



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

**DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE CAUDALES DE LAS  
ESTACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA RÍO COYOLATE A LA CUENCA OLOPA,  
CORRESPONDIENTE A LA VERTIENTE DEL PACÍFICO PARA EL PERÍODO 2010-2013**

**Rolando Wladimir Figueroa Rodríguez**

Asesorado por la Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE CAUDALES DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA RÍO COYOLATE A LA CUENCA OLOPA, CORRESPONDIENTE A LA VERTIENTE DEL PACÍFICO PARA EL PERÍODO 2010-2013**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ROLANDO WLADIMIR FIGUEROA RODRÍGUEZ**  
ASESORADO POR LA INGA. KARLA GIOVANNA PÉREZ LOARCA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

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 Córdoba
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE CAUDALES DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA RÍO COYOLATE A LA CUENCA OLOPA, CORRESPONDIENTE A LA VERTIENTE DEL PACÍFICO PARA EL PERÍODO 2010-2013**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 10 de noviembre de 2014.

**Rolando Wladimir Figueroa Rodríguez**

Guatemala, 28 de marzo de 2016.

Ingeniero  
Claudio César Castañón  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Escuela de Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE CAUDALES DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA RÍO COYOLATE A LA CUENCA OLOPA, CORRESPONDIENTE A LA VERTIENTE DEL PACÍFICO PARA EL PERIODO 2010-2013**, presentado por el estudiante Rolando Wladimir Figueroa Rodríguez, quien fue debidamente asesorado por el suscrito.

Considerando que el trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado.

Sin otro particular, atentamente:

  
K. Giovanna J. Pérez Loarca  
Msc. ING. CIVIL  
COL. No. 7718  
Msc. Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca  
Col. No. 7718  
Asesor de Trabajo de Graduación



**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,  
10 de octubre de 2016

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 **DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE CAUDALES DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA RÍO COYOLATE A LA CUENCA OLOPA, CORRESPONDIENTE A LA VERTIENTE DEL PACÍFICO PARA EL PERIODO 2010-2013**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Rolando Wladimir Figueroa Rodríguez, quien contó con la asesoría de la Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca.

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



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

Ing. Claudio César Castañón Contreras  
Jefe del Departamento de Hidráulica

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

/bbdeb.





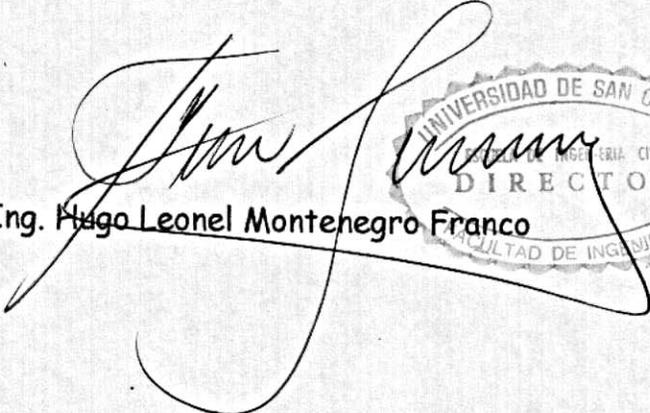
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



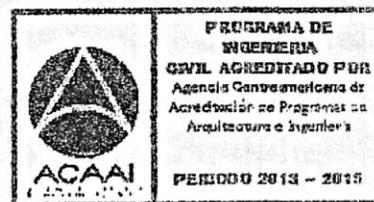
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Rolando Wladimir Figueroa Rodríguez, titulado **DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE CAUDALES DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA RÍO COYOLATE A LA CUENCA OLOPA, CORRESPONDIENTE A LA VERTIENTE DEL PACÍFICO PARA EL PERIODO 2010-2013**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2016  
/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

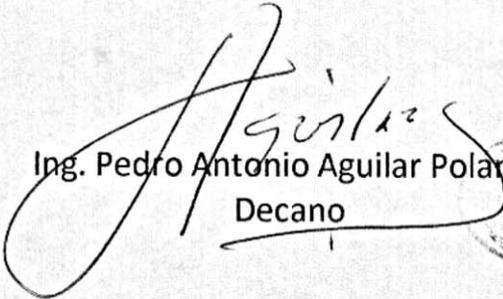




DTG. 560.2016

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: **DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN DE CAUDALES DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA RÍO COYOLATE A LA CUENCA OLOPA, CORRESPONDIENTE A LA VERTIENTE DEL PACÍFICO PARA EL PERÍODO 2010-2013**, presentado por el estudiante universitario: **Rolando Wladimir Figueroa Rodríguez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, noviembre de 2016

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Dador de la sabiduría y el entendimiento, con Él es posible alcanzar las metas y sueños.
- Mis padres** Jorge Figueroa y Elizabeth Rodríguez, por su apoyo y amor, presentes en todo momento como grandes amigos, sin ellos hubiese sido imposible llegar a esta meta. Este logro es suyo también.
- Mi hermano** Por su paciencia y apoyo en esas noches de desvelos.
- Mis abuelos** Nicolás Alvarado, Julia Alvarado, Leocadio Rodríguez, María de Jesús Morales. Por sus ejemplos de lucha y perseverancia y ser los padres de unos maravillosos hijos que me dieron la vida.
- Mi novia** Susy Tahay por su amor, apoyo, ser mi amiga y compañera de oración, el complemento de mi vida.
- Mis hermanos** Alex Sánchez, Daniela Pozuelos, Sofía Sánchez, Adriana Sánchez y Sebastián Pozuelos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por su gracia, misericordia y amor porque sin estos dones me hubiese sido imposible lograr esta meta.
<b>Mis padres</b>	Porque su esfuerzo amor y paciencia son el pilar que hizo posible culminar mi carrera, les estaré eternamente agradecido.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme los conocimientos para ser un profesional al servicio de mi país.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser el centro de estudio que me dio la formación académica para ser un profesional.
<b>Mis amigos</b>	Por el apoyo, risas y decepciones que pasamos juntos, Carlos Arias y Vodenith Villacinda. Es un gusto compartir con ustedes este logro.
<b>Inga. Giovanna Pérez</b>	Por su apoyo incondicional, paciencia y amistad le estaré eternamente agradecido. Sin usted no hubiese sido posible este logro.
<b>Ing. Óscar Argueta</b>	Por su amistad y apoyo incondicional.

**INSIVUMEH**

Por el apoyo a lo largo del trabajo de graduación.

**INDE**

Por la oportunidad de permitirme hacer mi ejercicio profesional supervisado.

**Pueblo de Guatemala**

Gracias porque su trabajo, paga la educación superior, espero poder devolver ese esfuerzo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CONCEPTOS Y DEFINICIONES.....	1
1.1. Cuenca .....	1
1.2. Definición de cuenca .....	1
1.3. Característica de la cuenca .....	1
1.3.1. Cuenca exorreica.....	1
1.3.2. Divisoria de aguas .....	2
1.3.3. Río principal.....	2
1.3.4. Los afluentes .....	2
1.3.5. El relieve de cuenca .....	2
1.3.6. Parteaguas .....	3
1.4. Aforo.....	3
1.4.1. Instrumentos usados para el aforo .....	3
1.4.2. Tipos de aforos .....	3
1.4.2.1. Aforo directo .....	3
1.4.2.2. Aforo indirecto.....	4
1.5. Estación hidrométrica .....	4
1.5.1. Generalidades de una estación hidrométrica .....	4
1.5.1.1. Medición de alturas.....	4

	1.5.1.1.1.	Limnómetro .....	5
	1.5.1.1.2.	Limnógrafo .....	5
1.5.2.		Selección de sitio para estación hidrométrica .....	6
	1.5.2.1.	Componentes de una estación hidrométrica.....	7
1.5.3.		Vertientes de Guatemala.....	7
	1.5.3.1.	Vertiente del golfo de México .....	8
	1.5.3.2.	Vertiente del mar Caribe.....	9
	1.5.3.3.	Vertiente del Pacífico .....	9
1.6.		Parámetros necesarios para el estudio de calibración de caudal.....	9
	1.6.1.	Topografía de la sección del río estudiado.....	9
	1.6.2.	Características de la cuenca .....	10
	1.6.3.	Lecho del río.....	11
	1.6.4.	Historia de aforos .....	11
1.7.		Coeficiente de rugosidad de Manning.....	11
1.8.		Programa HEC–RAS 4.1.0.....	12
2.		LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.....	13
2.1.		Cuenca del río Coyolate.....	13
	2.1.1.	Estación puente Coyolate.....	14
		2.1.1.1. Descripción general.....	14
	2.1.2.	Estación El Carrizal .....	15
		2.1.2.1. Descripción general.....	16
2.2.		Cuenca del río Achiguate .....	16
	2.2.1.	Estación Cenizas II.....	17
		2.2.1.1. Descripción general.....	17
	2.2.2.	Estación San Luis las Carretas .....	18
		2.2.2.1. Descripción general.....	19

2.3.	Cuenca del río María Linda .....	19
2.3.1.	Estación Guacamayas II .....	19
2.3.1.1.	Descripción general .....	20
2.3.2.	Estación Villa Canales .....	21
2.3.2.1.	Descripción general .....	22
2.3.3.	Estación Amatillo .....	22
2.3.3.1.	Descripción general .....	23
2.4.	Cuenca del río Paz .....	23
2.4.1.	Estación El Jobo .....	24
2.4.1.1.	Descripción general .....	24
2.5.	Cuenca del río Ostúa-Güija .....	25
2.5.1.	Estación Las Lechuzas .....	25
2.5.1.1.	Descripción general .....	26
2.5.2.	Estación Las Cruces .....	27
2.5.2.1.	Descripción general .....	28
2.6.	Cuenca del río Olopa .....	29
2.6.1.	Estación Agua Caliente .....	29
2.6.1.1.	Descripción general .....	30
3.	ANÁLISIS DE DATOS DE GABINETE .....	31
3.1.	Procedimiento y secuencia de la obtención de datos de gabinete .....	31
3.2.	Historial de aforos de cada estación .....	32
3.3.	Procedimiento para la realización de las ecuaciones y las curvas de calibración de caudal. ....	35
3.3.1.	Simulación con el programa HEC-RAS .....	35
3.3.2.	Procedimiento para determinar la ecuación de la curva de calibración de caudal por medio de logaritmos .....	41

3.3.3.	Localización del punto extrapolado en la curva de calibración de caudal y el gráfico del historial de aforos .....	45
3.3.4.	Obtención de $H_o$ .....	46
3.4.	Realización de las ecuaciones, curvas de calibración de cada estación, caudal máximo y mínimo.....	47
3.4.1.	Estación puente Coyolate.....	48
3.4.2.	Estación El Carrizal .....	49
3.4.3.	Estación Cenizas II.....	50
3.4.4.	Estación San Luis Carretas .....	51
3.4.5.	Estación Guacamayas II.....	52
3.4.6.	Estación Villa Canales.....	53
3.4.7.	Estación Amatillo.....	54
3.4.8.	Estación El Jobo.....	55
3.4.9.	Estación Las Lechuzas.....	56
3.4.10.	Estación Las Cruces .....	57
3.4.11.	Estación Agua Caliente .....	58
3.5.	Resumen de resultados obtenidos de cada estación .....	59
3.5.1.	Informe de gabinete .....	59
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE GABINETE Y CAMPO .....	61
4.1.	Tormenta tropical Agatha año 2010 .....	62
4.2.	Caudales aproximados alcanzados en la tormenta tropical Agatha.....	64
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES .....	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	ANEXOS.....	71

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Limnómetro .....	5
2.	Limnógrafo .....	6
3.	Vertientes de Guatemala.....	8
4.	Topografía de la sección transversal de un río .....	10
5.	Red hidrométrica nacional.....	13
6.	Ubicación de estación Coyolate .....	14
7.	Estación puente Coyolate .....	15
8.	Ubicación estación El Carrizal.....	15
9.	Estación El Carrizal.....	16
10.	Ubicación Cenizas II.....	17
11.	Estación Cenizas II.....	18
12.	Ubicación San Luis las Carretas .....	18
13.	Ubicación Guacamayas II .....	20
14.	Estación Guacamayas II .....	21
15.	Ubicación Villa Canales.....	21
16.	Estación Villa Canales.....	22
17.	Ubicación Amatillo.....	23
18.	Ubicación El Jobo .....	24
19.	Estación El Jobo .....	25
20.	Ubicación Las Lechuzas .....	26
21.	Estación Las Lechuzas .....	27
22.	Ubicación las Cruces.....	28
23.	Estación Las Cruces .....	29

24.	Ubicación Agua Caliente.....	30
25.	Estación Agua Caliente.....	30
26.	Dirección del cauce del río.....	36
27.	Nombre del río y número de tramos .....	37
28.	Ingreso de secciones transversales.....	37
29.	Ingreso de caudal y pendiente en flujo permanente .....	38
30.	Ingreso de caudal y pendiente en flujo no permanente .....	38
31.	Ingreso de niveles e interpolación de datos.....	39
32.	Correr programa HEC-RAS .....	39
33.	Simulación en 3D de HEC-RAS.....	40
34.	Curva de calibración estación Amatillo .....	40
35.	Ilustración de curva de calibración de caudal estación Amatillo .....	45
36.	Reajuste matemático “Ho” para curva de aforos reales.....	46
37.	Reajuste matemático “Ho” para curva de calibración de caudal de estación Amatillo.....	47
38.	Curva de calibración de caudal estación puente Coyolate válido para el período 2010-2013.....	48
39.	Curva de calibración de caudal estación El Carrizal válido para el período 2010-2013.....	49
40.	Curva de calibración de caudal estación Cenizas II válido para el período 2010-2013.....	50
41.	Curva de calibración de caudal estación San Luis Carretas válido para el período 2010-2013.....	51
42.	Curva de calibración de caudal estación Guacamayas II válido para el período 2010-2013.....	52
43.	Curva de calibración de caudal estación Villa Canales válido para el período 2010-2013.....	53
44.	Curva de calibración de caudal estación Amatillo válido para el período 2010-2013.....	54

