



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

**CALIBRACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA LA VERTIENTE  
DEL MAR CARIBE EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

**Helen Cecilia López López**

Asesorado por el Ing. Sergio Antonio López Dubón

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CALIBRACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA LA VERTIENTE  
DEL MAR CARIBE EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**HELEN CECILIA LÓPEZ LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. SERGIO ANTONIO LÓPEZ DUBÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **CALIBRACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA LA VERTIENTE DEL MAR CARIBE EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 24 de octubre de 2014.



**Helen Cecilia López López**

Guatemala, 18 de septiembre de 2015

Ingeniero Claudio César Castañón Contreras  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Castañón:

Por medio de la presente hago constar que he asesorado el trabajo de graduación de la estudiante Helen Cecilia López López, titulado **"CALIBRACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA LA VERTIENTE DEL MAR CARIBE EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA"**

Después de haber revisado y corregido dicho trabajo de graduación, considero que el mismo cumple con los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil, por lo que dejo constancia de mi aprobación para su autorización.

Sin otro particular, me despido.

Atentamente,

  
Ing. Sergio Antonio López Dubón

Colegiado 9914

Sergio Antonio López Dubón  
Ingeniero Civil  
Col. No. 9914



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

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

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



Guatemala,  
29 de octubre de 2015

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

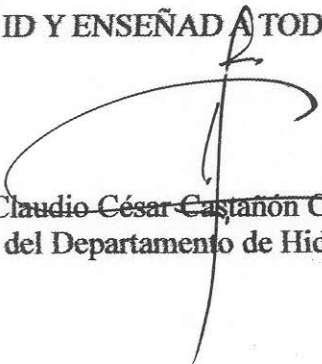
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación CALIBRACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA LA VERTIENTE DEL MAR CARIBE EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Helen Cecilia López López, quien contó con la asesoría del Ing. Sergio Antonio López Dubón.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Claudio César Castañón Contreras  
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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

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

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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Antonio López Dubón y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación de la estudiante Helen Cecilia López López, titulado **CALIBRACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA LA VERTIENTE DEL MAR CARIBE EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **CALIBRACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS PARA LA VERTIENTE DEL MAR CARIBE EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Helen Cecilia López López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, noviembre de 2015



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por la iluminación y sabiduría; por guiarme en cada uno de los pasos para alcanzar todas mis metas.

### **Mis padres**

Ervin Francisco López Samayoa y Miriam Araceli López Barrios, quienes me dan su apoyo moral y económico, y han sido mi ejemplo de perseverancia y amor incondicional.

### **Mis abuelos**

Inocencio Sebastián López, María Clemencia Samayoa Mencos (q. e. p. d.) por su ejemplo de dedicación, trabajo y perseverancia; por llenar de amor mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por llenarme de bendiciones.
<b>Mi hermano</b>	Kevin Haroldo López, por su apoyo y cariño expresado de manera directa e indirecta en el transcurso de mi vida.
<b>Mis abuelas</b>	Felícita Concepción Barrios y María Clemencia Samayoa, por ser mujeres ejemplares.
<b>Mi novio</b>	Oscar Alberto Ordóñez Palma, por su amor, dulzura, cariño, consejos y compañía durante tantos años.
<b>Mi asesor</b>	Sergio Antonio López, por todo su apoyo y enseñanzas durante la realización de este trabajo.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por permitirme adquirir el conocimiento técnico y científico, y formarme como profesional.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Alma máter y casa de estudios que me inspiró a culminar esta carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. MONOGRAFÍA DE LA VERTIENTE DEL MAR CARIBE .....	1
1.1. Descripción y características del lugar .....	1
1.2. Cuencas que conforman la vertiente .....	5
1.3. Estación hidrométrica .....	11
1.3.1. Generalidades .....	13
1.3.2. ¿Cómo funciona? .....	13
1.3.3. ¿Cuándo funciona? .....	13
1.3.4. Limnímetros y limnógrafos.....	14
1.3.5. Sistema de registros automático.....	15
2. REALIZACIÓN DE AFOROS .....	17
2.1. Generalidades .....	17
2.2. ¿Qué es un aforo?.....	18
2.3. Tipos de aforo.....	19
2.3.1. Aforo por el método del molinete .....	19
2.3.2. Aforo con limnímetros y limnógrafos.....	20
2.3.3. Aforo con flotadores.....	22
2.3.4. Otros.....	24

2.4.	Curvas de descarga .....	25
3.	SIMULACIONES HIDRÁULICAS HEC-RAS .....	27
3.1.	Generalidades .....	27
3.2.	Características del modelo .....	29
3.3.	Información de diseño .....	29
3.4.	Simulación de una crecida .....	36
3.5.	Características del modelo .....	43
4.	REGRESIONES NO LINEALES .....	45
4.1.	Generalidades para su aplicación .....	45
4.2.	Tipos de extrapolación de la curva de calibración.....	46
4.3.	Utilización de datos hidrométricos.....	48
4.4.	Calibración de datos de aforo .....	60
4.5.	Generación de curvas de descarga.....	60
5.	APLICACIÓN Y DESARROLLO DE LAS CURVAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
5.1.	Aforos para la vertiente del Mar Caribe.....	61
5.2.	Aplicación de regresiones no lineales .....	61
5.3.	Simulación con el modelo HEC-RAS .....	70
5.4.	Calibración de datos de aforo .....	77
5.5.	Generación de curvas de descarga.....	90
5.6.	Comparativa de resultados reales con simulados.....	97
5.7.	Análisis de los resultados obtenidos .....	110
	CONCLUSIONES.....	113
	RECOMENDACIONES .....	115
	BIBLIOGRAFÍA.....	117

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Vertientes de Guatemala.....	2
2.	Mapa de cuecas y ríos de Guatemala.....	3
3.	Estaciones hidrométricas en vertiente del Mar Caribe .....	4
4.	Estación hidrológica Modesto Méndez, cuenca río Sarstún.....	12
5.	Medición de nivel de agua en estación hidrométrica.....	12
6.	Sección transversal de un río aforado por molinete .....	20
7.	Esquema de estación limnimétrica.....	22
8.	Ejemplo de curva de descarga.....	30
9.	Planta río San Pedro, San Luis, Petén.....	30
10.	Secciones transversales río San Pedro, San Luis, Petén .....	31
11.	Valores de flujo uniforme para simulación en HEC-RAS.....	32
12.	Hidrograma para flujo variado en HEC-RAS .....	33
13.	Contracción y expansión para simulación en HEC-RAS .....	34
14.	Valores hidráulicos para simulación en HEC-RAS .....	35
15.	Secciones 0, 1 y 2 para estación Panajax.....	37
16.	Creación de tramo a analizar en HEC-RAS .....	38
17.	Ingreso de secciones en HEC-RAS .....	39
18.	Ingreso de aspectos físicos de la sección en HEC-RAS.....	40
19.	Ingreso de datos hidráulicos en HEC-RAS .....	41
20.	Perspectiva X-Y-Z del tramo simulado .....	42
21.	Tabla de resultados generada por HEC-RAS .....	42
22.	Simulación aguas abajo estación Vado Hondo .....	70
23.	Simulación aguas abajo estación Camotán .....	71

24.	Simulación aguas abajo estación Panajax.....	71
25.	Simulación aguas abajo estación Modesto Méndez .....	72
26.	Simulación aguas abajo estación San Pedro Cadenas .....	72
27.	Simulación aguas abajo estación Concuá .....	73
28.	Simulación aguas abajo estación Matucuy .....	73
29.	Simulación aguas abajo estación Chiché .....	74
30.	Simulación aguas abajo estación Gualán .....	74
31.	Simulación aguas abajo estación Puente Orellana.....	75
32.	Simulación aguas abajo estación Morales.....	75
33.	Simulación aguas abajo estación Telemán.....	76
34.	Curva de descarga en estación Petapilla.....	76
35.	Curva de descarga en estación Vado Hondo .....	90
36.	Curva de descarga en estación Camotán.....	91
37.	Curva de descarga en estación Panajax .....	91
38.	Curva de descarga en estación Modesto Méndez .....	92
39.	Curva de descarga en estación San Pedro Cadenas .....	92
40.	Curva de descarga en estación Concuá.....	93
41.	Curva de descarga en estación Matucuy .....	93
42.	Curva de descarga en estación Chiché .....	94
43.	Curva de descarga en estación Gualán.....	94
44.	Curva de descarga en estación Puente Orellana .....	95
45.	Curva de descarga en estación Morales.....	95
46.	Curva de descarga en estación Telemán. ....	96
47.	Curva de descarga en estación Petapilla.....	96

## **TABLAS**

I.	Coordenadas geográficas de las estaciones hidrométricas en la vertiente del Mar Caribe.....	4
----	---	---

II.	Cuencas pertenecientes a la vertiente del mar .....	5
III.	Características principales de la cuenca Grande de Zacapa.....	6
IV.	Características principales de la cuenca Motagua.....	6
V.	Características principales de la cuenca Río Dulce.....	7
VI.	Características principales de la cuenca Polochic .....	7
VII.	Características principales de la cuenca Cahabón .....	8
VIII.	Características principales de la cuenca Sarstún .....	8
IX.	Características principales de la cuenca Mopán, Belice .....	9
X.	Características principales de la cuenca Hondo .....	9
XI.	Características principales de la cuenca Moho.....	10
XII.	Características principales de la cuenca Temash.....	10
XIII.	Datos hidrométricos en estación San Pedro Cadenas.....	48
XIV.	Datos hidrométricos en estación Vado Hondo.....	49
XV.	Datos hidrométricos en estación Camotán .....	50
XVI.	Datos hidrométricos en estación Panajax.....	51
XVII.	Datos hidrométricos en estación Concuá. ....	51
XXVIII.	Datos hidrométricos en estación Modesto Méndez .....	52
XIX.	Datos hidrométricos en estación Matucuy .....	53
XX.	Datos hidrométricos en estación Chiché.....	54
XXI.	Datos hidrométricos en estación Gualán .....	55
XXII.	Datos hidrométricos en estación Puente Orellana.....	56
XXIII.	Datos hidrométricos en estación Morales .....	57
XXIV.	Datos hidrométricos en estación Telemán.....	58
XXV.	Datos hidrométricos en estación Petapilla .....	59
XXVI.	Valores de K, Ho y n en estación Vado Hondo.....	62
XXVII.	Valores de K, Ho y n en estación Camotán .....	63
XXVIII.	Valores de K, Ho y n en estación Panajax.....	63
XXIX.	Valores de K, Ho y n en estación Modesto Méndez .....	64
XXX.	Valores de K, Ho y n en estación San Pedro Cadenas.....	65

XXXI.	Valores de K, Ho y n en estación Concúa .....	65
XXXII.	Valores de K, Ho y n en estación Matucuy .....	66
XXXIII.	Valores de K, Ho y n en estación Chiché .....	66
XXXIV.	Valores de K, Ho y n en estación Gualán .....	67
XXXV.	Valores de K, Ho y n en estación Puente Orellana.....	68
XXXVI.	Valores de K, Ho y n en estación Morales.....	68
XXXVII.	Valores de K, Ho y n en estación Telemán .....	69
XXXVIII.	Valores de K, Ho y n en estación Petapilla.....	69
XXXIX.	Datos calibrados en estación Vado Hondo.....	77
XL.	Datos calibrados en estación Camotán .....	79
XLI.	Datos calibrados en estación Panajax.....	80
XLII.	Datos calibrados en estación Concuá .....	80
XLIII.	Datos calibrados en estación Modesto Méndez .....	81
XLIV.	Datos calibrados en estación San Pedro Cadenas .....	82
XLV.	Datos calibrados en estación Matucuy .....	83
XLVI.	Datos calibrados en estación Chiché .....	84
XLVII.	Datos calibrados en estación Gualán .....	85
XLVIII.	Datos calibrados en estación Puente Orellana.....	86
XLIX.	Datos calibrados en estación Morales.....	87
L.	Datos calibrados en estación Telemán.....	88
LI.	Datos calibrados en estación Petapilla.....	89
LII.	Comparación de valores obtenidos .....	97
LIII.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Concuá .....	98
LIV.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Panajax .....	98
LV.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Vado Hondo. ....	99



LVI.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Camotán .....	100
LVII.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Modesto Méndez .....	101
LVIII.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación San Pedro Cadenas .....	102
LIX.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Matucuy .....	103
LX.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Chiché .....	104
LXI.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Gualán .....	105
LXII.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Puente Orellana.....	106
LXIII.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Morales.....	107
LXIV.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Telemán.....	108
LXV.	Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Petapilla.....	109
LXVI.	Comparación de errores porcentuales entre aforo <i>versus</i> ecuación y aforo <i>versus</i> simulación .....	110



## LISTADO DE SÍMBOLOS

<b>Q</b>	Caudal
<b>Log</b>	Logaritmo
<b>m</b>	Metro
<b>msnm</b>	Metro sobre el nivel del mar
<b>m<sup>3</sup>/S</b>	Metro cubico por segundo
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	Corriente de agua que desemboca en otra; no en el mar.
<b>Avenida</b>	Es la elevación del nivel de un curso de agua mayor que el flujo medio de este.
<b>Cuenca</b>	Depresión de terreno cuyas aguas afluyen al mismo cuerpo de agua, es decir, un territorio que drena sus aguas naturalmente.
<b>Factores hidrometeorológicos</b>	Son aquellos procesos naturales que se generan por el transporte de materiales (rocas, tierra, lodo) y son capaces de modificar el entorno climático; tienen al agua como principal elemento de formación.
<b>HEC-RAS</b>	<i>Hydrologic Engineering Center River Analysis System.</i>
<b>Hidrología</b>	Ciencia que estudia las características y propiedades del agua sobre el suelo y en su interior, y principalmente de la distribución del agua procedente de lluvias recientes.

**Insivumeh**

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

**Ribera**

Es el borde de un cuerpo de agua que puede ser grande, como la orilla del mar, o pequeña, como en el caso de los ríos. El término hace referencia a la zona de tierra más cercana al océano, mar, lago, río o quebrada.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación contiene información sobre la calibración de estaciones hidrométricas en la vertiente del Mar Caribe, presentando una metodología en la cual por medio de simulaciones hidráulicas, utilizando el software HEC-RAS, se pretende comparar con las curvas de calibración generadas a partir de los datos de aforos proporcionados por las estaciones hidrométricas localizadas en dicha vertiente.

Los primeros dos capítulos constituyen el marco teórico; en el primero se presentan las características de interés de la vertiente del mar Caribe; haciendo énfasis en la ubicación, monografía, cuencas, ríos y climatología. En el segundo capítulo se presentan definiciones de utilidad sobre los aforos, ¿cómo se utilizan?, ¿para qué sirven? y cómo generan datos para la realización de curvas de calibración de caudales.

En el tercer capítulo inicia la parte práctica del trabajo; se presentan en primer lugar las especificaciones y datos a ingresar en el programa HEC-RAS, así como la simulación de una crecida; en el cuarto y quinto capítulo se muestran las metodologías utilizadas para alcanzar los resultados: empezando desde los datos hidrométricos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), siguiendo con la calibración de los mismos por medio de regresiones no lineales, y por último generando las respectivas curvas de caudales.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo para la calibración de estaciones hidrométricas en la vertiente del Mar Caribe.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Generar las curvas de descarga de las estaciones hidrométricas de la vertiente del Mar Caribe.

### **Específicos**

1. Aplicar modelos de simulación hidráulicos para la extrapolación de curvas de descarga.
2. Analizar las series de caudales de cada una de las estaciones que pertenecen a la vertiente del Mar Caribe.
3. Identificar cambios importantes dentro del registro de las estaciones hidrométricas de la vertiente del Mar Caribe.



## INTRODUCCIÓN

La hidrometría tiene como propósito principal, medir y registrar los caudales de agua que son producidos por las variaciones de las precipitaciones en una región. Las crecidas son uno de los factores ambientales que mayor efecto tienen en las obras de ingeniería, a las cuales se les encuentra una importancia especial en el aprovechamiento de recursos hídricos. Los registros de datos de caudales son eventos que deben considerarse en el diseño y ejecución de proyectos.

El objeto de toda estación de aforo es el monitoreo y registro de caudales contra el tiempo. Los aforos proporcionan información para establecer un régimen de caudales; estos son parte fundamental de la esorrentía superficial en el balance hídrico, y pueden ser medidos de manera directa y con precisión indispensable para todo diseño hidráulico y obras civiles.

El régimen de caudales de una corriente de agua durante un período determinado proporciona información precisa cuando esta se encuentra calibrada. Al contar con aforos suficientes, se podrá generar la ecuación de caudales o curva de aforo, característica de cada estación.



# **1. MONOGRAFÍA DE LA VERTIENTE DEL MAR CARIBE**

## **1.1. Descripción y características del lugar**

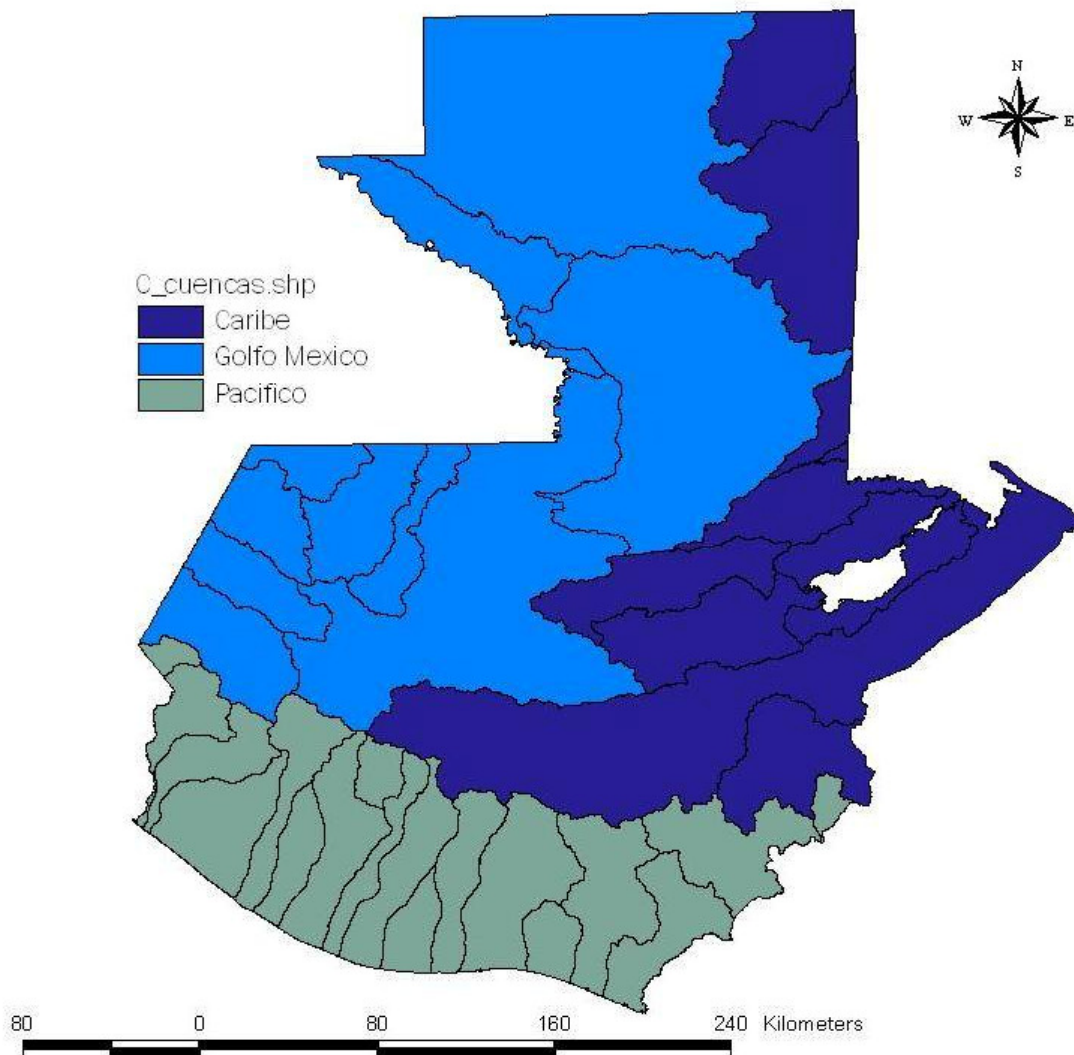
Guatemala es el país situado más al norte del istmo centroamericano, se encuentra entre los paralelos 13 grados, 44 minutos y 18 grados 30 minutos al norte, y entre los meridianos 87 grados, 24 minutos y 92 grados, 14 minutos al oeste de Greenwich; su territorio es de aproximadamente 109 000 kilómetros cuadrados, limitando al norte y al este con México; al sureste con El Salvador y Honduras, al noreste con Belice y el Mar Caribe; al sur con el océano Pacífico.

Con base en la topografía, el terreno y los sistemas montañosos, se han determinado tres grandes regiones hidrográficas las que se conocen con el nombre de vertientes; la vertiente del Mar Caribe, del Golfo de México y del Atlántico.

En la vertiente del Mar Caribe los ríos que desembocan en el Golfo de Honduras son extensos y profundos, propios para la navegación y la pesca; entre los más importantes el Motagua o Río Grande, que de acuerdo con el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, es el más grande de Guatemala en cuanto a longitud, con 486,55 kilómetros de recorrido.

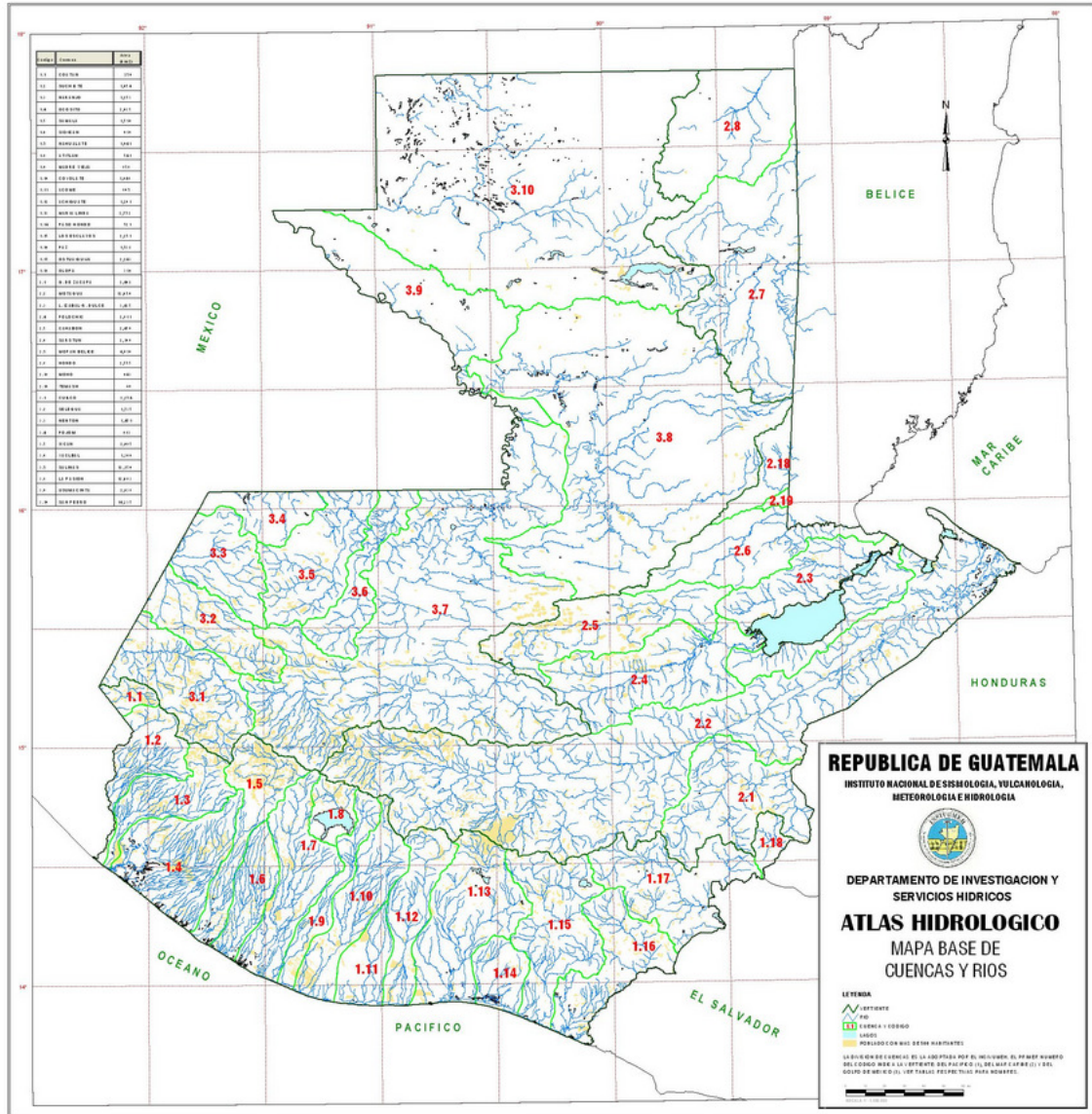
En esta vertiente las cuencas están caracterizadas por tener pendientes pronunciadas en las partes altas y que disminuyen gradualmente conforme al gradiente topográfico, principalmente en las partes bajas de las cuencas.

Figura 1. **Vertientes de Guatemala**



Fuente: GUADEAGUA. <http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/4/412.html>. Consulta: 14 de julio de 2015.

Figura 2. Mapa de cuencas y ríos de Guatemala



Fuente: ATLAS HIDROLÓGICO. [http://www.insivumeh.gob.gt/ATLASHIDROLOGICO/Atlas\\_Hidrologico/mapa-base.jpg](http://www.insivumeh.gob.gt/ATLASHIDROLOGICO/Atlas_Hidrologico/mapa-base.jpg). Consulta: 28 de octubre de 2015.

Figura 3. **Estaciones hidrométricas en vertiente del Mar Caribe**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Google Earth.

Tabla I. **Coordenadas geográficas de las estaciones hidrométricas en la vertiente del Mar Caribe**

<b>Estación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
San Pedro Cadenas	15°56'45.00"N	89°14'39.00"O
Vado Hondo	14°43'8.00"N	89°30'25.00"O
Camotán	14°49'20.00"N	89°22'15.00"O
Panajax	14°52'12.00"N	90°23'54.00"O
Concuá	14°52'47.00"N	90°36'20.00"O
Modesto Méndez	15°53'46.00"N	89°13'45.00"O
Matucuy	15°17'45.00"N	89°53'25.00"O
Chiche	14°58'57.00"N	91° 4'42.00"O
Gualán	15° 7'0.34"N	89°21'24.33"O
Puente Orellana	14°55'7.00"N	90° 0'13.00"O
Morales	15°28'35.00"N	88°49'11.00"O
Telemán	15°19'60.00"N	89°44'0.00"O
Petapilla	14°50'9.00"N	89°30'43.00"O

Fuente: elaboración propia.



## 1.2. Cuencas que conforman la vertiente

La vertiente del Mar Caribe está conformada por una totalidad de 10 cuencas que aportan en diferentes porcentajes de descarga, agua que es drenada al océano Atlántico, Esta a la vez está conformada por los ríos más caudalosos del país; a continuación se detallan las cuencas que pertenecen a esta vertiente.

Tabla II. **Cuencas pertenecientes a la vertiente del Mar Caribe**

<b>Nombre de la cuenca</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
Río Grande de Zacapa	2 462	26,73
Motagua	12 670	207,54
Río Dulce	3 435	104,01
Polochic	2 811	105,78
Cahabón	2 459	130,71
Sarstún	2 109	100,33
Mopán Belice	4 910	3,55
Hondo	2 575	25,34
Moho	643	1,74
Temash	69	43,03

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 26.

- Cuenca Río Grande de Zacapa: la cuenca de Zacapa es compartida con Honduras, siendo el área en Guatemala la que ocupa la parte baja con una elevación media de 162 metros sobre el nivel del mar; además esta cuenca es tributaria a la cuenca del Motagua.

Tabla III. **Características principales de la cuenca Grande de Zacapa**

Long. cauce principal	105,1 kilómetros
Población	339 438 habitantes
Elevación	145 -1814 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	7 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 25.

