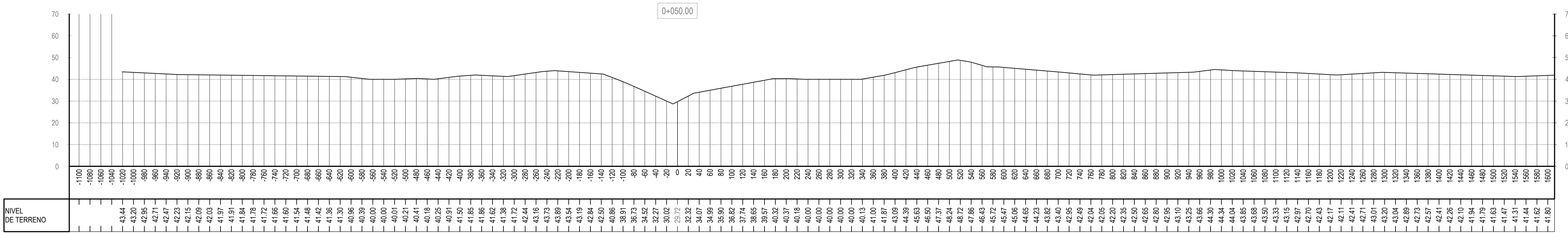
UBICACION:
 CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

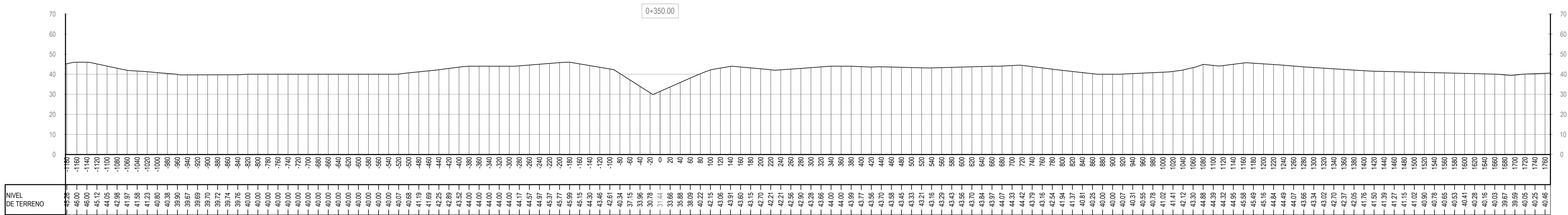
ESCALA:
 INDICADA

CONTENIDO
 PLANTA GENERAL

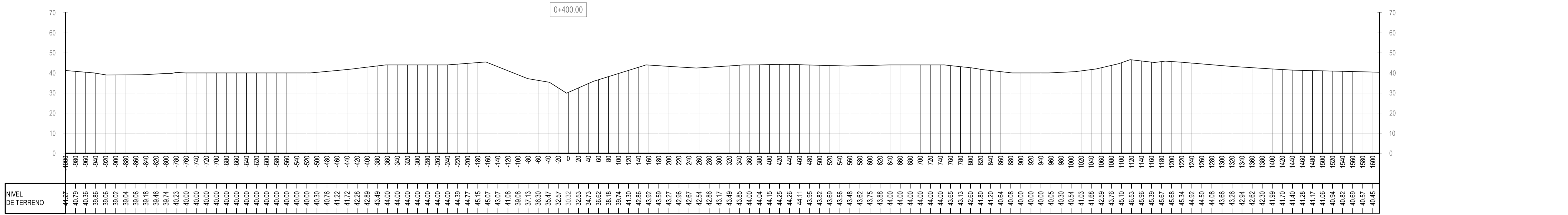
ING. CLAUDIO CASTAÑON
 ASESOR

MELVIN PÉREZ MANTANICO
 ESTUDIANTE

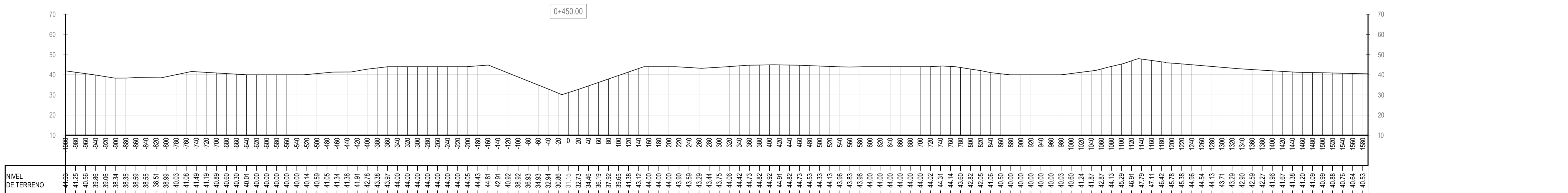




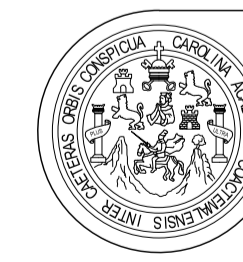
SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+350
 ESCALA: 1: V:1000/H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+400
 ESCALA: 1: V:1000/H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+450
 ESCALA: 1: V:1000/H:4000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION
 ESTUDIO HIDROLOGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
 PROTECCION ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RIO
 MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
 IZABAL.

DIBUJO
 MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
 ABRIL 2019

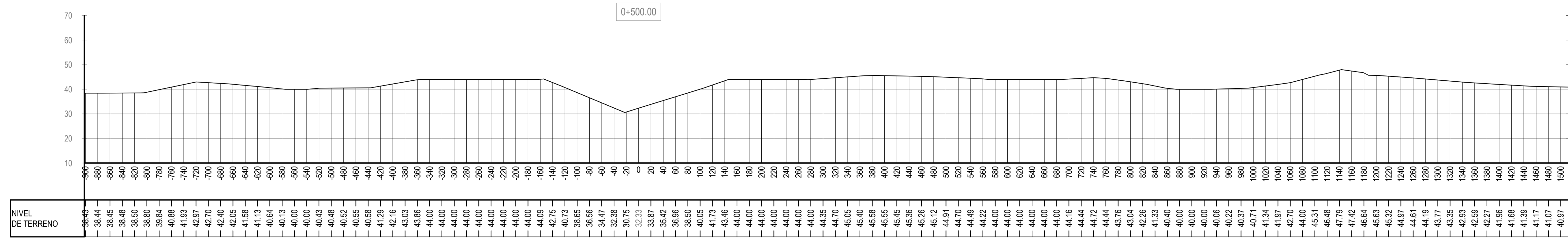
UBICACION:
 CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
 INDICADA