45.	Curva de calibración de caudal estación El Jobo válido para el período 2010-2013.....	55
46.	Curva de calibración de caudal estación Las Lechuzas válido para el período 2010-2013.....	56
47.	Curva de calibración de caudal estación Las Cruces válido para el período 2010-2013.....	57
48.	Curva de calibración de caudal estación Agua Caliente válido para el período 2010-2013.....	58
49.	Acumulados de lluvia en tormenta tropical Agatha .....	63

## TABLAS

I.	Aforos de cuenca Coyolate .....	33
II.	Aforos de cuenca Achiguate .....	33
III.	Aforos de cuenca María Linda .....	34
IV.	Aforos de cuenca Paz .....	34
V.	Aforos de cuenca Ostúa-Güija .....	34
VI.	Aforos de cuenca Olopa.....	35
VII.	Aplicación de logaritmo a los datos de “H” y “Q” .....	42
VIII.	Datos de niveles y aforos obtenidos por HEC-RAS para estación Amatillo y aplicación de logaritmo .....	44
IX.	Resumen de ecuaciones para curva de calibración, con caudal extrapolado .....	59
X.	Resumen de ecuaciones para curva de calibración de caudal hasta una altura H.....	60
XI.	Caudales aproximados alcanzados en la tormenta tropical Agatha.....	64



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>m</b>	Metro
<b>s</b>	Segundo
<b><math>m^3</math></b>	Metro cúbico
<b><math>m^3/s</math></b>	Metro cúbico sobre segundo
<b>S</b>	Pendiente
<b>Q</b>	Caudal
<b>H</b>	Nivel de agua leído en limnómetro
<b>Ho</b>	Ajuste matemático
<b>K</b>	Constante asociada con el producto del factor hidráulico
<b>Z</b>	Exponente
<b>F.H.</b>	Factor hidráulico
<b>P.M.</b>	Perímetro mojado
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
<b>Km</b>	Kilómetro



## GLOSARIO

<b>Aforo</b>	Operación para la determinación del caudal de agua.
<b>Área superficial</b>	Superficie de la tierra expresada en unidades de metros cuadrados, kilómetros cuadrados, hectáreas, etc.
<b>Coordenadas geográficas</b>	Sistema de referencia que utiliza dos coordenadas angulares, latitud y longitud.
<b>Crecida</b>	Elevación del nivel de agua, generalmente de forma rápida, hasta un máximo el cual desciende lentamente.
<b>Caudal</b>	Cantidad de agua medida en metros cúbicos sobre segundo que transporta una corriente o fluye de un manantial.
<b>Curva de calibración</b>	Relación entre el caudal y el nivel del río o canal.
<b>Estación hidrométrica</b>	Punto de control en un cauce o río, está conformada por reglas graduadas y limnógrafo.
<b>HEC-RAS</b>	Software hidrológico de origen estadounidense, de modelización hidráulica.

<b>Lecho de río</b>	Parte del drenaje natural de una cuenca, la cual es la más excavada de los valles. Es la sección principal para la circulación del cauce, en la cual se obtiene la sección transversal del cauce o río.
<b>Levantamiento topográfico</b>	Conjunto de operaciones efectuadas en un terreno o parte de este, con instrumentos de precisión, adecuado para la elaboración del plano del lugar en estudio.
<b>Pendiente</b>	Inclinación de un elemento natural o constructivo con respecto a la horizontal.
<b>Río</b>	Corriente natural de agua que fluye de manera permanente y desemboca en otro río, lago o mar.
<b>Rugosidad</b>	Conjunto de irregularidades de una superficie.
<b>Sección transversal</b>	Intersección de un plano con la sección de un sólido.
<b>Vertiente</b>	Elevación de un terreno o ya sea pendiente de una montaña a lo largo de una área superficial por cualquiera de sus lados.

## RESUMEN

En el primer capítulo se presentan los conceptos y definiciones básicas que se deben tomar en cuenta para la comprensión de la investigación realizada, como lo son estación hidrométrica, aforo, vertiente, río, cuenca y sus diferentes componentes.

El segundo capítulo describe las diferentes estaciones hidrométricas, cuenca a la que pertenecen, localización geográfica, descripción general y fotografías de cada una de ellas.

En el tercer capítulo se describe el procedimiento para la realización de la curva de calibración de caudal, el historial de aforos de cada estación y la realización de la curva de calibración de caudal, por estación hidrometereológica.

En el cuarto y último capítulo se hace un análisis de campo y de los datos obtenidos en el trabajo gabinete, así como la tendencia que muestra las curvas y aforos.

La investigación muestra la tendencia que los diferentes ríos en control por parte el INSIVUMEH a lo largo de la vertiente del pacífico, específicamente de la cuenca río Coyolate a la cuenca Olopa.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar las curvas de calibración de caudal de las diferentes estaciones hidrométricas, ubicadas entre la cuenca río Coyolate y la cuenca Olopa, pertenecientes a la vertiente del Pacífico.

### **Específicos**

1. Determinar la ecuación de cada curva con la cual se obtendrá el caudal para los diferentes niveles del río.
2. Aplicar el programa HEC-RAS para la extrapolación de la curva de calibración de caudal.
3. Analizar la serie de aforos para la realización de cada curva de calibración de caudal.



## INTRODUCCIÓN

Guatemala cuenta con una gran riqueza en recurso hídrico, la cual es importante para la sostenibilidad del país y de países vecinos. Uno de los problemas que afrontan los temas hidrológicos, es la falta de control de los mismos, que se traduce en: la cantidad de caudal que transportan los ríos y los niveles en períodos de estiaje y lluvia. No es viable aforar un río en tiempo de lluvia debido a las condiciones extremas que se presentan en los cauces, sin embargo, es posible determinar de forma matemática y gráfica, el caudal aproximado que un río transporta en un nivel determinado, a través de la curva de calibración de caudal.

Para la realización de la curva de calibración, la cual se define como la relación entre el nivel del río y su caudal aproximado, es importante conocer el historial de aforo del punto de control a lo largo de una serie de tiempo; mientras más aforos se tenga, más exacta será la curva de calibración. Un problema detectado al hacer esta investigación, es la falta de datos en algunas estaciones, para ello se toman en cuenta aforos obtenidos durante los años hidrológicos 2010-2013, para conocer la tendencia de la curva. Se realizan las curvas de calibración de caudal con los datos obtenidos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-, las variables de la ecuación se encontraron a través del método de mínimos cuadrados.

Con la investigación y realización de las curvas de calibración de caudal, se contribuye al enriquecimiento de los datos requeridos, para el control del recurso hídrico en el país.



# **1. CONCEPTOS Y DEFINICIONES**

A continuación se describen varios conceptos y definiciones para una mejor comprensión de los términos utilizados en esta investigación.

## **1.1. Cuenca**

En ella se manifiestan los diferentes factores para el estudio hidrológico, de los cuales se mencionan: precipitación, infiltración, escurrimiento superficial, y otros.

## **1.2. Definición de cuenca**

Es una parte continua de superficie de la tierra la cual se delimita por cumbres llamada parteaguas. La cuenca también es conocida como drenaje natural, en el cual fluyen todas sus aguas a través de un cauce o río principal hacia el mar, o bien hacia un lago.

## **1.3. Característica de la cuenca**

A continuación se describen las características principales de una cuenca.

### **1.3.1. Cuenca exorreica**

Es aquella que drena hacia aguas continentales en algún mar o con el océano, es decir, que drenan hacia afuera del continente.

### **1.3.2. Divisoria de aguas**

Está formada por las cumbres o partes altas que forman el límite entre la cuenca hidrográfica y las cuencas vecinas, la precipitación busca unirse al río principal de la cuenca respectiva, es así como está constituida la divisoria continental en América, la cual separa las aguas que son drenadas hacia el océano Pacífico y el océano Atlántico.

### **1.3.3. Río principal**

Este suele ser aquel de mayor caudal, área de drenaje y longitud. El río principal tiene un curso el cual es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura. En este curso se distinguen tres etapas diferentes: la primera de ellas es el curso superior que está ubicado en la parte superior del relieve que provoca la erosión de forma vertical; el curso medio donde el río serpentea provocando un ensanchamiento del valle; el curso inferior en el cual el río pierde fuerza y da lugar a la sedimentación de los materiales sólidos que arrastra, formando así los valles aluviales.

### **1.3.4. Los afluentes**

Son los ríos secundarios que aportan o contribuyen al río principal, cada uno tiene su respectiva cuenca, la cual se denomina subcuenca.

### **1.3.5. El relieve de cuenca**

Es el cambio de alturas a lo largo de la cuenca; está formado por las montañas, quebradas, valles y mesetas.

### **1.3.6. Parteaguas**

Es la línea imaginaria en un plano de área superficial, delimitado por las partes más altas; la cual separa la cuenca, subcuenca o micro cuenca.

## **1.4. Aforo**

Acción de medir el caudal que lleva una corriente por unidad de tiempo en un punto de control determinado.

### **1.4.1. Instrumentos usados para el aforo**

El instrumento utilizado para el cálculo de la velocidad de corriente es el molinete, el consiste en una rueda o hélice de aspas que giran impulsadas por la corriente que mediante un sistema eléctrico, trasmite por un cable el número de revoluciones por minuto o por segundo con que gira la hélice. Dependerá del aforador, las características del río, y el factor económico del que se disponga para optar por molinetes más sofisticados.

### **1.4.2. Tipos de aforos**

Existen dos tipos de aforos: aforo directo y aforo indirecto, los cuales se describen a continuación.

#### **1.4.2.1. Aforo directo**

Es aquel que expresa el caudal en función de volumen sobre el tiempo, en un punto de control, entre ellos se encuentran: el aforo volumétrico, químico y por molinete.

#### **1.4.2.2. Aforo indirecto**

Se obtiene a través del historial de aforos y funciones matemáticas. Entre los métodos más comunes están: curva de calibración de caudal y pendiente-área.

### **1.5. Estación hidrométrica**

Es un lugar fijo en una sección de control del río, escogiendo el lugar al evaluar los factores que lo rodean, con el fin de realizar un conjunto de operaciones para determinar el caudal que pasa en el río, en un momento y tiempo determinado.

#### **1.5.1. Generalidades de una estación hidrométrica**

En una estación hidrométrica se realizan lecturas de parámetros hidrológicos, como el nivel del río que guarda una estrecha relación con el caudal. Esto se debe a que en la medición de caudales se lleva a cabo de forma directa o instantánea y las mismas se ejecutan de forma espaciada a través del año hidrológico. Los parámetros obtenidos en la medición de caudal se pueden representar en una gráfica llamada curva de calibración o gasto.

##### **1.5.1.1. Medición de alturas**

Las estaciones hidrométricas se encuentran en puntos estratégicos con el fin de llevar un control de las diferentes alturas que el río presenta, para ello se emplean los siguientes instrumentos de medición: limnómetro y limnógrafo.

#### 1.5.1.1.1. Limnómetro

Son reglas graduadas para medir la altura del río en observación, estas se colocan en bases de concreto. La medición de alturas la realiza un observador que ejecuta la lectura, como mínimo dos veces al día. La lectura del limnómetro en época de lluvia se realiza de forma constante, para conocer el nivel máximo que alcanzará el río. El limnómetro se muestra en la figura 1.

Figura 1. Limnómetro



Fuente: INSIVUMEH, estación Cunlaj.

#### 1.5.1.1.2. Limnígrafo

Es un aparato automático con el cual se obtiene un registro continuo de los niveles del río, gracias a un sistema de funcionamiento por medio de un flotador, el cual acciona un sistema de pluma que dibuja una gráfica en una cartilla, son colocados en lugares de fácil acceso y protegidos por una caseta y tubo metálico como se muestra en la figura 2, con ello se evita daños en el

flotador y la eliminación de fluctuaciones debidas a las ondas superficiales de la corriente.

Figura 2. **Limnógrafo**



Fuente: INSIVUMEH, estación Monte Cristo.

### **1.5.2. Selección de sitio para estación hidrométrica**

Las condiciones para la ubicación de una estación hidrométrica, deben garantizar la veracidad de los datos que en ella se recolectarán, estas condiciones son:

- Debe ser un tramo recto, de orillas paralelas, con una distancia aguas arriba y aguas abajo de cinco veces el ancho, como mínimo.
- El tramo del río no debe ser inundable.

- El tramo del cauce debe ser con pendiente uniforme y reducida, de flujo uniforme que no forme remolinos, sin irregularidades ni obstrucciones, piedra y vegetación.
- El lecho debe ser estable, tanto en perfil longitudinal como transversal.
- Acceso fácil vía terrestre.
- Debe ser un sitio en donde las actividades humanas no alteren el cauce el río.