- Cuenca Motagua: es una de las más grandes del país, sin embargo, solo el 14 por ciento tiene cobertura primaria. Al igual que la cuenca María Linda, parte de la ciudad de Guatemala se encuentra en la cabecera de la misma. Por ser una cuenca grande y que se extiende del occidente al oriente del país, la lluvia media diaria varía considerablemente en las diferentes estaciones del año.

Tabla IV. **Características principales de la cuenca Motagua**

Long. cauce principal	483,6 kilómetros
Población	2 742 286 habitantes
Elevación	0 -3217 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	37 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 26.

- Cuenca Río Dulce: las características de esta cuenca son muy particulares, ya que drena directamente al lago de Izabal o al Río Dulce; este último recibe agua del lago de Izabal y descarga directamente al Mar Caribe, posee una de las densidades poblacionales más bajas.

Tabla V. **Características principales de la cuenca Río Dulce**

Long. cauce principal	-----
Población	68 487 habitantes
Elevación	0 -1711 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	10 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 27.

- Cuenca Polochic: está relativamente poco poblada, cuenta aproximadamente con una precipitación promedio de 2 500 mm de lluvia. El río Cahabón, uno de sus mayores afluentes, se une al Polochic en Panzós.

Tabla VI. **Características principales de la cuenca Polochic**

Long. cauce principal	183,6 kilómetros
Población	194 898 habitantes
Elevación	0- 2943 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	8 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 28.

- Cuenca Cahabón: presenta características similares a la cuenca del Polochic, a diferencia de contar con una densidad poblacional mayor a esta anterior.

Tabla VII. **Características principales de la cuenca Cahabón**

Long. Cauce principal	177,7 kilómetros
Población	324 284 habitantes
Elevación	49 -2584 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	7 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 29.

- Cuenca Sarstún: es de alta pluviosidad y cuenta con solamente 2 meses de déficit de agua; la cuenca está poco poblada y solamente posee el 3 por ciento de población urbana, posee un alto porcentaje de cobertura primaria.

Tabla VIII. **Características principales de la cuenca Sarstún**

Long. cauce principal	135,1 kilómetros
Población	39 955 habitantes
Elevación	0 - 1497 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	6 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 30.

- Cuenca Mopán, Belice: en la cuenca la lluvia media anual es entre 2 000 a 4 000 mm de precipitación, con 4 meses de déficit de agua. Esta cuenca relativamente grande, está poca poblada.

Tabla IX. **Características principales de la cuenca Mopán, Belice**

Long. cauce principal	157,9 kilómetros
Población	45 895 habitantes
Elevación	98 -1005 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	14 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 31.

- Cuenca Hondo: el área de esta cuenca está compartida por Guatemala, México y Belice, en la cuenca la lluvia media anual es entre 1 000 a 1 250 mm de precipitación, posee una densidad poblacional muy baja, y cuenta con una temperatura promedio anual de 24 a 28 grados, provocando que la evapotranspiración potencial alcance los 1800 mm.

Tabla X. **Características principales de la cuenca Hondo**

Long. cauce principal	81,5 kilómetros
Población	667 habitantes
Elevación	77 - 412 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	8 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 32.

- Cuenca Moho: la cuenca del río Moho presenta una cobertura vegetal compuesta el 30 por ciento de pastos naturales, el 60 por ciento como bosque natural y el 10 por ciento como agricultura.

Tabla XI. **Características principales de la cuenca Moho**

Long. cauce principal	44,8 kilómetros
Población	45 895 habitantes
Elevación	166 - 757 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	2 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 33.

- Cuenca Temash: las cuenca Temash junto con la cuenca Moho son las más pequeñas en extensión, contando con 64,334 y 6,882 hectáreas, respectivamente. La cuenca del río Temash presenta casi el 50 por ciento de su cobertura como agricultura limpia y el otro 50 por ciento como bosque natural.

Tabla XII. **Características principales de la cuenca Temash**

Long. cauce principal	2,5 kilómetros
Población	1 998 habitantes
Elevación	43 - 496 msnm
Porcentaje del área en la vertiente	0,2 por ciento

Fuente: SUÁREZ B. Gustavo A. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. p. 34.

### **1.3. Estación hidrométrica**

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), “una estación hidrométrica es aquella en la cual se obtienen datos del agua, en los ríos, lagos y embalses, de uno o varios de los elementos siguientes: niveles, flujo de las corrientes, transporte y depósito de sedimentos, temperatura del agua y otras propiedades físicas del agua, características de la capa de hielo y propiedades químicas del agua.”<sup>1</sup>

La hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo. Esto debe realizarse mediante la utilización de normativas que garanticen y den fe al procedimiento realizado en la medición y estimación de los caudales.

“El objeto que toda estación hidrométrica tiene es el de recopilar datos de aforos para poder establecer la curva de caudales contra el tiempo. Las corrientes que se piensen aprovechar en un futuro deben ser instrumentadas. Estos aforos se realizan con un molinete, que mide la velocidad de la corriente en varios puntos de la misma vertical y en varias verticales de la sección del cauce. Para realizar los aforos se mide la anchura exacta del cauce, la velocidad y la profundidad de cada vertical determinada.”<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Reglamento técnico, volumen III, hidrología OMM-No.49

<sup>2</sup> CEPIS, (2004).

Figura 4. Estación hidrológica Modesto Méndez, cuenca río Sarstún



Fuente: Insivumeh. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos.

Figura 5. Medición de nivel de agua en estación hidrométrica



Fuente: Insivumeh. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos.



### **1.3.1. Generalidades**

Las estaciones hidrométricas están diseñadas con la finalidad de obtener datos sobre el comportamiento de ríos, lagos o embalses; referidos a uno o más de los elementos siguientes: nivel, caudal, arrastre y depósito de sedimentos, temperatura y otras propiedades físicas del agua.

### **1.3.2. ¿Cómo funciona?**

Las estaciones hidrométricas consisten esencialmente en una o varias reglas graduadas (escala o limnómetro) colocadas verticalmente y perfectamente niveladas entre sí y con referencia a un plano dado en una sección de río, arroyo, laguna o embalse.

Mediante el auxilio de un operador que reside o trabaja en las proximidades de la estación, se registran en planillas los niveles observados a horas preestablecidas y todo otro evento relevante para el funcionamiento de la estación.

### **1.3.3. ¿Cuándo funciona?**

Los caudales se determinan mediante mediciones directas de caudal (aforos) que se correlacionan con las lecturas de nivel simultáneas. Cuando se cubre con aforos suficientes una parte significativa del rango de variación de niveles se define la ecuación de caudales o *curva de aforo* característica de cada estación.

Con los datos de niveles y caudales obtenidos durante un período suficientemente extenso se pueden calcular los valores estadísticos característicos de cada cuenca: promedios diarios, mensuales y anuales, *caudales específicos*, máximos y de estiaje, frecuencias, período de retorno, entre otros.

#### **1.3.4. Limnímetros y limnígrafos**

El método indirecto que se usa corrientemente en un río es mediante el empleo del limnímetro o limnígrafo, puesto que usar frecuentemente el molinete resulta impracticable por lo difícil y tedioso de realizar las mediciones con este instrumento.

Un limnímetro es simplemente una escala tal como una mira de topógrafo, graduada en centímetros. Se puede utilizar para este fin la mira clásica del topógrafo, pero por lo general se pinta o inserta una escala en una de las paredes del río; basta con leer en la escala o mira el nivel que alcanza el agua para conocer el caudal de agua que pasa en este momento por la conducción libre, pero previamente se tiene que calibrar la escala o mira reseñada.

La calibración consiste en aforar el río varias veces durante el año, en épocas de estiaje y de avenidas, por el método de molinete, y anotar cuidadosamente la altura que alcanzó el agua medida con el limnímetro.

Se deben realizar varios aforos con molinete para cada determinada altura del agua. Con los datos de altura del agua ( $h$ ) y del caudal ( $q$ ) correspondiente obtenido, se construye la llamada “curva de calibración” en un eje de coordenadas cartesianas rectangulares.

El limnómetro siempre debe colocarse en el mismo sitio cada vez que se hacen las lecturas y su extremidad inferior siempre debe estar sumergida en el agua. Los limnómetros pueden ser de metal o madera. Una escala graduada pintada en una pared de mortero de cemento, al costado de una de las riberas del río, también puede servir perfectamente a los efectos de limnómetro.

Por lo general el registro de los niveles debe hacerse tres veces al día, a las 6 a.m., al mediodía y 6 p.m. para obtener el caudal medio diario. Una mejor manera de determinar el nivel del agua es empleando un aparato llamado "limnógrafo", el cual tiene la ventaja de medir o registrar los niveles de agua en forma continua en un papel especialmente diseñado, que gira alrededor de un tambor movido por un mecanismo eléctrico o de relojería.

Los limnógrafos están protegidos dentro de una caseta de obra de fábrica. Vienen acompañados de las instrucciones precisas para su operación y cuidado, así como de un sistema de transmisión de datos por teleproceso.

### **1.3.5. Sistema de registros automático**

Donde es posible o necesario, por la topografía del lugar, la existencia de infraestructura y accesos mínimos o la importancia de la sección de medición, se colocan además instrumentos automáticos de registro continuo (mareógrafo o limnógrafo), de funcionamiento mecánico o electrónico.

Esta automatización de las estaciones permite tener una mayor continuidad de datos y reducir factores de falla por factor humano, pero en cambio aumenta drásticamente el volumen de información a almacenar y requiere mayor especialización en la instalación, operación y mantenimiento de los instrumentos.



## 2. REALIZACIÓN DE AFOROS

El conocimiento de la variación del caudal que fluye por una determinada sección de un cauce natural es de suma importancia en los estudios hidrológicos. De acuerdo con la calidad y cantidad de los registros de caudales necesarios en un estudio hidrológico, las mediciones se pueden hacer de una manera continua o permanente o de una manera puntual o instantánea; las mediciones continuas de caudales requieren de la instalación de una estación medidora (limnimétrica) o de una estación registradora (limnigráfica). Las mediciones aisladas, puntuales o instantáneas, se realizan en determinados momentos en que se desee conocer la magnitud de una corriente en particular

### 2.1. Generalidades

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM),” el caudal de un río, es decir la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en volumen por unidad de tiempo. El caudal de un tiempo dado, puede medirse por varios métodos diferentes y la elección del método depende de las condiciones de cada sitio.”<sup>3</sup>

El régimen de caudales de una corriente de agua durante un período determinado, es el único término del balance hidrológico de una cuenca que puede ser medido directamente con una buena precisión.

---

<sup>3</sup> OMM. *Guía de prácticas hidrológicas, adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones*. p. 38.

Los otros elementos de ese balance, como las precipitaciones, la evaporación, entre otros, no pueden ser sino estimados a partir de mediciones observadas en distintos puntos de la cuenca o deducidos de fórmulas hidrológicas, los cuales son siempre estimativos muy aproximados.

El régimen de caudales es un dato básico e indispensable, para los todos los diseños hidráulicos y para muchas obras civiles en los que son parte importante como las carreteras, puentes, acueductos, presas, entre otros. Así la instalación de muchas estaciones de aforo que permitan observar, en una serie de años tan larga, como sea posible, los caudales escurridos en puntos característicos del río principal, y si fuere oportuno, de sus diversos afluentes; este es el preámbulo de todo estudio hidráulico de una cuenca.

Sin embargo, en países como Guatemala las estaciones de aforo de caudales son inexistentes en muchos sitios, lo que ha obligado a recurrir a métodos aproximados para la estimación de los caudales de diseño, como los métodos de regionalización. Sin embargo jamás debe olvidarse que ningún método por bueno que sea reemplaza la medida directa de la variable.

## **2.2. ¿Qué es un aforo?**

El objeto de toda estación de aforo es poder establecer la curva de caudales contra el tiempo. Todos los ríos de cierto tamaño en una región se deben medir cerca de sus bocas, lo mismo que un cierto número de afluentes. Las corrientes que se piensen aprovechar en un futuro deben ser instrumentadas.

## **2.3. Tipos de aforos**

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología se basa en lo establecido en la guía de prácticas hidrológicas de la OMM, en donde se propone la elección del método de aforo según las condiciones de cada sitio, entre estos están los siguientes:

### **2.3.1. Aforo por el método del molinete**

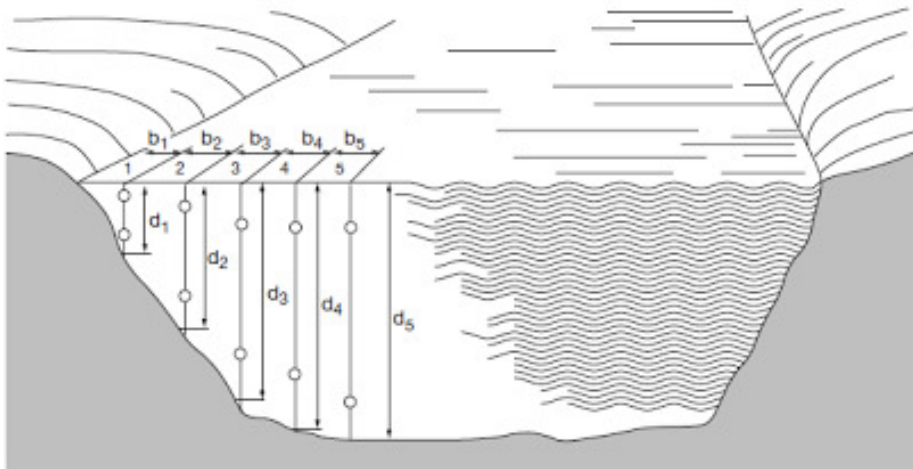
Un molinete es un pequeño instrumento constituido por una rueda con aspas, la cual, al ser sumergida en una corriente gira proporcionalmente a la velocidad de la misma. Existen dos tipos de molinetes, los de cazoletas y el de hélice, los cuales pueden ser montados sobre una varilla para el aforo de corrientes superficiales o suspendidos desde un cable durante el aforo de ríos y diques profundos.

Si se efectúan mediciones del caudal por el método del molinete cuando el río fluye a profundidades diferentes, esas mediciones se pueden utilizar para trazar un gráfico del caudal en comparación con la profundidad de la corriente. La profundidad del flujo de una corriente o de un río se denomina nivel de agua, y cuando se ha obtenido una curva del caudal en relación el nivel de agua, la estación de aforo se describe como calibrada. Las estimaciones posteriores del caudal se pueden obtener midiendo el nivel en un punto de medición permanente y efectuando lecturas del caudal a partir de la curva de calibrado.

Si la sección transversal de la corriente se modifica a causa de la erosión o de la acumulación de depósitos, se tendrá que trazar una nueva curva de calibrado.

Para trazar la curva, es necesario tomar mediciones a muchos niveles diferentes del caudal, con inclusión de caudales poco frecuentes que producen inundaciones. Es evidente que esto puede requerir mucho tiempo, particularmente si el acceso al lugar es difícil, por lo que es preferible utilizar algún tipo de vertedero o aforador que no necesite ser calibrado individualmente.

Figura 6. **Sección transversal de un río aforado por molinete**



Fuente: OMM. *Guía de prácticas hidrológicas (OMM)*. p. 23.

### 2.3.2. **Aforo con limnímetros y limnógrafos**

Algunas veces una sola medición de la profundidad máxima, basta para calcular el caudal máximo, si hace falta un hidrograma, es decir, una gráfica del caudal en función del tiempo, es necesario un registro constante de los cambios del nivel del agua. Durante décadas el método común era un flotador cuyo ascenso y descenso en una poza de amortiguación el que registraba en un diagrama movido por un aparato de relojería.



Esos registradores eran flexibles en el sentido de que se podía utilizar un engranaje que permitía abarcar variaciones de nivel grandes o pequeñas y la relación tiempo-velocidad de los diagramas podía también variar por medio del engranaje en el aparato de relojería.

La desventaja era la sensibilidad a errores accidentales y a un mal funcionamiento; para indicar, por ejemplo, algunos de ellos, la tubería de la poza de amortiguación se bloqueaba, los insectos anidaban en la caja del registrador, la humedad o la aridez provocaban el desborde o la sequedad de la tinta del registrador, el diagrama podía estirarse o contraerse, el reloj se paraba, el observador no podía llegar al lugar para cambiar el diagrama, y muchos otros problemas.

Las inspecciones diarias no son siempre posibles en lugares remotos o de difícil acceso. Además de las dificultades de obtener datos correctos, el análisis y la computación de los diagramas son laboriosos.

Afortunadamente la tecnología moderna ha mejorado considerablemente en lo que se refiere a la recopilación y el procesamiento de datos. Por ejemplo, los detectores no flotantes del nivel se pueden basar en la resistencia/capacidad eléctrica, en la presión sobre un bulbo herméticamente cerrado, en la descarga de burbujas de aire o en transductores acústicos. El más utilizado hoy es el transductor de presión, en el que se capta eléctricamente la desviación de una membrana.

Estos detectores se pueden conectar con ordenadores, relojes automáticos y almacenamiento de memoria para lograr cualquier tipo y frecuencia requeridos de registro y traspasar los datos almacenados a un ordenador para efectuar un análisis rápido.

El limnómetro es la herramienta adaptada para vigilar cuencas o ríos. El limnómetro o estación limnimétrica es un instrumento que permite registrar y transmitir la medida de la altura de agua o de nieve (en un punto determinado) de un río o una cuenca; generalmente las alturas se miden en metros o centímetros. La medida de la altura se puede convertir en estimación del caudal del río gracias a una curva de calibración.

Figura 7. **Esquema de estación limnimétrica**



Fuente: OMM. *Guía de prácticas hidrológicas*. p. 29.

### 2.3.3. **Aforo con flotadores**

El método de aforo por flotadores, es un método de campo, sencillo y rápido para estimar el caudal de agua que pasa en una sección transversal del río. Con este método se calculan las velocidades superficiales de la corriente de un canal o río, utilizando materiales sencillos (flotadores) que se puedan visualizar y cuya recuperación no sea necesaria.

Los flotadores, que pueden ser objetos flotantes cualesquiera, adquieren prácticamente la misma velocidad que el agua en contacto con ellos, y se emplean, por tanto, para medir la velocidad en la trayectoria que recorren. Se emplean tres clases de flotadores: de superficie, de subsuperficie, y de bastón o varilla.

Cualquier objeto que flote con su centro de gravedad cerca de la superficie libre del agua puede usarse como flotador de superficie. Los flotadores de superficie dan la velocidad cerca de la superficie libre de la corriente. La velocidad media en la vertical se obtiene multiplicando la velocidad en la superficie por un coeficiente (0,80 a 0,95, siendo el promedio 0,85).

Un flotador de subsuperficie consiste en uno de superficie unido por un cable a otro sumergido mayor, de tal peso, que mantenga tirante el cable sin hundir el flotador de superficie. Como el flotador sumergido es relativamente grande, se desprecia por lo general el efecto del de superficie. Para obtener directamente la velocidad media en la vertical, el flotador sumergido debe quedar a alrededor de 0,6 de la profundidad media a lo largo de la trayectoria seguida. El flotador de subsuperficie tiene poco valor para aforos de corrientes. Se usa a veces para determinar la velocidad y dirección de las corrientes subsuperficiales en lagos, puertos y otras grandes masas de agua.

Ventajas:

- Miden directamente la velocidad superficial
- No les afecta los acarreo de material
- Su costo es pequeño o nulo

Desventajas:

- Imprecisión, debido a que miden la velocidad superficial
- Imposibilidad de controlar su trayectoria, sobre todo en ríos amazónicos
- Dificultad de utilizarlos cerca de las márgenes

#### **2.3.4. Otros**

- Aforos con trazadores químicos y radioactivos: es un método muy adecuado para corrientes turbulentas como las de montañas. Estos se utilizan de dos maneras: como aforadores químicos, esto es, para determinar el caudal total de una corriente y como medidores de velocidad de flujo.
- Aforo con vertederos y canaletas: se utilizan principalmente en la medición de caudales en pequeñas corrientes, en canales artificiales y de laboratorio; su uso en corrientes naturales es muy restringido. Un funcionamiento típico de un vertedero para aforar corrientes naturales.
- Aforo volumétrico: se aplica generalmente en los laboratorios de hidráulica, ya que solo es funcional para pequeños caudales; sin embargo se pueden implementar también en pequeñas corrientes naturales de agua.
- Aforo con tubo de pitot: su mayor aplicación se encuentra en la medición de velocidades en flujo a presión, es decir, flujos en tuberías. Sin embargo, también se utiliza en la medición de velocidades en canales de laboratorio y en pequeñas corrientes naturales. El tubo de pitot permite medir la velocidad de la corriente a diferentes profundidades, por lo cual

se puede conocer la velocidad media en la sección, que multiplicada por el área de esta, produce el caudal de la corriente.

#### **2.4. Curvas de descarga**

La curva de descarga es producto de una serie de aforos que se realizan por un largo periodo de tiempo, creando una relación del caudal y nivel del agua en un tramo determinado de un cauce. El objetivo de que los aforos sean por largos periodo de tiempo es para que se ajusten a la realidad, presentando caudales mínimos y máximos dentro de las mediciones; de esta forma nuestra curva de calibración se ajustará mejor al comportamiento del cauce.

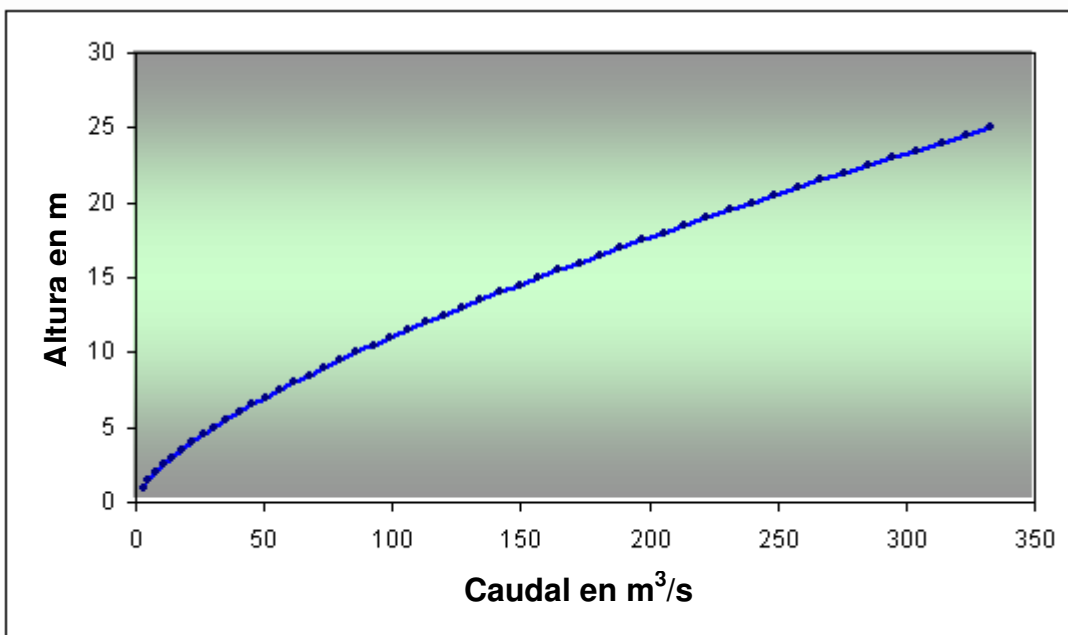
Las mediciones periódicas de caudal y las observaciones simultáneas de nivel suministran la información básica para una curva de calibración llamada curva de descarga. Para la mayoría de las situaciones es satisfactorio un gráfico de nivel contra caudal; la curva es aproximadamente parabólica pero puede mostrar algunas irregularidades, si el control cambia entre los caudales bajos y altos o si la sección transversal es irregular.

La efectividad de una curva de descarga se puede determinar por el grado de dispersión de los puntos de caudal medidos alrededor de la línea media. Si el control se puede considerar permanente y la pendiente de la línea de energía en la estación es razonablemente constante para todos los eventos a un nivel determinado, una simple calibración será suficiente.

Si el control se ve alterado por erosión o sedimentación, es necesario efectuar mediciones más frecuentes. En las condiciones en las cuales el control es cambiante, el caudal por lo general se estima teniendo presente la diferencia entre el nivel en el momento en el cual se realiza la medición del caudal y el

nivel en la media de la curva de calibración que muestra el mismo caudal. Esta diferencia se aplica como una corrección a todos los niveles antes de entrar a la curva de descarga, Si la corrección cambia entre las mediciones, se supone por lo general que hay una variación lineal con el tiempo.

Figura 8. **Ejemplo de curva de descarga**



Fuente: elaboración propia.

### **3. SIMULACIONES HIDRÁULICAS HEC-RAS**

#### **3.1. Generalidades**

El recurso hídrico es el principal constituyente de todos los seres vivos y su dinámica se convierte en una fuerza importante que ofrece constantemente grandes beneficios, aunque existen épocas y sitios en los cuales se pueden generar impactos adversos como las inundaciones, que traen como consecuencias pérdidas económicas, ambientales y sociales en las poblaciones ubicadas próximas a los ríos.

En hidráulica, el término modelo corresponde a un sistema que simula un objeto real llamado prototipo, mediante la entrada de cierta información se procesa y se presenta adecuada para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería civil. Un modelo físico a escala reducida es una representación a escala del objeto real o prototipo, y cumple con ciertas condiciones matemáticas definidas.

Algunas de las aplicaciones más comunes se presentan en: estudios de propagación de oleaje, acción de mareas y corrientes, movimiento de sedimentos, estabilidad de estructuras sujetas a la acción del oleaje, efecto de estructuras en protección de playas, acción del oleaje sobre embarcaciones atracadas o en movimiento, propagación de mareas, funcionamiento de estuarios, erosión y sedimentación de cauces, control de avenidas, obras de toma, cárcamos de bombeo, vertederos, conducción de agua a presión, difusión térmica y desechos, entre otros.

En la actualidad se dispone de técnicas avanzadas de modelos que, unidos al desarrollo de instrumentos de medición y equipos generadores de fenómenos a escala, permiten predecir con alto grado de certidumbre lo que pueda ocurrir en el prototipo y, por tanto, se obtienen óptimos resultados en los aspectos de funcionalidad, estabilidad y economía de las estructuras a construir. Esto justifica ampliamente la utilización de modelos hidráulicos.

El modelo HEC-RAS utilizado en la investigación corresponde a un modelo matemático unidimensional, software gratuito de origen estadounidense desarrollado por parte del Cuerpo de Ingenieros de la Armada , donde posee varios programas de computación para la administración de recursos de agua, y en razón al área de aplicación del modelo, esta comprende las cuencas pertenecientes a la vertiente del Mar Caribe.

Finalmente, el esquema de la modelación del comportamiento de los perfiles hidráulicos, así como la obtención de parámetros hidráulicos esta dado a la importancia de dicho sitio y dado también a la posible ocurrencia de eventos hidrometeorológicos que pueden impactar catastróficamente la región, que a su vez, se relaciona con la necesidad de contar con pronósticos de inundaciones en tiempo real de la dinámica de los niveles de agua de las vertientes en la cuenca del Mar Caribe, centrando la necesidad en la predicción del riesgo, asociada a la amenaza hidrológica (nivel del agua).

Las simulaciones hidráulicas nos presentan una manera de análisis de la interrelación entre la topografía del cauce de un río, los volúmenes de agua y sedimentos transportados, así como la manera que influyen en el nivel de agua las obstrucciones u obras hidráulicas que se presentan en su cauce. Siendo una herramienta muy útil para entender estos temas y darle soluciones a problemas planteados en el manejo de cauces naturales.



### **3.2. Características del modelo**

HEC-RAS es un programa de computadoras que modela el sistema hidráulico de flujo de agua, a través de ríos naturales y otros canales. El procedimiento básico de cálculo de HEC-RAS para el flujo constante, se basa en la solución de la ecuación de la energía de una sola dimensión. Las pérdidas de energía son evaluadas por la fricción y la contracción/expansión. La ecuación de momento se puede utilizar en situaciones donde el perfil de la superficie del agua sea rápidamente variado. Estas situaciones incluyen saltos hidráulicos, sistema hidráulico de los puentes y la evaluación de los perfiles en las confluencias del río.