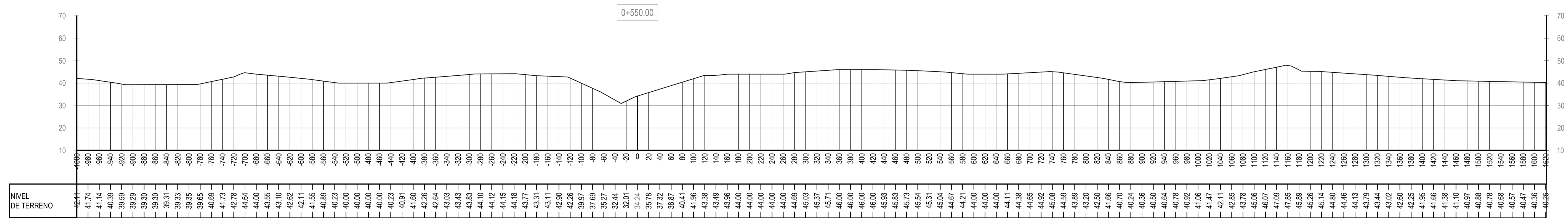
CONTENIDO
 SECCIONES TRANSVERSALES EST. 0+350, EST. 0+400 Y EST. 0+450

ING. CLAUDIO CASTAÑO
 ASESOR

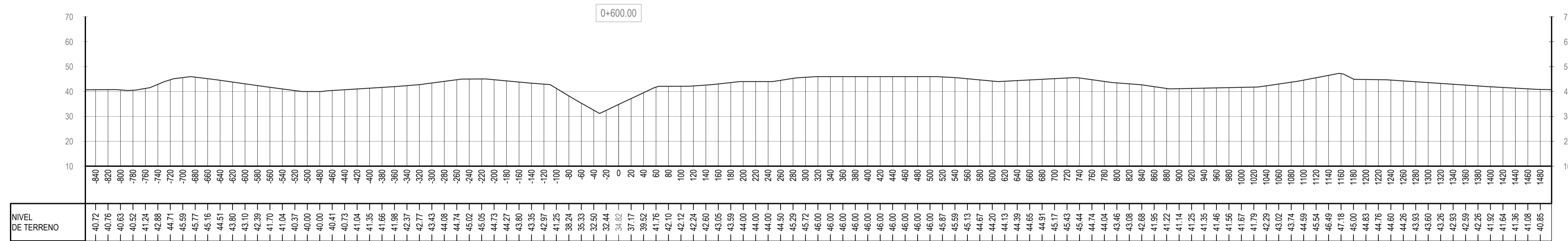
MELVIN PÉREZ MANTANICO
 ESTUDIANTE



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+500
ESCALA: 1: V:1000/H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+550
ESCALA: 1: V:1000/H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+600
ESCALA: 1: V:1000/H:4000



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

TRABAJO DE GRADUACIÓN
ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO
MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
IZABAL.

DIBUJO
MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
ABRIL 2019

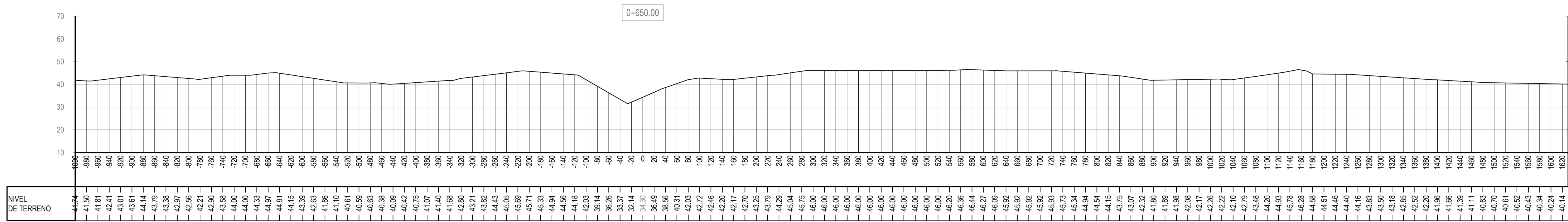
UBICACIÓN:
CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
INDICADA