#### **1.5.2.1. Componentes de una estación hidrométrica**

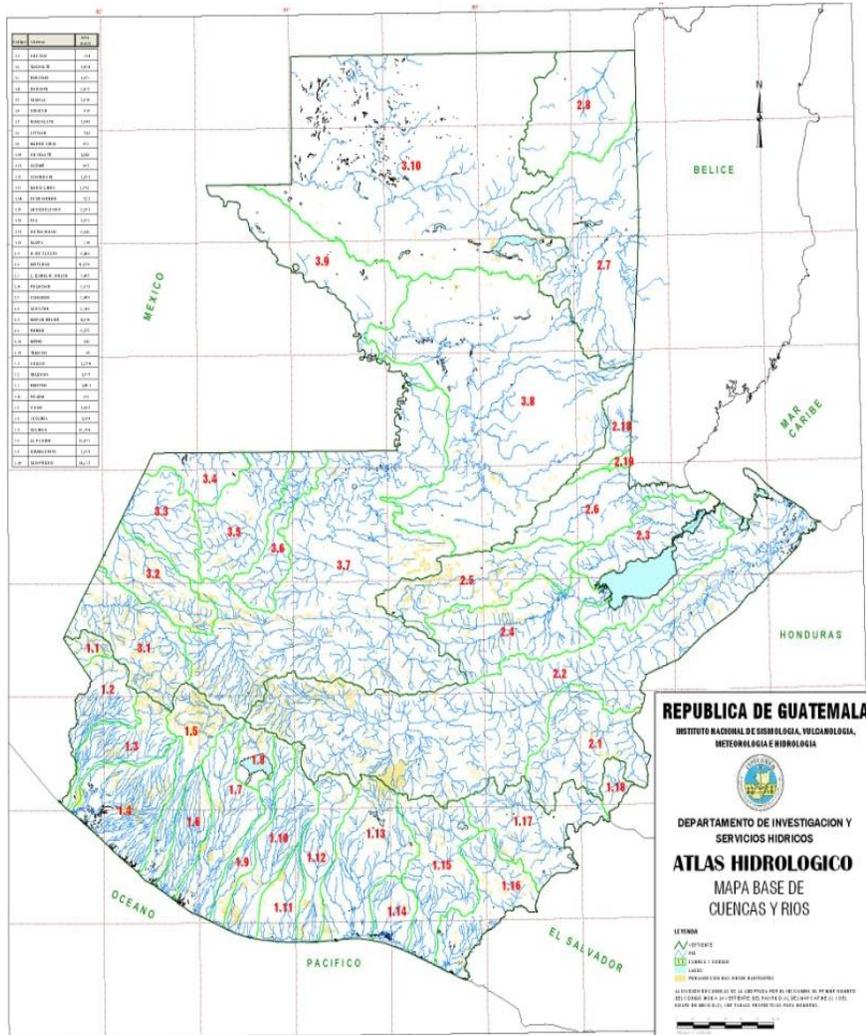
Toda estación hidrométrica debe contar con diferentes componentes básicos necesarios para la recolección de datos los cuales son:

- Limnógrafo
- Limnímetros
- Canasta de aforo

#### **1.5.3. Vertientes de Guatemala**

Guatemala cuenta con tres vertientes estas son: vertiente del Pacífico, vertiente Atlántico y vertiente del golfo de México, esta partición particular de vertientes se debe a la parte montañosa que se encuentra en el centro del país. Una vertiente es la elevación de un terreno o pendiente de una montaña, a lo largo de un área superficial por cualquiera de sus lados. Guatemala se encuentra ubicada en la parte alta de Centro América, esto permite distribuir parte de sus afluentes a los países vecinos, como la desembocadura a los océanos Pacífico y Atlántico, de allí la importancia del estudio hidrológico en Guatemala.

Figura 3. Vertientes de Guatemala



Fuente: INSIVUMEH.

### 1.5.3.1. Vertiente del golfo de México

Es la vertiente más grande del país que ocupa el 40 % del territorio nacional, los ríos de esta vertiente son los más caudalosos del país con

grandes longitudes. Las crecidas son de larga duración, los cauces son relativamente estables.

#### **1.5.3.2. Vertiente del mar Caribe**

La particularidad de esta vertiente consiste en contener los ríos más largos del Guatemala a través de grandes barrancas y cañones, con pendientes suaves y desarrollo menos brusco. Las crecidas son de mayor duración, los caudales son más constantes durante todo el año. Ocupa aproximadamente el 35 % del país y en ella están los principales ríos navegables.

#### **1.5.3.3. Vertiente del Pacífico**

Se caracteriza por tener ríos cortos, presenta pendientes fuertes por el cambio de altura así como pendientes mínimas en la parte costera. Las características de estos ríos generan zonas susceptibles de inundación en la parte baja, al producirse crecidas de forma instantánea de gran magnitud y corta duración.

### **1.6. Parámetros necesarios para el estudio de calibración de caudal**

Los parámetros necesarios que debe cumplir el estudio de calibración de caudal se describen a continuación.

#### **1.6.1. Topografía de la sección del río estudiado**

Esta consiste en tener definida la sección transversal para conocer el comportamiento a lo largo de la sección de control del río, sus modificaciones al momento de cesar la temporada de lluvia y así poder conocer la nueva área de

la sección. Este levantamiento topográfico se hace con ayuda de un teodolito y estadal, como se muestra en la figura 4. Esta sección debe ser definida cincuenta metros aguas arriba y aguas abajo, preferiblemente, con una pendiente suave para evitar flujos turbulentos en la estación hidrométrica y así, obtener datos verídicos.

Figura 4. **Topografía de la sección transversal de un río**



Fuente: INSIVUMEH, estación Corral Grande II.

### **1.6.2. Característica de la cuenca**

Son características que permitirán comprender mejor la variación de los caudales en los ríos, estas son:

- Ubicación geográfica
- Área
- Perímetro
- Cauce principal
- Cuencas vecinas
- Actividad productiva en la cuenca
- Población

- Cultivo
- Áreas boscosas
- Sistema de drenajes de las comunidades
- Tipo de suelo
- Evaporación
- Horas sol
- Precipitación

### **1.6.3. Lecho del río**

Es el canal natural donde circula el agua de una cuenca, particular y único para cada río o tramo. El lecho del río está en función de la geología, la vegetación y actividades humanas que pudieran afectar el mismo. Se clasifica para uso de cálculos hidrométricos, según la composición y así asignarle un coeficiente de rugosidad de Manning.

### **1.6.4. Historia de aforos**

Es una reseña de los últimos años de observación del punto de control en un río con respecto del caudal, vital para el estudio hidrológico y estimaciones de caudales futuros.

## **1.7. Coeficiente de rugosidad de Manning**

Tras varios estudios, el ingeniero Irlandés Robert Manning, determinó la rugosidad de una superficie, en contacto con una corriente de agua, esta rugosidad es empleada en la fórmula de velocidad de Manning, fórmula que lleva el nombre del autor.

## **1.8. Programa HEC–RAS 4.1.0**

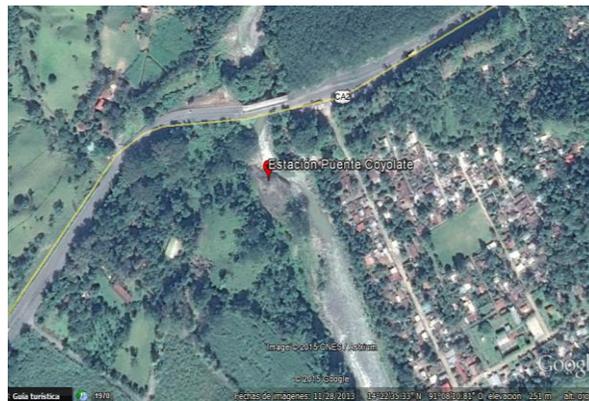
Es un software gratuito de origen estadounidense, desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de la Armada; es un programa de modelización hidráulica compuesto por los siguientes tipos de análisis: modelización de flujo en régimen permanente, modelización de flujo en régimen no permanente, modelización del transporte de sedimentos. Lo anterior se logra al definir las cotas en perfiles transversales del cauce, pendiente y rugosidad de Manning. El cual permite simular caudal y velocidad, en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua, por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundación. Asimismo, determina las zonas inundables, con ello se simula de manera aproximada la dinámica del cauce.



### 2.1.1. Estación Puente Coyolate

Ubicada en el departamento de Suchitepéquez municipio de Patulul, a un costado de la carretera centroamericana CA2 occidente, aproximadamente a 105 metros de la misma con coordenadas geográficas  $14^{\circ} 22' 35''$  N,  $91^{\circ} 08' 12''$  O. A continuación se muestra en la figura 6.

Figura 6. Ubicación estación Coyolate



Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.1.1. Descripción general

Estación que monitorea el río Coyolate, en ella se encuentran instalados un limnómetro, un limnógrafo y una sección de aforo. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal con roca cortada al margen izquierdo y grava fina en margen derecho; presenta menor irregularidad en paredes y fondo, así como una ocasional variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en figura 7.

Figura 7. **Estación puente Coyolate**



Fuente: INSIVUMEH.

### 2.1.2. **Estación El Carrizal**

Ubicada en el departamento de Escuintla municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa. El acceso a la misma es a través de la carretera RD ESC-5 a 900 metros de la misma. Con coordenadas geográficas  $14^{\circ} 11' 4,56''$  N,  $91^{\circ} 08' 4,92''$  O. A continuación se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Ubicación estación El Carrizal**



Fuente: elaboración propia.

### **2.1.2.1. Descripción general**

Estación que monitorea el río Cristóbal-Pantaleón. En ella se encuentra instalados cinco limnímetros, cable vía y una estación hidrometeorológica que cuenta con un pluviómetro. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal con vegetación media en margen derecho y baja vegetación en margen izquierdo, presenta menor irregularidad en paredes y fondo, así como una gradual variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en figura 9.

Figura 9. **Estación El Carrizal**



Fuente: INSIVUMEH.

## **2.2. Cuenca del río Achiguate**

Pertenece a los municipios de Escuintla, Chimaltenango, Sacatepéquez y Guatemala, corresponde a la vertiente del Pacífico con un área de 129 100 hectáreas abarca el 1,2 % del territorio nacional.

### 2.2.1. Estación Cenizas II

Ubicada en el departamento de Escuintla municipio de Escuintla. El acceso es a través de la carretera centroamericana CA2-Occidente aproximadamente a 2 kilómetros de la misma, con coordenadas geográficas 14° 16' 14,95" N, 90° 53' 48,08" O. A continuación se muestra en la figura 10.

Figura 10. **Ubicación Cenizas II**



Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.1.1. Descripción general

Estación que monitorea el río Cenizas, en ella se encuentra instalados limnímetros, cable vía y un pluviómetro. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal con roca gruesa en margen derecho y canal cortado con roca en margen izquierdo, presenta menor irregularidad en paredes y fondo, así como una ocasional variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en la figura 11.

Figura 11. **Estación Cenizas II**



Fuente: INSIVUMEH.

### 2.2.2. **Estación San Luis las Carretas**

Ubicada en el departamento de Sacatepéquez municipio de Pastores. El acceso es a través de la carretera nacional RN14 aproximadamente a 117 metros de la misma con coordenadas geográficas  $14^{\circ} 36' 12''$  N,  $90^{\circ} 45' 47''$  O. A continuación se muestra en la figura 12.

Figura 12. **Ubicación San Luis las Carretas**



Fuente: elaboración propia.

### **2.2.2.1. Descripción general**

Estación que monitorea el río Guacalate, en ella se encuentran instalados limnímetros. El lecho del río muestra una superficie de tierra con rocas gruesas, en el canal principal con grava fina, tanto en margen derecho como izquierdo, presenta irregularidades en paredes y fondo, así como una ocasional variación en tamaño y forma.

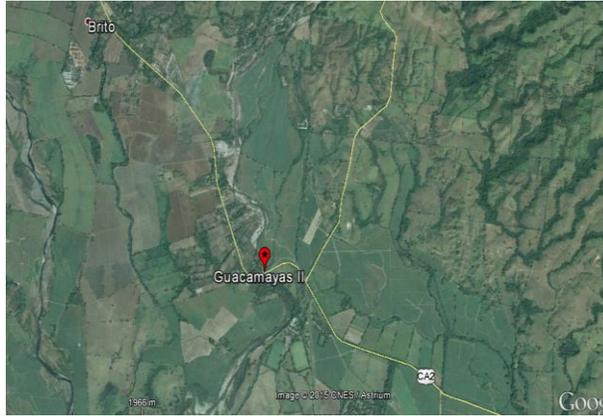
## **2.3. Cuenca del río María Linda**

Pertenece a los municipios de Guatemala, Sacatepéquez, Santa Rosa y Escuintla, corresponde a la vertiente del Pacífico, con un área de 257 200 hectáreas que representa el 2,4 % del territorio nacional.

### **2.3.1. Estación Guacamayas II**

Ubicada en el departamento de Escuintla municipio de Guanagazapa. El acceso es a través de la carretera centroamericana sur CA2, 27 metros de la misma, con coordenadas geográficas 14° 06' 53,17" N, 90° 38' 25,80" O. A continuación se muestra en la figura 13.

**Figura 13. Ubicación Guacamayas II**



Fuente: elaboración propia.

### **2.3.1.1. Descripción general**

Estación que monitorea el río María Linda, en ella se encuentran instalados limnímetros y una estación hidrometeorológica satelital que cuenta con un pluviómetro. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal, con vegetación en margen derecho y grava fina en margen izquierdo, presenta menor irregularidad en paredes y fondo, así como menor variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en la figura 14.