### **3.3. Información de diseño**

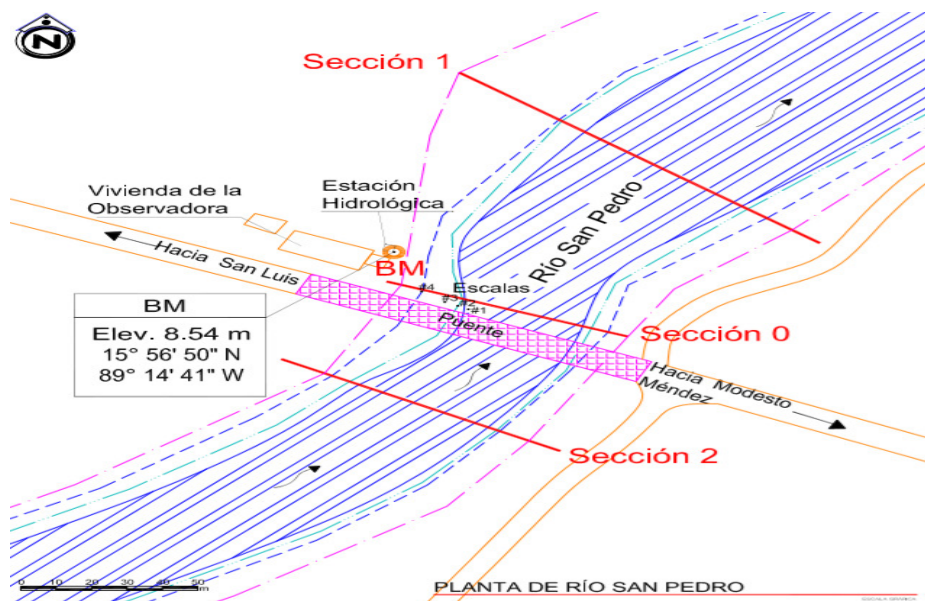
El HEC-RAS es un paquete integrado de análisis hidráulico, programa en el que el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una interface gráfica de usuario (GUI). El sistema es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme, e incluirá flujo variado, transporte de sedimentos, entre otros.

En la terminología del HEC-RAS, un proyecto es un juego de archivos de datos asociados con el sistema de un río en particular. El modelador puede realizar varios tipos de análisis, incluido el paquete de HEC-RAS como parte del proyecto.

Los archivos de datos para un proyecto se categorizan de la siguiente manera:

- Datos de planta: para poder contar con resultados más apegados a la realidad es necesario contar con una planta del río al cual se desea calibrar su estación hidrométrica; la principal importancia de esto recae, en tener una mejor visión del aspecto del cauce, así como de la ubicación de las secciones geométricas a ingresar en HEC- RAS

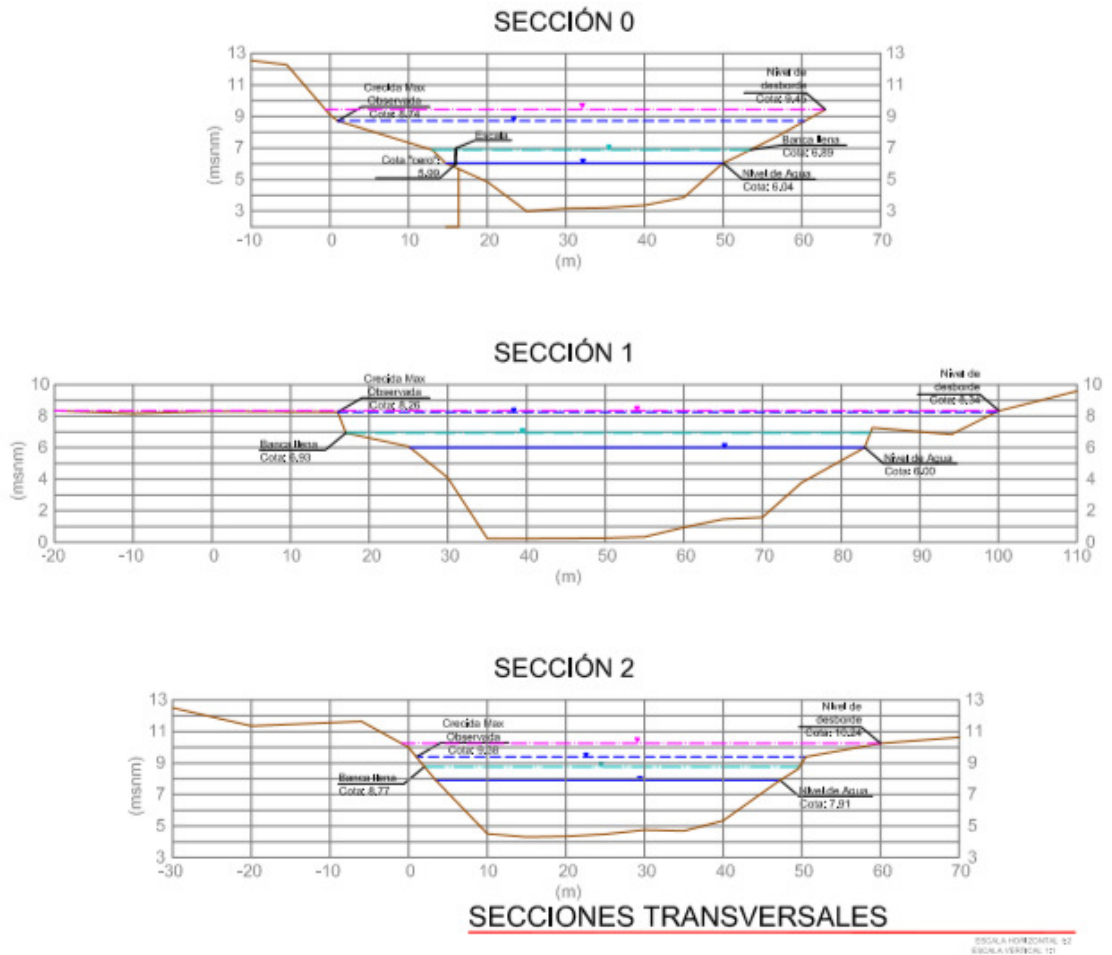
Figura 9. **Planta río San Pedro, San Luis, Petén**



Fuente: Insivumeh. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos.

- Datos geométricos: los datos geométricos representarán las secciones que se ingresarán al programa HEC-RAS, con las cuales, se simularán para diferentes valores de caudales, las crecidas ocurridas en estas secciones

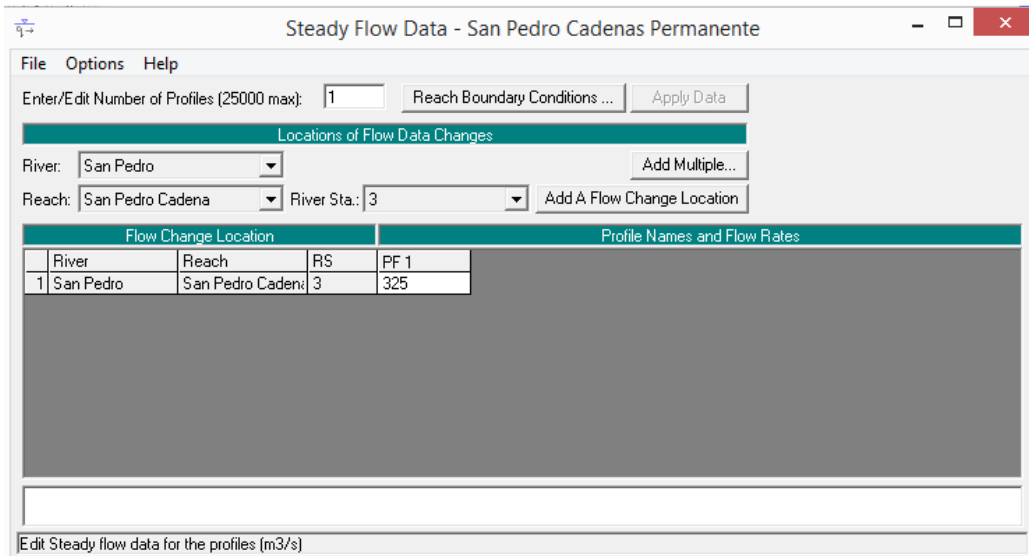
Figura 10. Secciones transversales río San Pedro, San Luis, Petén



Fuente: Insivumeh. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos.

- Datos de flujo uniforme: se puede tener hasta un máximo 25 000 caudales y el número que quiera ingresar será equivalente con el número de cuadros que aparezcan más abajo, en los cuales se ingresan los distintos caudales que se quieran analizar. También se puede elegir el lugar en donde se hará el ingreso del caudal (está por defecto está la sección más arriba del cauce).

Figura 11. Valores de flujo uniforme para simulación en HEC-RAS



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

- Datos de flujo variado: para el flujo variado el método es bastante similar al del flujo uniforme. La diferencia es que en el inicio del cauce (la sección de más arriba), se debe insertar como condición de borde un hidrograma que representa la forma en que el caudal varía en el tiempo.

Figura 12. Hidrograma para flujo variado en HEC-RAS

**Stage Hydrograph**

River: San Pedro Reach: San Pedro Cadena RS: 3

Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date:  Time:

Fixed Start Time: Date:  Time:

No. Ordinates

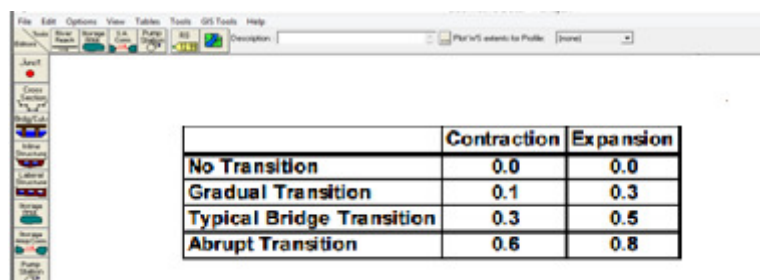
Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Stage (m)
1		00:00	
2		01:00	
3		02:00	
4		03:00	
5		04:00	
6		05:00	
7		06:00	
8		07:00	
9		08:00	
10		09:00	
11		10:00	
12		11:00	

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

- Datos de diseño hidráulico: a continuación se presentan los principales valores hidráulicos para realizar una simulación hidráulica con el programa HEC-RAS, ingresar las distancias que existen entre cada sección o perfil. Hay tres casilleros (*LOB* , *Channel*, *ROB*), los cuales corresponden a la parte a la izquierda de la zona de inundación, el canal propiamente y la parte derecha de la zona de inundación, los cuales se detallan a continuación:

- *Downstream Reach Lengths*: distancia de un punto de referencia de todas las secciones transversales a calcular. *LOB*: distancia del margen izquierdo del canal o cauce del punto de referencia. *ROB*: distancia del margen derecho del cauce del punto de referencia. *Channel*: distancia del cauce del punto de referencia. Esto significa, que la sección 2 está en su punto de inicio y por esta razón, los valores corresponden a 0 en los tres campos.
- *Manning's Values*: es el coeficiente que se encuentra en función de las características del cauce; HEC-RAS proporciona un listado de los coeficientes de Manning para elegir el adecuado.
- *Main Channel Bank Station*: acotación del canal principal. Estos dos valores indican hasta dónde se puede considerar como canal principal esa sección transversal. A partir de estos puntos, se consideran llanuras de inundación.
- *Cont/Exp. Coefficients*: al igual que los coeficientes de Manning, también existe una tabla que indica los valores de contracción y expansión para el caso que se desea considerar.

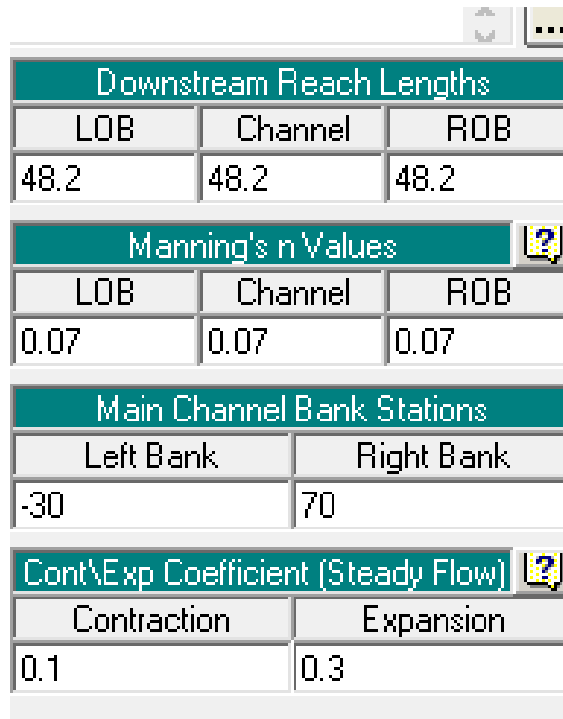
Figura 13. **Contracción y expansión para simulación en HEC-RAS**



	Contraction	Expansion
No Transition	0.0	0.0
Gradual Transition	0.1	0.3
Typical Bridge Transition	0.3	0.5
Abrupt Transition	0.6	0.8

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 14. **Valores hidráulicos para simulación en HEC-RAS**



The image shows a screenshot of the HEC-RAS software interface. It contains four tables for inputting hydraulic parameters:

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
48.2	48.2	48.2

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.07	0.07	0.07

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
-30	70

Cont\Exp Coefficient (Steady Flow)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Para el desarrollo de un modelo hidráulico con HEC-RAS, hay cinco pasos principales para la creación de un modelo hidráulico:

- Crear un proyecto nuevo o abrir uno existente
- Introducir los datos geométricos
- Introducir los datos hidráulicos (caudal y condición de contorno)
- Crear un plan y ejecutar la simulación
- Ver e imprimir datos

Características técnicas:

- Cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, etc.)
- Visualización gráfica de datos y resultados.
- Edición gráfica de secciones: ejecutable en entorno de Microsoft Windows.
- Modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

### **3.4. Simulación de una crecida**

El principal propósito de realizar una simulación hidráulica en el tramo de un determinado cauce de un río es estimar las planicies de inundación (mediante la estimación de las alturas para diversos caudales de diseño) y las velocidades del flujo en cada uno de los tramos considerados en la simulación.

En el primer caso se estiman las áreas susceptibles a inundación, considerando todos los afluentes en el punto de interés para realizar actividades de planificación con fines de mitigar o prevenir daños a las actividades económicas y principalmente a los habitantes.

La estimación de la velocidad de flujo es de utilidad para conocer el tiempo de viaje de una onda de crecida de un punto de control hacia otro de interés, principalmente para alertar a las comunidades sobre riesgos de inundaciones, para los fines del estudio se presenta a continuación la simulación hidráulica para la estación Panajax, con el objetivo de conocer la eficiencia en la calibración de curva de descarga de dicha estación hidrométrica.

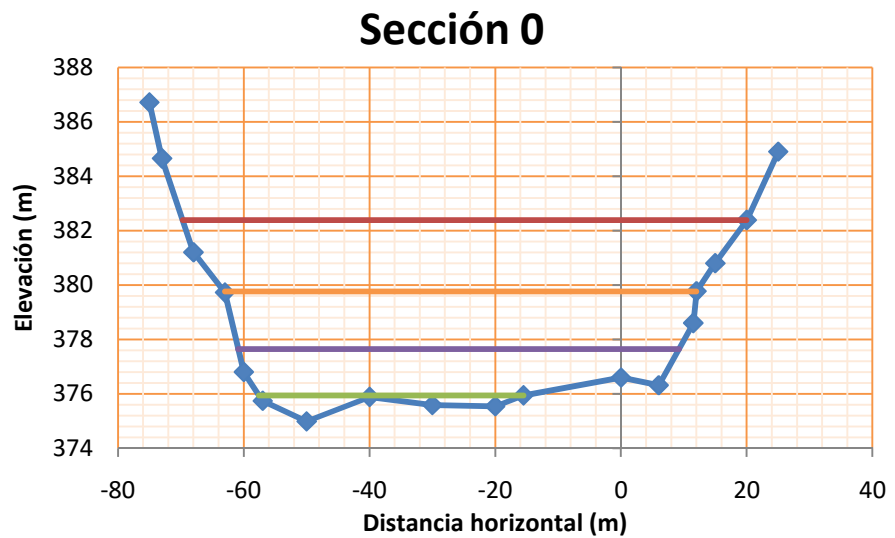


- Como primer paso se muestran los datos utilizados para la simulación en HEC-RAS, proporcionados por el Insivumeh:

Figura 15. Secciones 0, 1 y 2 para estación Panajax

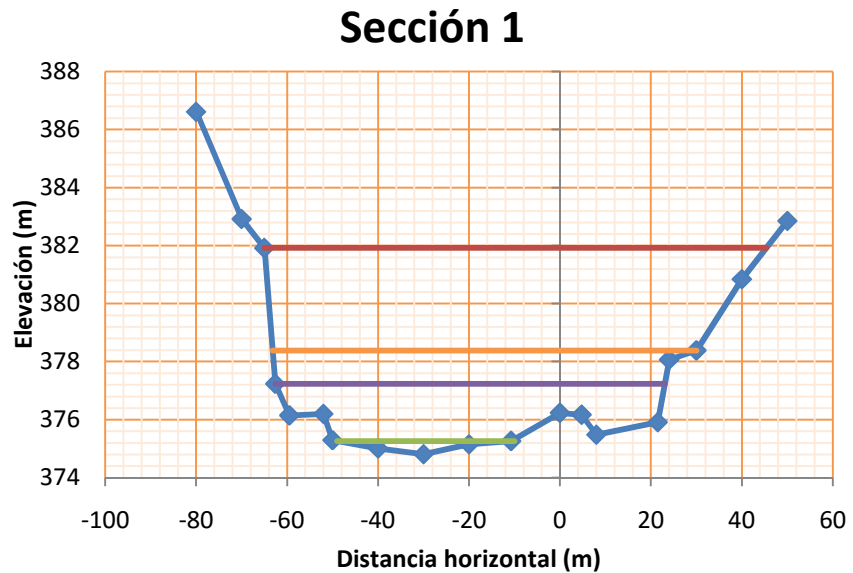
**SECCIÓN 0**

-75	386.711
-73	384.65
-68	381.202
-63	379.722
-60	376.802
-57	375.741
-50	374.987
-40	375.886
-30	375.587
-20	375.544
-15.5	375.943
0	376.596
6	376.314
11.5	378.601
12	379.77
15	380.799
20	382.388
5	384.901



**SECCIÓN 1**

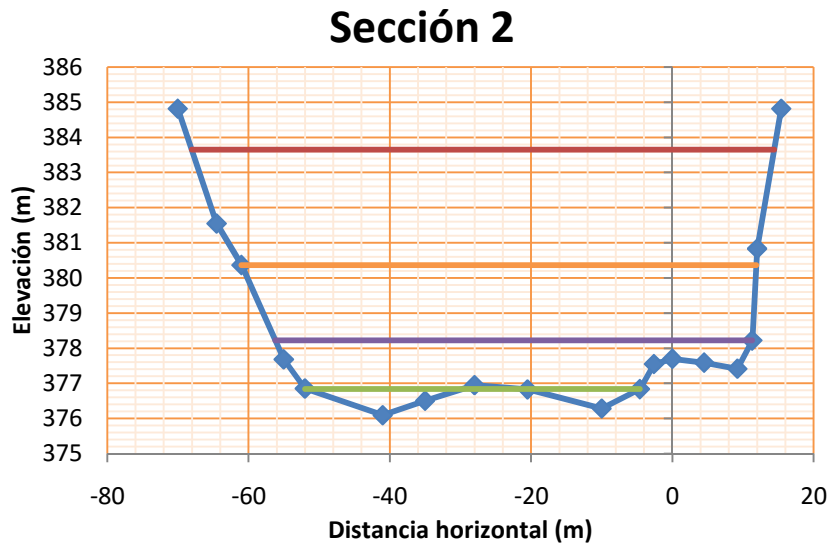
-80	386.615
-70	382.917
-65	381.917
-62.6	377.231
-59.5	376.144
-52	376.195
-50	375.288
-40	375.005
-30	374.804
-20	375.145
-10.75	375.26
0	376.231
4.75	376.165
8	375.475
21.5	375.904
24	378.064
30	378.385
40	380.841
50	382.852



Continuación de la figura 15.

**SECCIÓN 2**

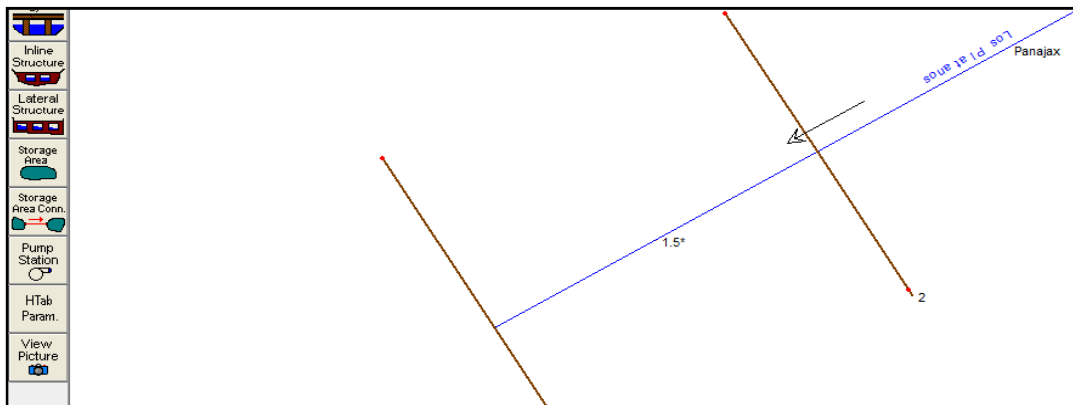
-70	384.82
-64.5	381.554
-61	380.372
-55	377.687
-52	376.859
-41	376.1
-35	376.511
-28	376.954
-20.5	376.834
-10	376.29
-4.6	376.842
-2.6	377.557
0	377.704
4.5	377.597
9.2	377.421
11.3	378.226
12	380.837
15.4	384.819



Fuente: Insivumeh. Departamento de Investigación y Servicios Hídricos.

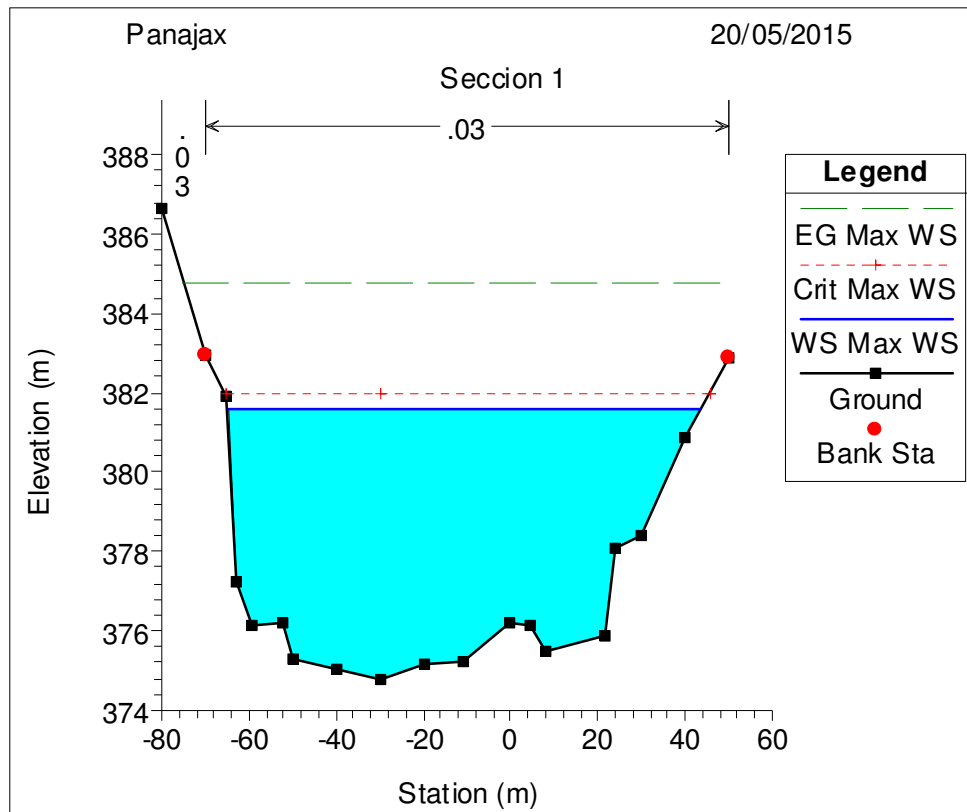
- Con los datos mostrados anteriormente se procedió por medio del programa HEC-RAS a introducir los datos geométricos del tramo analizado.

Figura 16. **Creación de tramo a analizar en HEC-RAS**



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

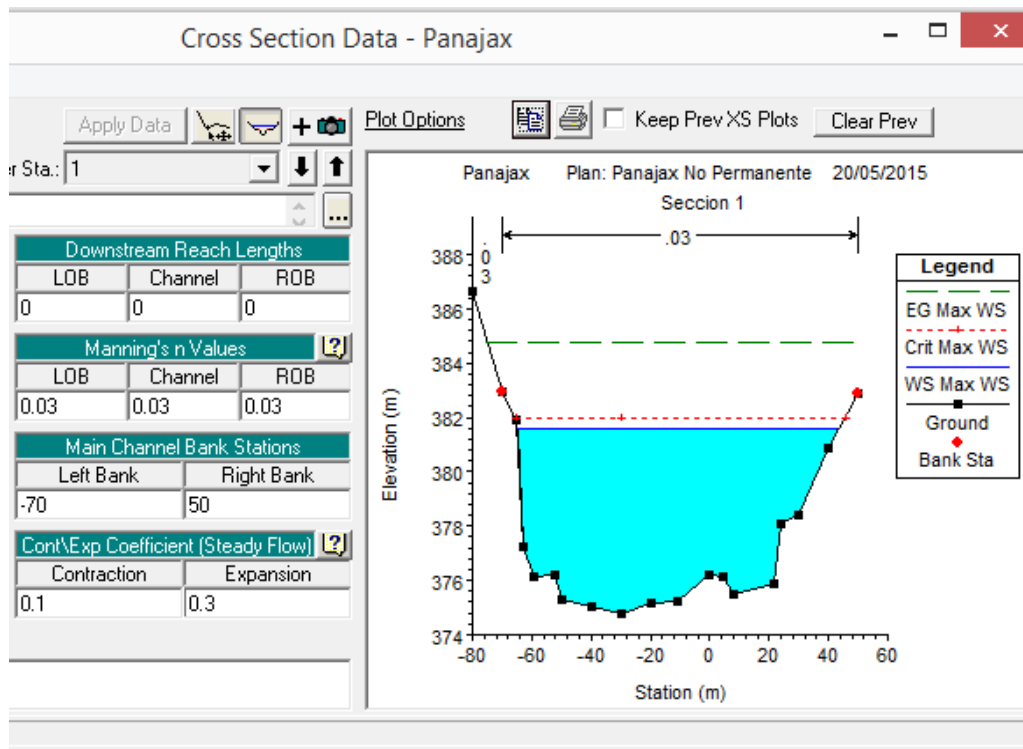
Figura 17. Ingreso de secciones en HEC-RAS



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Donde se indica el número de la estación que corresponde a la sección transversal, es recomendable que sea un punto kilométrico exacto o una referencia fácilmente reconocible (salida de la cuenca, cambio de orden del cauce, entre otros.). Para facilitar la interpretación de datos, se aconseja que se ordenen las secciones de mayor a menor, es decir, entre más aguas arriba se encuentra la estación, mayor será su número.

Figura 18. Ingreso de aspectos físicos de la sección en HEC-RAS



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

- Al tener estos datos ya compilados y graficados, se procede a accionar la opción siguiente: *Edit – Steady Flow Data*, dando clic al ícono en la pantalla principal. Aparecerá una ventana donde se ingresarán los caudales para los diferentes ríos. Luego, se definen las condiciones de entorno (*Reach boundary conditions*) en la misma ventana.