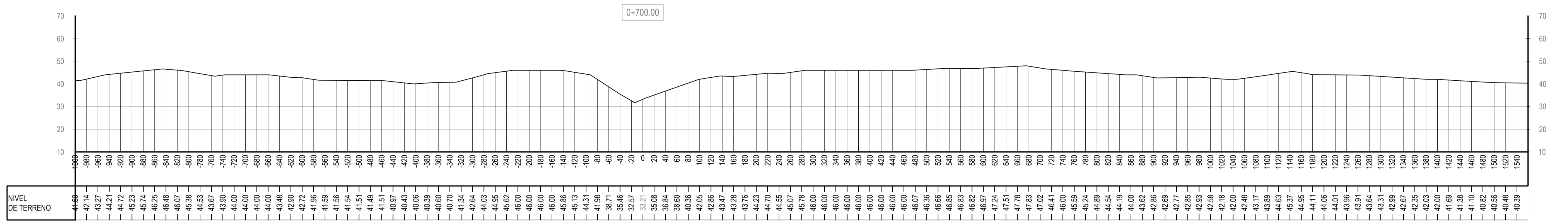
CONTENIDO
SECCIONES TRANSVERSALES EST. 0+500, EST. 0+550 Y EST. 0+600

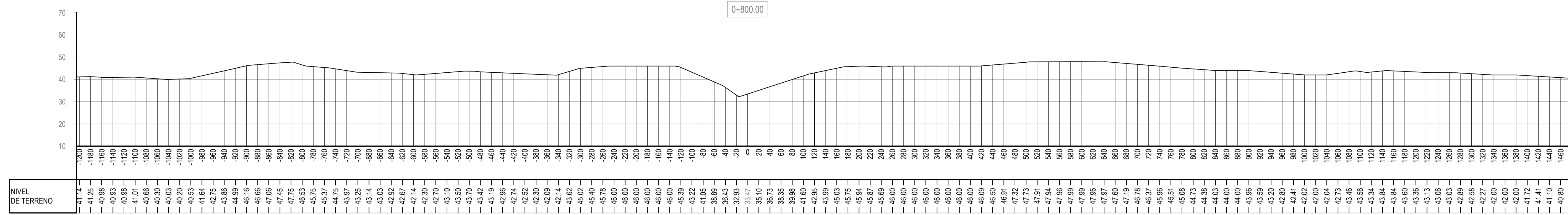
ING. CLAUDIO CASTAÑÓN
ASESOR

MELVIN PÉREZ MANTANICO
ESTUDIANTE



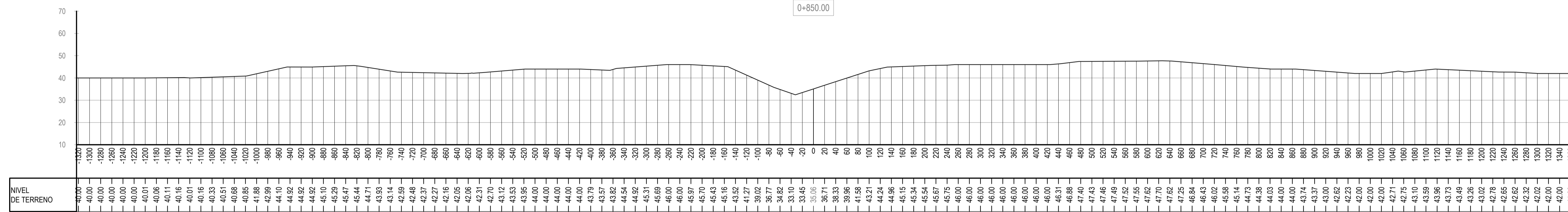
SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+650
ESCALA: 1: V:1000/H:4000





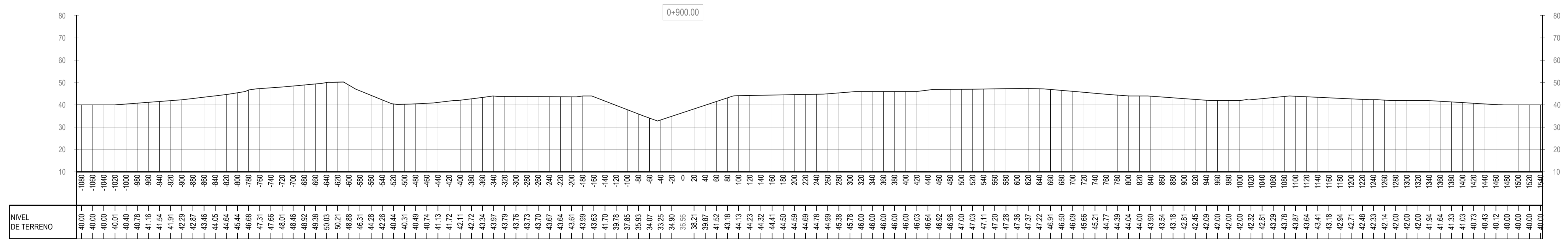
SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+800

ESCALA: 1: V:1000H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+850

ESCALA: 1: V:1000H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 0+900

ESCALA: 1: V:1000H:4000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION
ESTUDIO HIDROLOGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
PROTECCION ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RIO
MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
IZABAL.

DIBUJO
MELVIN PEREZ MANTANICO

FECHA:
ABRIL 2019

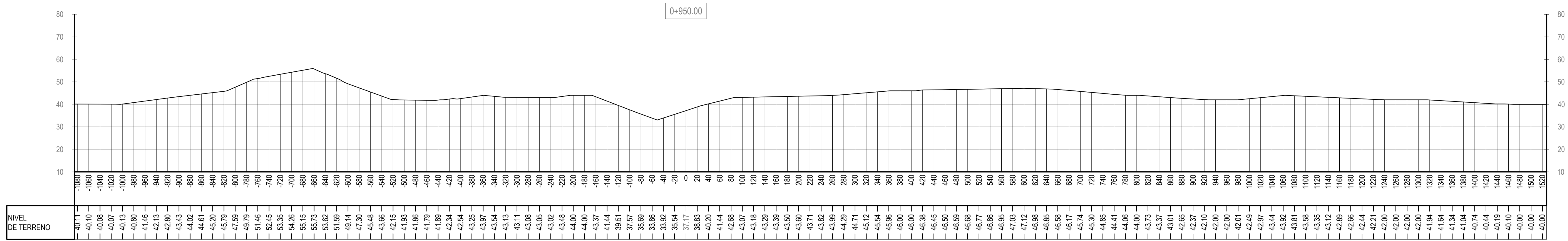
UBICACION:
CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