Figura 14. **Estación Guacamayas II**

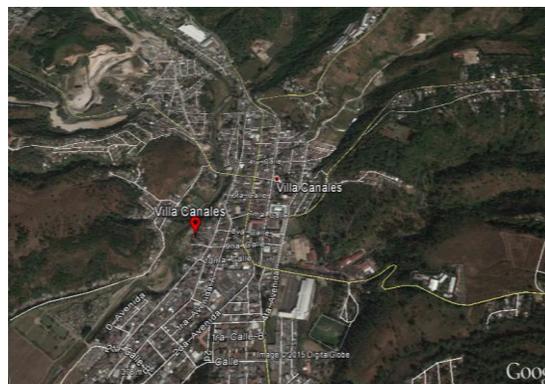


Fuente: INSIVUMEH.

### 2.3.2. **Estación Villa Canales**

Se ubica en el departamento de Guatemala, municipio de Villa Canales. El acceso es a través de la ruta departamental El Tablón-Villa Canales, aproximadamente a 184 metros de la misma, con coordenadas geográficas  $14^{\circ}28' 52''$  N  $90^{\circ} 32' 10''$  O. A continuación se muestra en la figura 15.

Figura 15. **Ubicación Villa Canales**



Fuente: elaboración propia.

### **2.3.2.1. Descripción general**

Estación que monitorea el río Villalobos, en ella se encuentran instalados limnímetros. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal, con vegetación en margen derecho y grava gruesa en margen izquierdo, presenta menor irregularidad en paredes y fondo, así como una ocasional variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en la figura 16.

Figura 16. **Estación Villa Canales**

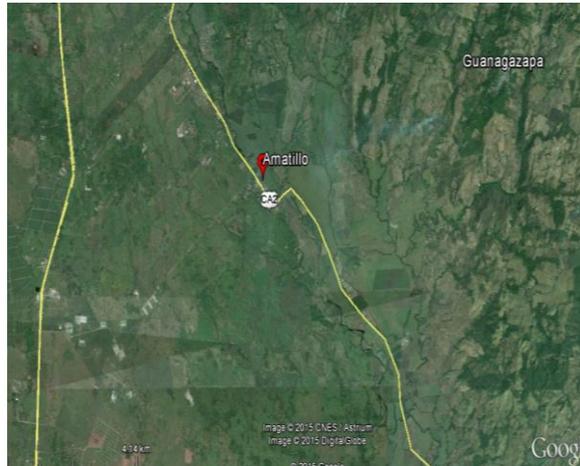


Fuente: INSIVUMEH.

### **2.3.3. Estación Amatillo**

Ubicada en el departamento de Escuintla, municipio de Escuintla. El acceso es a través de la carretera centroamericana CA-9 Sur, aproximadamente a 100 metros de la misma, con coordenadas geográficas 14°12' 10" N, 90° 42' 65" O. A continuación se muestra en la figura 17.

Figura 17. **Ubicación Amatillo**



Fuente: elaboración propia.

### **2.3.3.1. Descripción general**

Estación que monitorea el río Michatoya, en ella se encuentran instalados limnímetros. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal, con vegetación, tanto en margen izquierdo como en el derecho, presenta menor irregularidad en paredes y fondo, así como una ocasional variación en tamaño y forma.

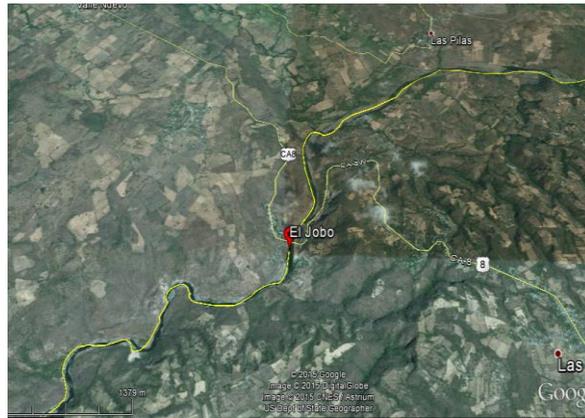
## **2.4. Cuenca del río Paz**

Pertenece a los municipios de Jutiapa y Santa Rosa, corresponde a la vertiente del Pacífico con un área de 173 200 hectáreas, representa el 1,6 % del territorio nacional.

### 2.4.1. Estación El Jobo

Ubicada en el departamento de Jutiapa municipio de Jalpatagua. El acceso es a través de la carretera centroamericana CA8-Oriente aproximadamente a 98 metros de la misma, con coordenadas geográficas 14°01' 00" N, 89° 54' 25" O. A continuación se muestra en la figura 18.

Figura 18. Ubicación El Jobo



Fuente: elaboración propia.

#### 2.4.1.1. Descripción general

Estación que monitorea el río Paz, en ella se encuentran instalados tres limnímetros y una estación hidrometeorológica, que cuenta con un pluviómetro. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal como en el margen izquierdo y en el derecho; presenta menor irregularidad en paredes y fondo, así como una ocasional variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en figura 19.

**Figura 19. Estación El Jobo**



Fuente: INSIVUMEH.

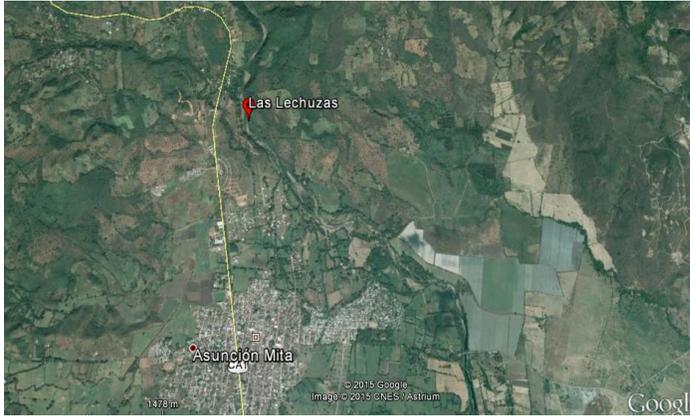
## **2.5. Cuenca del río Ostúa-Güija**

Pertenece a los municipios de Chiquimula, Jalapa, Santa Rosa y Jutiapa, corresponde a la vertiente del Pacífico, tiene un área de 224 300 hectáreas, que representan el 2,1 % del territorio nacional.

### **2.5.1. Estación Las Lechuzas**

Ubicada en el departamento de Jutiapa, municipio de Asunción Mita. El acceso es a través de la carretera centroamericana CA1-Oriente aproximadamente a 390 metros de la misma, con coordenadas geográficas 14°21' 15" N 89° 42' 45" O. A continuación se muestra en la figura 20.

Figura 20. **Ubicación Las Lechuzas**



Fuente: elaboración propia.

### **2.5.1.1. Descripción general**

Estación que monitorea el río Ostúa, en ella se encuentran instalados limnímetros, cable vía y una estación hidrometeorológica, que cuenta con un pluviómetro. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal, con roca en margen derecho así como grava gruesa en margen izquierdo, presenta moderada irregularidad en paredes y fondo. Asimismo, una ocasional variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en la figura 21.

Figura 21. Estación Las Lechuzas

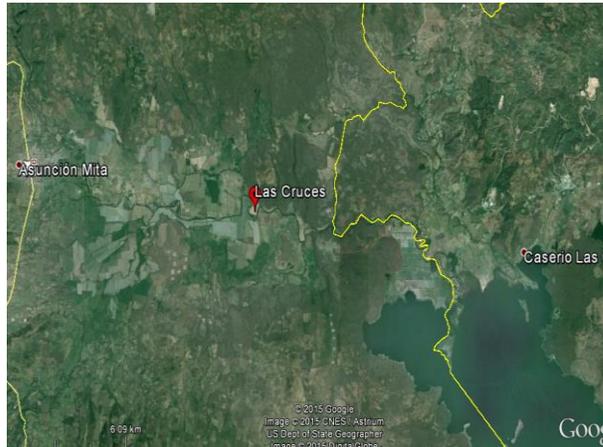


Fuente: INSIVUMEH.

### 2.5.2. Estación Las Cruces

Ubicada en el departamento de Jutiapa municipio de Asunción Mita. El acceso es a través de la carretera centroamericana CA1-Oriente aproximadamente a 8 kilómetros de la misma, con coordenadas geográficas  $14^{\circ} 19' 5,99''$  N,  $89^{\circ} 37' 24,96''$  O. A continuación se muestra en la figura 22.

**Figura 22. Ubicación las Cruces**



Fuente: elaboración propia.

### **2.5.2.1. Descripción general**

Estación que monitorea el río Ostúa, en ella se encuentra instalados limnímetros, cable vía y una estación hidrometereológica, cuenta con un pluviómetro. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal con vegetación en margen derecho, así como tierra en el izquierdo, presenta menor irregularidad en paredes y fondo. Asimismo, tiene una frecuente variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en la figura 23.

**Figura 23. Estación Las Cruces**



Fuente: INSIVUMEH.

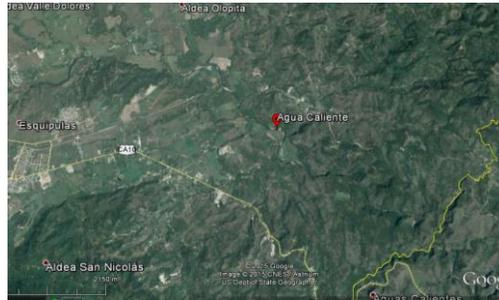
## **2.6. Cuenca del río Olopa**

Pertenece al municipio de Chiquimula, corresponde a la vertiente del Pacífico con un área de 31 000 hectáreas, representa el 0,3 % del territorio nacional.

### **2.6.1. Estación Agua Caliente**

Ubicada en el en el departamento de Chiquimula, municipio de Esquipulas. El acceso es a través de la carretera centroamericana CA10-Oriente aproximadamente a 1,69 kilómetros de la misma. Con coordenadas geográficas 14° 34' 8,87" N, 89° 17' 24,40" O. A continuación se muestra en la figura 24.

**Figura 24. Ubicación Agua Caliente**



Fuente: elaboración propia.

### **2.6.1.1. Descripción general**

Estación que monitorea el río Olopa, en ella se encuentran instalados tres limnímetros, sensor de nivel y cable vía. El lecho del río muestra una superficie de tierra en el canal principal, con roca en margen izquierdo, así como vegetación en margen derecho. Presenta menor irregularidad en paredes y fondo, así como una ocasional variación en tamaño y forma. Estación que se muestra en la figura 25.

**Figura 25. Estación Agua Caliente**



Fuente: INSIVUMEH.

### **3. ANÁLISIS DE DATOS DE GABINETE**

#### **3.1. Procedimiento y secuencia de la obtención de datos de gabinete**

Los datos que se utilizan para la realización de las diferentes curvas de calibración de caudal, provienen de la base de datos del INSIVUMEH. La secuencia de obtención de datos la realiza la institución, la cual organiza a los distintos técnicos especializados en equipos y los envía en comisiones hacia las diferentes estaciones ubicadas en todo el territorio nacional.

Los técnicos llegan a las estaciones hidrológicas, las cuales son puntos de control para el monitoreo de los ríos en las diferentes cuencas del país. En cada estación el técnico debe medir el ancho de la sección de aforo, toma lectura del limnómetro, el cual se encuentra en el río objeto de estudio, antes y después de la realización del aforo.

El aforo se realiza en la sección, ya definida con anterioridad, si la sección muestra irregularidades, el técnico deberá buscar un tramo del río para realizar el aforo y dejar constancia de la distancia horizontal, en la que se encuentra, con respecto al limnómetro instalado en la sección de aforo.

El técnico toma fotografías, con el fin de llevar un control de las condiciones del canal principal del río y de sus márgenes, así como dar mantenimiento a los diferentes instrumentos de medición, estos se encuentran instalados en el punto de control. Este mantenimiento es vital para la veracidad de los datos. El punto de control debe contar con secciones transversales, tanto en la sección de aforo como a 60-100 metros aguas arriba y aguas abajo. Las

secciones deben ser actualizadas año con año, o después de un evento extremo, es el caso de tormentas o huracanes.

Los datos obtenidos por los técnicos en campo, son trasladados al equipo de ingenieros del INSIVUMEH, dichos profesionales calculan los diferentes parámetros hidrológicos los cuales se mencionan a continuación:

- Escala promedio
- Área
- Perímetro mojado
- Profundidad media
- Radio hidráulico
- Profundidad máxima
- Velocidad media
- Caudal
- Factor hidráulico

### **3.2. Historial de aforos de cada estación**

A continuación se detalla el historial de aforos correspondiente al período 2010-2013, de las cuencas: Coyolate, Achiguate, María Linda, Paz, Ostúa-Güija y Olopa.

**Tabla I. Aforos de cuenca Coyolate**

Estación	Fecha	Escala	Área	Ancho	Prof. Media	Velocidad media	Caudal
El Carrizal	04/05/10	0,590	10,887	25,660	0,424	0,685	7,459
El Carrizal	19/06/12	0,845	34,884	76,670	0,455	1,252	43,671
El Carrizal	13/05/13	0,390	20,661	38,860	0,532	0,423	8,742
Puente Coyolate	05/05/10	0,270	14,762	20,340	0,726	0,583	8,601
Puente Coyolate	27/05/11	0,940	21,248	20,280	1,048	0,553	11,754
Puente Coyolate	02/06/11	0,910	18,405	18,110	1,016	0,437	8,052
Puente Coyolate	23/05/12	0,900	17,540	20,400	0,860	0,608	10,658
Puente Coyolate	19/06/12	1,440	31,590	25,480	1,240	1,436	45,372
Puente Coyolate	11/09/12	1,150	26,262	23,820	1,103	1,079	28,347
Puente Coyolate	11/10/12	1,240	28,941	25,350	1,142	1,171	33,895

Fuente: elaboración propia.