Figura 19. Ingreso de datos hidráulicos en HEC-RAS

River: Los Platanos Reach: Panajax RS: 3

Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

Enter Table Data time interval: 1 Hour ▾

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 22SEP2012 Time: 0

Fixed Start Time: Date:   Time:

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time	Flow
		(hours)	(m3/s)
1	21sep2012 2400	00:00	300.
2	22sep2012 0100	01:00	384.
3	22sep2012 0200	02:00	468.
4	22sep2012 0300	03:00	552.
5	22sep2012 0400	04:00	636.
6	22sep2012 0500	05:00	720.
7	22sep2012 0600	06:00	804.

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

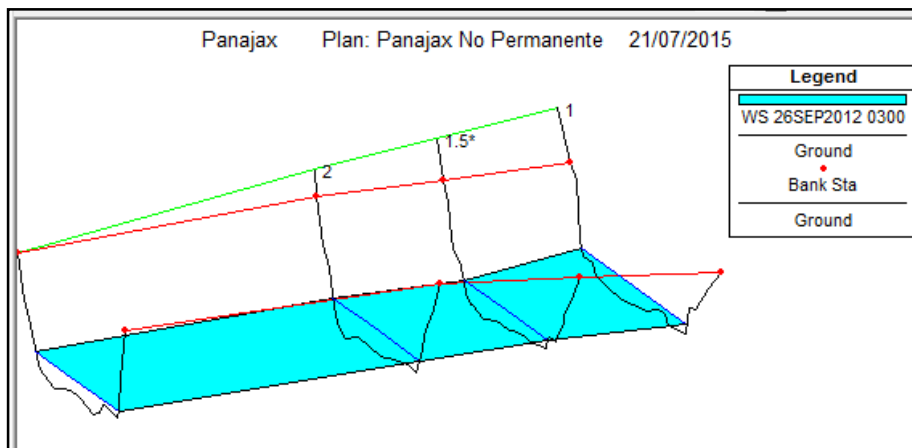
Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow:  Multiplier:

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

- Se procedió a realizar la corrida del programa con todos los datos establecidos e ingresados, y se obtienen los valores simulados.

Figura 20. **Perspectiva X-Y-Z del tramo simulado**



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 21. **Tabla de resultados generada por HEC-RAS**

Plan: PNP Los Platanos Panajax RS: 3 Profile: 26SEP2012 0300					
E.G. Elev (m)	378.80	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.80	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	377.99	Reach Len. (m)	119.58	119.58	119.58
Crit W.S. (m)	378.13	Flow Area (m <sup>2</sup> )		75.60	
E.G. Slope (m/m)	0.012038	Area (m <sup>2</sup> )		75.60	
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	300.00	Flow (m <sup>3</sup> /s)		300.00	
Top Width (m)	66.37	Top Width (m)		66.37	
Vel Total (m/s)	3.97	Avg. Vel. (m/s)		3.97	
Max Chl Dpth (m)	1.89	Hydr. Depth (m)		1.14	
Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	2734.3	Conv. (m <sup>3</sup> /s)		2734.3	
Length Wtd. (m)	119.58	Wetted Per. (m)		66.89	
Min Ch EI (m)	376.10	Shear (N/m <sup>2</sup> )		133.43	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	737.32	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.76	Cum Volume (1000 m <sup>3</sup> )		20.84	
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m <sup>2</sup> )		15.59	

Errors, Warnings and Notes

Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

### **3.5. Características del modelo**

La aplicación de la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente de los cauces abiertos, ríos y canales artificiales, para obtener los perfiles hidráulicos para diferentes caudales de avenidas se logra por medio de la utilización de información hidrometeorológica, así como por el procesamiento de la información topográfica.

- Información cartográfica
- Levantamiento topográfico
- Secciones transversales del río

Es importante enmarcar que para contar con una correcta calibración de estaciones hidrométricas respecto al paso del tiempo, se necesita de una adecuación de la información al programa HEC-RAS; esto con el objeto de obtener simulaciones basadas en cambios ocasionados en la fisiología de los cauces y ríos bajo análisis; para esto se mencionan a continuación los siguientes aspectos a considerar:

- Recopilación de la Información bibliográfica, cartográfica e hidrometeorológica existente en el lugar del análisis.
- Se procedió a tomar las características de la sección. Si existen obstrucciones como piedras midiendo el diámetro, alturas entre otras.
- Ingreso de las secciones transversales con información correspondiente al levantamiento topográfico, desde la sección aguas arriba de la sección de aforos hasta la sección aguas debajo de la sección de aforo las secciones.

- Cabe resaltar en este punto la necesidad de actualizar la información topográfica de las secciones de los ríos pertenecientes a la vertiente del Mar Caribe, para obtener mayor precisión en las simulaciones posteriores.



## **4. REGRESIONES NO LINEALES**

### **4.1. Generalidades para su aplicación**

En muchas ocasiones es imposible realizar aforos con el molinete, esto debido a no contar con la infraestructura adecuada, o porque la magnitud de las descargas pondrían en peligro el equipo y a los aforadores; en estos casos, los caudales se estiman a partir de los niveles alcanzados por las aguas, y en otras veces se tienen que hacer calibraciones y correcciones a los valores obtenidos en los aforos previamente realizados; para esto es necesario utilizar modelos estadísticos de linealización de datos, o bien realizar extrapolaciones a las curvas de calibración.

La regresión lineal no siempre da buenos resultados, porque a veces la relación entre Y y X no es lineal sino que exhibe algún grado de curvatura. La estimación directa de los parámetros de funciones no lineales es un proceso bastante complicado. No obstante, a veces se pueden aplicar las técnicas de regresión lineal por medio de transformaciones de las variables originales; los modelos no lineales se utilizan cuando la serie de datos se va a interpolar de manera no lineal, o bien formando una similitud a curvas exponenciales, o potenciales.

Por otro lado la extrapolación de las curvas de calibración son análisis que se realizan para determinar valores que se encuentran más allá del rango de niveles y caudales registrados; estos son utilizados en función de la experiencia de las personas involucradas con el tema, y pueden variar sus resultados en función a su uso.

## 4.2. Tipos de extrapolación de la curva de calibración

Cuando no se cuenta con caudales característicos en una región determinada debido a carencia de datos, es necesario extrapolar la curva de descarga, previamente calibrada; para conocer estos valores existen diferentes métodos los cuales de destacan a continuación:

- Métodos analíticos: como resultado de muchas investigaciones sobre curvas de descarga, se ha llegado a deducir que éstas pueden quedar representadas por la ecuación de la parábola de orden superior dada por la forma:

$$Q = k (H + H_0)^n$$

En donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

H: nivel de agua leído a escala (m)

H<sub>0</sub>: nivel cuando los caudales llegan a ser nulos (m)

N, k: constantes a determinar

La metodología para emplear regresiones no lineales, consta en aplicar logaritmos a la ecuación mencionada anteriormente, en donde esta segunda ecuación se semeja a una de tipo lineal en un sistema, de coordenadas log *versus* log, para el presente documento se aplico este procedimiento para todas las estaciones hidrométricas de la vertiente en el Mar Caribe, y sus respectivas curvas calibradas se muestran en el capítulo 5, posteriormente.

- Extrapolación manual: es conocido como un método de extrapolación al ojo, y se usa generalmente como un análisis preliminar, que posteriormente es confirmado utilizando otro método; el procedimiento consiste en graficar la serie de aforos en un eje de coordenadas, donde en las Y se presentan los niveles o lecturas, y en las X los caudales mediante aforos.
- Método de área y velocidad media: en este método, teniendo el perfil de la sección transversal, es fácil determinar la curva de variación de las áreas respecto de la altura de la mira; posteriormente a esto se procede a la prolongación de las curvas para determinar los caudales para los valores extremos.
- Método de Stevens: este método se basa como fundamento principal en la fórmula de Chezy, y es usado para ríos relativamente anchos y poco profundos, de forma similar a la ecuación de Manning utiliza factores hidráulicos, los cuales se vuelven constantes para valores altos de lectura de mira, y por consiguiente proporcionan una gráfica para valores de caudal similares a una recta.
- Método de Manning: método basado en la fórmula de Manning la misma que fue deducida para canales abiertos; este método es un valioso instrumento que permite analizar mediante los aforos realizados, las condiciones hidráulicas y geométricas de los causes naturales y especialmente de las estaciones hidrométricas que por causas ajenas, no pueden contar con una infraestructura fiable y precisa para la realización de aforos en corrientes.

### 4.3. Utilización de datos hidrométricos

Como parte primordial en la calibración de datos se requiere conocer valores de alturas respecto de caudales aforados en campo; a continuación se presentan los datos de los mismos para las diferentes estaciones hidrométricas pertenecientes a la vertiente del Mar Caribe.

Tabla XIII. **Datos hidrométricos en estación San Pedro Cadenas**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
03-07-03	0,560	11,544
25-09-03	0,800	26,639
22-04-04	0,550	10,877
30-06-04	3,935	324,513
13-08-04	0,700	17,440
25-06-05	3,625	172,230
08-09-05	1,440	79,358
17-03-06	0,590	14,762
24-02-07	0,640	14,424
16-08-07	1,520	75,790
29-02-08	0,865	28,554
03-10-08	1,680	90,249
15-05-09	1,070	49,331
23-04-10	0,480	9,544
28-10-11	1,310	66,398
20-01-12	1,370	88,244
26-02-12	0,870	29,474
29-05-12	1,070	61,799
06-11-12	1,030	40,307
17-04-13	0,430	13,657
02-08-13	1,475	71,832
13-09-13	1,405	64,870
30-10-13	4,050	319,124

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Datos hidrométricos en estación Vado Hondo**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
08-03-02	0,220	0,158
08-03-02	0,220	0,184
27-06-02	0,495	2,149
12-09-02	0,340	2,766
11-10-02	0,420	3,197
25-10-02	0,280	1,027
19-02-03	0,170	0,120
21-05-03	0,220	0,347
02-07-03	0,440	3,969
20-08-03	0,450	4,423
20-11-03	0,250	1,616
24-2-04	0,210	0,363
01-4-04	0,190	0,158
13-7-04	0,410	3,824
06-12-04	0,240	0,677
04-08-05	0,360	2,987
10-09-05	0,550	9,764
18-03-06	0,210	0,276
22-08-06	0,490	4,083
26-02-07	0,120	0,614
20-06-07	0,295	3,287
01-03-08	0,090	0,713
05-06-08	0,170	0,983
30-09-08	0,690	30,419
30-10-08	0,260	5,542
24-04-10	0,030	1,173
19-04-12	-0,100	1,090
21-08-12	0,150	7,655
22-02-13	-0,180	0,375
24-04-13	-0,220	0,209
31-07-13	0,010	4,201
11-09-13	0,190	9,979

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Datos hidrométricos en estación Camotán**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
08-03-02	0,660	7,020
08-03-02	0,660	6,960
27-06-02	0,855	16,547
12-09-02	1,200	48,344
11-10-02	1,000	22,292
25-10-02	0,770	9,121
20-02-03	0,815	12,596
21-05-03	0,620	5,540
02-07-03	1,020	34,601
21-08-03	0,910	18,302
21-11-03	1,205	42,775
24-02-04	0,700	11,685
01-04-04	0,630	7,021
13-07-04	1,030	27,532
07-12-04	0,900	15,452
22-03-05	0,700	9,174
04-08-05	1,070	29,100
09-09-05	1,430	58,386
18-10-05	1,370	39,788
18-03-06	0,810	6,124
22-08-06	1,350	53,432
26-02-07	0,800	9,671
20-06-07	1,000	19,904
01-03-08	1,050	10,102
05-06-08	1,150	12,640
01-10-08	2,090	139,109
07-07-09	1,440	42,814
24-04-10	0,940	9,157
20-04-12	0,870	7,116
21-08-12	2,800	248,658
31-07-13	0,850	10,607
12-09-13	1,470	44,748

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Datos hidrométricos en estación Panajax**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
19-07-07	0,100	34,120
06-10-11	1,135	124,883
20-08-12	0,680	27,637
13-02-13	0,105	6,032
30-08-13	0,480	31,292
09-10-13	0,485	38,769

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Datos hidrométricos en estación Concuá**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
28-06-04	0,710	19,744
07-07-04	0,900	38,430
21-04-05	0,270	4,163
19-04-06	0,350	3,800
24-05-06	0,570	13,577
21-02-07	0,460	6,933
27-06-07	0,700	17,897
31-07-13	0,900	57,974

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Datos hidrométricos en estación Modesto Méndez**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
26-06-02	1,720	137,911
21-08-02	2,990	89,203
22-05-03	0,760	1,876
17-06-03	0,960	6,072
03-07-03	0,940	5,983
25-09-03	1,200	14,461
19-11-03	1,685	31,806
22-04-04	0,945	5,627
30-06-04	5,340	203,128
12-08-04	1,090	8,063
25-06-05	3,020	98,898
08-09-05	1,670	52,220
17-03-06	1,000	7,213
24-02-07	0,630	8,951
15-08-07	1,980	53,878
29-02-08	1,270	15,458
03-10-08	1,840	49,221
15-05-09	1,560	30,764
22-04-10	0,780	3,173
28-10-11	1,630	41,265
26-02-12	1,275	13,564
29-05-12	1,540	23,546
06-11-12	1,510	26,007
14-03-13	0,890	3,754
17-04-13	0,810	2,208
02-08-13	1,845	40,657
13-09-13	1,685	34,629

Fuente: elaboración propia.



Tabla XIX. **Datos hidrométricos en estación Matucuy**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
06-02-02	0,190	29,788
20-03-02	-0,100	13,659
20-03-02	-0,100	15,940
18-04-02	-0,170	10,905
25-06-02	0,270	35,157
20-08-02	0,300	35,780
20-09-02	0,310	40,113
04-10-02	0,600	61,216
11-12-02	0,160	29,046
30-04-03	-0,120	13,902
18-07-03	0,540	67,866
24-09-03	0,420	51,210
19-11-03	0,350	40,248
21-04-04	0,010	17,428
29-06-04	0,765	96,715
12-08-04	0,230	31,171
24-06-05	1,270	287,239
07-09-05	0,525	73,433
27-10-05	0,180	35,431
13-12-05	0,210	34,361
08-02-06	0,430	52,947
16-03-06	0,010	19,583
19-05-06	-0,030	19,888
13-06-06	0,585	73,882
11-10-06	0,790	97,503
06-12-06	0,690	73,114
23-02-07	0,090	22,658
29-05-07	0,120	28,380
14-08-07	0,905	152,471
11-10-07	0,360	38,944
21-01-08	0,100	20,541
27-02-08	-0,060	17,675
12-06-08	0,360	47,579
14-05-09	0,400	47,605
21-04-10	0,030	22,369
19-05-11	-0,035	17,036
13-03-13	-0,010	16,688
20-08-13	0,270	37,803
23-09-13	0,510	80,756

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Datos hidrométricos en estación Chiché**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
23-04-02	0,040	0,325
23-04-02	0,040	0,323
22-07-02	0,260	2,308
22-11-02	0,130	1,158
07-04-03	0,020	0,320
10-09-03	0,130	0,991
16-03-04	0,040	0,302
27-09-04	0,400	3,909
17-05-05	0,090	0,465
14-07-05	0,490	5,181
03-04-06	0,080	0,349
25-05-06	0,220	1,407
21-03-07	0,150	0,735
09-07-07	0,230	0,735
17-04-09	0,080	0,374
21-06-11	0,290	0,868
16-04-12	0,160	0,620
30-07-12	0,360	1,961
13-05-13	0,130	0,614
06-08-13	0,330	2,080
23-09-13	0,570	6,315

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Datos hidrométricos en estación Gualán**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
13-09-02	1,950	236,404
10-10-02	1,680	192,712
20-02-03	0,870	34,005
21-05-03	0,770	36,231
01-07-03	1,505	163,985
20-08-03	1,460	130,565
26-09-03	1,925	296,547
20-11-03	1,630	143,838
26-02-04	0,805	20,902
06-03-04	0,780	19,739
01-07-04	1,835	251,519
14-07-04	1,820	243,853
08-06-05	0,640	40,467
27-06-05	3,720	1 496,558
04-08-05	1,525	130,330
09-09-05	2,395	303,742
28-10-05	1,780	147,947
17-03-06	0,860	19,941
23-08-06	2,055	222,439
30-11-06	1,350	53,134
25-02-07	0,880	25,662
21-06-07	1,600	71,251
16-08-07	2,480	427,134
01-03-08	0,865	30,765
06-06-08	1,445	107,051
03-10-08	3,525	1 111,038
16-05-09	2,010	248,770
08-07-09	2,140	343,726
23-04-10	1,500	35,946
16-08-11	1,790	394,649
26-11-11	1,700	118,232
06-11-12	1,210	104,469
19-04-13	0,620	17,207
01-08-13	1,350	79,073
19-09-13	2,615	790,610
30-10-13	2,350	628,349

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Datos hidrométricos en estación Puente Orellana**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
08-02-02	0,170	13,288
25-02-02	0,150	11,553
27-02-02	0,150	10,655
21-03-02	0,110	9,016
21-03-02	0,110	9,368
19-08-02	0,460	28,850
10-10-02	0,975	45,610
20-05-03	0,350	17,683
18-11-03	0,600	37,937
23-02-04	0,225	16,308
02-04-04	0,145	11,943
01-07-04	0,880	76,119
14-07-04	0,940	86,917
06-12-04	0,380	21,732
08-06-05	0,640	40,467
22-06-05	0,735	56,732
05-08-05	0,710	67,730
10-09-05	0,960	81,098
28-10-05	0,590	50,753
07-02-06	0,265	21,557
15-03-06	0,170	16,197
23-08-06	0,790	95,999
26-02-07	0,170	9,689
26-02-07	0,170	0,372
21-06-07	0,345	2,014
21-06-07	0,345	30,880
16-08-07	0,800	95,393
15-11-07	0,310	29,472
02-03-08	0,140	13,956
11-06-08	0,715	81,162
30-10-08	0,535	77,518
12-05-09	0,755	126,086
08-07-09	0,980	189,445
20-04-10	0,320	57,907
17-02-11	0,985	22,347
27-02-12	1,080	15,309
19-04-13	0,760	10,230
26-04-13	0,800	10,544

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Datos hidrométricos en estación Morales**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
23-05-03	-0,030	49,579
18-06-03	0,570	103,337
03-07-03	1,015	160,683
26-09-03	1,690	344,972
20-11-03	1,330	222,117
25-02-04	0,425	87,996
22-04-04	0,070	50,007
01-07-04	1,025	223,581
26-06-05	2,580	607,587
08-09-05	2,580	640,243
17-03-06	1,220	54,231
25-02-07	0,280	71,838
16-08-07	1,980	381,523
29-02-08	0,210	75,442
06-06-08	0,865	173,009
03-10-08	3,270	858,196
16-05-09	1,245	298,113
16-04-13	0,050	46,242

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Datos hidrométricos en estación Telemán**

<b>Fecha</b>	<b>Escala</b>	<b>Aforo</b>
06-02-02	0,590	79,849
20-03-02	0,280	26,125
20-03-02	0,280	27,374
18-04-02	0,210	19,900
23-05-02	0,345	24,356
25-06-02	1,170	77,411
20-08-02	1,200	73,817
21-08-02	1,135	67,640
19-09-02	1,210	74,305
11-12-02	0,800	50,158
01-05-03	0,300	24,731
18-07-03	1,580	109,498
19-07-03	1,515	107,865
25-09-03	1,350	95,838
19-11-03	1,270	72,904
21-04-04	0,500	28,702
30-06-04	2,160	172,223
12-08-04	1,095	64,363
07-09-05	2,030	209,341
27-10-05	1,270	64,655
08-02-06	1,520	66,209
16-03-06	1,100	31,781
19-05-06	1,120	28,837
13-06-06	2,115	137,866
11-10-06	1,690	173,209
30-05-07	0,840	37,747
15-08-07	2,590	188,893
12-10-07	1,680	84,755
28-02-08	0,800	43,005
12-06-08	1,515	81,239
07-08-08	2,440	186,325
15-05-09	2,700	149,844
22-04-10	1,610	31,520
18-05-11	0,690	29,899
27-10-11	2,850	113,918
25-02-12	1,050	35,971
14-11-12	1,535	65,510
13-03-13	0,820	19,790
16-04-13	0,590	18,324
20-08-13	1,060	78,461
23-09-13	1,160	130,502

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Datos hidrométricos en estación Petapilla**

<b>fecha</b>	<b>escala</b>	<b>aforo</b>
08-03-02	0,390	0,603
08-03-02	0,390	0,749
27-06-02	0,595	5,241
13-09-02	0,600	5,530
11-10-02	0,420	9,048
25-10-02	0,410	1,948
19-02-03	0,340	0,573
21-05-03	0,420	1,677
02-07-03	0,620	9,140
20-08-03	0,580	6,342
20-11-03	0,400	1,590
23-02-04	0,310	0,647
02-04-04	0,320	0,309
13-07-04	0,610	6,662
06-12-04	0,330	0,768
04-08-05	0,560	6,305
09-09-05	0,970	21,750
18-03-06	0,300	0,878
23-08-06	0,645	9,534
26-02-07	0,300	0,872
21-06-07	0,425	7,091
02-03-08	0,210	1,192
06-06-08	0,460	7,070
02-10-08	0,980	42,871
24-04-10	0,360	2,389
16-05-11	0,230	1,713
19-04-12	0,460	3,193
22-02-13	0,290	0,549
01-08-13	0,440	4,606
12-09-13	1,060	40,427

Fuente: elaboración propia.

#### **4.4. Calibración de datos de aforo**

Por medio del software STATISTICS se ingresaron los datos presentados anteriormente para cada estación hidrométrica y se linealizaron de manera que se obtuvieran las variables  $K$ ,  $H_0$  y  $n$ , necesarias para calibrar las curvas, respectivamente; los valores mostrados más adelante representan la serie de datos que mejor se adaptó para un valor aleatorio  $H_0$ ; dichas incógnitas se mostrarán en el capítulo 5, con su respectiva curva calibrada.

#### **4.5. Generación de curvas de descarga**

Posteriormente a obtener los valores  $K$ ,  $H_0$  y  $n$ ; se procedió a realizar la respectiva curva de descarga para cada estación hidrométrica; esto con el propósito de compararlas posteriormente y simular sus crecidas con ayuda del software HEC-RAS.



## **5. APLICACIÓN Y DESARROLLO DE LAS CURVAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1. Aforos para la vertiente del Mar Caribe**

El objetivo de aforar una corriente durante varias épocas en el año en una sección determinada, es determinar lo que se conoce como curva de calibración de la sección. Esta permite transformar niveles de agua, leídos con una mira, en caudales. Las curvas se construyen a partir de los aforos hechos durante un período largo de tiempo, de tal manera que se tengan niveles bajos y altos del río.

Las curvas de calibración pueden cambiar por efectos erosivos, agradación, efectos de curvas de remanso o debido a flujos no permanentes. Los encargados de las estaciones de aforo deben estar calculando permanentemente estas curvas para detectar posibles errores.

### **5.2. Aplicación de regresiones no lineales**

Antes de generar la calibración de las curvas de descarga, se encontraron los valores de  $H_0$ ,  $k$  y  $n$ , con los cuales se obtendrían los caudales linealizados, mostrados en las siguientes tablas como ( $Q$  ecuación); en esta sección se muestran dichos valores, para los cuales se obtuvieron valores de  $R^2$  casi igual a 1 para todas las series de datos.

Tabla XXVI. **Valores de K, Ho y n en estación Vado Hondo**

De	Hasta
08/03/2002	06/12/2004
Rango de H (m) válidos	
0,22 a	0,24
Ho	0,221
Log (k) =	1,0112
Z =	2,518
K =	10,26099091
Ecuación:	
$Q=10,26099(H +0,221)^{2,518}$	
De	Hasta
06/12/2004	30/10/2008
Rango de H (m) válidos	
0,26 a	0,36
Ho	0,19
Log (k) =	0,9852
Z =	2,174
K =	9,66581095
Ecuación:	
$Q=9,66581(H +0,19)^{2,174}$	
De	Hasta
30/10/2008	11/09/2013
Rango de H (m) válidos	
0,03 a	0,19
Ho	0,45
Log (k) =	0,2944
Z =	1,436
K =	1,969659448
Ecuación:	
$Q=1,96966(H +0,45)^{1,436}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Valores de K, Ho y n en estación Camotán**

De	Hasta
08/03/2002	22/09/2006
Rango de H (m) válidos	
0,66 a	1,35
Ho	2,05
Log (k) =	-2,7925
Z =	8,498
K =	0,001612375
Ecuación:	
$Q=0,00161(H +2,05)^{8,498}$	
De	Hasta
22/09/2006	12/09/2013
Rango de H (m) válidos	
1,47 a	2,8
Ho	0,19
Log (k) =	0,9691
Z =	3,202
K =	9,312418341
Ecuación:	
$Q=9,31242(H +0,19)^{3,202}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Valores de K, Ho y n en estación Panajax**

De	Hasta
19/07/2007	09/10/2013
Rango de H (m) válidos	
0,10 a	1,13
Ho	0,65
Log (k) =	1,4154
Z =	2,421
K =	26,022714
Ecuación:	
$Q=26,02271(H +0,65)^{2,421}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Valores de K, Ho y n en estación Modesto Méndez**

De	Hasta
26/06/2002	12/08/2004
Rango de H (m) válidos	
0,76 a	1,09
Ho	-0,61
Log (k) =	1,4325
Z =	1,413
K =	27,0694555
Ecuación:	
$Q=27,06946(H + -0,61)^{1,413}$	
De	Hasta
12/08/2004	28/10/2011
Rango de H (m) válidos	
1,84 a	3,02
Ho	-0,29
Log (k) =	1,3276
Z =	1,605
K =	21,26414547
Ecuación:	
$Q=21,26415(H + -0,29)^{1,605}$	
De	Hasta
28/10/2011	13/09/2013
Rango de H (m) válidos	
1,27 a	1,68
Ho	0,45
Log (k) =	-0,0781
Z =	2,221
K =	0,835401911
Ecuación:	
$Q=0,8354(H + 0,45)^{2,221}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Valores de K, Ho y n en estación San Pedro Cadenas**

De	Hasta
03/07/2003	30/10/2013
Rango de H (m) válidos	
0,56 a	4,05
Ho	0,6
Log (k) =	1,0649
Z =	2,321
K =	11,61254
Ecuación:	
$Q=11,61254(H +0,6)^{2,321}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Valores de K, Ho y n en estación Concuá**

De	Hasta
28/06/2004	31/07/2013
Rango de H (m) válidos	
0,27 a	0,90
Ho	1,1
Log (k) =	-0,4397
Z =	6,882
K =	0,3633289
Ecuación:	
$Q=0,36333(H +1,1)^{6,882}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Valores de K, Ho y n en estación Matucuy**

De	Hasta
06/02/2002	06/12/2006
Rango de H (m) válidos	
0,69 a	1,27
Ho	1,67
Log (k) =	0,2755
Z =	4,530
K =	1,885711743
Ecuación:	
$Q=1,88571(H +1,67)^{4,53}$	
De	Hasta
06/12/2006	23/09/2013
Rango de H (m) válidos	
0,09 a	0,51
Ho	0,65
Log (k) =	1,6945
Z =	2,225
K =	49,48870853
Ecuación:	
$Q=49,48871(H +0,65)^{2,225}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Valores de K, Ho y n en estación Chiché**

De	Hasta
23/04/2002	23/09/2013
Rango de H (m) válidos	
0,04 a	0,57
Ho	0,61
Log (k) =	0,4537
Z =	4,975
K =	2,842222
Ecuación:	
$Q=2,84(H +0,61)^{4,975}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Valores de K, Ho y n en estación Gualán**

De	Hasta
13/09/2002	20/11/2003
Rango de H (m) válidos	
1,63 a	1,95
Ho	-0,129
Log (k) =	1,8795
Z =	2,039
K =	75,76426947
Ecuación:	
$Q=75,76427(H +0,129)^{2,039}$	
De	Hasta
20/11/2003	16/08/2007
Rango de H (m) válidos	
1,78 a	2,48
Ho	1,82
Log (k) =	-1,0312
Z =	5,746
K =	0,093062937
Ecuación:	
$Q=0,09306(H +1,82)^{5,746}$	
De	Hasta
16/08/2007	30/10/2013
Rango de H (m) válidos	
0,86 a	1,49
Ho	0,45
Log (k) =	1,1031
Z =	3,424
K =	12,67808569
Ecuación:	
$Q=12,67809(H +0,45)^{3,424}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Valores de K, Ho y n en estación Puente Orellana**

De	Hasta
08/02/2002	26/04/2013
Rango de H (m) válidos	
0,17 a	1,08
Ho	0,976
Log (k) =	0,8350
Z =	3,440
K =	6,8391165
Ecuación:	
$Q=6,83912(H +0,976)^{3,44}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Valores de K, Ho y n en estación Morales**

De	Hasta
23/05/2003	16/04/2013
Rango de H (m) válidos	
0,07 a	3,27
Ho	1,54
Log (k) =	1,1927
Z =	2,532
K =	15,584756
Ecuación:	
$Q=15,58476(H +1,54)^{2,532}$	

Fuente: elaboración propia.