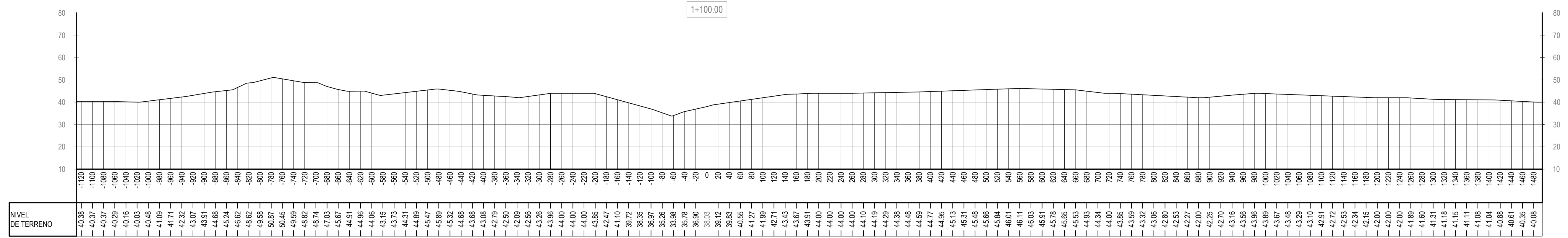
ESCALA:
INDICADA

CONTENIDO
SECCIONES TRANSVERSALES EST. 0+800, EST. 0+850 Y EST. 0+900

ING. CLAUDIO CASTAÑO
ASESOR

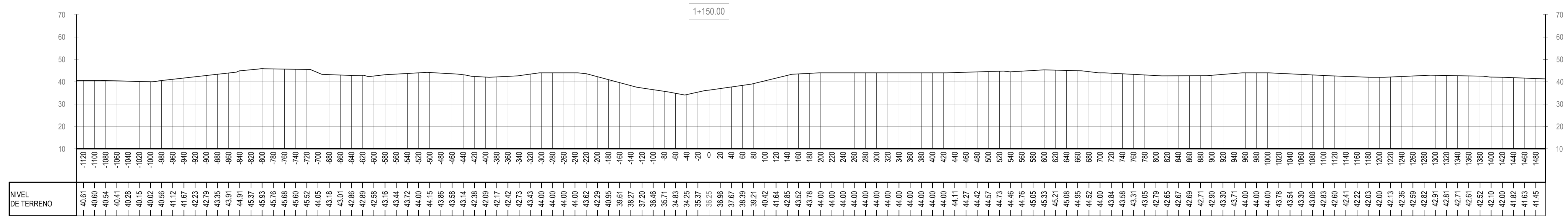
MELVIN PEREZ MANTANICO
ESTUDIANTE





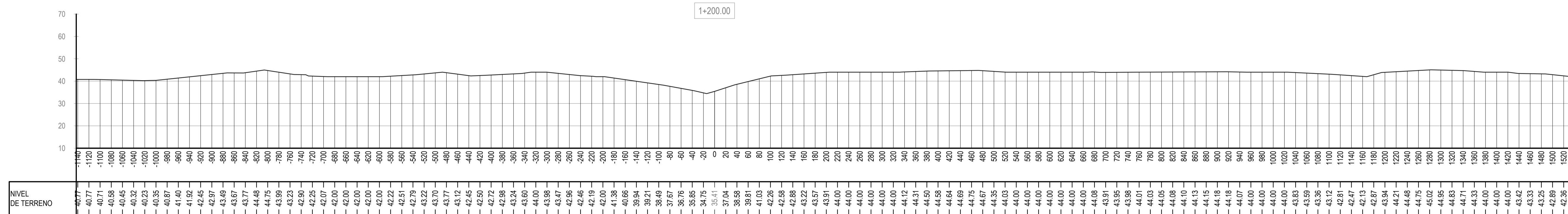
SECCION TRANSVERSAL ESTACION 1+100

ESCALA: 1: V:1000/H:4000



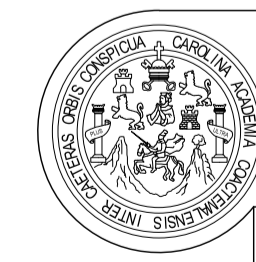
SECCION TRANSVERSAL ESTACION 1+150

ESCALA: 1: V:1000/H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 1+200

ESCALA: 1: V:1000/H:4000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION
ESTUDIO HIDROLOGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO
MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
IZABAL.

DIBUJO
MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
ABRIL 2019

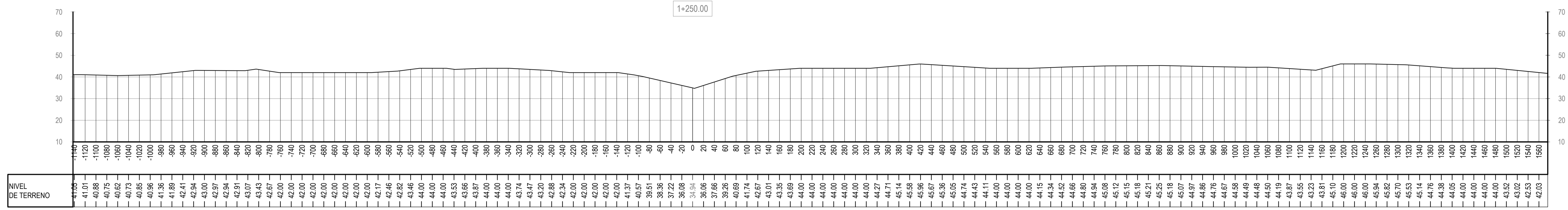
UBICACION:
CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
INDICADA

CONTENIDO
SECCIONES TRANSVERSALES EST.1+100 , EST. 1+150 Y EST. 1+200

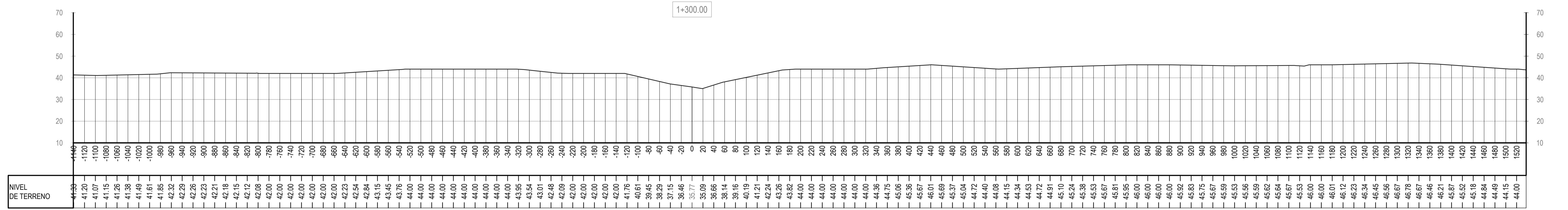
ING. CLAUDIO CASTAÑO
ASESOR

MELVIN PÉREZ MANTANICO
ESTUDIANTE



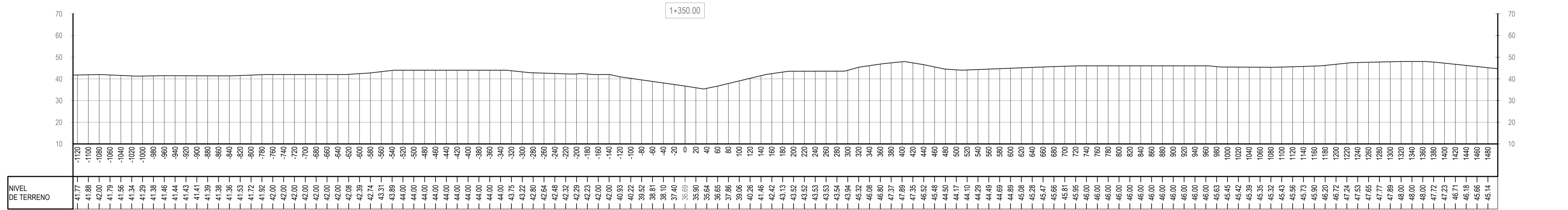
SECCION TRANSVERSAL ESTACION 1+250

ESCALA: 1: V:1000/H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 1+300

ESCALA: 1: V:1000/H:4000



SECCION TRANSVERSAL ESTACION 1+350

ESCALA: 1: V:1000/H:4000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION
ESTUDIO HIDROLOGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCION ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RIO MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