**Tabla II. Aforos de cuenca Achiguate**

Estación	Fecha	Escala	Área	Ancho	Prof. Media	Velocidad media	Caudal
Cenizas	01/03/11	0,110	4,743	18,810	0,252	0,586	2,778
Cenizas	11/05/11	0,080	4,093	11,220	0,365	0,506	2,070
Cenizas	13/02/12	0,020	4,246	13,260	0,320	0,425	1,805
San Luis Las Carretas	10/09/12	0,240	1,309	4,090	0,320	0,625	0,818
San Luis Las Carretas	07/06/13	0,180	1,573	4,700	0,335	0,559	0,879
San Luis Las Carretas	07/06/13	0,180	1,573	4,700	0,335	0,601	0,945
San Luis Las Carretas	07/06/13	0,180	1,573	4,700	0,335	0,520	0,817
San Luis Las Carretas	10/07/13	0,220	1,575	4,760	0,331	0,719	1,132
San Luis Las Carretas	18/09/13	0,280	1,672	4,820	0,347	0,764	1,278
San Luis Las Carretas	17/10/13	0,280	1,556	4,730	0,329	0,822	1,279

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Aforos de cuenca María Linda**

Estación	Fecha	Escala	Área	Ancho	Prof. Media	Velocidad media	Caudal
Amatillo	01/03/11	0,380	18,883	12,270	1,539	0,209	3,949
Amatillo	14/04/11	0,800	23,112	12,430	1,859	0,636	14,688
Amatillo	01/06/11	0,680	19,382	11,660	1,662	0,477	9,240
Amatillo	18/01/12	0,500	19,641	12,050	1,630	0,239	4,700
Amatillo	13/02/12	0,640	21,638	12,660	1,709	0,427	9,243
Amatillo	13/02/12	0,930	27,997	12,340	2,269	0,813	22,750
Guacamayas II	01/03/11	0,130	11,581	27,070	0,428	0,695	8,054
Guacamayas II	11/05/11	0,080	8,740	27,850	0,314	0,702	6,137
Guacamayas II	13/02/12	0,220	20,383	33,220	0,614	0,760	15,493
Guacamayas II	11/04/12	-0,045	8,422	29,130	0,289	0,421	3,542
Guacamayas II	18/06/12	0,120	16,606	33,670	0,493	0,592	9,834
Guacamayas II	10/10/12	0,780	53,295	42,560	1,252	1,196	63,730
Villa canales	18/01/12	0,020	2,730	9,330	0,293	0,673	1,838
Villa canales	13/02/12	0,010	2,403	10,510	0,229	0,697	1,674
Villa canales	18/06/12	0,020	2,663	10,620	0,251	0,665	1,770
Villa canales	10/09/12	0,120	4,304	11,810	0,364	0,761	3,274

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Aforos de cuenca Paz**

Estación	Fecha	Escala	Área	Ancho	Prof. Media	Velocidad media	Caudal
El Jobo	17/04/12	1,460	46,140	66,000	0,699	0,185	8,521
El Jobo	30/07/13	1,670	42,945	62,020	0,692	0,979	42,046
El Jobo	10/09/13	1,920	60,180	62,000	0,971	0,625	37,597

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Aforos de cuenca Ostúa-Güija**

Estación	Fecha	Escala	Área	Ancho	Prof. Media	Velocidad media	Caudal
Las Cruces	16/02/11	0,480	12,666	23,030	0,550	0,325	4,122
Las Cruces	03/04/13	0,630	13,516	24,180	0,559	0,167	2,256
Las Cruces	04/04/13	0,640	12,600	25,000	0,504	0,166	2,086
Las Cruces	24/04/13	0,680	14,071	24,130	0,583	0,208	2,928
Las Lechuzas	17/04/12	0,410	11,069	22,760	0,486	0,257	2,850
Las Lechuzas	04/04/13	0,300	8,933	17,480	0,511	0,186	1,663
Las Lechuzas	23/04/13	0,310	8,913	18,180	0,490	0,245	2,180

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Aforos de cuenca Olopa**

Estación	Fecha	Escala	Área	Ancho	Prof. Media	Velocidad media	Caudal
Agua Caliente	16/02/11	0,130	10,560	20,040	0,527	0,122	1,287
Agua Caliente	20/04/12	0,430	6,495	18,000	0,361	0,107	0,694
Agua Caliente	25/05/12	0,600	10,337	20,170	0,512	0,637	6,580
Agua Caliente	22/02/13	0,700	9,739	18,320	0,532	0,061	0,594
Agua Caliente	24/04/13	0,660	9,045	17,170	0,527	0,043	0,387

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Procedimiento para la realización de las ecuaciones y las curvas de calibración de caudal

La realización de las ecuaciones y curvas de calibración es posible a través de los pasos descritos a continuación:

- Simulación con el programa HEC-RAS.
- Método de logaritmos para encontrar las variantes  $Z, K, H$ , de la ecuación de la curva.
- Elaboración de la curva con base a los datos obtenidos de los pasos anteriormente escritos.
- Localizar y graficar el punto extrapolado.

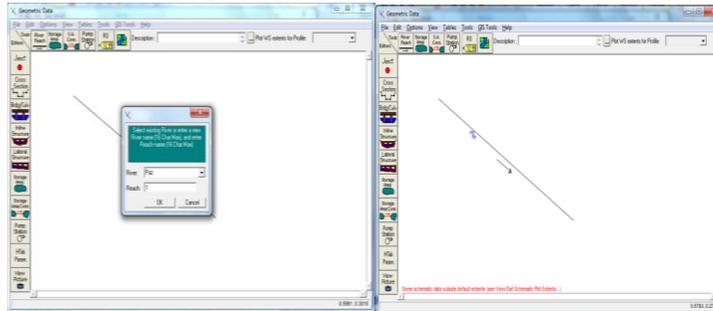
#### 3.3.1. Simulación con el programa HEC-RAS

La simulación en el programa HEC-RAS se realiza a través de los datos del punto de control de cada estación en estudio. Estos datos son:

- Historial de aforos.
- La pendiente del río.
- Secciones transversales.



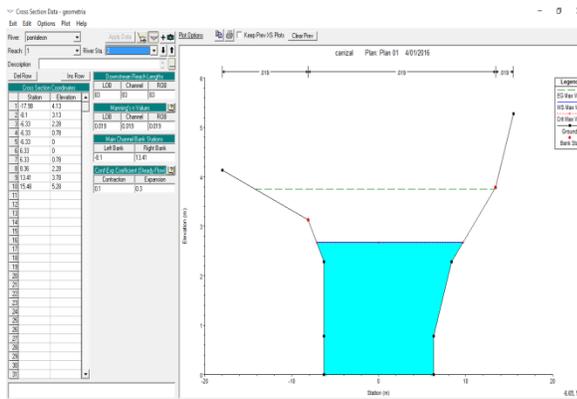
Figura 27. Nombre del río y número de tramos



Fuente: elaboración propia.

Se ingresan tres secciones transversales iniciando aguas arriba, la cota de desborde de la sección ingresada, la distancia hacia la próxima sección, así como el coeficiente de rugosidad de Manning. Ver figura 28.

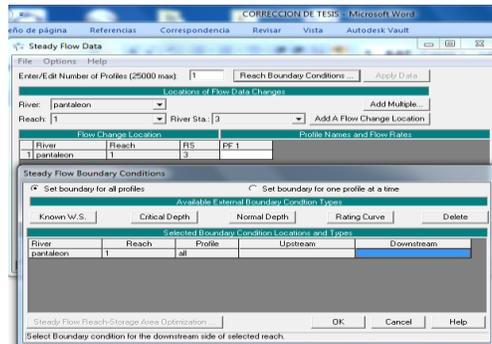
Figura 28. Ingreso de secciones transversales



Fuente: elaboración propia.

Se ingresa el caudal máximo, pendiente del río, en flujo permanente. Ver figura 29.

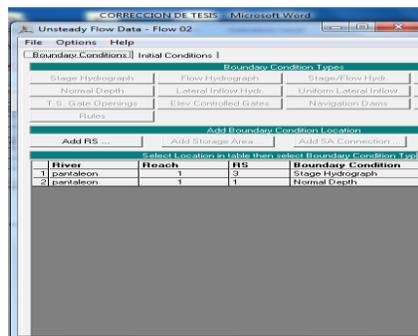
Figura 29. Ingreso de caudal y pendiente en flujo permanente



Fuente: elaboración propia.

Se procede a ingresar la pendiente, caudal máximo, en flujo permanente y no permanente. Ver figura 30.

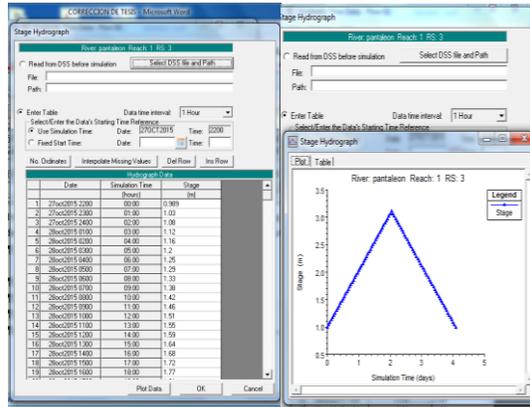
Figura 30. Ingreso de caudal y pendiente en flujo no permanente



Fuente: elaboración propia.

Ingreso de altura de nivel de agua en tiempo de estiaje y nivel de agua en crecida máxima observada o de banca llena, interpolación de datos. Ver figura 31.

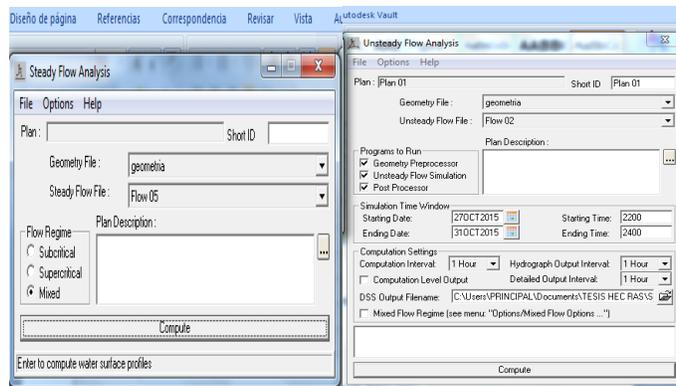
Figura 31. Ingreso de niveles e interpolación de datos



Fuente: elaboración propia.

Se corre el programa, en flujo permanente y en flujo no permanente. Ver figura 32.

Figura 32. Correr programa HEC-RAS

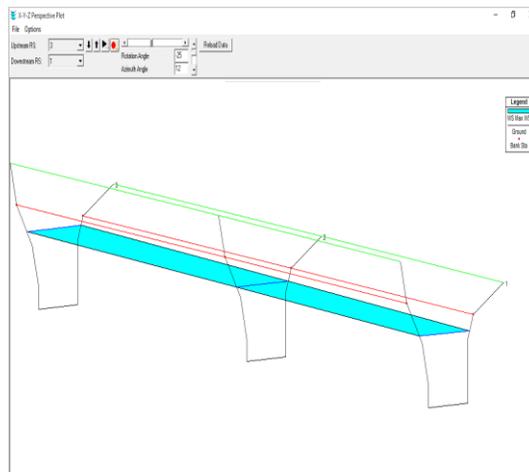


Fuente: elaboración propia.

Por último, se realiza la simulación en 3D, como se muestra en la figura 33. La obtención de datos que se utilizarán para la elaboración de curva de

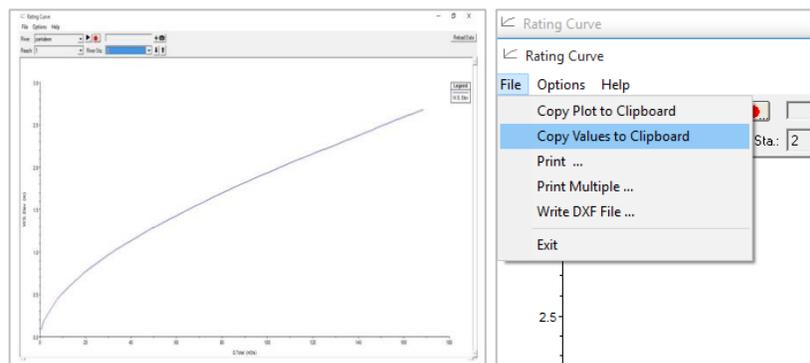
calibración de caudal se muestra en la figura 34, estos son alturas y caudales, los cuales se obtienen de la curva generada por HEC-RAS.

Figura 33. **Simulación en 3D de HEC-RAS**



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Curva de calibración estación Amatillo**



Fuente: elaboración propia.

### 3.3.2. Procedimiento para determinar la ecuación de curva de calibración de caudal por medio de logaritmos

Es una técnica matemática de análisis numérico, se logra aplicando logaritmo para encontrar datos faltantes de la ecuación. Para la realización de la curva es necesario encontrar las variantes  $Z, K$  y  $H$ , de la ecuación:

$$Q = K(H - H_o)^Z$$

Donde:

- Q = caudal escurrido (variable dependiente).
- K = constante asociada con el producto del factor hidráulico (F.H) de la fórmula de Manning.
- H = altura del nivel superficial del agua sobre el *datum* (variable independiente).
- H<sub>o</sub> = ajuste matemático o distancia del lecho del canal al *datum* (constante).
- Z = exponente (constante).