Tabla XXXVII. **Valores de K, Ho y n en estación Telemán**

De	Hasta
06/02/2002	23/09/2013
Rango de H (m) válidos	
0,21 a	2,70
Ho	1,77
Log (k) =	0,5346
Z =	2,666
K =	3,4245223
Ecuación:	
$Q=3,42452(H + 1,77)^{2,666}$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Valores de K, Ho y n en estación Petapilla**

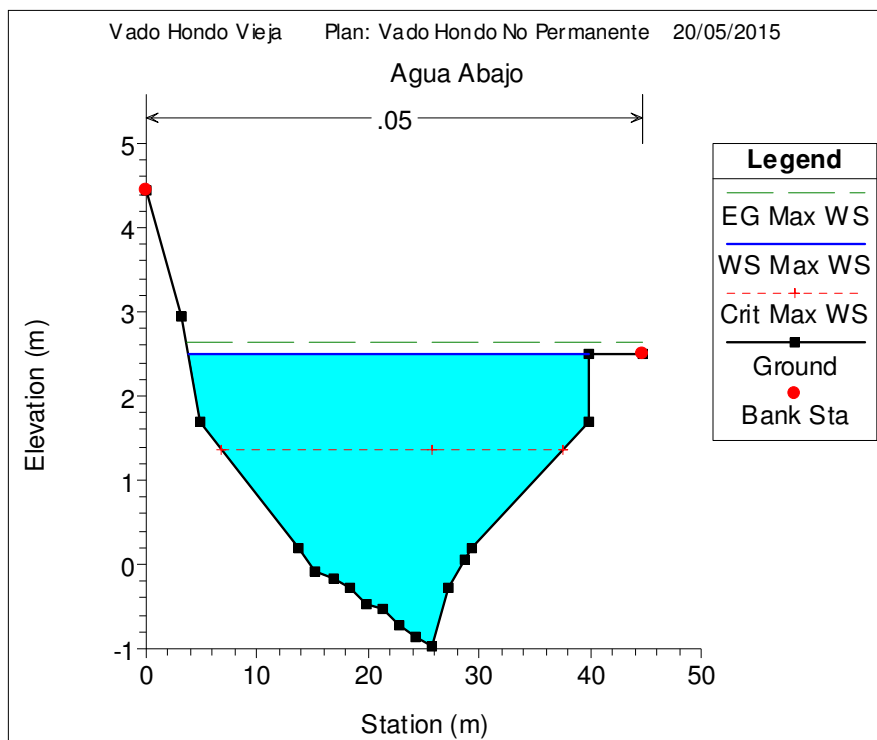
De	Hasta
08/03/2002	21/05/2003
Rango de H (m) válidos	
0,42 a	0,62
Ho	-0,115
Log (k) =	1,5528
Z =	2,410
K =	35,70869823
Ecuación:	
$Q=35,7087(H + -0,115)^{2,41}$	
De	Hasta
21/05/2003	06/06/2008
Rango de H (m) válidos	
0,21 a	0,39
Ho	2,12
Log (k) =	-5,8422
Z =	15,673
K =	1,43806E-06
Ecuación:	
$Q=0(H + 2,12)^{15,673}$	

Fuente: elaboración propia.

### 5.3. Simulación con el modelo HEC-RAS

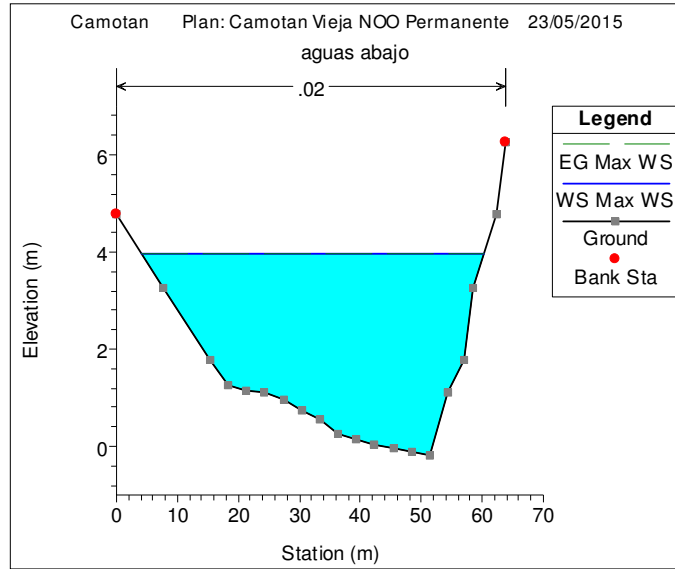
Para cada estación hidrométrica se ingresaron tres diferentes secciones transversales correspondientes a su cauce principal, simulando para flujo permanente y no permanente; a continuación se presentan los resultados de las simulaciones aguas abajo en todos los ríos con estación hidrométrica en la vertiente del Mar Caribe.

Figura 22. Simulación aguas abajo estación Vado Hondo



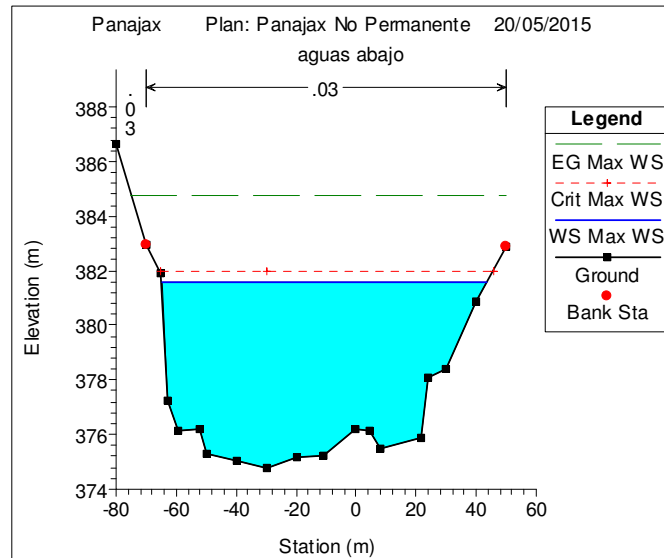
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 23. **Simulación aguas abajo estación Camotán**



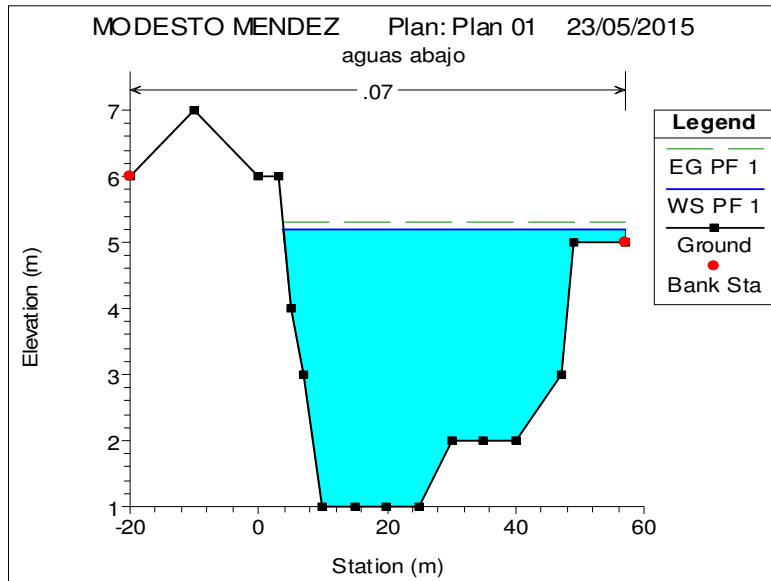
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 24. **Simulación aguas abajo estación Panajax**



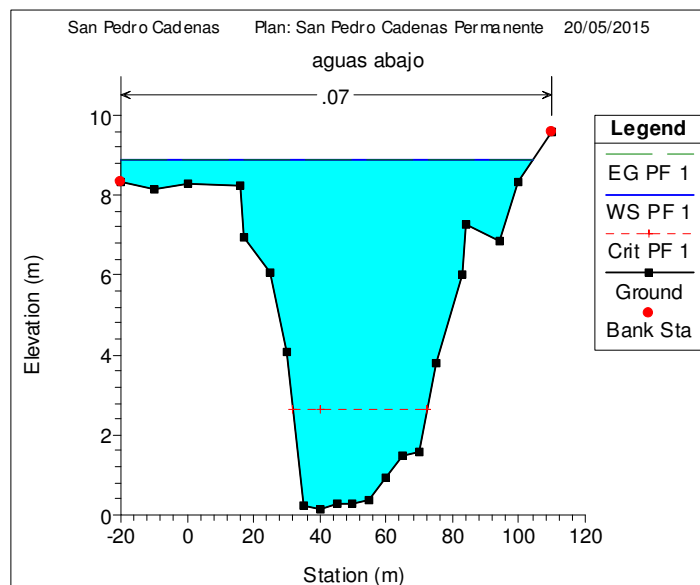
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 25. **Simulación aguas abajo estación Modesto Méndez**



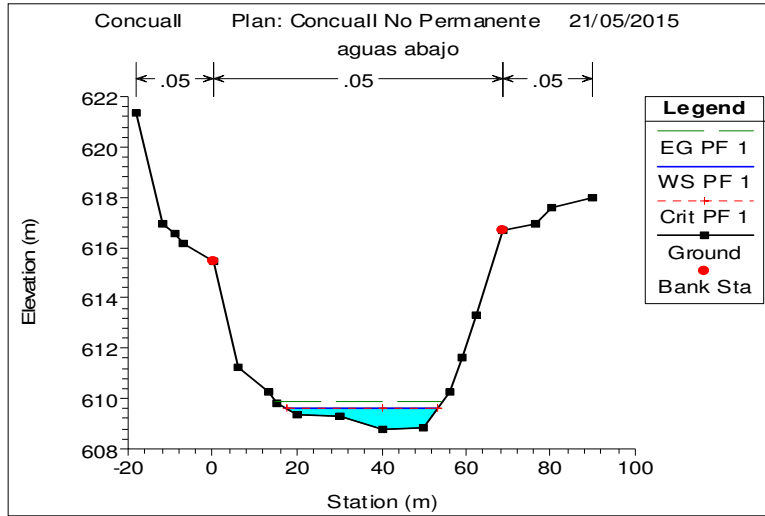
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 26. **Simulación aguas abajo estación San Pedro Cadenas**



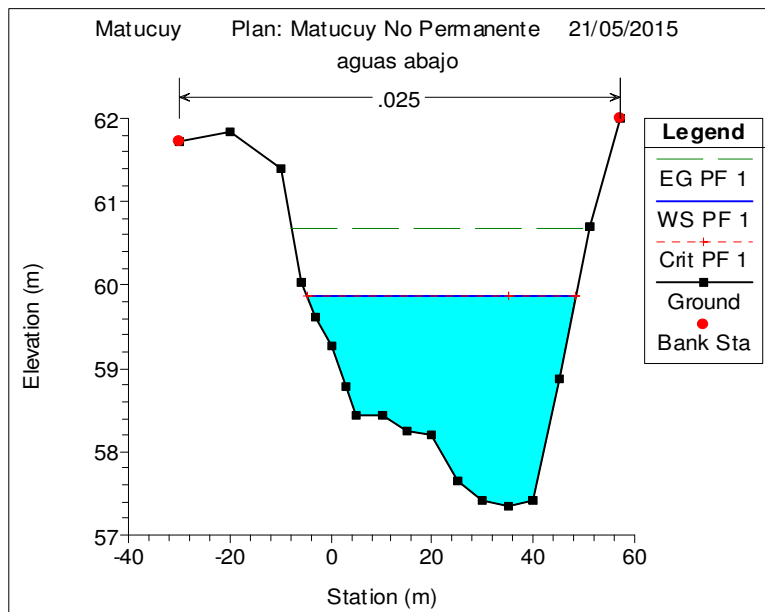
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 27. Simulación aguas abajo estación Concuá



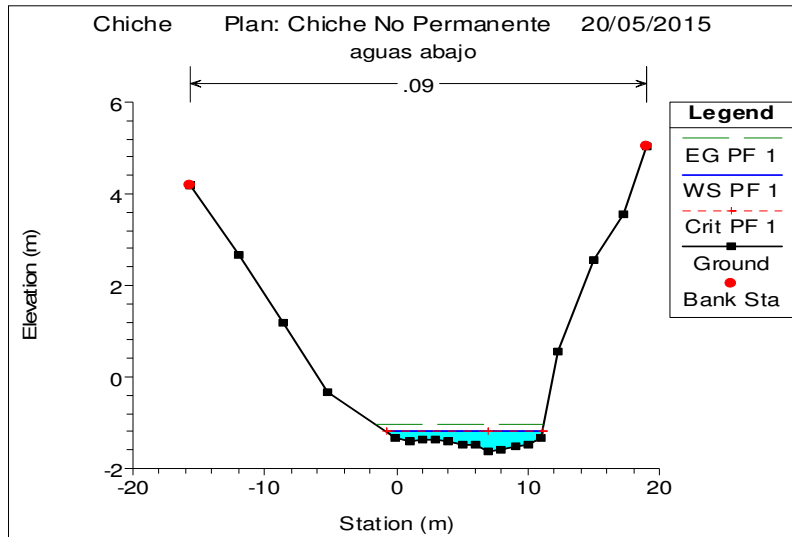
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 28. Simulación aguas abajo estación Matucuy



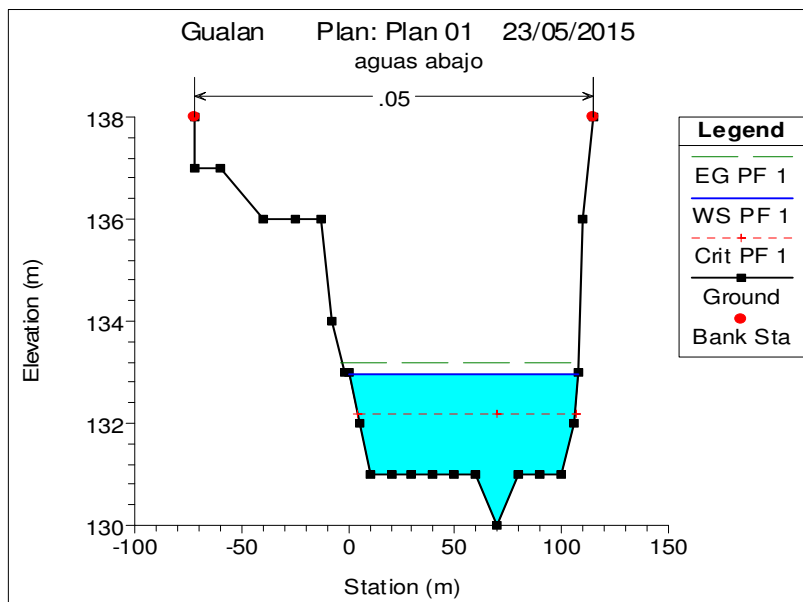
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 29. **Simulación aguas abajo estación Chiché**



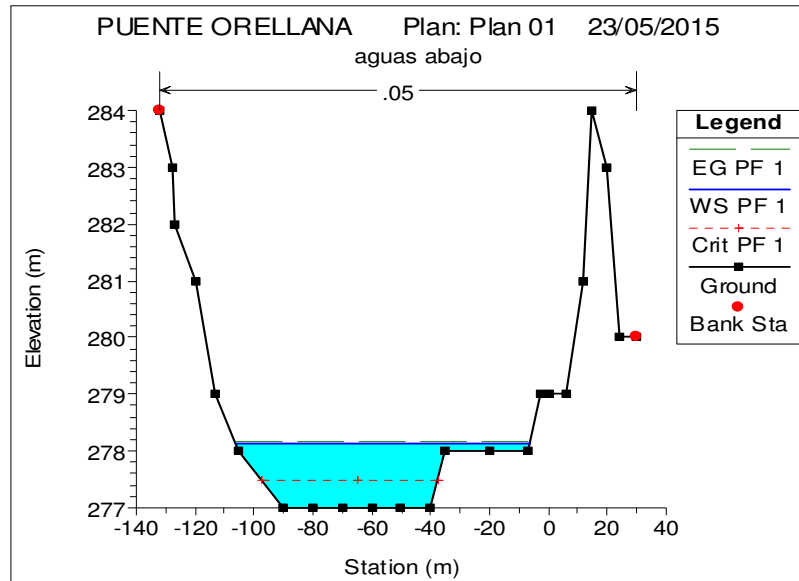
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 30. **Simulación aguas abajo estación Gualán**



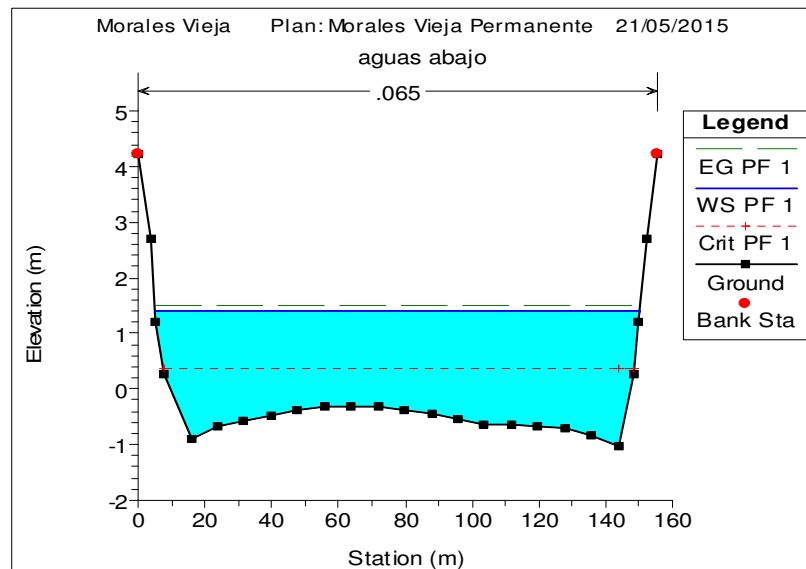
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 31. Simulación aguas abajo estación Puente Orellana



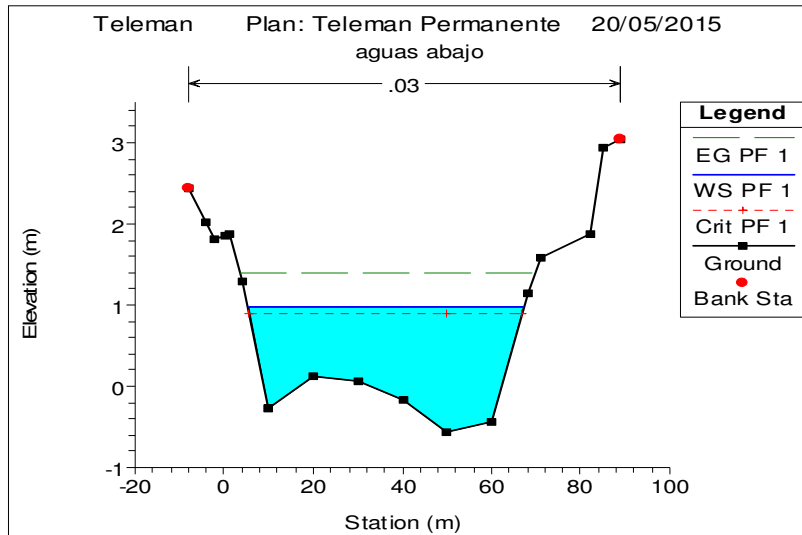
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 32. Simulación aguas abajo estación Morales



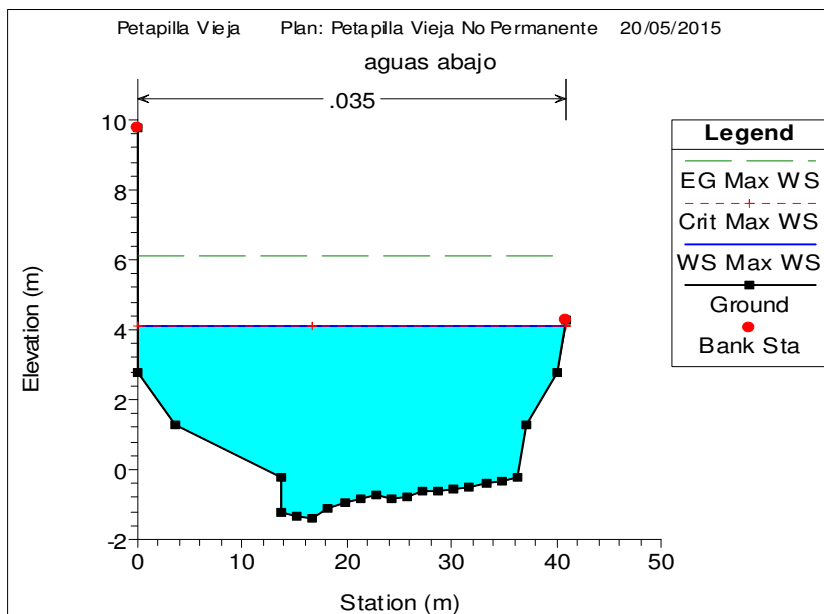
Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 33. Simulación aguas abajo estación Telemán



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.

Figura 34. Simulación aguas abajo estación Petapilla



Fuente: elaboración propia, utilizando el programa HEC-RAS.



#### 5.4. Calibración de datos de aforo

Analizar el cálculo de los caudales de crecidas para encontrar la relación con el caudal, especialmente con el volumen de agua y los niveles alcanzados, para luego relacionarlos y compararlos con los aforos realizados en campo para cada río, con los caudales calculados por medio de la ecuación obtenida al realizar la calibración de la curva de descarga para todas las estaciones. A continuación se presentan los valores tabulados para una regresión no lineal con la que se logro calibrar los datos presentados inicialmente correspondientes a aforos en ríos pertenecientes a la vertiente del Mar Caribe en la República de Guatemala

Tabla XXXIX. Datos calibrados en estación Vado Hondo

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
08-03-02	0,220	1,190	0,441	-0,356	0,076	0,633	0,557	0,63
08-03-02	0,220	1,210	0,441	-0,356	0,083	0,633	0,577	0,63
27-06-02	0,495	3,120	0,716	-0,145	0,494	5,399	-2,279	5,40
12-09-02	0,340	2,766	0,561	-0,251	0,442	1,655	1,111	1,66
11-10-02	0,420	3,197	0,641	-0,193	0,505	3,072	0,125	3,07
25-10-02	0,280	1,400	0,501	-0,300	0,146	1,029	0,371	1,03
19-02-03	0,170	0,990	0,391	-0,408	-0,004	0,418	0,572	0,42
21-05-03	0,220	1,120	0,441	-0,356	0,049	0,633	0,487	0,63
02-07-03	0,440	3,969	0,661	-0,180	0,599	3,576	0,394	3,58
20-08-03	0,450	4,423	0,671	-0,173	0,646	3,856	0,567	3,86
20-11-03	0,250	1,616	0,471	-0,327	0,209	0,808	0,809	0,81
24-2-04	0,210	1,170	0,431	-0,366	0,068	0,583	0,587	0,58
1-4-04	0,190	1,110	0,411	-0,386	0,045	0,494	0,616	0,49
13-7-04	0,410	3,824	0,631	-0,200	0,582	2,846	0,978	2,85
6-12-04	0,240	2,090	0,461	-0,336	0,320	0,745	1,345	0,74
04-08-05	0,360	2,987	0,550	-0,260	0,475	1,935	1,052	1,94
10-09-05	0,550	5,230	0,740	-0,131	0,719	8,091	-2,861	8,09

Continuación de la tabla XXXIX.

18-03-06	0,210	1,120	0,400	-0,398	0,049	0,583	0,537	0,58
22-08-06	0,490	4,083	0,680	-0,167	0,611	5,203	-1,120	5,20
26-02-07	0,120	0,770	0,310	-0,509	-0,114	1,656	-0,886	1,66
20-06-07	0,295	1,800	0,485	-0,314	0,255	3,965	-2,165	3,96
01-03-08	0,090	0,713	0,280	-0,553	-0,147	1,379	-0,665	1,38
05-06-08	0,170	0,983	0,360	-0,444	-0,007	2,191	-1,209	2,19
30-09-08	0,690	7,560	0,880	-0,056	0,879	14,553	-6,993	14,55
30-10-08	0,260	1,670	0,450	-0,347	0,223	3,402	-1,732	3,40
24-04-10	0,030	0,540	0,480	-0,319	-0,268	0,915	-0,375	0,89
19-04-12	-0,100	0,450	0,350	-0,456	-0,347	0,436	0,014	0,42
21-08-12	0,150	0,890	0,600	-0,222	-0,051	0,946	-0,056	0,94
22-02-13	-0,180	0,375	0,270	-0,569	-0,426	0,301	0,074	0,29
24-04-13	-0,220	0,209	0,230	-0,638	-0,681	0,239	-0,030	0,22
31-07-13	0,010	0,650	0,460	-0,337	-0,187	0,646	0,004	0,64
11-09-13	0,190	1,240	0,640	-0,194	0,093	1,038	0,202	1,02

Fuente: elaboración propia.

Donde:

- $H + H_0$ , indica la suma del nivel de agua del aforo más el nivel mínimo de agua.
- $\text{Log}(H + H_0)$ , representa el valor del logaritmo de la suma de  $H$  y  $H_0$ .
- $\text{Log}(Q)$ , representa el valor del logaritmo del aforo realizado en campo,
- $Q$  ecuación, indica el valor de caudal obtenido de la ecuación de descarga.
- Diferencia, representa la resta del aforo con el caudal de ecuación obtenido.
- Sim, representa el valor de caudal obtenido mediante la simulación en HEC-RAS.