DIBUJO
MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
ABRIL 2019

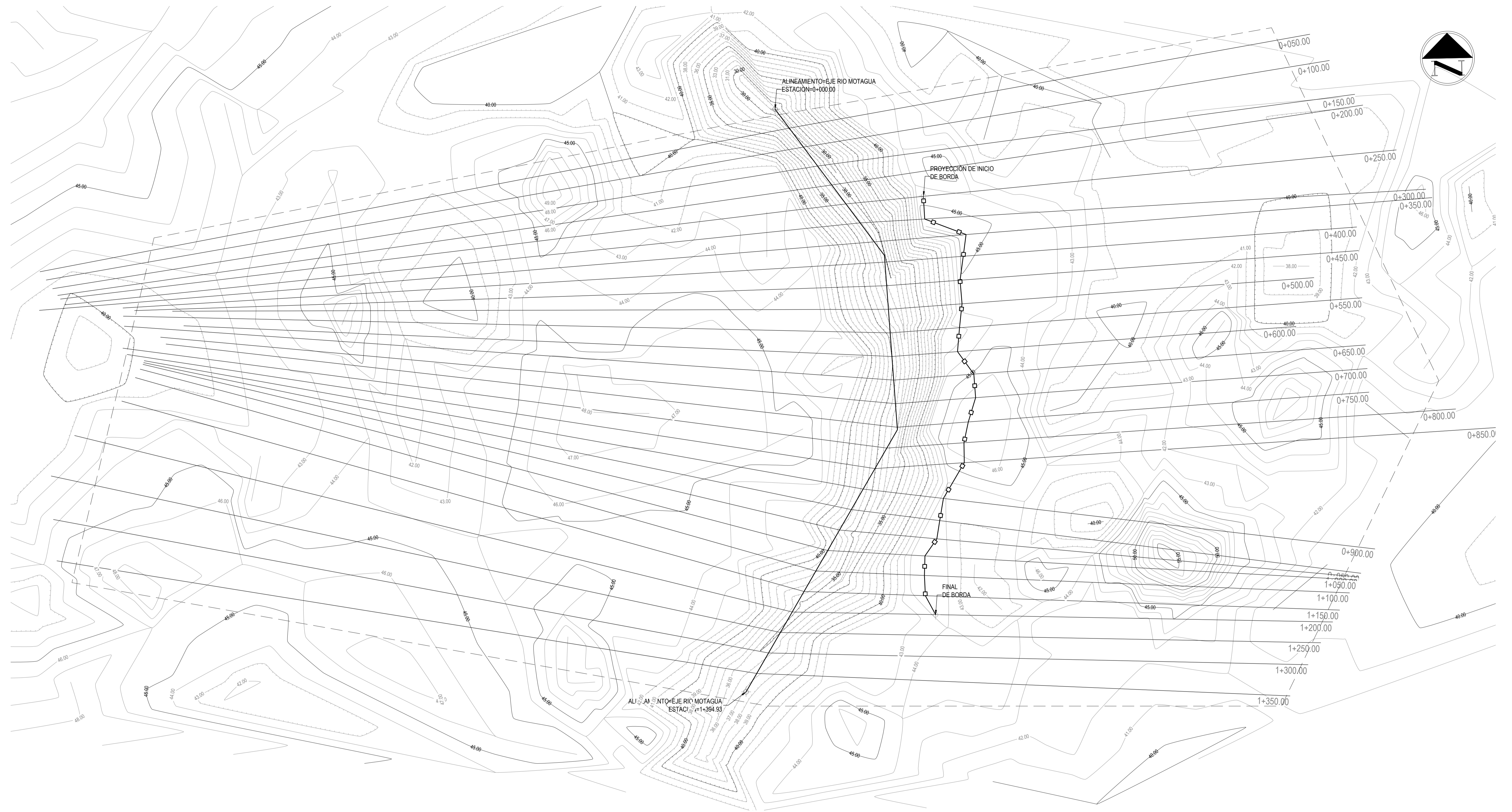
UBICACION:
CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
INDICADA

CONTENIDO
SECCIONES TRANSVERSALES EST. 1+250, EST. 1+300 Y EST. 1+350

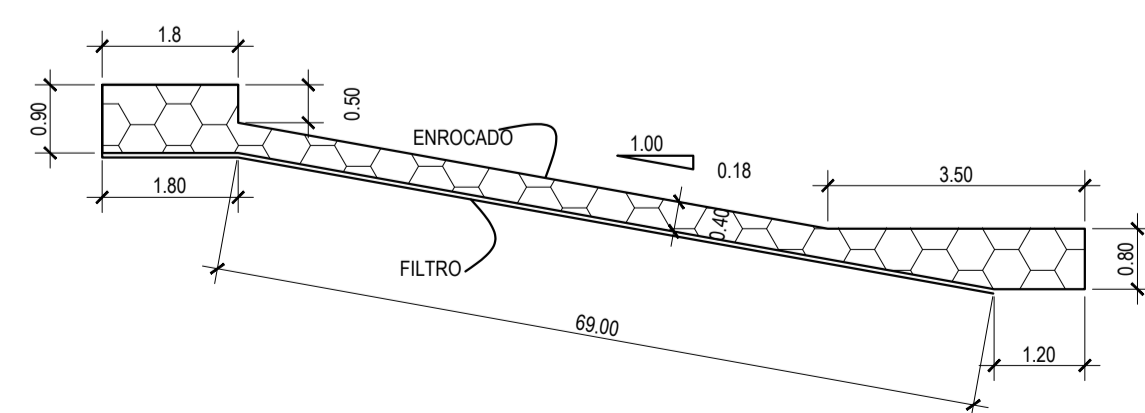
ING. CLAUDIO CASTAÑO
ASESOR

MELVIN PÉREZ MANTANICO
ESTUDIANTE



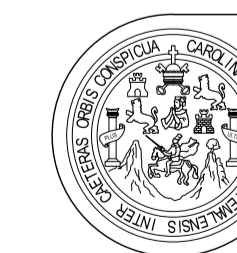
PLANTA GENERAL

ESCALA: 1: 4000



DETALLE DE BORDA

ESCALA: 1: 10



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION
ESTUDIO HIDROLOGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
PROTECCION ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RIO
MOTAGUA EN EL CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
IZABAL.