Se aplica el mismo procedimiento, tanto para los datos de caudal como para los niveles generados por HEC-RAS, con lo cual se encuentra la curva con un caudal extrapolado, tal y como para la curva de aforos reales. Esta última es válida hasta una altura "H", conocida por el nivel máximo aforado para cada estación. El ejemplo desarrollado a continuación pertenece a la estación Amatillo, con base a los datos de aforos proporcionados por INSIVUMEH, para la estación mencionada. Como se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. **Aplicación de logaritmo a los datos de “H” y “Q”**

No.	H	Q	log(H)	log(Q)	log(H)*log(Q)	log(H) <sup>2</sup>
1	0,380	3,949	-0,420	0,596	-0,251	0,177
2	0,500	4,700	-0,301	0,672	-0,202	0,091
3	0,640	9,243	-0,194	0,966	-0,187	0,038
4	0,680	9,240	-0,167	0,966	-0,162	0,028
5	0,800	14,688	-0,097	1,167	-0,113	0,009
6	0,930	22,750	-0,032	1,357	-0,043	0,001
<b>Σ</b>	<b>3,930</b>		<b>-1,210</b>	<b>5,723</b>	<b>-0,957</b>	<b>0,343</b>

Fuente: elaboración propia.

Se formula la ecuación general:

$$Q = K(H - H_o)^Z$$

Se aplica el logaritmo a ambos lados de la ecuación y se desarrolla aplicando la ley de los logaritmos, y se forman dos ecuaciones:

$$\log Q = \log K * N + Z(H - H_o)$$

$$\Sigma \log(Q) = \Sigma \log(K) * N + Z * \Sigma \log(H)$$

$$\Sigma \log(Q) * \Sigma \log(H) = \Sigma \log(K) * \Sigma \log(H) + Z * \Sigma (\log(H))^2$$

Se desarrolla cada ecuación, se despeja cada variable y sustituyen los valores, con ello, se encuentran las variables “K” y “Z”.

$$\log(K) = \frac{\left( \left( \frac{(\Sigma(\log H))^2 (\Sigma \log Q)}{(\Sigma \log(H))} \right) - (\Sigma \log(H) * \Sigma \log(Q)) \right)}{\left( \left( \left( \frac{N}{\Sigma \log(H)} \right) * \Sigma(\log(H))^2 \right) - \Sigma \log(H) \right)}$$

$$\log(K) = 1,3575$$

$$\mathbf{K = 22,77}$$

$$Z = \left( \frac{\Sigma \log(Q)}{\Sigma \log(H)} \right) - \left( \frac{N}{\Sigma \log(H)} * \frac{\left( \left( \frac{(\Sigma(\log H))^2 (\Sigma \log Q)}{(\Sigma \log(H))} \right) - (\Sigma \log(H) * \Sigma \log(Q)) \right)}{\left( \left( \left( \frac{N}{\Sigma \log(H)} \right) * \Sigma(\log(H))^2 \right) - \Sigma \log(H) \right)} \right)$$

$$\mathbf{Z = 2,00}$$

Después de encontrar las variantes se concluye que la ecuación de aforos reales es:

$$Q = K * (H - H_0)^Z$$

$$Q = 22,77 * (H - H_0)^{2,00}$$

Este mismo proceso se lleva a cabo con los niveles y caudales generados por el programa HEC-RAS. A diferencia del anterior, el programa da como resultado 99 datos (véase tabla VIII), para trabajarlos por medio de logaritmos, como el ejemplo presentado con anterioridad.

Tabla VIII. Datos de niveles y aforos obtenidos por HEC-RAS para estación Amatillo y aplicación de logaritmo

No.	H	Q	log(H)	log(Q)	log(H)*log(Q)	log(H)²	No.	H	Q	log(H)	log(Q)	log(H)*log(Q)	log(H)²
1	0.250	0.493	-0.602	-0.307	0.185	0.363	51	1.650	53.065	0.217	1.725	0.375	0.047
2	0.250	0.577	-0.602	-0.239	0.144	0.363	52	1.650	53.091	0.217	1.725	0.375	0.047
3	0.310	0.983	-0.509	-0.007	0.004	0.259	53	1.710	57.021	0.233	1.756	0.409	0.054
4	0.310	1.013	-0.509	0.006	-0.003	0.259	54	1.710	57.026	0.233	1.756	0.409	0.054
5	0.360	1.574	-0.444	0.197	-0.087	0.197	55	1.770	61.032	0.248	1.786	0.443	0.061
6	0.360	1.578	-0.444	0.198	-0.088	0.197	56	1.770	61.127	0.248	1.786	0.443	0.061
7	0.420	2.791	-0.377	0.446	-0.168	0.142	57	1.820	64.521	0.260	1.810	0.471	0.068
8	0.420	2.810	-0.377	0.449	-0.169	0.142	58	1.820	64.530	0.260	1.810	0.471	0.068
9	0.470	3.769	-0.328	0.576	-0.189	0.108	59	1.880	68.754	0.274	1.837	0.504	0.075
10	0.470	3.824	-0.328	0.583	-0.191	0.108	60	1.880	68.862	0.274	1.838	0.504	0.075
11	0.530	4.965	-0.276	0.696	-0.192	0.076	61	1.930	72.469	0.286	1.860	0.531	0.082
12	0.530	5.030	-0.276	0.702	-0.193	0.076	62	1.930	72.587	0.286	1.861	0.531	0.082
13	0.590	6.159	-0.229	0.790	-0.181	0.052	63	1.990	76.997	0.299	1.886	0.564	0.089
14	0.590	6.243	-0.229	0.795	-0.182	0.052	64	1.990	77.068	0.299	1.887	0.564	0.089
15	0.640	7.525	-0.194	0.877	-0.170	0.038	65	2.050	81.575	0.312	1.912	0.596	0.097
16	0.640	7.590	-0.194	0.880	-0.171	0.038	66	2.050	81.721	0.312	1.912	0.596	0.097
17	0.700	9.345	-0.155	0.971	-0.150	0.024	67	2.100	85.548	0.322	1.932	0.623	0.104
18	0.700	9.424	-0.155	0.974	-0.151	0.024	68	2.100	85.621	0.322	1.933	0.623	0.104
19	0.760	11.170	-0.119	1.048	-0.125	0.014	69	2.160	90.363	0.334	1.956	0.654	0.112
20	0.760	11.312	-0.119	1.054	-0.126	0.014	70	2.160	90.588	0.334	1.957	0.655	0.112
21	0.810	12.667	-0.092	1.103	-0.101	0.008	71	2.210	94.649	0.344	1.976	0.681	0.119
22	0.810	12.876	-0.092	1.110	-0.102	0.008	72	2.210	94.815	0.344	1.977	0.681	0.119
23	0.870	14.664	-0.061	1.166	-0.071	0.004	73	2.270	99.744	0.356	1.999	0.712	0.127
24	0.870	14.795	-0.061	1.170	-0.071	0.004	74	2.270	99.892	0.356	2.000	0.712	0.127
25	0.920	16.570	-0.036	1.219	-0.044	0.001	75	2.330	104.888	0.367	2.021	0.742	0.135
26	0.920	16.604	-0.036	1.220	-0.044	0.001	76	2.330	105.089	0.367	2.022	0.743	0.135
27	0.980	18.867	-0.009	1.276	-0.011	0.000	77	2.380	109.330	0.377	2.039	0.768	0.142
28	0.980	19.001	-0.009	1.279	-0.011	0.000	78	2.380	109.471	0.377	2.039	0.768	0.142
29	1.040	21.261	0.017	1.328	0.023	0.000	79	2.440	114.672	0.387	2.059	0.798	0.150
30	1.040	21.436	0.017	1.331	0.023	0.000	80	2.440	114.940	0.387	2.060	0.798	0.150
31	1.090	23.284	0.037	1.367	0.051	0.001	81	2.490	119.352	0.396	2.077	0.823	0.157
32	1.090	23.551	0.037	1.372	0.051	0.001	82	2.490	119.572	0.396	2.078	0.823	0.157
33	1.150	25.877	0.061	1.413	0.086	0.004	83	2.550	124.886	0.407	2.097	0.852	0.165
34	1.150	26.082	0.061	1.416	0.086	0.004	84	2.550	125.236	0.407	2.098	0.853	0.165
35	1.200	28.225	0.079	1.451	0.115	0.006	85	2.610	130.569	0.417	2.116	0.882	0.174
36	1.200	28.323	0.079	1.452	0.115	0.006	86	2.610	130.990	0.417	2.117	0.882	0.174
37	1.260	31.060	0.100	1.492	0.150	0.010	87	2.660	135.449	0.425	2.132	0.906	0.181
38	1.260	31.240	0.100	1.495	0.150	0.010	88	2.660	135.734	0.425	2.133	0.906	0.181
39	1.320	34.052	0.121	1.532	0.185	0.015	89	2.720	141.138	0.435	2.150	0.934	0.189
40	1.320	34.202	0.121	1.534	0.185	0.015	90	2.720	141.362	0.435	2.150	0.934	0.189
41	1.370	36.639	0.137	1.564	0.214	0.019	91	2.780	146.803	0.444	2.167	0.962	0.197
42	1.370	36.833	0.137	1.566	0.214	0.019	92	2.780	146.987	0.444	2.167	0.962	0.197
43	1.430	39.921	0.155	1.601	0.249	0.024	93	2.830	151.582	0.452	2.181	0.985	0.204
44	1.430	40.023	0.155	1.602	0.249	0.024	94	2.830	151.789	0.452	2.181	0.985	0.204
45	1.480	42.710	0.170	1.631	0.278	0.029	95	2.890	157.383	0.461	2.197	1.013	0.212
46	1.480	42.774	0.170	1.631	0.278	0.029	96	2.890	157.552	0.461	2.197	1.013	0.212
47	1.540	46.197	0.187	1.665	0.312	0.035	97	2.940	162.345	0.468	2.210	1.035	0.219
48	1.540	46.275	0.187	1.665	0.312	0.035	98	2.940	162.746	0.468	2.212	1.036	0.219
49	1.600	49.833	0.204	1.698	0.346	0.042	99	3.000	168.741	0.477	2.227	1.063	0.228
50	1.600	49.852	0.204	1.698	0.346	0.042	Σ	159.500	13.200	151.735	36.950	9.488	

Fuente: elaboración propia.

Al aplicar las ecuaciones de las variantes despejadas “K” y “Z” se obtiene la ecuación de curva de calibración de caudal, para la estación Amatillo para un caudal extrapolado:

$$\log(K) = 1,244233425$$

$$K = 17,5482$$

$$Z = 2,1632$$

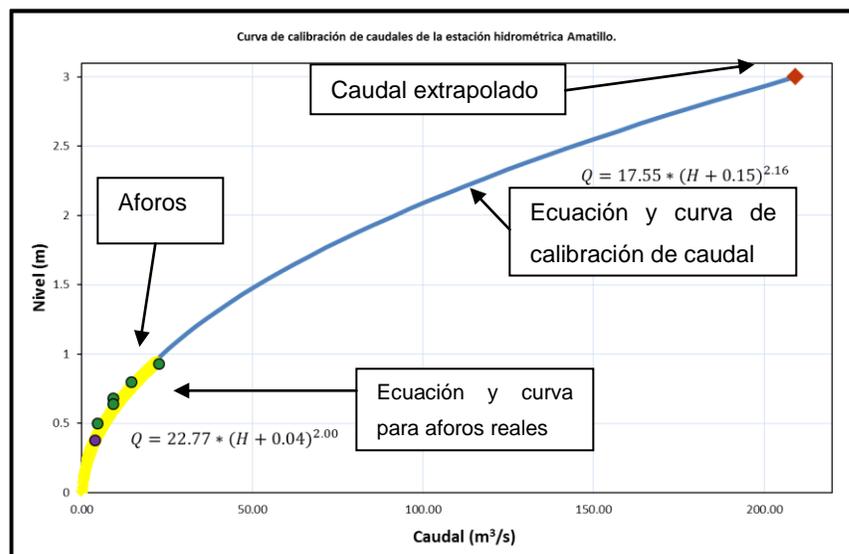
$$Q = 17,55 * (H - H_0)^{2,16}$$

Se procede a graficar cada ecuación que dará como resultado dos curvas, válido para diferentes alturas de “H”.

### 3.3.3. Localización del punto extrapolado en la curva de calibración de caudal y el gráfico del historial de aforos

El punto extrapolado es el punto más alto de la curva, el cual se localiza en la gráfica. Se plotea el nivel frente el caudal. Para cada nivel se aplica la ecuación encontrada en el inciso 3.3.2. Se plotean los aforos, datos obtenidos del historial de los mismos, estos deben estar lo más cercano a la curva y esta, seguir la tendencia de los aforos. Véase figura 35.