Tabla XL. Datos calibrados en estación Camotán

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
08-03-02	0,660	7,020	2,710	0,433	0,846	6,564	0,456	6,56
08-03-02	0,660	6,960	2,710	0,433	0,843	6,564	0,397	6,56
27-06-02	0,855	16,547	2,905	0,463	1,219	13,586	2,961	13,59
12-09-02	1,200	48,344	3,250	0,512	1,684	34,236	14,108	34,24
11-10-02	1,000	22,292	3,050	0,484	1,348	20,896	1,396	20,90
25-10-02	0,770	9,121	2,820	0,450	0,960	10,150	-1,029	10,15
20-02-03	0,815	12,596	2,865	0,457	1,100	11,894	0,702	11,89
21-05-03	0,620	5,540	2,670	0,427	0,744	5,486	0,055	5,49
02-07-03	1,020	20,120	3,070	0,487	1,304	22,054	-1,934	22,05
21-08-03	0,910	18,302	2,960	0,471	1,262	16,137	2,165	16,14
21-11-03	1,205	36,450	3,255	0,513	1,562	34,621	1,829	34,62
24-02-04	0,700	11,685	2,750	0,439	1,068	7,760	3,926	7,76
01-04-04	0,630	7,021	2,680	0,428	0,846	5,745	1,277	5,74
13-07-04	1,030	27,532	3,080	0,489	1,440	22,648	4,884	22,65
07-12-04	0,900	15,452	2,950	0,470	1,189	15,654	-0,202	15,65
22-03-05	0,700	9,174	2,750	0,439	0,963	7,760	1,414	7,76
04-08-05	1,070	29,100	3,120	0,494	1,464	25,118	3,982	25,12
09-09-05	1,430	58,386	3,480	0,542	1,766	54,712	3,674	54,71
18-10-05	1,370	39,788	3,420	0,534	1,600	48,812	-9,024	48,81
18-03-06	0,810	10,010	2,860	0,456	1,000	11,692	-1,682	11,69
22-08-06	1,350	53,432	3,400	0,531	1,728	46,935	6,498	46,93
26-02-07	0,800	9,671	0,990	-0,004	0,985	11,294	-1,623	11,29
20-06-07	1,000	19,904	1,190	0,076	1,299	20,896	-0,992	20,90
01-03-08	1,050	16,700	1,240	0,093	1,223	13,925	2,775	13,93
05-06-08	1,150	23,000	1,340	0,127	1,362	19,570	3,430	19,57
01-10-08	2,090	139,109	2,280	0,358	2,143	139,091	0,018	139,09
07-07-09	1,440	42,814	1,630	0,212	1,632	42,861	-0,047	42,86
24-04-10	0,940	12,300	1,130	0,053	1,090	8,990	3,310	8,99
20-04-12	0,870	11,200	1,060	0,025	1,049	11,223	-0,023	11,20
21-08-12	2,800	312,000	2,990	0,476	2,494	310,726	1,274	310,70
31-07-13	0,850	10,607	1,040	0,017	1,026	10,559	0,048	10,50
12-09-13	1,470	44,748	1,660	0,220	1,651	47,201	-2,453	47,20

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Datos calibrados en estación Panajax**

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
19-07-07	0,100	16,990	0,750	-0,125	1,230	12,969	4,021	11,94
06-10-11	1,135	124,883	1,785	0,252	2,097	105,802	19,081	104,79
20-08-12	0,680	41,000	1,330	0,124	1,613	51,899	-10,899	50,90
13-02-13	0,105	11,000	0,755	-0,122	1,041	13,179	-2,179	12,18
30-08-13	0,480	31,292	1,130	0,053	1,495	34,982	-3,690	33,90
09-10-13	0,485	38,769	1,135	0,055	1,588	35,357	3,412	34,33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Datos calibrados en estación Concuá**

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
28-06-04	0,710	19,744	1,810	0,258	1,295	21,560	-1,816	19,66
07-07-04	0,900	38,430	2,000	0,301	1,585	42,854	-4,423	38,32
21-04-05	0,270	4,163	1,370	0,137	0,619	3,171	0,992	3,48
19-04-06	0,350	3,800	1,450	0,161	0,580	4,686	-0,886	4,87
24-05-06	0,570	13,577	1,670	0,223	1,133	12,389	1,188	11,68
21-02-07	0,460	6,933	1,560	0,193	0,841	7,751	-0,818	7,61
27-06-07	0,700	17,897	1,800	0,255	1,253	20,753	-2,856	18,95
31-07-13	0,900	57,974	2,000	0,301	1,763	42,854	15,120	41,19

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Datos calibrados en estación Modesto Méndez**

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
21-08-02	2,990	89,203	2,380	0,377	1,950	92,135	-2,932	92,05
22-05-03	0,760	1,876	0,150	-0,824	0,273	1,856	0,020	1,77
17-06-03	0,960	6,072	0,350	-0,456	0,783	6,144	-0,072	6,05
03-07-03	0,940	5,983	0,330	-0,481	0,777	5,654	0,329	5,56
25-09-03	1,200	14,461	0,590	-0,229	1,160	12,847	1,614	12,76
19-11-03	1,685	31,806	1,075	0,031	1,503	29,981	1,825	29,89
22-04-04	0,945	5,627	0,335	-0,475	0,750	5,775	-0,149	5,69
12-08-04	1,090	8,063	0,480	-0,319	0,906	9,599	-1,536	9,51
25-06-05	3,020	98,898	2,730	0,436	1,995	106,579	-7,682	106,490
08-09-05	1,670	52,220	1,380	0,140	1,718	35,657	16,563	35,568
17-03-06	1,000	7,213	0,710	-0,149	0,858	12,272	-5,060	12,183
24-02-07	0,630	8,951	0,340	-0,469	0,952	3,764	5,187	3,675
15-08-07	1,980	53,878	1,690	0,228	1,731	49,363	4,515	49,274
29-02-08	1,270	15,458	0,980	-0,009	1,189	20,586	-5,128	20,497
03-10-08	1,840	49,221	1,550	0,190	1,692	42,966	6,255	42,877
15-05-09	1,560	30,764	1,270	0,104	1,488	31,207	-0,442	31,118
22-04-10	0,780	3,173	0,490	-0,310	0,501	6,767	-3,594	6,678
28-10-11	1,630	41,265	1,340	0,127	1,616	34,013	7,252	33,924
26-02-12	1,275	13,564	1,725	0,237	1,132	15,213	-1,649	15,124
29-05-12	1,540	23,546	1,990	0,299	1,372	24,432	-0,886	24,343
06-11-12	1,510	26,007	1,960	0,292	1,415	23,326	2,681	23,237
14-03-13	0,890	3,754	1,340	0,127	0,575	4,483	-0,729	4,394
17-04-13	0,810	2,208	1,260	0,100	0,344	2,787	-0,579	2,698
02-08-13	1,845	40,657	2,295	0,361	1,609	36,473	4,185	36,384
13-09-13	1,685	34,629	2,135	0,329	1,539	29,981	4,648	29,892

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Datos calibrados en estación San Pedro Cadenas**

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
3/07/2003	0,56	14,87	1,16	0,064	1,172	12,358	2,512	12,27
25/09/2003	0,8	26,639	1,4	0,146	1,426	26,269	0,37	26,18
22/04/2004	0,55	10,877	1,15	0,061	1,036	11,835	-0,958	11,75
30/06/2004	3,935	324,513	4,535	0,657	2,511	316,161	8,353	316,07
13/08/2004	0,7	17,44	1,3	0,114	1,242	20,182	-2,742	20,09
25/06/2005	3,625	245,9	4,225	0,626	2,391	282,361	-36,461	282,27
8/09/2005	1,44	79,358	2,04	0,31	1,9	72,236	7,122	72,15
17/03/2006	0,59	14,762	1,19	0,076	1,169	13,958	0,804	13,87
24/02/2007	0,64	14,424	1,24	0,093	1,159	16,72	-2,296	16,63
16/08/2007	1,52	75,79	2,12	0,326	1,88	78,657	-2,867	78,57
29/02/2008	0,865	28,554	1,465	0,166	1,456	30,417	-1,863	30,33
3/10/2008	1,68	90,249	2,28	0,358	1,955	91,87	-1,621	91,78
15/05/2009	1,07	49,331	1,67	0,223	1,693	44,354	4,977	44,27
23/04/2010	0,48	9,544	1,08	0,033	0,98	8,333	1,211	8,24
28/10/2011	1,31	66,398	1,91	0,281	1,822	62,084	4,314	61,99
20/01/2012	1,37	67	1,97	0,294	1,826	66,725	0,275	66,64
26/02/2012	0,87	29,474	1,47	0,167	1,469	30,742	-1,268	30,65
29/05/2012	1,07	61,799	1,67	0,223	1,791	44,354	17,445	44,27
6/11/2012	1,03	40,307	1,63	0,212	1,605	41,541	-1,234	41,45
17/04/2013	0,43	13,657	1,03	0,013	1,135	12,437	1,22	12,35
2/08/2013	1,475	71,832	2,075	0,317	1,856	63,195	8,637	63,11
13/09/2013	1,405	64,87	2,005	0,302	1,812	58,357	6,514	58,27
30/10/2013	4,05	319,124	4,65	0,667	2,504	411,137	-92,014	411,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. Datos calibrados en estación Matucuy

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
06-02-02	0,190	29,788	1,860	0,270	1,474	31,350	1,562	30,22
20-03-02	-0,100	13,659	1,570	0,196	1,135	14,548	0,889	14,22
20-03-02	-0,100	15,940	1,570	0,196	1,202	14,548	-1,392	14,22
18-04-02	-0,170	12,000	1,500	0,176	1,079	11,833	-0,167	11,62
25-06-02	0,270	35,157	1,940	0,288	1,546	37,939	2,781	36,49
20-08-02	0,300	35,780	1,970	0,294	1,554	40,669	4,890	39,09
20-09-02	0,310	40,113	1,980	0,297	1,603	41,613	1,500	39,98
04-10-02	0,600	78,000	2,270	0,356	1,892	77,287	-0,713	73,94
11-12-02	0,160	29,046	1,830	0,262	1,463	29,124	0,079	28,10
30-04-03	-0,120	13,902	1,550	0,190	1,143	13,727	-0,175	13,43
18-07-03	0,540	67,866	2,210	0,344	1,832	68,456	0,589	65,53
24-09-03	0,420	51,210	2,090	0,320	1,709	53,160	1,950	50,97
19-11-03	0,350	40,248	2,020	0,305	1,605	45,559	5,311	43,74
21-04-04	0,010	21,000	1,680	0,225	1,322	19,771	-1,229	19,20
29-06-04	0,765	96,715	2,435	0,386	1,985	106,202	9,487	98,72
12-08-04	0,230	31,171	1,900	0,279	1,494	34,522	3,351	33,24
24-06-05	1,270	287,239	2,940	0,468	2,458	249,383	-37,856	290,93
07-09-05	0,525	73,433	2,195	0,341	1,866	66,376	-7,057	62,90
27-10-05	0,180	35,431	1,850	0,267	1,549	30,594	-4,837	29,50
13-12-05	0,210	34,361	1,880	0,274	1,536	32,906	-1,455	31,70
08-02-06	0,430	52,947	2,100	0,322	1,724	54,322	1,375	52,07
16-03-06	0,010	19,583	1,680	0,225	1,292	19,771	0,188	19,20
19-05-06	-0,030	19,888	1,640	0,215	1,299	17,726	-2,162	17,25
13-06-06	0,585	73,882	2,255	0,353	1,869	75,000	1,118	71,76
11-10-06	0,790	111,000	2,460	0,391	2,045	111,231	0,231	106,32
06-12-06	0,690	96,000	2,360	0,373	1,982	92,170	-3,830	88,13
23-02-07	0,090	22,658	0,740	-0,131	1,355	25,328	2,669	23,62
29-05-07	0,120	28,380	0,770	-0,114	1,453	27,669	-0,712	25,46
14-08-07	0,905	152,471	1,555	0,192	2,183	132,141	-20,330	130,77
11-10-07	0,360	44,000	1,010	0,004	1,643	50,596	6,596	44,72
21-01-08	0,100	25,000	0,750	-0,125	1,398	26,095	1,095	24,22
27-02-08	-0,060	17,675	0,590	-0,229	1,247	15,301	-2,374	15,89
12-06-08	0,360	47,579	1,010	0,004	1,677	50,596	3,017	44,72
14-05-09	0,400	47,605	1,050	0,021	1,678	55,163	7,558	48,81
21-04-10	0,030	22,369	0,680	-0,167	1,350	20,984	-1,384	20,24
19-05-11	-0,035	17,036	0,615	-0,211	1,231	16,781	-0,254	17,02
13-03-13	-0,010	19,000	0,640	-0,194	1,279	18,337	-0,663	0,18
20-08-13	0,270	37,803	0,920	-0,036	1,578	41,110	3,307	0,40
23-09-13	0,510	80,756	1,160	0,064	1,907	68,850	-11,906	0,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. Datos calibrados en estación Chiché

Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
0,040	0,325	0,650	-0,187	-0,488	0,182	0,143	0,18
0,040	0,323	0,650	-0,187	-0,491	0,182	0,140	0,18
0,260	2,308	0,870	-0,060	0,363	1,771	0,537	1,77
0,130	0,890	0,740	-0,131	-0,051	0,635	0,255	0,63
0,020	0,320	0,630	-0,201	-0,494	0,119	0,201	0,12
0,130	0,991	0,740	-0,131	-0,004	0,635	0,356	0,63
0,040	0,302	0,650	-0,187	-0,519	0,182	0,120	0,18
0,400	3,909	1,010	0,004	0,592	3,632	0,277	3,63
0,090	0,465	0,700	-0,155	-0,333	0,400	0,065	0,40
0,490	5,181	1,100	0,041	0,714	5,178	0,003	5,18
0,080	0,349	0,690	-0,161	-0,458	0,350	-0,001	0,35
0,220	1,407	0,830	-0,081	0,148	1,361	0,047	1,36
0,150	0,735	0,760	-0,119	-0,134	0,773	-0,037	0,77
0,230	0,890	0,840	-0,076	-0,051	1,458	-0,568	1,46
0,080	0,374	0,690	-0,161	-0,427	0,350	0,024	0,35
0,290	1,230	0,900	-0,046	0,090	2,114	-0,884	2,11
0,160	0,620	0,770	-0,114	-0,207	0,774	-0,154	0,77
0,360	1,961	0,970	-0,013	0,292	2,443	-0,482	0,02
0,130	0,614	0,740	-0,131	-0,212	0,636	-0,021	0,01
0,330	2,080	0,940	-0,027	0,318	2,089	-0,009	0,02
0,570	6,315	1,180	0,072	0,800	6,475	-0,160	0,06

Fuente: elaboración propia.



Tabla XLVII. Datos calibrados en estación Gualán

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
13-09-02	1,950	236,404	1,821	0,260	2,374	225,803	10,601	225,80
10-10-02	1,680	192,712	1,551	0,191	2,285	153,127	39,585	153,13
20-02-03	0,870	34,005	0,741	-0,130	1,532	25,660	8,345	25,66
21-05-03	0,770	36,231	0,641	-0,193	1,559	18,078	18,154	18,08
01-07-03	1,505	163,985	1,376	0,139	2,215	114,616	49,369	114,62
20-08-03	1,460	130,565	1,331	0,124	2,116	105,756	24,809	105,76
26-09-03	1,925	296,547	1,796	0,254	2,472	218,373	78,174	218,37
20-11-03	1,630	143,838	1,501	0,176	2,158	141,454	2,384	141,45
26-02-04	0,805	20,902	2,625	0,419	1,320	20,924	-0,022	20,92
06-03-04	0,780	19,739	2,600	0,415	1,295	18,766	0,973	18,77
01-07-04	1,835	251,519	3,655	0,563	2,401	194,195	57,324	194,19
14-07-04	1,820	243,853	3,640	0,561	2,387	188,747	55,106	188,75
08-06-05	0,640	25,000	2,460	0,391	1,398	10,458	14,542	10,46
27-06-05	3,720	1496,558	5,540	0,744	3,175	1442,744	53,815	1442,74
04-08-05	1,525	130,330	3,345	0,524	2,115	118,688	11,642	118,69
09-09-05	2,395	303,742	4,215	0,625	2,483	383,325	-79,582	383,32
28-10-05	1,780	147,947	3,600	0,556	2,170	178,122	-30,175	178,12
17-03-06	0,860	19,941	2,680	0,428	1,300	24,831	-4,890	24,83
23-08-06	2,055	222,439	3,875	0,588	2,347	258,618	-36,179	258,62
30-11-06	1,350	53,134	3,170	0,501	1,725	85,838	-32,703	85,84
25-02-07	0,880	25,662	2,700	0,431	1,409	26,933	-1,270	26,93
21-06-07	1,600	71,251	3,420	0,534	1,853	134,710	-63,459	134,71
16-08-07	2,480	427,134	4,300	0,633	2,631	427,750	-0,616	427,75
01-03-08	0,865	30,765	1,315	0,119	1,488	25,243	5,522	25,24
06-06-08	1,445	107,051	1,895	0,278	2,030	102,896	4,155	102,90
03-10-08	3,525	1111,038	3,975	0,599	3,046	1197,543	-86,505	1197,54
16-05-09	2,010	248,770	2,460	0,391	2,396	244,234	4,536	244,23
08-07-09	2,140	343,726	2,590	0,413	2,536	287,116	56,610	287,12
23-04-10	1,500	90,000	1,950	0,290	1,954	113,611	-23,611	113,61
16-08-11	1,790	245,000	2,240	0,350	2,389	180,745	64,255	180,74
26-11-11	1,700	118,232	2,150	0,332	2,073	157,949	-39,718	157,95
06-11-12	1,210	104,469	1,660	0,220	2,019	71,910	32,559	0,72
19-04-13	0,620	17,207	1,070	0,029	1,236	15,984	1,223	0,16

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. Datos calibrados en estación Puente Orellana

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
08-02-02	0,170	13,288	1,146	0,059	1,123	10,929	-2,359	9,95
25-02-02	0,150	11,553	1,126	0,052	1,063	10,287	-1,266	9,31
27-02-02	0,150	10,655	1,126	0,052	1,028	10,287	-0,368	9,31
21-03-02	0,110	9,016	1,086	0,036	0,955	9,083	0,067	8,11
21-03-02	0,110	9,368	1,086	0,036	0,972	9,083	-0,285	8,11
19-08-02	0,460	28,850	1,436	0,157	1,460	23,744	-5,106	22,77
10-10-02	0,975	45,610	1,951	0,290	1,659	68,135	22,525	67,16
20-05-03	0,350	17,683	1,326	0,123	1,248	18,051	0,368	17,07
18-11-03	0,600	37,937	1,576	0,198	1,579	32,697	-5,239	31,72
23-02-04	0,225	16,308	1,201	0,080	1,212	12,841	-3,467	11,86
02-04-04	0,145	11,943	1,121	0,050	1,077	10,130	-1,812	9,15
01-07-04	0,880	76,119	1,856	0,269	1,881	57,385	-18,734	56,41
14-07-04	0,940	86,917	1,916	0,282	1,939	64,022	-22,895	63,04
06-12-04	0,380	21,732	1,356	0,132	1,337	19,495	-2,237	18,52
08-06-05	0,640	40,467	1,616	0,208	1,607	35,641	-4,825	34,66
22-06-05	0,735	56,732	1,711	0,233	1,754	43,380	-13,352	42,40
05-08-05	0,710	67,730	1,686	0,227	1,831	41,238	-26,492	40,26
10-09-05	0,960	81,098	1,936	0,287	1,909	66,350	-14,748	65,37
28-10-05	0,590	50,753	1,566	0,195	1,705	31,989	-18,764	31,01
07-02-06	0,265	21,557	1,241	0,094	1,334	14,373	-7,184	13,39
15-03-06	0,170	16,197	1,146	0,059	1,209	10,929	-5,268	9,95
23-08-06	0,790	95,999	1,766	0,247	1,982	48,367	-47,632	47,39
26-02-07	0,170	9,689	1,146	0,059	0,986	10,929	1,240	9,95
26-02-07	0,170	3,780	1,146	0,059	0,577	10,929	7,149	9,95
21-06-07	0,345	10,000	1,321	0,121	1,000	17,818	7,818	16,84
21-06-07	0,345	24,000	1,321	0,121	1,380	17,818	-6,182	16,84
16-08-07	0,800	95,393	1,776	0,249	1,980	49,316	-46,077	48,34
15-11-07	0,310	29,472	1,286	0,109	1,469	16,246	-13,226	15,27
02-03-08	0,140	13,956	1,116	0,048	1,145	9,976	-3,980	9,00
11-06-08	0,715	81,162	1,691	0,228	1,909	41,660	-39,502	40,68
30-10-08	0,535	77,518	1,511	0,179	1,889	28,288	-49,230	27,31
12-05-09	0,755	126,086	1,731	0,238	2,101	45,149	-80,937	44,17
08-07-09	0,980	189,445	1,956	0,291	2,277	68,737	-120,708	67,76
20-04-10	0,320	57,907	1,296	0,113	1,763	16,685	-41,222	15,71
17-02-11	0,985	56,000	1,961	0,292	1,748	69,344	13,344	68,37
27-02-12	1,080	56,000	2,056	0,313	1,748	81,597	25,597	80,62
19-04-13	0,760	34,000	1,736	0,240	1,531	45,599	11,599	44,62

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Datos calibrados en estación Morales**

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
23-05-03	-0,030	49,579	1,510	0,179	1,695	44,247	5,331	39,51
18-06-03	0,570	103,337	2,110	0,324	2,014	103,232	0,104	117,64
03-07-03	1,015	160,683	2,555	0,407	2,206	167,592	-6,909	198,45
26-09-03	1,690	344,972	3,230	0,509	2,538	303,425	41,547	355,48
20-11-03	1,330	222,117	2,870	0,458	2,347	224,959	-2,841	266,70
25-02-04	0,425	87,996	1,965	0,293	1,944	86,203	1,793	94,68
22-04-04	0,070	50,007	1,610	0,207	1,699	52,048	-2,041	49,93
01-07-04	1,025	223,581	2,565	0,409	2,349	169,258	54,323	201,50
26-06-05	2,580	607,587	4,120	0,615	2,784	561,929	45,659	622,18
08-09-05	2,580	640,243	4,120	0,615	2,806	561,929	78,314	612,13
17-03-06	1,220	178,000	2,760	0,441	2,250	203,763	-25,763	241,85
25-02-07	0,280	71,838	1,820	0,260	1,856	70,995	0,843	75,27
16-08-07	1,980	381,523	3,520	0,547	2,582	377,225	4,298	435,12
29-02-08	0,210	75,442	1,750	0,243	1,878	64,283	11,159	66,31
06-06-08	0,865	173,009	2,405	0,381	2,238	143,788	29,222	169,13
03-10-08	3,270	858,196	4,810	0,682	2,934	831,686	26,510	873,22
16-05-09	1,245	298,113	2,785	0,445	2,474	208,469	89,644	247,41
16-04-13	0,050	46,242	1,590	0,201	1,665	50,426	-4,184	45,63

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. Datos calibrados en estación Telemán

Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
06-02-02	0,590	79,849	2,360	0,373	1,902	33,781	46,068	34,76
20-03-02	0,280	26,125	2,050	0,312	1,417	23,208	2,917	24,19
20-03-02	0,280	27,374	2,050	0,312	1,437	23,208	4,166	24,19
18-04-02	0,210	19,900	1,980	0,297	1,299	21,155	-1,255	22,13
23-05-02	0,345	24,356	2,115	0,325	1,387	25,222	-0,866	26,20
25-06-02	1,170	77,411	2,940	0,468	1,889	60,684	16,727	61,66
20-08-02	1,200	73,817	2,970	0,473	1,868	62,349	11,469	63,33
21-08-02	1,135	67,640	2,905	0,463	1,830	58,777	8,863	59,76
19-09-02	1,210	74,305	2,980	0,474	1,871	62,910	11,395	63,89
11-12-02	0,800	50,158	2,570	0,410	1,700	42,399	7,759	43,38
01-05-03	0,300	24,731	2,070	0,316	1,393	23,817	0,914	24,79
18-07-03	1,580	109,498	3,350	0,525	2,039	85,943	23,555	86,92
19-07-03	1,515	107,865	3,285	0,517	2,033	81,570	26,296	82,55
25-09-03	1,350	95,838	3,120	0,494	1,982	71,100	24,739	72,08
19-11-03	1,270	72,904	3,040	0,483	1,863	66,343	6,560	67,32
21-04-04	0,500	28,702	2,270	0,356	1,458	30,455	-1,753	31,43
30-06-04	2,160	172,223	3,930	0,594	2,236	131,544	40,679	132,52
12-08-04	1,095	64,363	2,865	0,457	1,809	56,644	7,719	57,62
07-09-05	2,030	209,341	3,800	0,580	2,321	120,262	89,078	121,24
27-10-05	1,270	64,655	3,040	0,483	1,811	66,343	-1,688	67,32
08-02-06	1,520	66,209	3,290	0,517	1,821	81,901	-15,692	82,88
16-03-06	1,100	41,000	2,870	0,458	1,613	56,908	-15,908	57,89
19-05-06	1,120	39,000	2,890	0,461	1,591	57,972	-18,972	58,95
13-06-06	2,115	137,866	3,885	0,589	2,139	127,567	10,298	128,55
11-10-06	1,690	173,209	3,460	0,539	2,239	93,673	79,535	94,65
30-05-07	0,840	37,747	2,610	0,417	1,577	44,181	-6,435	45,16
15-08-07	2,590	188,893	4,360	0,639	2,276	173,492	15,401	174,47
12-10-07	1,680	84,755	3,450	0,538	1,928	92,953	-8,198	93,93
28-02-08	0,800	43,005	2,570	0,410	1,634	42,399	0,606	43,38
12-06-08	1,515	81,239	3,285	0,517	1,910	81,570	-0,331	82,55
07-08-08	2,440	186,325	4,210	0,624	2,270	158,033	28,291	159,01
15-05-09	2,700	149,844	4,470	0,650	2,176	185,406	-35,562	186,38
22-04-10	1,610	67,000	3,380	0,529	1,826	88,010	-21,010	88,99
18-05-11	0,690	29,899	2,460	0,391	1,476	37,733	-7,834	38,71
27-10-11	2,850	167,000	4,620	0,665	2,223	202,459	-35,459	203,44
25-02-12	1,050	35,971	2,820	0,450	1,556	54,304	-18,333	55,28
14-11-12	1,535	65,510	3,305	0,519	1,816	82,900	-17,390	83,88
13-03-13	0,820	19,790	2,590	0,413	1,296	43,285	-23,495	44,26
16-04-13	0,590	28,000	2,360	0,373	1,447	33,781	-5,781	34,76
20-08-13	1,060	78,461	2,830	0,452	1,895	54,818	23,643	55,80
23-09-13	1,160	130,502	2,930	0,467	2,116	60,135	70,367	61,11

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. Datos calibrados en estación Petapilla

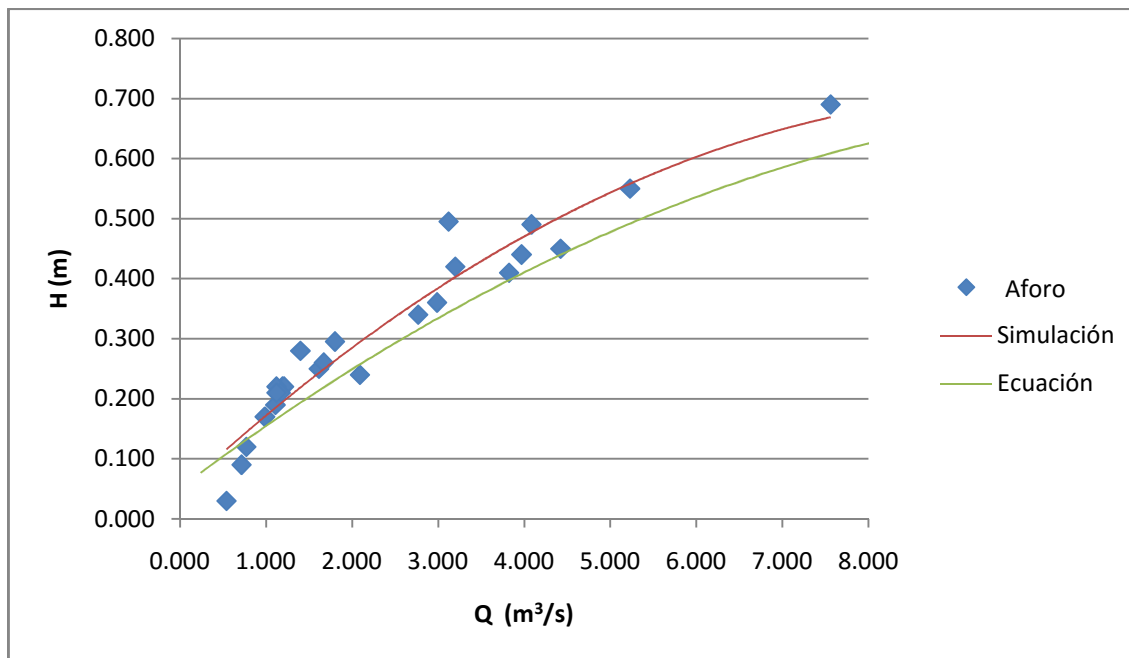
Fecha	Escala	Aforo	H + ho	Log (h + ho)	Log (q)	Q ecuación	Diferencia	Sim
08-03-02	0,390	1,430	0,275	-0,561	0,155	1,591	-0,161	2,79
08-03-02	0,390	1,560	0,275	-0,561	0,193	1,591	-0,031	2,79
27-06-02	0,595	5,241	0,480	-0,319	0,719	6,089	-0,849	7,29
13-09-02	0,600	5,530	0,485	-0,314	0,743	6,243	-0,714	7,44
25-10-02	0,410	1,948	0,295	-0,530	0,290	1,884	0,064	3,08
19-02-03	0,340	0,990	0,225	-0,648	-0,004	0,981	0,009	2,18
21-05-03	0,420	1,677	0,305	-0,516	0,224	2,041	-0,365	3,24
02-07-03	0,620	9,140	0,505	-0,297	0,961	6,882	2,258	8,08
20-08-03	0,580	6,342	0,465	-0,333	0,802	5,641	0,701	6,84
20-11-03	0,400	1,590	0,285	-0,545	0,201	1,734	-0,143	2,93
23-02-04	0,310	0,647	0,195	-0,710	-0,189	0,695	-0,047	1,89
02-04-04	0,320	1,200	0,205	-0,688	0,079	0,784	0,416	1,98
13-07-04	0,610	6,662	0,495	-0,305	0,824	6,558	0,104	7,76
06-12-04	0,330	0,768	0,215	-0,668	-0,114	0,879	-0,111	2,08
04-08-05	0,560	6,305	2,680	0,428	0,800	7,377	-1,072	8,577
18-03-06	0,300	0,878	2,420	0,384	-0,057	1,490	-0,612	2,690
23-08-06	0,645	9,534	2,765	0,442	0,979	12,033	-2,499	13,233
26-02-07	0,300	0,872	2,420	0,384	-0,059	1,490	-0,618	2,690
21-06-07	0,425	7,091	2,545	0,406	0,851	3,281	3,810	4,481
02-03-08	0,210	1,192	2,330	0,367	0,076	0,823	0,369	2,023
06-06-08	0,460	7,070	2,580	0,412	0,849	4,065	3,005	5,265
24-04-10	0,360	2,389	2,480	0,394	0,378	2,187	0,202	3,387
16-05-11	0,230	1,713	2,350	0,371	0,234	0,941	0,772	2,141
19-04-12	0,460	3,193	2,580	0,412	0,504	4,065	-0,872	5,265
22-02-13	0,290	0,549	2,410	0,382	-0,260	1,397	-0,847	2,597
01-08-13	0,440	4,606	2,560	0,408	0,663	3,598	1,008	4,798

Fuente: elaboración propia.