DIBUJO
MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
ABRIL 2019

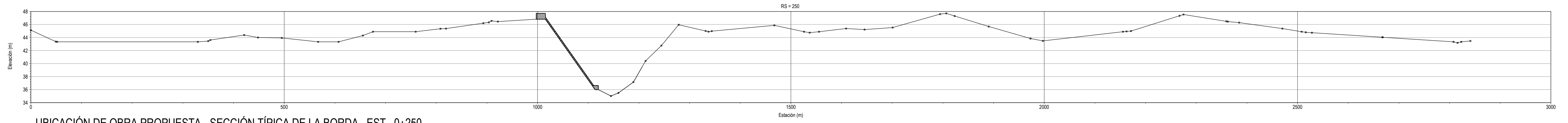
UBICACION:
CASERIO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
INDICADA

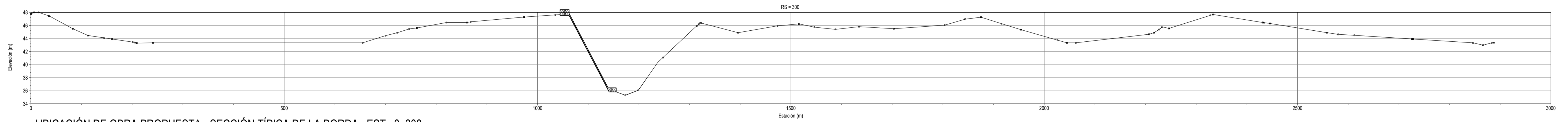
CONTENIDO
PLANTA GENERAL DE BORDA Y DETALLE DE BORDA

ING. CLAUDIO CASTAÑON
ASESOR

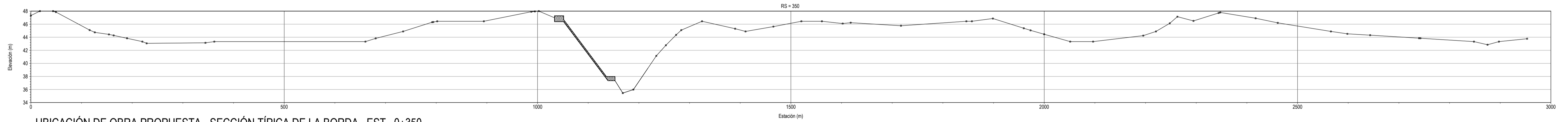
MELVIN PÉREZ MANTANICO
ESTUDIANTE



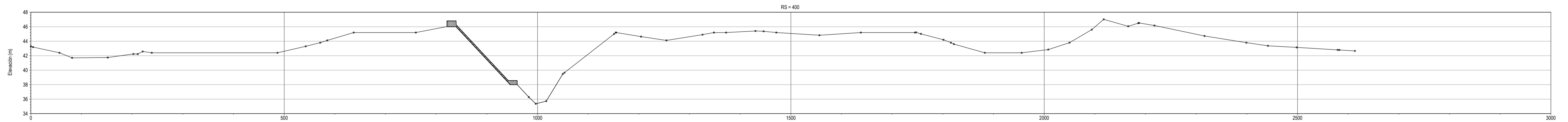
UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+250
 ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+300
 ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+350
 ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+400
 ESCALA 1: V:1000 / H:4000



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

TRABAJO DE GRADUACIÓN
 ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
 PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO
 MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
 IZABAL.

DIBUJO
 MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
 SEPTIEMBRE 2019

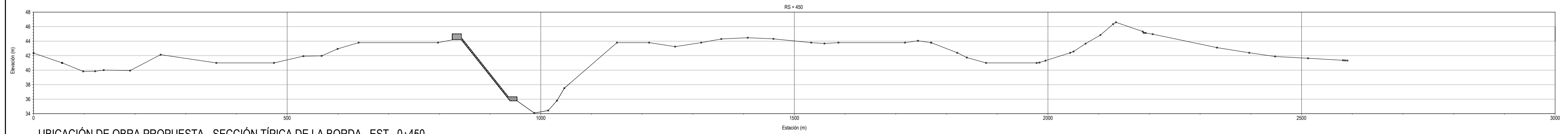
UBICACION:
 CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
 INDICADA

CONTENIDO
 UBICACIÓN DE OBRAS PROPUESTAS Y SECCIÓN TÍPICA
 DE LA BORDA EST. 0+250, EST. 1+300, EST. 1+350 Y 0+400

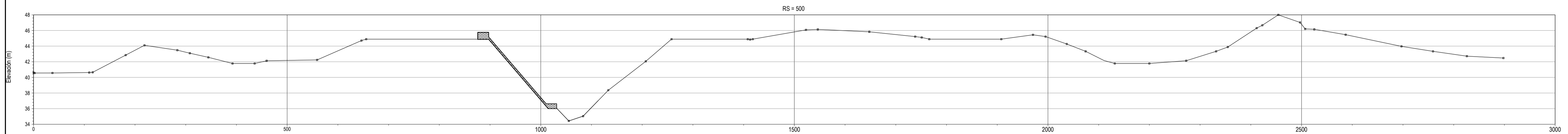
ING. CLAUDIO CASTAÑÓN
 ASESOR

MELVIN PÉREZ MANTANICO
 ESTUDIANTE



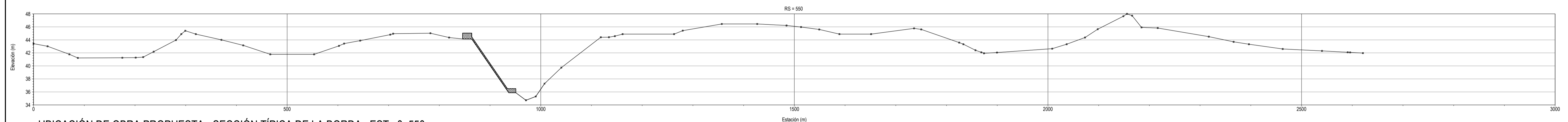
UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+450

ESCALA 1: V:1000 / H:4000



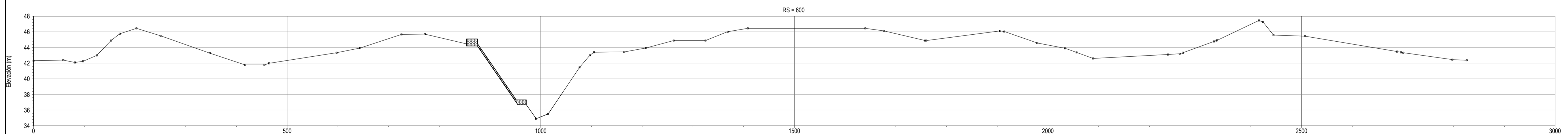
UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+500

ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+550

ESCALA 1: V:1250 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+600

ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN
ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO
MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
IZABAL.