Figura 35. Ilustración de curva de calibración de caudal estación Amatillo

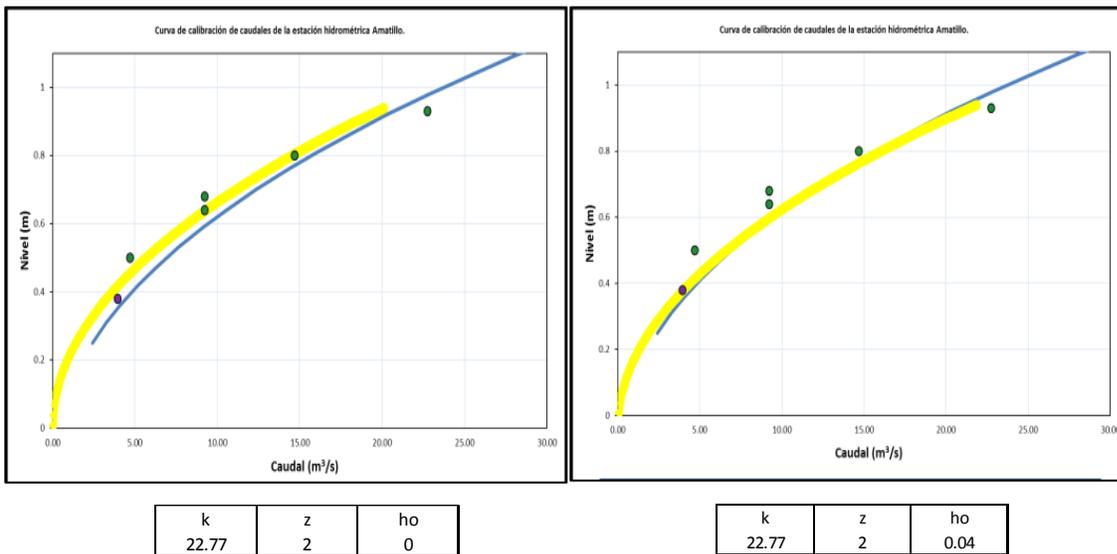


Fuente: elaboración propia.

### 3.3.4. Obtención de $H_o$

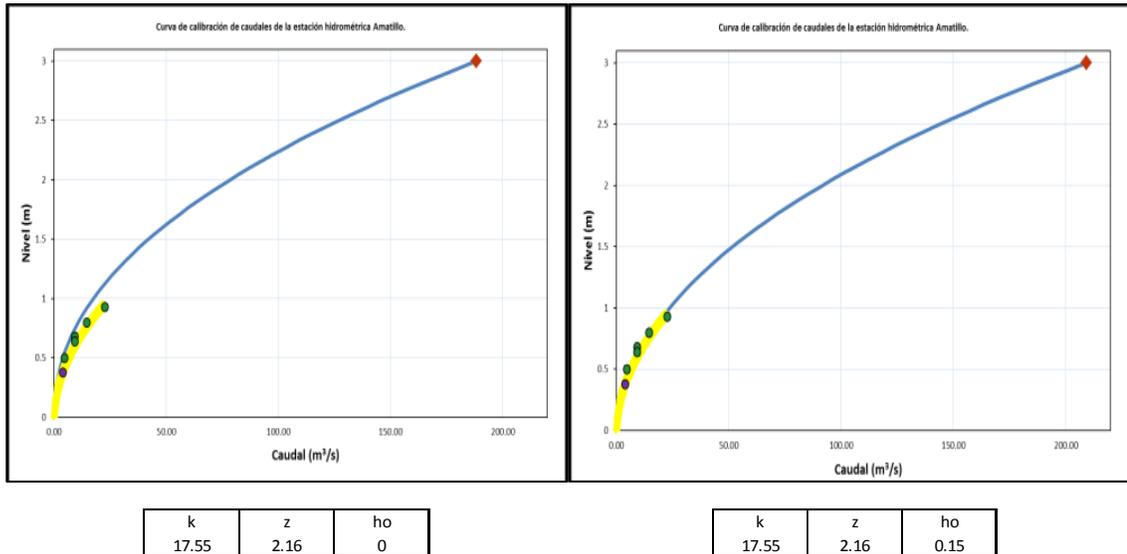
Es un ajuste matemático o distancia del lecho del canal, con el cual se debe suavizar la curva de calibración de caudal, debido a que este, es un dato no conocido, se obtiene mediante prueba y error al asumir los valores de " $H_o$ ", se toma en cuenta el nivel del río en tiempo de estiaje y crecida máxima. La figura 36 muestra el reajuste matemático de  $H_o$ , para suavizar la curva de aforos reales; la figura 37 muestra el reajuste matemático  $H_o$  para curva obtenida por medio de datos con el programa HEC-RAS.

Figura 36. Reajuste matemático " $H_o$ " para curva de aforos reales



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Reajuste matemático “Ho” para curva de calibración de caudal de estación Amatillo**



Fuente: elaboración propia.

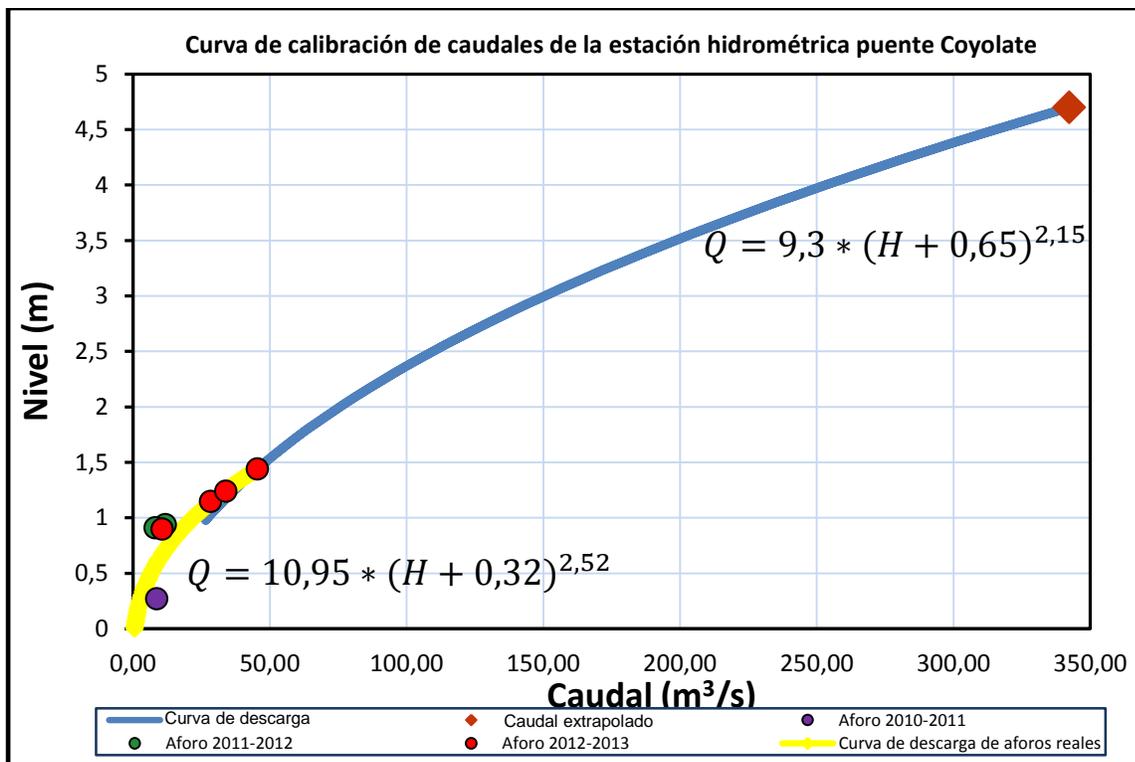
### 3.4. Realización de las ecuaciones, curvas de calibración de cada estación, caudal máximo y mínimo

En los siguientes incisos se muestran las curvas obtenidas con el procedimiento mostrado anteriormente, para las cuencas del Pacífico.

### 3.4.1. Estación puente Coyolate

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $45,37 \frac{m^3}{s}$  en fecha 19 de junio de 2012, así como un caudal mínimo de  $8,60 \frac{m^3}{s}$  en fecha 05 de mayo de 2010. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, véase figura 38.

Figura 38. **Curva de calibración de caudal estación puente Coyolate válido para el período 2010-2013**

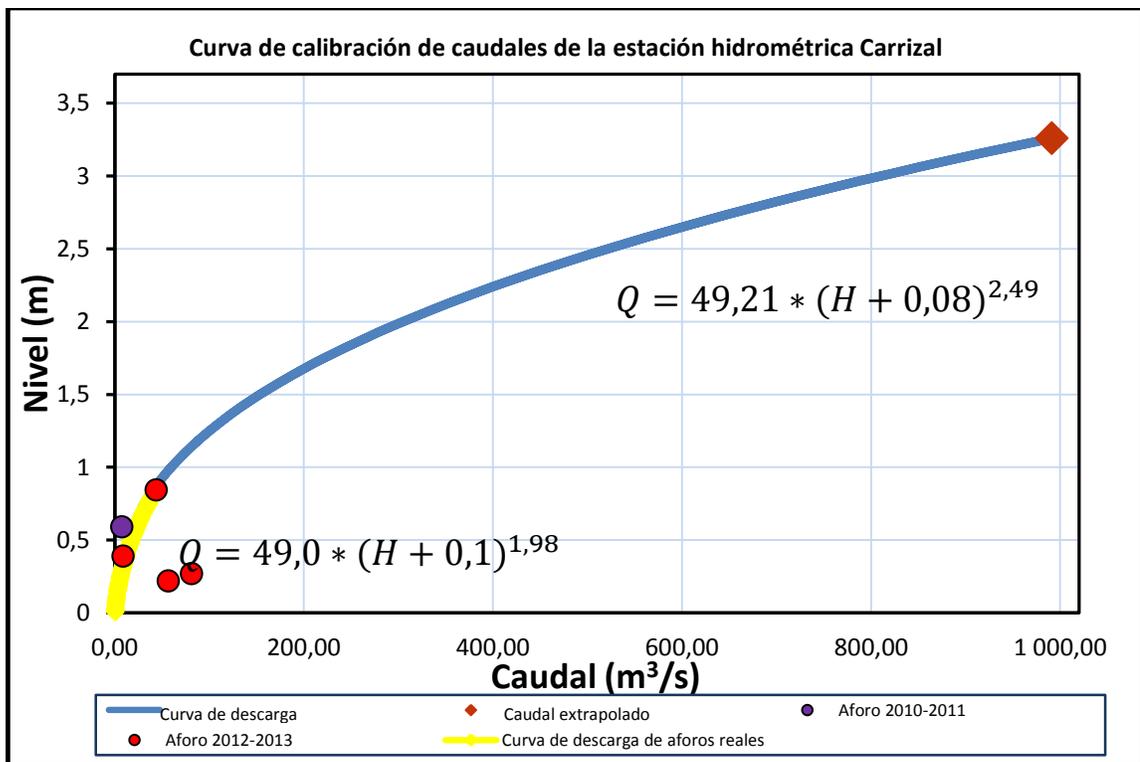


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.2. Estación El Carrizal

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $43,671 \frac{m^3}{s}$  en fecha 14 de febrero de 2012, así como un caudal mínimo de  $7,459 \frac{m^3}{s}$  en fecha 04 de mayo de 2010. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, véase figura 39.

Figura 39. **Curva de calibración de caudal estación El Carrizal válido para el período 2010-2013**

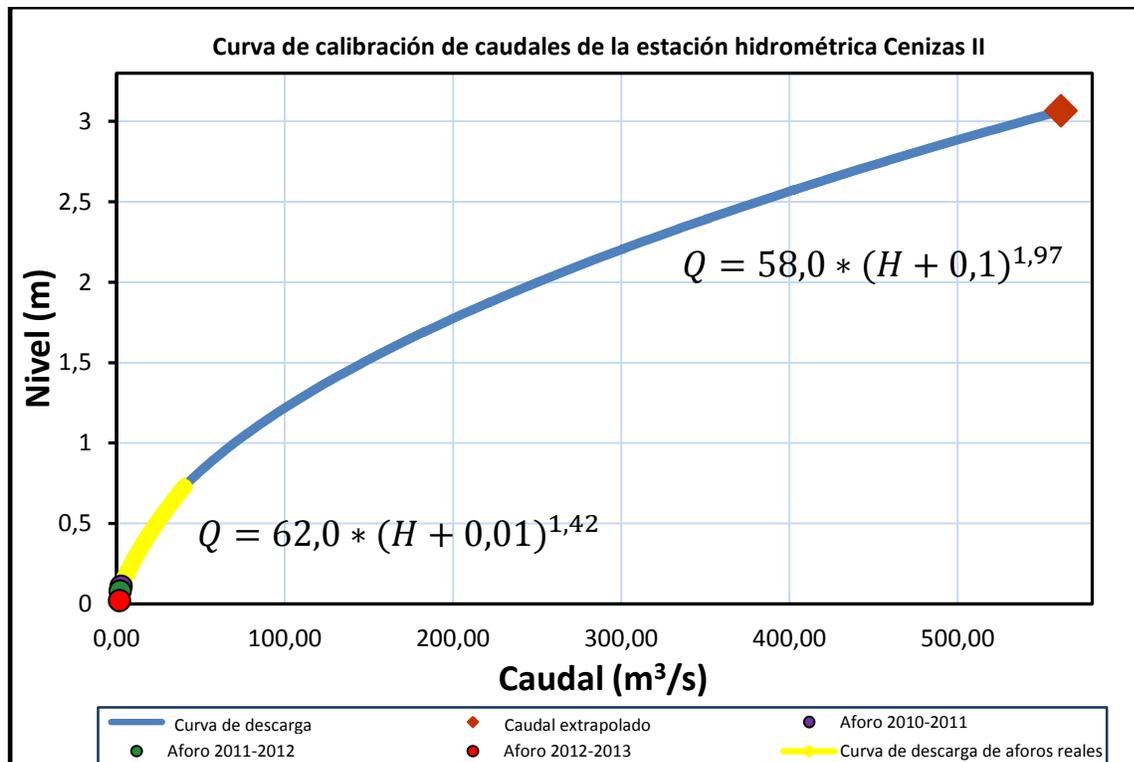


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.3. Estación Cenizas II

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $9,38 \frac{m^3}{s}$  en fecha 18 de junio de 2012, así como un caudal mínimo de  $0,67 \frac{m^3}{s}$  en fecha 29 de marzo de 2012. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, véase figura 40.