## 5.5. Generación de curvas de descarga

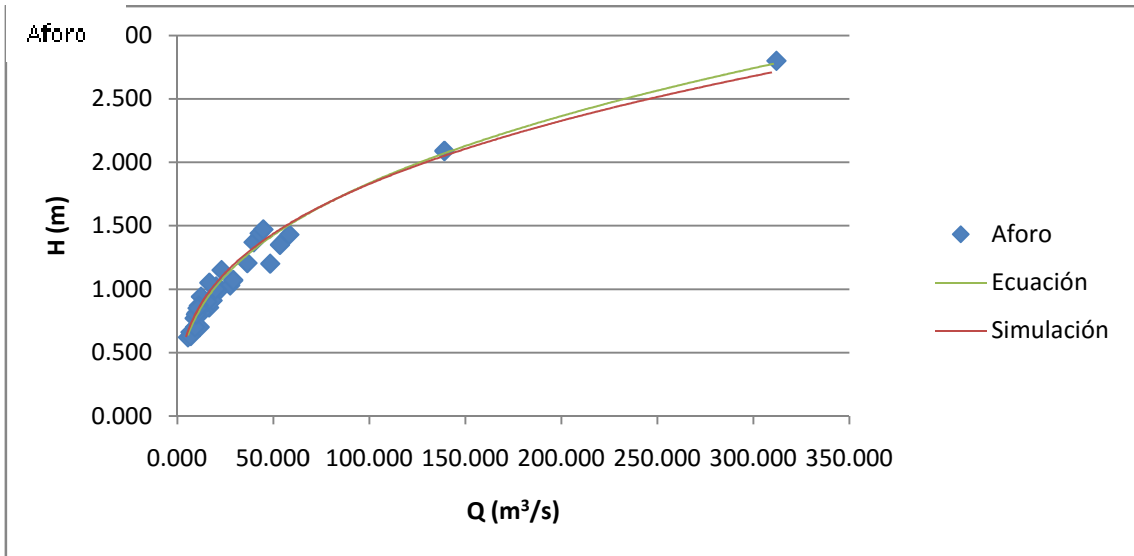
La mayoría de los diseños hidrológicos para estructuras hidráulicas necesitan considerar los caudales máximos extremos. Por razones obvias, la medición directa de estos niveles y caudales extremos rara vez se puede realizar, porque se hace necesario extrapolar la curva de calibración para hallar los caudales que correspondan a estos niveles. A continuación se presentan las curvas de descarga para las estaciones hidrométricas pertenecientes a la vertiente del Mar Caribe.

Figura 35. Curva de descarga en estación Vado Hondo



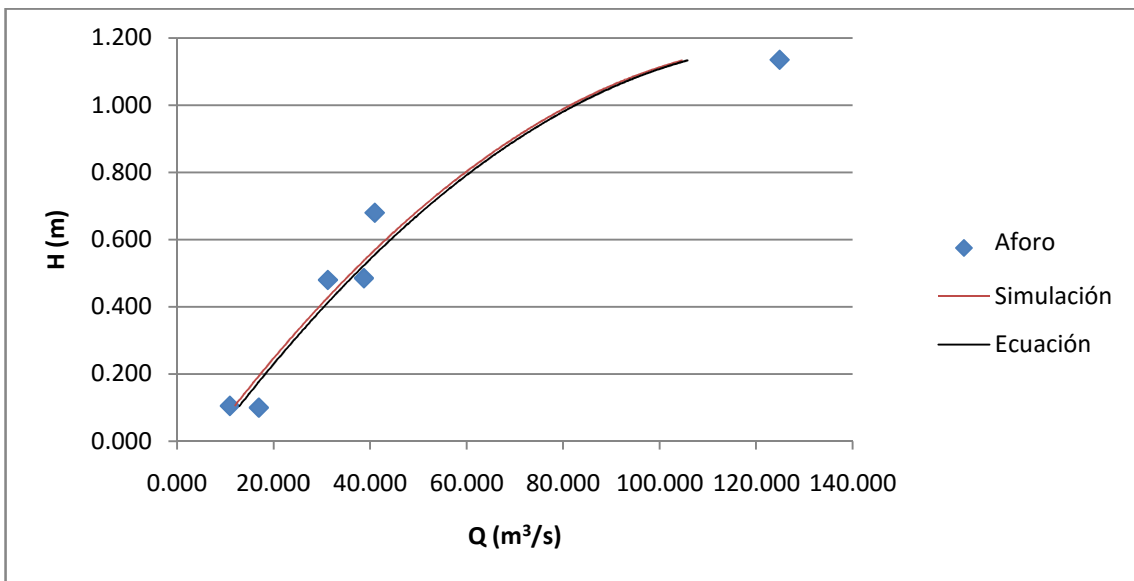
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Curva de descarga en estación Camotán**



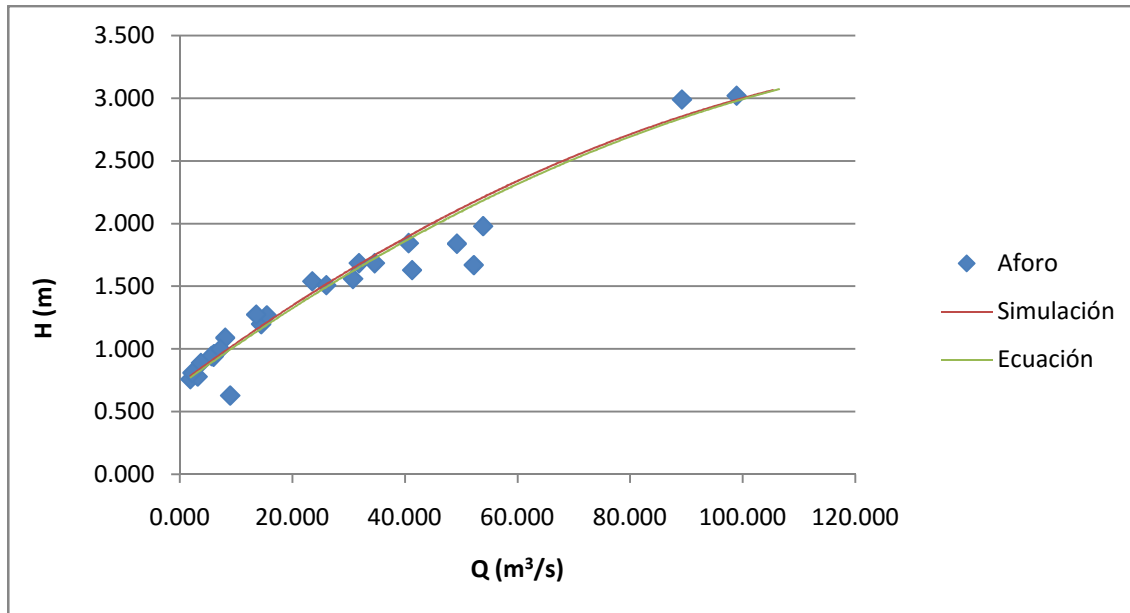
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Curva de descarga en estación Panajax**



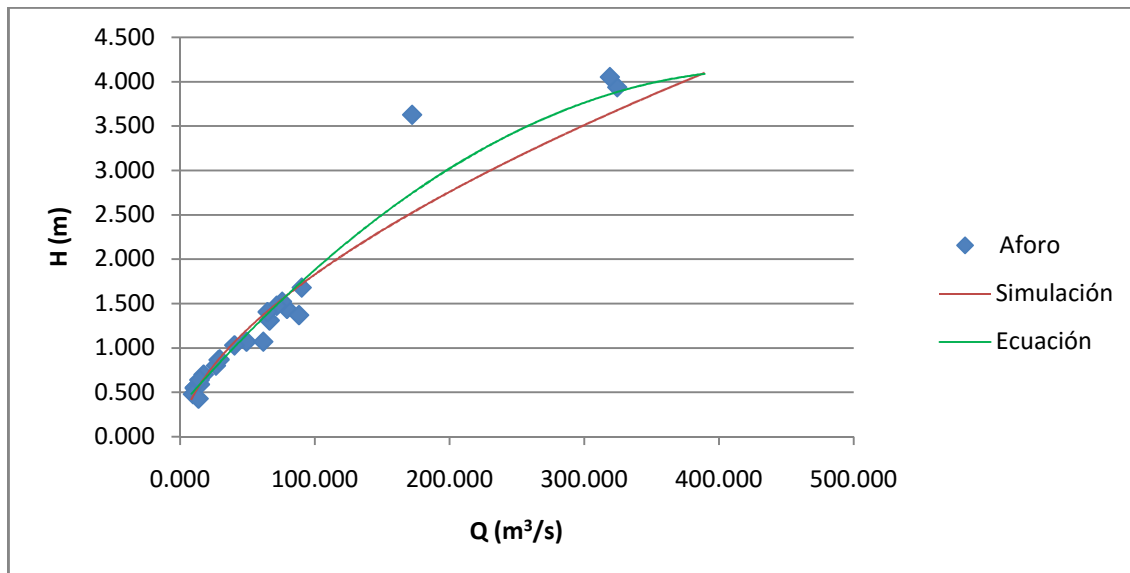
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Curva de descarga en estación Modesto Méndez**



Fuente: elaboración propia.

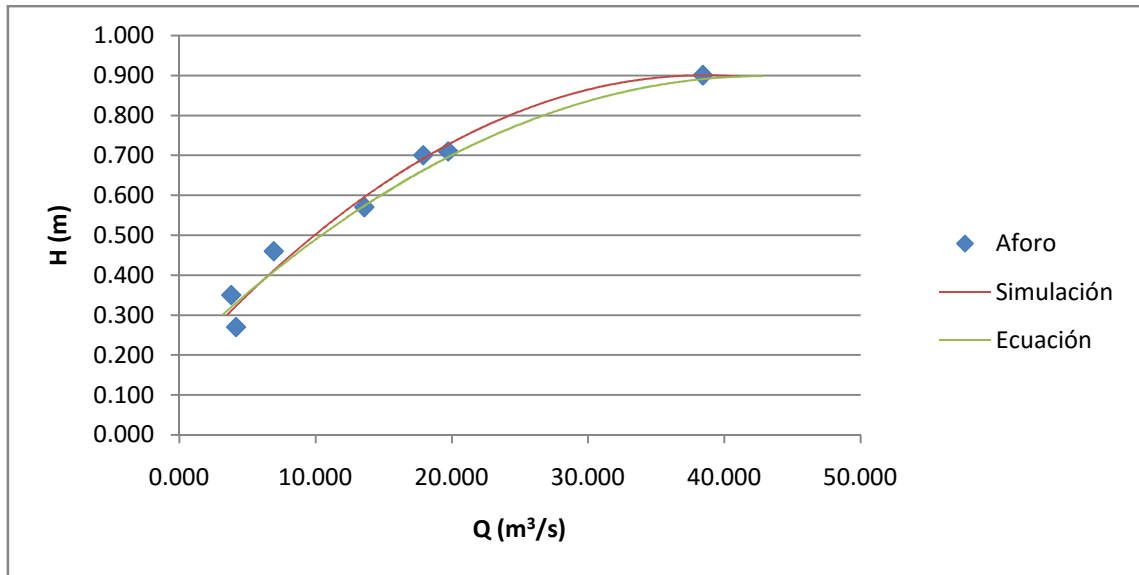
Figura 39. **Curva de descarga en estación San Pedro Cadenas**



Fuente: elaboración propia.

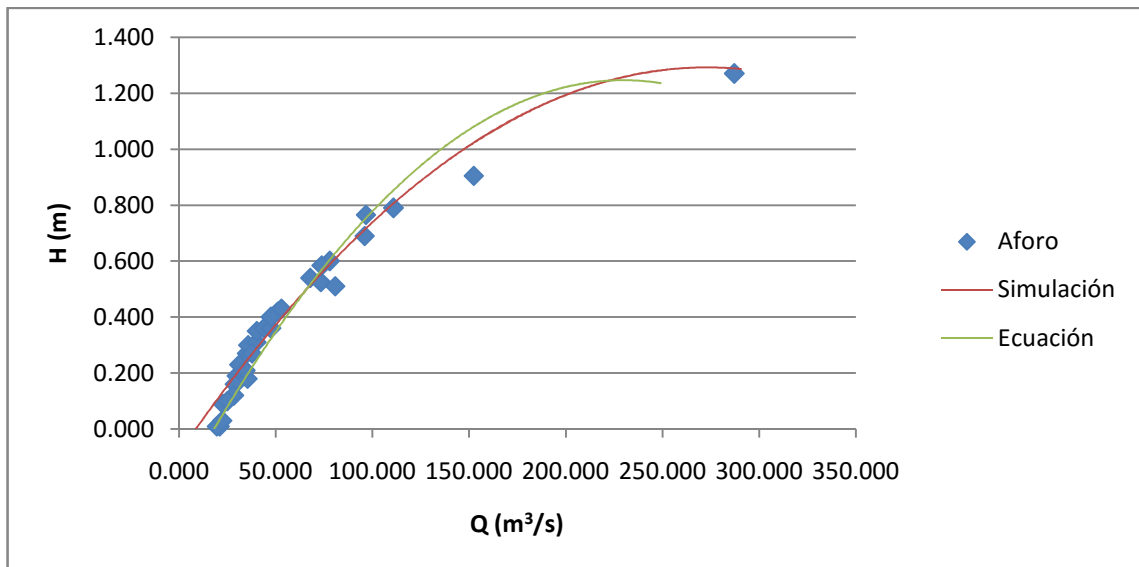


Figura 40. **Curva de descarga en estación Concuá**



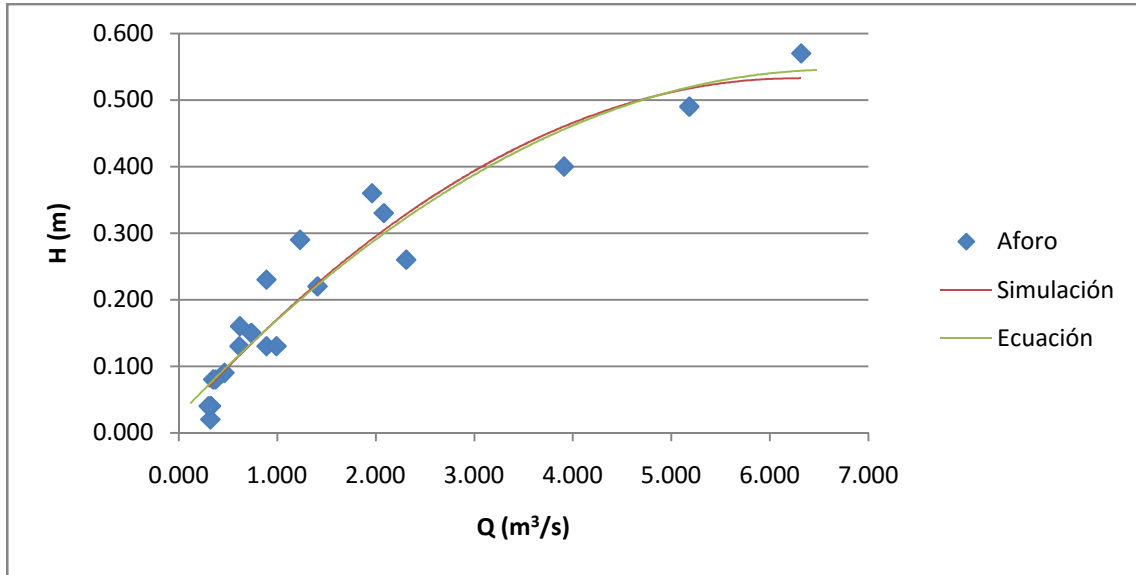
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Curva de descarga en estación Matucuy**



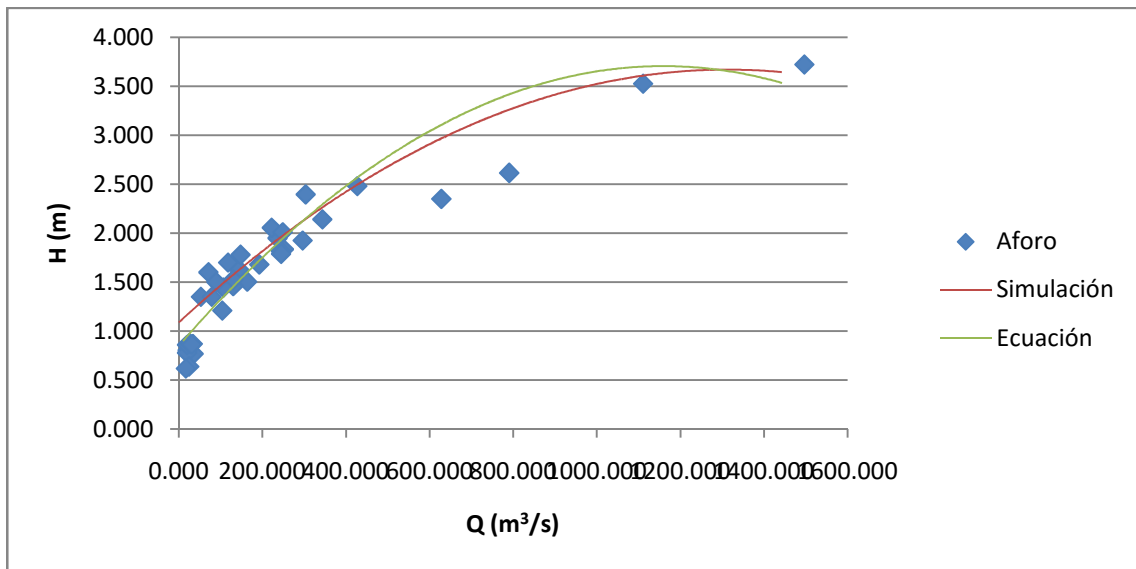
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Curva de descarga en estación Chiché**



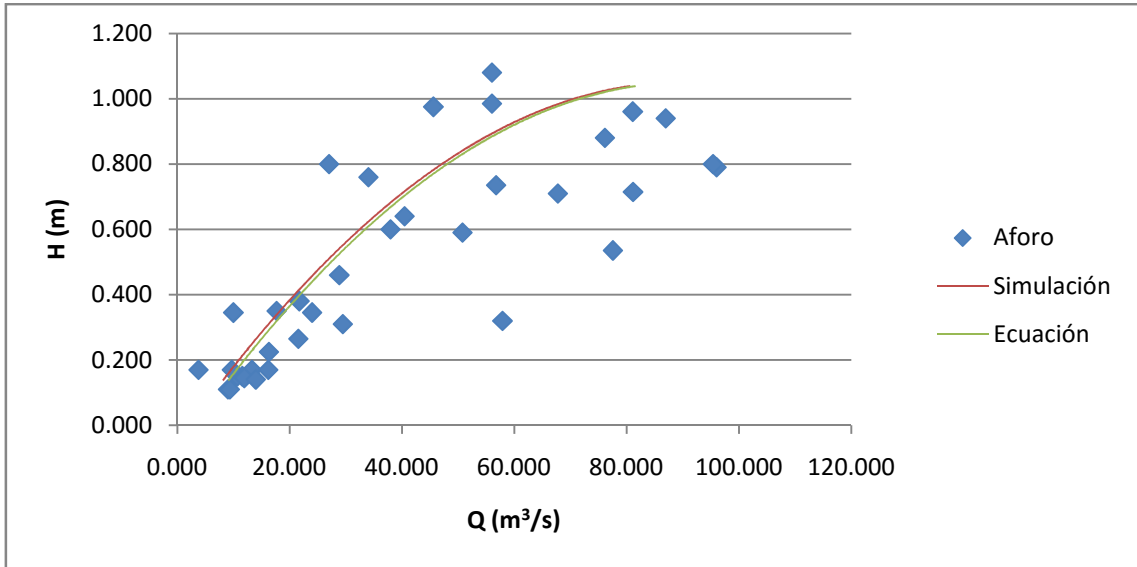
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Curva de descarga en estación Gualán**



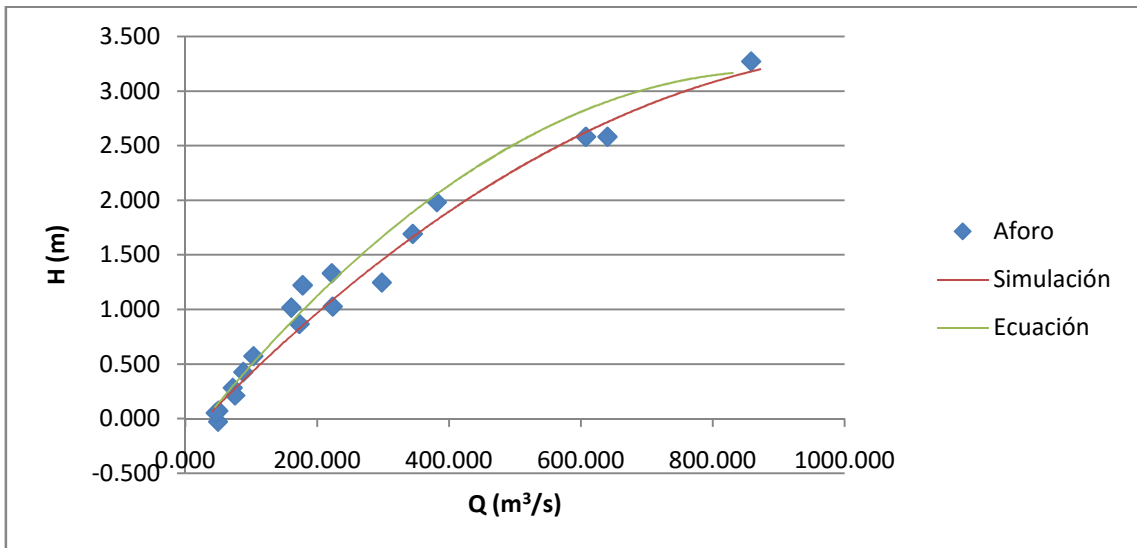
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Curva de descarga en estación Puente Orellana



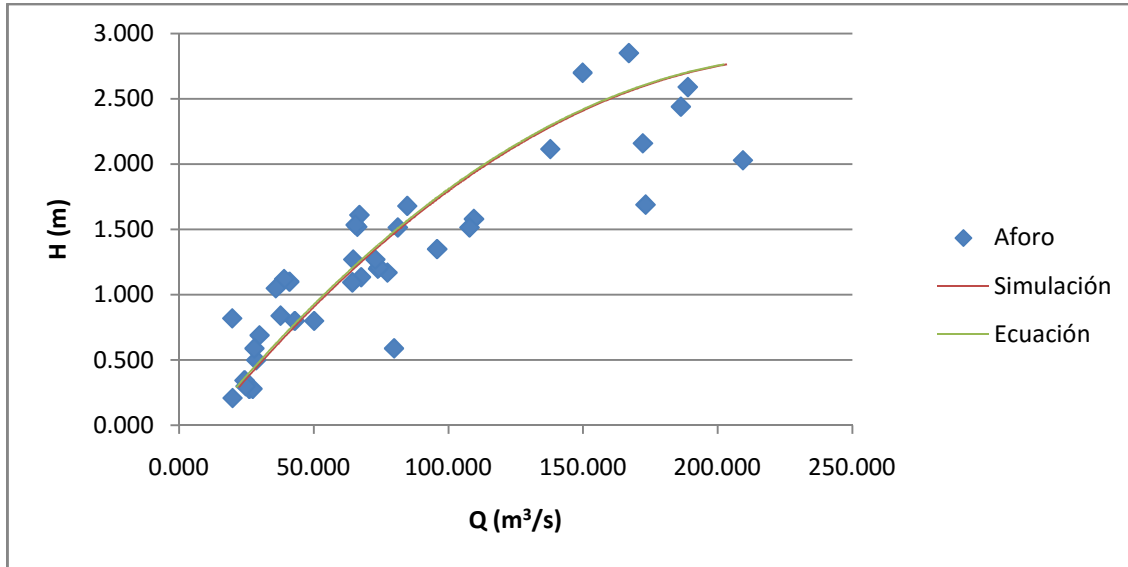
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Curva de descarga en estación Morales



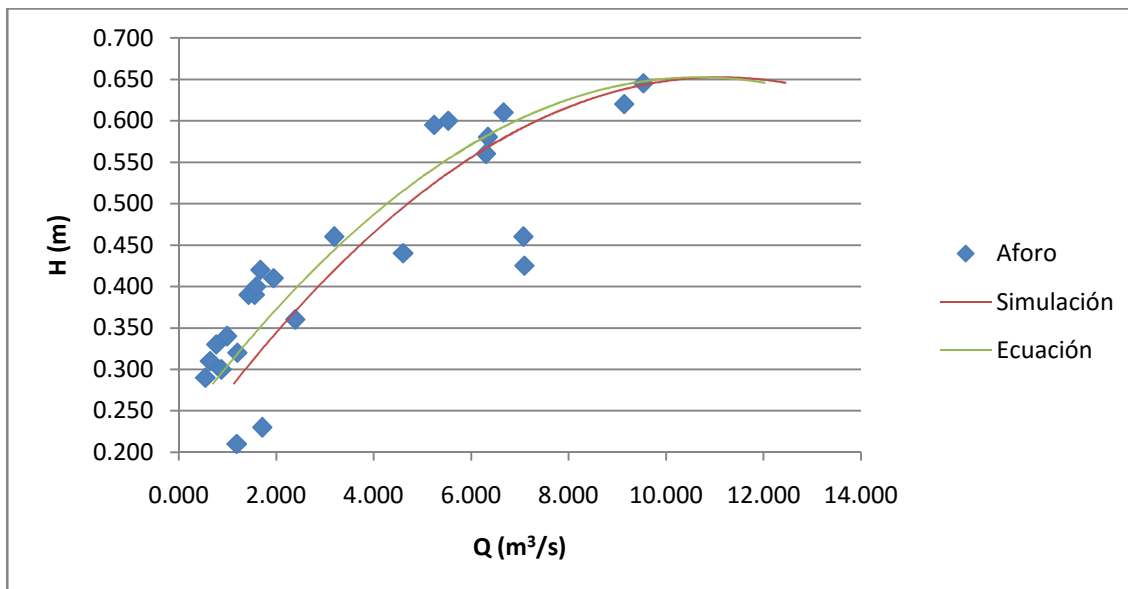
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Curva de descarga en estación Telemán**



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Curva de descarga en estación Petapilla**



Fuente: elaboración propia.