DIBUJO
MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
SEPTIEMBRE 2019

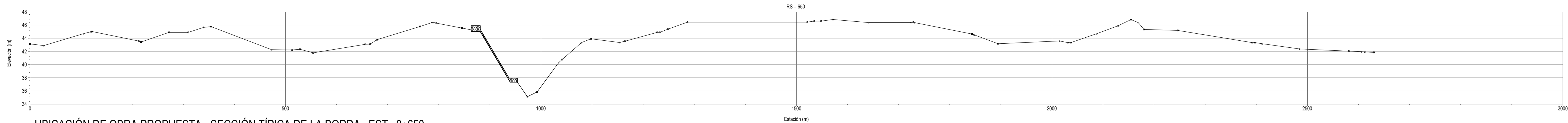
UBICACION:
CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
INDICADA

CONTENIDO
UBICACIÓN DE OBRAS PROPUESTAS Y SECCIÓN TÍPICA
DE LA BORDA EST. 0+450, EST. 1+500, EST. 1+550 Y 0+600

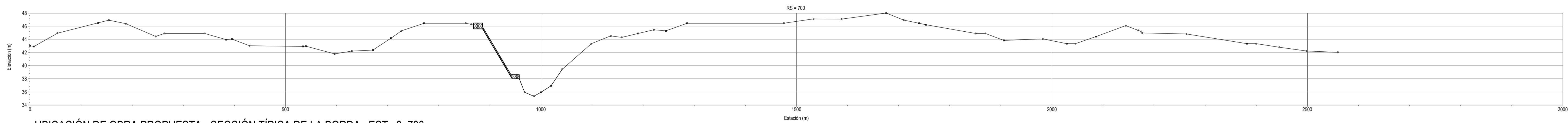
ING. CLAUDIO CASTAÑÓN
ASESOR

MELVIN PÉREZ MANTANICO
ESTUDIANTE



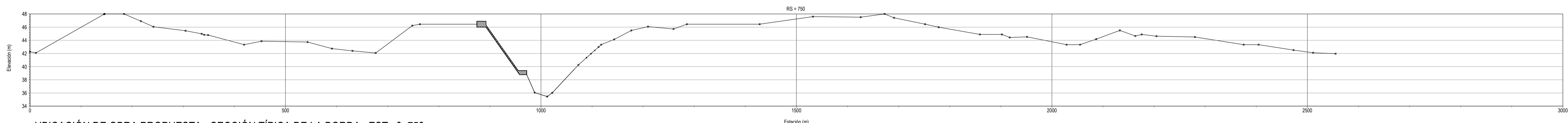
UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+650

ESCALA 1: V:1250 / H:4000



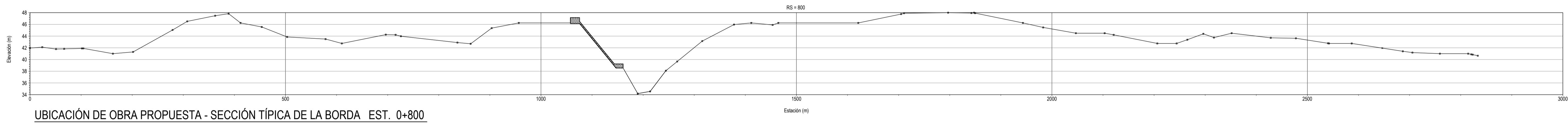
UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+700

ESCALA 1: V:1250 / H:4000



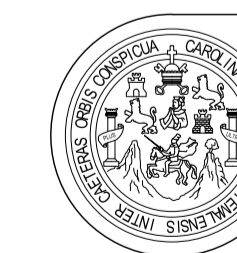
UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+750

ESCALA 1: V:1250 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+800

ESCALA 1: V:1250 / H:4000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN
ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO
MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
IZABAL.

DIBUJO
MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
SEPTIEMBRE 2019

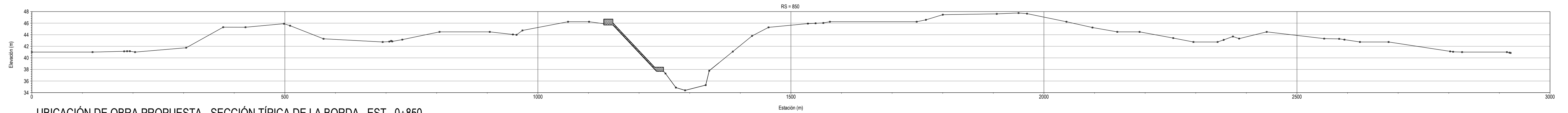
UBICACIÓN:
CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
INDICADA

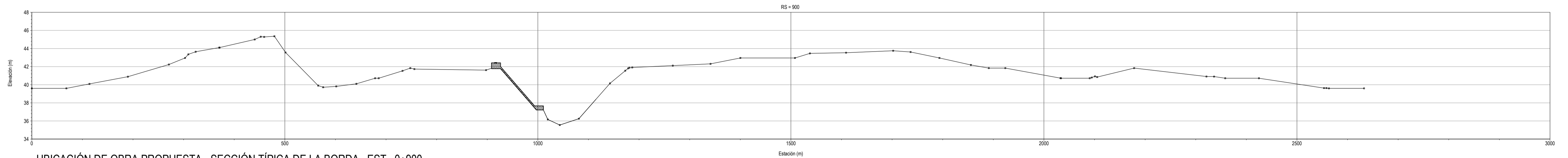
CONTENIDO
UBICACIÓN DE OBRAS PROPUESTAS Y SECCIÓN TÍPICA
DE LA BORDA EST. 0+650, EST. 1+700, EST. 1+750 Y 0+800

ING. CLAUDIO CASTAÑÓN
ASESOR

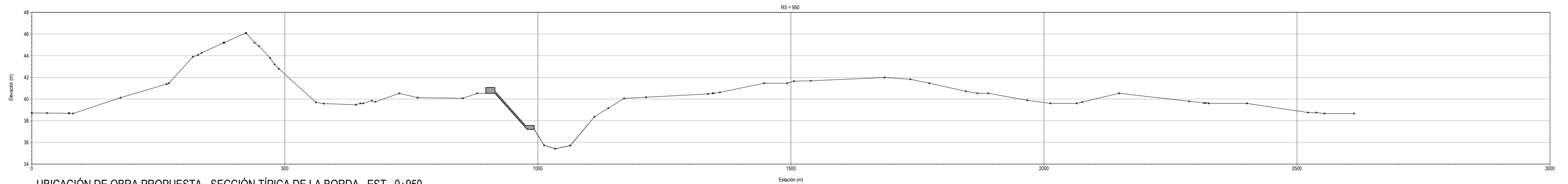
MELVIN PÉREZ MANTANICO
ESTUDIANTE



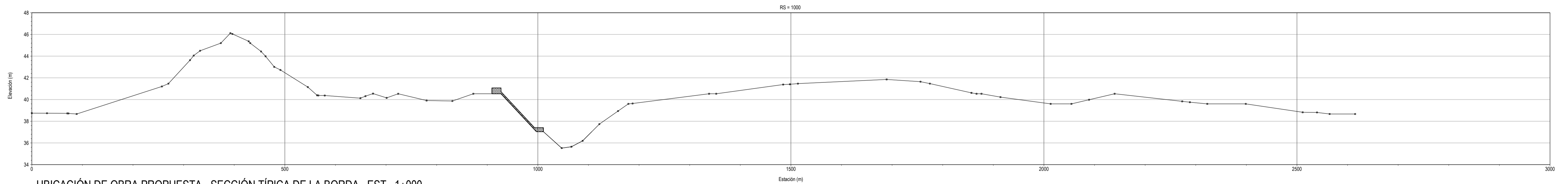
UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+850
ESCALA 1: V:1250 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+900
ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 0+950
ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 1+000
ESCALA 1: V:1000 / H:4000



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

TRABAJO DE GRADUACIÓN
ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO
MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
IZABAL.

DIBUJO
MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
SEPTIEMBRE 2019

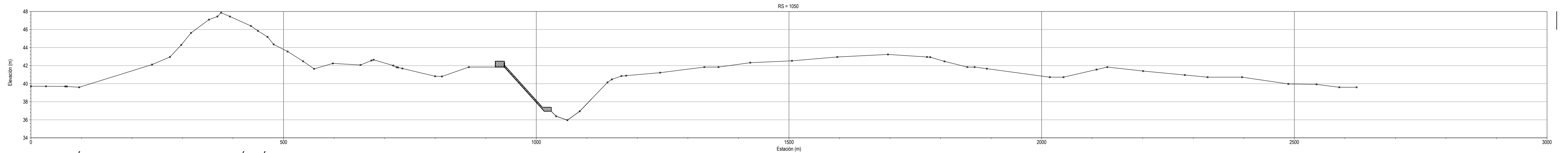
UBICACION:
CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
INDICADA

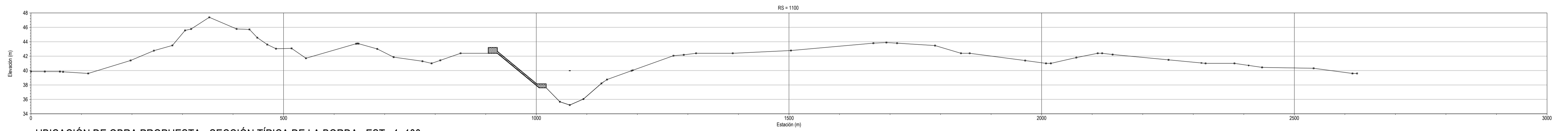
CONTENIDO
UBICACIÓN DE OBRAS PROPUESTAS Y SECCIÓN TÍPICA
DE LA BORDA EST. 0+850, EST. 1+900, EST. 1+950 Y 1+000

ING. CLAUDIO CASTAÑÓN
ASESOR

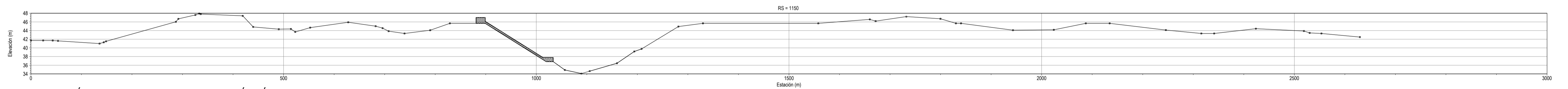
MELVIN PÉREZ MANTANICO
ESTUDIANTE



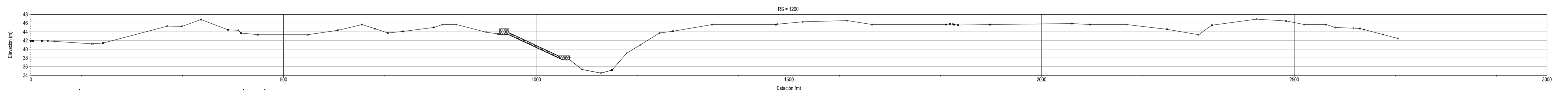
UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 1+050
 ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 1+100
 ESCALA 1: V:1000 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 1+150
 ESCALA 1: V:1250 / H:4000



UBICACIÓN DE OBRA PROPUESTA - SECCIÓN TÍPICA DE LA BORDA EST. 1+200
 ESCALA 1: V:1250 / H:4000



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACIÓN
 ESTUDIO HIDROLÓGICO PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE
 PROTECCIÓN ANTE INUNDACIONES PROVOCADAS POR EL RÍO
 MOTAGUA EN EL CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES,
 IZABAL.

DIBUJO
 MELVIN PÉREZ MANTANICO

FECHA:
 SEPTIEMBRE 2019

UBICACION:
 CASERÍO BUENA VISTA, MUNICIPIO DE MORALES, IZABAL.

ESCALA:
 INDICADA

CONTENIDO
 UBICACIÓN DE OBRAS PROPUESTAS Y SECCIÓN TÍPICA
 DE LA BORDA EST. 1+050, EST. 1+100, EST. 1+150 Y 1+200

ING. CLAUDIO CASTAÑÓN
 ASESOR

MELVIN PÉREZ MANTANICO
 ESTUDIANTE