## 5.6. Comparativa de resultados reales con simulados

En esta parte del estudio se realiza el análisis comparativo de los caudales medidos y los caudales que fueron generados por la calibración de la curva de descarga, así como de las simulaciones generadas por medio del software HEEC-RAS, para cada estación hidrométrica en la vertiente del Mar Caribe.

Tabla LII. Comparación de valores obtenidos

<b>Estación</b>	<b>Altura</b>	<b>Aforo</b>	<b>Caudal ecuación</b>	<b>Caudal simulado</b>
Vado Hondo	0,495	2,14	3,58	3,26
Camotán	2,8	248,65	345,74	301,67
Panajax	1,135	124,88	85,53	98,76
Modesto Méndez	5,34	203,12	233,56	221,89
San Pedro Cadenas	3,935	324,51	365,21	345,93
Concuá	0,9	38,43	42,85	40,92
Matucuy	1,27	287,23	343,08	302,75
Chiché	0,49	5,18	4,56	4,69
Gualán	2,48	427,13	466,70	441,05
Puente Orellana	0,735	56,73	57,38	59,73
Morales	3,27	858,19	831,68	829,75
Telemán	2,7	186,32	185,40	167,98
Petapilla	1,06	40,42	44,86	41,67

Fuente: elaboración propia.

De la misma manera se presentan a continuación los datos de porcentaje de error entre los aforos proporcionados por el Insivumeh, y los datos de caudales simulados, obtenidos por medio de HEC-RAS.

Tabla LIII. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Concuá**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
19,66	19,744	21,506	-9,20	0,43
38,32	38,430	42,854	-11,51	0,29
3,48	4,163	3,171	23,83	16,41
4,87	3,800	4,686	-23,32	-28,16
11,68	13,577	12,389	8,75	13,97
7,61	6,933	7,751	-11,80	-9,76
18,95	17,897	20,753	-15,96	-5,88
41,19	57,974	42,854	26,08	28,95
		Promedio	-1,64	2,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Panajax**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
11,94	16,99	13,178	22,44	29,72
104,79	124,883	85,53	31,51	16,09
50,9	41,000	48,087	-17,29	-24,15
12,18	11,000	13,406	-21,87	-10,73
33,9	31,292	34,265	-9,50	-8,33
34,33	38,769	34,589	10,78	11,45
		Promedio	2,68	2,34

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Vado Hondo**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
0,63	1,19	1,318	-10,76	47,06
0,63	1,21	1,318	-8,93	47,93
5,4	3,12	3,589	-15,03	-73,08
1,66	2,766	2,07	25,16	39,99
3,07	3,197	2,762	13,61	3,97
1,03	1,4	1,657	-18,36	26,43
0,42	0,99	1,083	-9,39	57,58
0,63	1,12	1,318	-17,68	43,75
3,58	3,969	2,964	25,32	9,80
3,86	4,423	3,07	30,59	12,73
0,81	1,616	1,479	8,48	49,88
0,58	1,17	1,267	-8,29	50,43
0,49	1,11	1,172	-5,59	55,86
2,85	3,824	2,666	30,28	25,47
0,74	2,09	1,423	31,91	64,59
1,94	2,987	2,227	25,44	35,05
8,09	5,23	4,326	17,28	-54,68
0,58	1,12	1,267	-13,13	48,21
5,20	4,083	3,527	13,62	-27,36
1,66	0,77	0,887	-15,19	-115,58
3,96	1,8	1,753	2,61	-120,00
1,38	0,713	0,784	-9,96	-93,55
2,19	0,983	1,083	-10,17	-122,79
14,55	7,56	6,838	9,55	-92,46
3,4	1,67	1,536	8,02	-103,59
0,89	0,54	0,611	-13,15	-64,81
0,42	0,45	0,345	23,33	6,67
0,94	0,89	1,001	-12,47	-5,62
0,29	0,375	0,238	36,53	22,67
0,22	0,209	0,197	5,74	-5,26
0,64	0,65	0,561	13,69	1,54
1,02	1,24	1,172	5,48	17,74
		Promedio	4,96	-6,61

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Camotán**

Sim	Aforo	Q ecuación	% error aforo vrs ecuación	% error aforo vrs sim
6,56	7,020	7,368	-4,96	6,55
6,56	6,960	7,368	-5,86	5,75
13,59	16,547	12,615	23,76	17,87
34,24	48,344	28,353	41,35	29,17
20,9	22,292	18,073	18,93	6,24
10,15	9,121	10,063	-10,33	-11,28
11,89	12,596	11,359	9,82	5,60
5,49	5,540	6,539	-18,03	0,90
22,05	20,120	18,947	5,83	-9,59
16,14	18,302	14,511	20,71	11,81
34,62	36,405	28,657	21,38	5,02
7,76	11,685	8,274	29,19	33,59
5,74	7,021	6,739	4,02	18,25
22,65	27,532	19,397	29,55	17,73
15,65	15,452	14,151	8,42	-1,28
7,76	9,174	8,274	9,81	15,41
25,12	29,100	21,276	26,89	13,68
54,71	58,386	45,116	22,73	6,30
48,81	39,788	40,162	-0,94	-22,68
11,69	10,010	11,209	-11,98	-16,78
46,93	53,432	38,607	27,75	12,17
11,29	9,671	10,914	-12,85	-16,74
20,09	19,904	18,073	9,20	-5,00
13,93	16,07	20,320	-21,68	16,59
19,57	2,300	25,447	-10,64	14,91
139,09	139,109	136,035	2,21	0,01
42,86	42,814	45,985	-7,41	-0,11
8,99	12,300	15,632	-27,09	26,91
11,2	11,200	13,112	-17,07	0,00
310,7	312,000	345,744	-10,82	0,42
10,5	10,607	12,452	-17,39	1,01
47,2	44,748	48,669	-8,76	-5,48
		Promedio	3,93	5,53

Fuente: elaboración propia.



Tabla LVII. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Modesto Méndez**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
28,00	137,911	28,631	79,24	80,84
92,10	89,203	119,190	-33,62	-32,02
1,77	1,876	4,924	-162,47	-160,87
6,05	6,072	7,756	-27,73	-26,13
5,56	5,983	7,432	-24,23	-22,63
12,80	14,461	12,437	14,00	15,60
29,90	31,806	27,24	14,36	15,96
5,69	5,627	7,512	-33,51	-31,91
9,51	203,128	612,197	-201,39	-199,79
106,00	8,063	10,103	-25,30	-23,70
35,60	98,898	122,465	-23,83	-22,23
12,20	52,220	26,658	48,95	50,55
3,68	7,213	8,433	-16,92	-15,32
49,30	8,951	3,526	60,61	62,21
20,50	53,878	40,542	24,75	26,35
42,90	15,458	14,102	8,77	10,37
31,10	49,221	33,775	31,38	32,98
6,68	30,764	22,650	26,38	27,98
33,90	3,173	5,168	-62,86	-61,26
15,10	41,265	25,148	39,06	40,66
24,30	13,564	14,227	-4,89	-3,29
23,20	23,546	21,969	6,70	8,30
4,39	26,007	20,974	19,35	20,95
2,70	3,754	6,663	-77,49	-75,89
36,4	2,208	5,550	-151,31	-149,71
29,9	40,657	34,002	16,37	17,97
31,90	34,629	27,240	21,34	22,94
		Promedio	-16,08	-14,48

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación San Pedro Cadenas**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
12,27	14,870	12,358	-10,46	17,48
26,18	26,639	26,269	5,42	1,72
11,75	10,877	11,835	-48,08	-8,03
316,07	324,513	316,161	-12,54	2,60
20,09	17,440	20,182	-22,06	-15,19
282,27	245,900	282,361	-26,43	-14,79
72,15	79,358	72,236	25,24	9,08
13,87	14,762	13,958	-17,93	6,04
16,63	14,424	16,720	-32,54	-15,29
78,57	75,790	78,657	14,56	-3,67
30,33	28,554	30,417	2,17	-6,22
91,78	90,249	91,870	15,33	-1,70
44,27	49,331	44,354	23,72	10,26
8,24	9,544	8,333	-46,29	13,66
61,99	66,398	62,084	23,07	6,64
66,64	67,000	66,725	18,21	0,54
30,65	29,474	30,742	4,48	-3,99
44,27	61,799	44,354	39,11	28,36
41,45	40,307	41,541	11,65	-2,84
12,35	13,657	12,537	8,22	9,57
63,11	71,832	61,883	14,14	12,14
58,27	64,87	57,226	12,07	10,17
411,05	319,124	389,383	-21,15	-28,81
		Promedio	-0,87	1,21

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Matucuy**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
30,22	29,788	38, 416	-28,96	-1, 45
14,22	13,659	18, 741	-37,21	-4,11
14,22	15,94	18, 741	-17,57	10,79
11,62	12,000	15, 589	-29,91	3,17
36,49	35,157	46, 285	-31,65	-3, 79
39,09	35,780	49, 575	-38,56	-9, 25
39,98	40,113	50, 716	-26,43	0, 33
73,94	78,000	95, 34	-22,23	5,21
28,1	29,046	35, 779	-23,18	3,26
13,43	13,902	17, 789	-27,96	3,40
65,53	67,866	84, 032	-23,82	3,44
50,97	51 21	64, 848	-26,63	0,47
43,74	40,248	55, 511	-37,92	-8,68
19,2	21,000	24, 809	-18,14	8,57
98,72	96,715	133, 479	-38,01	-2,07
33,24	31,171	42, 192	-35,36	-6,64
290,93	287,239	343, 085	-19,44	-1,28
62,9	73,433	81, 394	-10,84	14,34
29,5	35,431	37, 519	-5,89	16,74
31,7	34,361	40, 265	-17,18	7,74
52,07	52,947	66, 287	-25,20	1,66
19 2	19,583	24, 809	-26,69	1,96
17,25	19,888	22, 431	-12,79	13,26
71,76	73,88	92, 397	-25,06	2,87
106,32	111,000	140, 278	-26,38	4,22
88,13	96,000	114, 765	-19,55	8,20
23,62	22,658	30, 227	-33,41	-4,25
25,46	28, 380	32, 508	-14,55	10,29
130,77	152,471	175, 552	-15,14	14,23
44,72	44,000	56, 769	-29,02	-1,64
24,22	25,000	30, 972	-23,89	3,12
15,89	17,675	20, 779	-17,56	10,10
44,72	47,579	56, 769	-19,32	6,01
48,81	47,605	62, 051	-30,35	-2,53
20,24	22,369	26, 078	-16,58	9,52
17,02	17,036	22, 148	-30,01	0,09
0,18	19,000	23, 594	-24,18	99,05
0,40	37,803	46, 285	-22,44	98,94
0,68	80,756	78, 827	2,39	99,16
		Promedio	-23,76	10,63

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **Porcentajes de error relación con el aforo en campo en estación Chiche**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
0,18	0,325	0,333	-2,46	44,62
0,18	0,323	0,333	-3,10	44,27
1,77	2,308	1,422	38,39	23,31
0,63	0,89	0,636	28,54	29,21
0,12	0,32	0,285	10,94	62,50
0,63	0,991	0,636	35,82	36,43
0,18	0,302	0,333	-10,26	40,40
3,63	3,909	2,986	23,61	7,14
0,40	0,465	0,482	-3,66	13,98
5,18	5,181	4,566	11,87	0,02
0,35	0,349	0,449	-28,65	-0,29
1,36	1,407	1,125	20,04	3,34
0,77	0,735	0,726	1,22	-4,76
1,46	0,89	1,194	-34,16	-64,04
0,35	0,374	0,449	-20,05	6,42
2,11	1,23	1,683	-36,83	-71,54
0,77	0,62	0,774	-24,84	-24,19
2,43	1,961	2,443	-24,58	-23,92
0,61	0,614	0,636	-3,58	0,65
2,07	2,08	2,089	-0,43	0,48
6,47	6,315	6,475	-2,53	-2,53
		Promedio	-1,18	5,78

Fuente: elaboración propia

Tabla LXI. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Gualán**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
225,8	236,404	228,026	3,54	4,49
153,13	192,712	150,822	21,74	20,54
25,66	34,005	32,716	3,79	24,54
18,08	36,231	25,996	28,25	50,10
114,62	163,985	112,914	31,14	30,10
105,76	130,565	104,492	19,97	19,00
218,37	296,547	219,802	25,88	26,36
141,45	143,838	139,108	3,29	1,66
20,92	20,902	28,211	-34,97	-0,09
18,77	19,739	26,614	-34,83	4,91
194,19	251,519	192,091	23,63	22,79
188,75	243,853	187,751	23,01	22,60
10,46	25,000	18,926	24,30	58,16
1442,74	1 496,558	1772,266	-18,42	3,60
118,69	130,33	116,822	10,36	8,93
383,32	303,742	419,114	-37,98	-26,20
178,12	147,947	176,55	-19,33	-20,39
24,83	19,941	31 988	-60,41	-24,52
258,62	222,439	265, 229	-19,24	-16,27
85,84	53,134	85,961	-61,78	-61,55
26,93	25,662	33,456	-30,37	-4,94
134,71	71,251	132,429	-85,86	-89,06
427,75	427,134	466,701	-9,26	-0,14
25,24	30,765	3, 35	-5,15	17,96
10, 9	107,051	101,797	4,91	3,88
1197,54	1 111,038	1472,044	-32,49	-7,79
244,23	248,77	248,747	0,01	1,82
287,12	343,726	298,677	13,11	16,47
113,61	90,000	111,953	-24,39	-26,23
180,74	245,000	179,300	26,82	26,23
157,95	118,232	155,717	-31,70	-33,59
65, 12	104,469	66,199	36,63	37,29
17, 01	17,207	17,988	-4,54	-0,55
85, 74	79,073	85,961	-8,71	-7,84
550, 51	790,61	550,838	30,33	30,41
394, 17	628,349	395,504	37,06	37,17
		Promedio	-4,21	4,16

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Puente Orellana**

Sim	Aforo	Q ecuación	% error aforo vrs ecuación	% error aforo vrs sim
9,95	13,288	10,929	17,75	25,12
9,31	11,553	10,287	10,96	19,41
9,31	10,655	10,287	3,45	12,62
8,11	9,016	9,083	-0,74	10,05
8,11	9,368	9,083	3,04	13,43
22,77	28,85	23,744	17,70	21,07
67,16	45,61	68,135	-49,39	-47,25
17,07	17,683	18,051	-2,08	3,47
31,72	37,937	32,697	13,81	16,39
11,86	16,308	12,841	21,26	27,27
9,15	11,943	10,13	15,18	23,39
56,41	76,119	57,385	24,61	25,89
63,04	86,917	64,022	26,34	27,47
18,52	21,732	19,495	10,29	14,78
34,66	40,467	35,641	11,93	14,35
4, 4	56,732	43,38	23,54	25,26
40,26	67,73	41,238	39,11	40,56
65,37	81,098	66,35	18,19	19,39
31,01	50,753	31,989	36,97	38,90
13,39	21,557	14,373	33,33	37,89
9,95	16,197	10,929	32,52	38,57
47,39	95,999	48,367	49,62	50,63
9,95	9,689	10,929	-12,80	-2,69
9,95	3,780	10,929	-189,13	-163,23
16,84	10,000	17,818	-78,18	-68,40
16,84	24,000	17,818	25,76	29,83
48,34	95,393	49,316	48,30	49,33
15,27	29,472	16,246	44,88	48,19
9,00	13,956	9,976	28,52	35,51
40,68	81,162	41,66	48,67	49,88
27,31	77,518	28,288	63,51	64,77
44,17	126,086	45,149	64,19	64,97
67,76	189,445	68,737	63,72	64,23
15,71	57,907	16,685	71,19	72,87
68,37	56,000	69,344	-23,83	-22,09
80,62	56,000	81,597	-45,71	-43,96
44,62	34,000	45,599	-34,11	-31,24
48,98	27,000	49,316	-82,65	-81,41
		Promedio	9,20	13,82

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Morales**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
39,51	49,579	44,247	10,75	20,31
117,64	103,337	103,232	0,10	-13,84
198,45	160,683	167,592	-4,30	-23,50
355,48	344,972	303,425	12,04	-3,05
266,70	222,117	224,959	-1,28	-20,07
94,68	87,996	86,203	2,04	-7,60
49,93	50,007	52,048	-4,08	0,15
201,5	223,581	169,258	24,30	9,88
622,18	607,587	561,929	7,51	-2,40
612,13	640,243	561,929	12,23	4,39
241,85	178,000	203,763	-14,47	-35,87
75,27	71,838	70,995	1,17	-4,78
435,12	381,523	377,225	1,13	-14,05
66,31	75,442	64,283	14,79	12,10
169,13	173,009	143,788	16,89	2,24
873,22	858,196	831,686	3,09	-1,75
247,41	298,113	208,469	30,07	17,01
45,63	46,242	50,426	-9,05	1,32
		Promedio	5,72	-3,31

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Telemán**

Sim	Aforo	Q ecuación	% error aforo vrs ecuación	% error aforo vrs sim
34,76	79,849	33,781	57,69	56,47
24,19	26,125	23,208	11,17	7,41
24,19	27,374	23,208	15,22	11,63
22,13	19,900	21,155	-6,31	-11,21
26 2	24,356	25,222	-3,56	-7,57
61,66	77,411	60,684	2161	20,35
63,33	73,817	62,349	15,54	14,21
59,76	67,64	58,777	13,10	11,65
63,89	74,305	62,91	15,34	14,02
43,38	50,158	42,399	15,47	13,51
24,79	24,731	23,817	3,70	-0,24
86,92	109,498	85,943	21,51	20,62
82,55	107,865	81,57	24,38	23,47
72,08	95,838	71,1	25,81	24,79
67,32	72,904	66,343	9,00	7,66
31,43	28,702	30,455	-6,11	-9,50
132,52	172,223	131,544	23,62	23,05
57,62	64,363	56,644	11,99	10,48
121,24	209,341	120,262	42,55	42,08
67,32	64,655	66,343	-2,61	-4,12
82,88	66,209	81,901	-23,70	-25,18
57,89	41,000	56,908	-38,80	-41,20
58,95	39,000	57,972	-48,65	-51,15
128,55	137,866	127,567	7,47	6,76
94,65	173,209	93,673	45,92	45,36
45,16	37,747	44,181	-17,05	-19,64
174,47	188,893	173,492	8,15	7,64
93,93	84,755	92,953	-9,67	-10,83
43,38	43,005	42,399	1,41	-0,87
82, 55	81, 239	81,57	-0,41	-1,61
159, 01	186, 325	158,033	15,18	14,66
186, 38	149, 844	185,406	-23,73	-24,38
88, 99	67, 000	88,01	-31,36	-32,82
38, 71	29, 899	37,733	-26,20	-29,47
203, 44	167, 000	202,459	-21,23	-21,82
55, 28	35, 971	54,304	-50,97	-53,68
83, 88	65, 51	82,9	-26,55	-28,04
44, 26	19, 79	43,285	-118,72	-123,65
34, 76	28	33,781	-20,65	-24,14
55, 8	78, 461	54,818	30,13	28,88
61, 11	130, 502	60,135	53,92	53,17
		Promedio	0,33	-1,54

Fuente: elaboración propia.



Tabla LXV. **Porcentajes de error en relación con el aforo en campo en estación Petapilla**

<b>Sim</b>	<b>Aforo</b>	<b>Q ecuación</b>	<b>% error aforo vrs ecuación</b>	<b>% error aforo vrs sim</b>
1,779	1,43	1,877	-31,26	-24,41
1,779	1,56	1,877	-20,32	-14,04
6,159	5,241	6,257	-19,39	-17,52
6,323	5,53	6,421	-16,11	-14,34
2,185	9,048	2,283	74,77	75,85
2,042	1,948	2,14	-9,86	-4,83
1,232	0,99	1,33	-34,34	-24,44
2,185	1,677	2,283	-36,14	-30,29
7,017	9,14	7,115	22,16	23,23
5,685	6,342	5,783	8,81	10,36
1,907	1,59	2,005	-26,10	-19,94
0,971	0,647	1,069	-65,22	-50,08
1,053	1 2	1,151	4,08	12,25
6,663	6,662	6,761	-1,49	-0,02
1,140	0,768	1,238	-61,20	-48,44
5,098	6,305	5,196	17,59	19,14
32,330	21,75	32,428	-49,09	-48,64
0,980	0,878	0,991	-12,87	-11,62
7,967	9,534	8,065	15,41	16,44
0,980	0,872	0,991	-13,65	-12,39
2,259	7,091	2,357	66,76	68,14
0,378	1,192	0,476	60,07	68,29
2,831	7,070	2,929	58,57	59,96
33,558	42,871	33,656	21,49	21,72
1,433	2,389	1,531	35,91	40,02
0,468	1,713	0,566	66,96	72,68
2,831	3,193	2,929	8,27	11,34
0,820	0,549	0,918	-67,21	-49,36
2,492	4,606	2,59	43,77	45,90
44,771	40,427	44,869	-10,99	-10,75
		Promedio	0,98	5,47

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Comparación de errores porcentuales entre aforo *versus* ecuación y aforo *versus* simulación**

<b>Estación</b>	<b>% de promedio de error aforo <i>versus</i> ecuación</b>	<b>% de promedio de error aforo <i>versus</i> simulación</b>
Vado Hondo	4,96	-6,61
Camotán	3,93	5,53
Panajax	2,68	2,34
Modesto Méndez	-16,08	-14,48
San Pedro Cadenas	-0,87	1,21
Concuá	-1,64	2,03
Matucuy	-23,76	10,63
Chiché	-1,18	5,78
Gualán	-4,21	4,16
Puente Orellana	9,20	13,82
Morales	5,72	-3,31
Telemán	0,33	-1,54
Petapilla	0,98	5,47
<b>PROMEDIO</b>	<b>-1, 53</b>	<b>1, 93</b>

Fuente: elaboración propia.

### **5.7. Análisis de los resultados obtenidos**

De acuerdo con la tabla LXVI se puede observar que el porcentaje de error promedio entre el aforo realizado en campo y la ecuación obtenida de la curva de descarga es de 1,53 por ciento, mientras que para el aforo y la simulación realizada en HEC-RAS, es de 1,93 por ciento; esto indica que existe un margen mayor de error por medio de las simulaciones, debido a la subjetividad de la información utilizada en el software.

Al analizar las estaciones de manera individual se observa que los porcentajes de error entre los aforos realizados en campo, y proporcionados por el Insivumeh con los caudales calculados por medio de las ecuaciones obtenidas con las simulaciones, presentan porcentajes de diferencia comprendidos entre el 5 y 15 por ciento; esto se logra apreciar en las estaciones Modesto Méndez, Matucuy, Puente Orellana, ya que varios de sus caudales aforados presentan picos que modifican considerablemente el comportamiento de las tendencias lineales de sus curvas de calibración; también se debe a que al momento de linealizar los datos en el software STATISTICS, puedan presentarse errores de aproximación.

En el análisis de los aforos pertenecientes a las estaciones hidrométricas en la vertiente del Mar Caribe se logra observar que estos no cuentan con una distribución lineal característica, por lo que por medio de regresiones no lineales y análisis de curvas analíticas, se logró determinar la curva de descarga más eficiente para cada región

La monografía de la vertiente del Mar Caribe fue indispensable para el cálculo de caudal debido a que están presentes factores geológicos como el cambio del uso del suelo, que ha hecho al medio menos permeable y ha facilitado el trabajo erosivo de las aguas de escurrimiento, convirtiendo el área de planicies en numerosos y dinámicos sistemas de canales.

Al observar la tabla LII puede apreciarse que la simulación de crecidas por medio del software HEC-RAS nos permite tener una idea muy aceptable del comportamiento del cauce del río principal, en el cual se realizan aforos por medio de estaciones hidrométricas, y por ende facilitar los procesos de calibración de curvas de descarga para el resto de vertientes que conforman la red hídrica de Guatemala.



## CONCLUSIONES

1. La familia de curvas de descarga se realizó con base a la metodología utilizada por el Insivumeh recomendada por la Organización Mundial de Meteorología, por medio de la calibración de curvas de descarga para 12 estaciones hidrométricas que conforman la vertiente del Mar Caribe; en total se calibraron 22 ecuaciones.
2. La simulación de caudales en las secciones de los ríos bajo análisis se adaptan de manera satisfactoria con las curvas de calibración creadas con los datos de caudales calculados, de manera que se determinan caudales por medio de la ecuación característica de la curva de descarga para cada estación. o bien de manera simulada ingresando los datos de nivel HEC-RAS.
3. Se pudo observar que las estaciones hidrométricas con mayores datos dispersos de aforos realizados en campos, poseen los porcentajes más altos de error respecto de los caudales simulados y calculados por medio de las metodologías establecidas.
4. En las estaciones Vado Hondo, Concuá, Puente Orellana, Telemán y Petapilla, se muestran tendencias menos exactas, debido a la complejidad de sus datos de aforos obtenidos, así como por cambios de sección en el trayecto de su cauce principal, entre otras.



## RECOMENDACIONES

1. Cada vez que la acumulación de nuevos datos lo permita. debe hacerse una actualización del cálculo de caudal teniendo siempre el debido cuidado con el manejo de la información para que el resultado sea un producto de calidad.
2. Escoger el método de curva de descarga más adecuado para la sección en estudio, ya que no todos los métodos sirven para un caso específico.
3. Mejorar los resultados obtenidos con el programa HEC-RAS, es decir, un número mayor de secciones transversales a través de levantamientos topográficos.
4. Mantener en óptimo funcionamiento la red de estaciones hidrometeorológicas en cada región, debido a que representan un aporte al bienestar social y económico tanto a nivel nacional como mundial.
5. Por la alta variabilidad se puede observar en las secciones de los ríos de algunas estaciones; se recomienda evaluar el sitio de instalación para que hidráulicamente se mantengan a lo largo del tiempo.





## BIBLIOGRAFÍA

1. CHOW, Ven Te. *Hidráulica de canales abiertos*. México: McGraw-Hill Interamericana, 1994. 296 p.
2. DÍAZ TIBANTA, John Sneyder; VARGAS GUERRERO, Bryan Iván. *Análisis del riesgo de inundación asociado al diseño hidráulico de la confluencia entre dos canales urbanos. Canal El Virrey – Canal Castellana, en la ciudad de Bogotá*. [en línea]. <<http://repository.ucatolica.edu.co/jspui/bitstream/10983/1518/3/ARTICULO-An%C3%A1lisis-inundaci%C3%B3n-canal-Virrey-canal-La-Castellana.pdf>>. [Consulta: julio de 2015].
3. Gerencia de Hidrometeorología. *Análisis regional de crecidas máximas en Panamá*. [en línea]. <[http://www.hidromet.com.pa/documentos/Analisis\\_Crecidas\\_Maximas\\_Panama.pdf](http://www.hidromet.com.pa/documentos/Analisis_Crecidas_Maximas_Panama.pdf)>. *Guía para la administración de un programa de seguridad e higiene industrial*. [Consulta: marzo de 2015].
4. GONZÁLEZ JAÉN, Diego Arturo. *Cálculo de caudales de crecida, caso de estudio cuenca de Río Cabra, Panamá*. Trabajo de graduación de Maestría en Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala, 2010.87 p.

5. Insivumeh. *Base de datos*. [en línea].  
<[http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS\\_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas\\_hidro.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_hidro.htm)>. [Consulta: septiembre de 2015].