Figura 40. **Curva de calibración de caudal estación Cenizas II válido para el período 2010-2013**

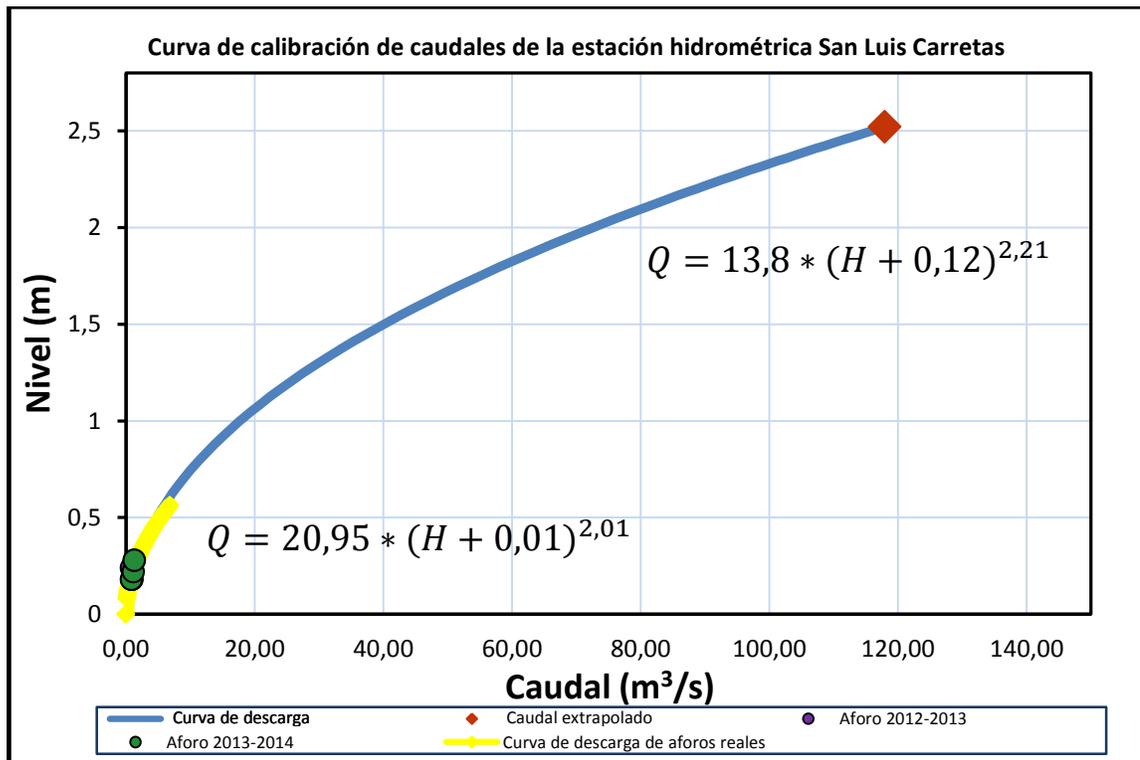


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.4. Estación San Luis Carretas

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $0,818 \frac{m^3}{s}$  en fecha 10 de septiembre de 2012, así como un caudal mínimo de  $1,279 \frac{m^3}{s}$  en fecha 17 de octubre de 2013. Se toman en cuenta los aforos del año hidrológico 2013-2014 para conocer si la tendencia de la curva coincide con el único aforo registrado del año hidrológico 2010-2013. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, en la figura 41.

Figura 41. **Curva de calibración de caudal estación San Luis Carretas válido para el período 2010-2013**

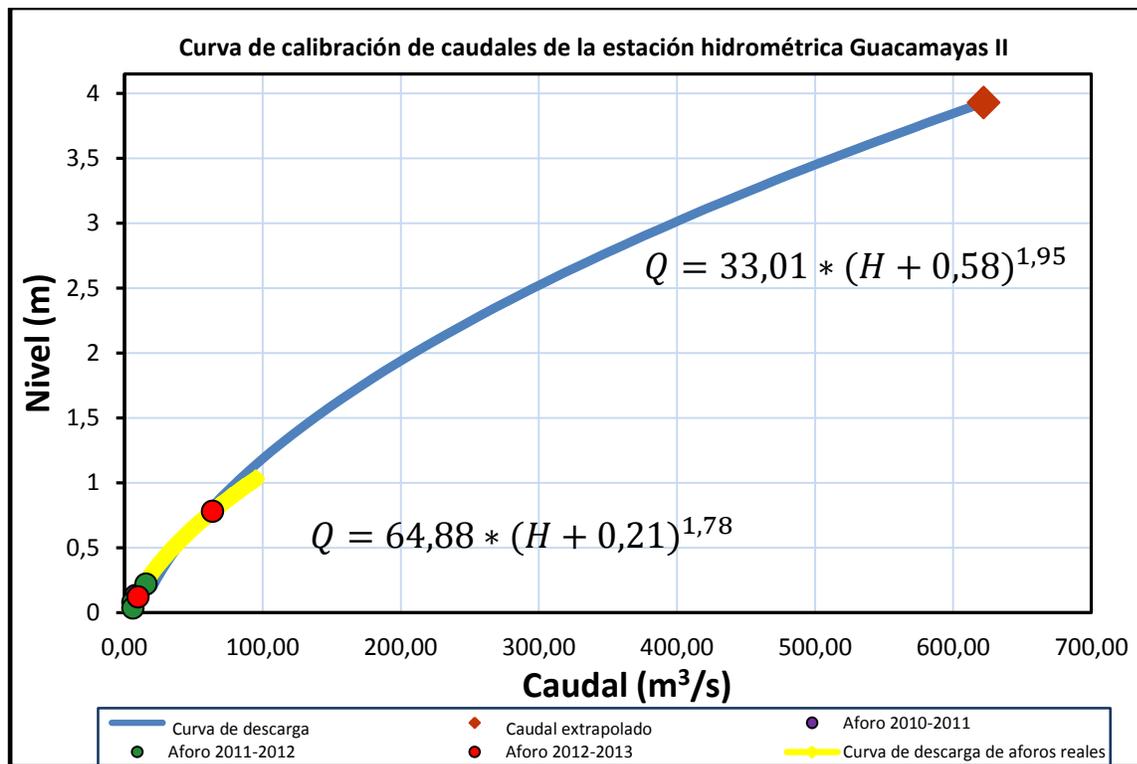


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.5. Estación Guacamayas II

Por la particularidad de esta estación, se validan las curvas para diferentes períodos. La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $63,73 \frac{m^3}{s}$  en fecha 10 de octubre de 2012, así como un caudal mínimo de  $0,040 \frac{m^3}{s}$  en fecha 08 de febrero de 2013. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, en la figura 42.

Figura 42. **Curva de calibración de caudal estación Guacamayas II**  
**válido para el período 2010-2013**

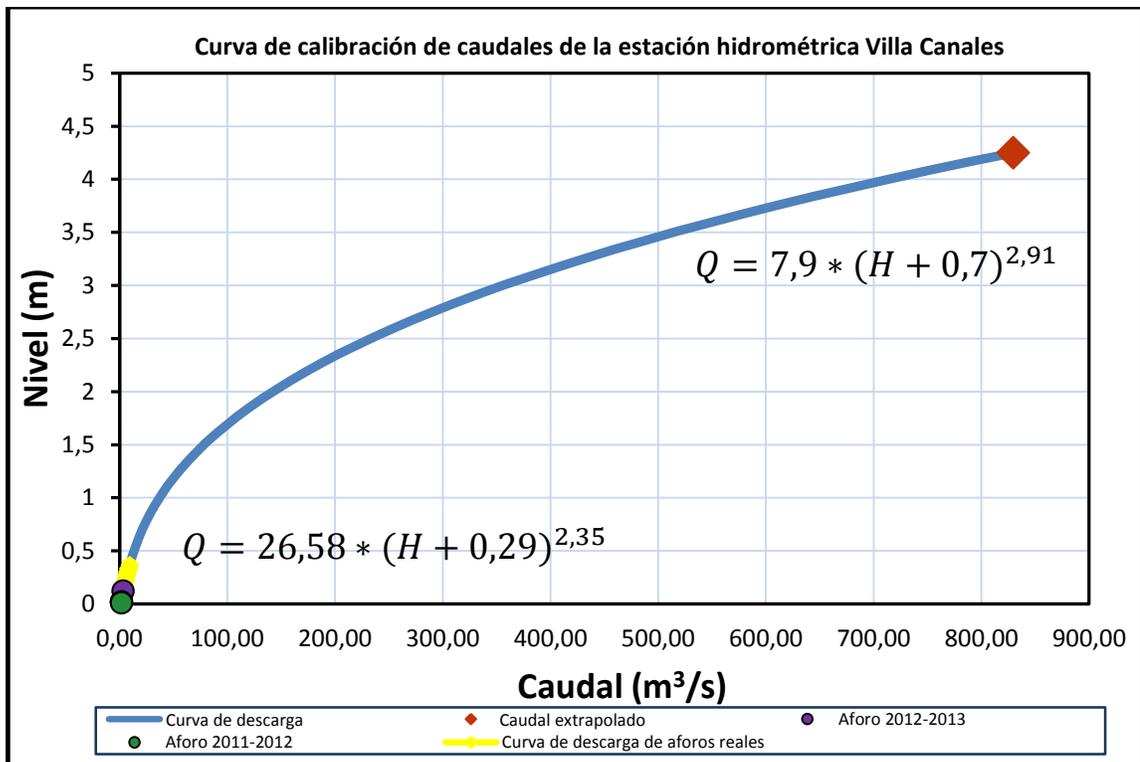


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.6. Estación Villa Canales

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $3,274 \frac{m^3}{s}$  en fecha 10 de septiembre de 2012, así como un caudal mínimo de  $1,674 \frac{m^3}{s}$  en fecha 13 de febrero de 2012. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, en la figura 43.

Figura 43. **Curva de calibración de caudal estación Villa Canales válido para el período 2010-2013**

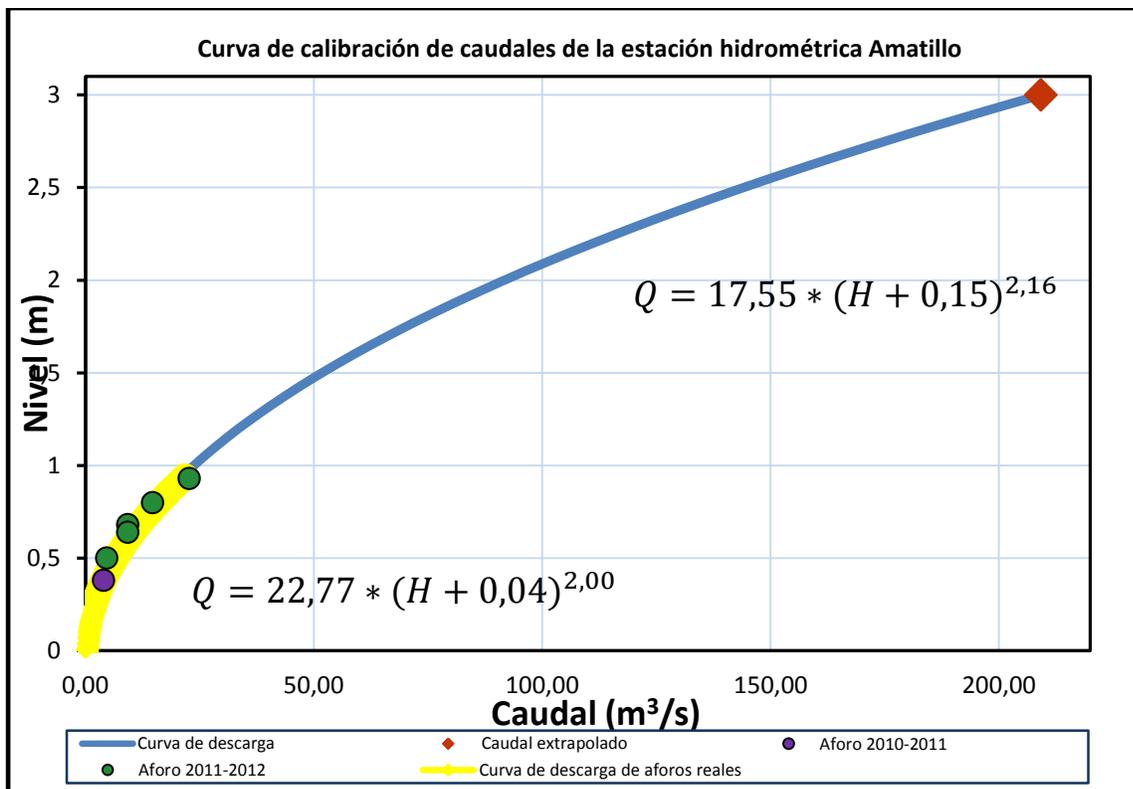


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.7. Estación Amatillo

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $22,75 \frac{m^3}{s}$  en fecha 13 de febrero de 2012, así como un caudal mínimo de  $3,949 \frac{m^3}{s}$  en fecha 01 de marzo de 2011. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, en la figura 44.

Figura 44. **Curva de calibración de caudal estación Amatillo válido para el período 2010-2013**

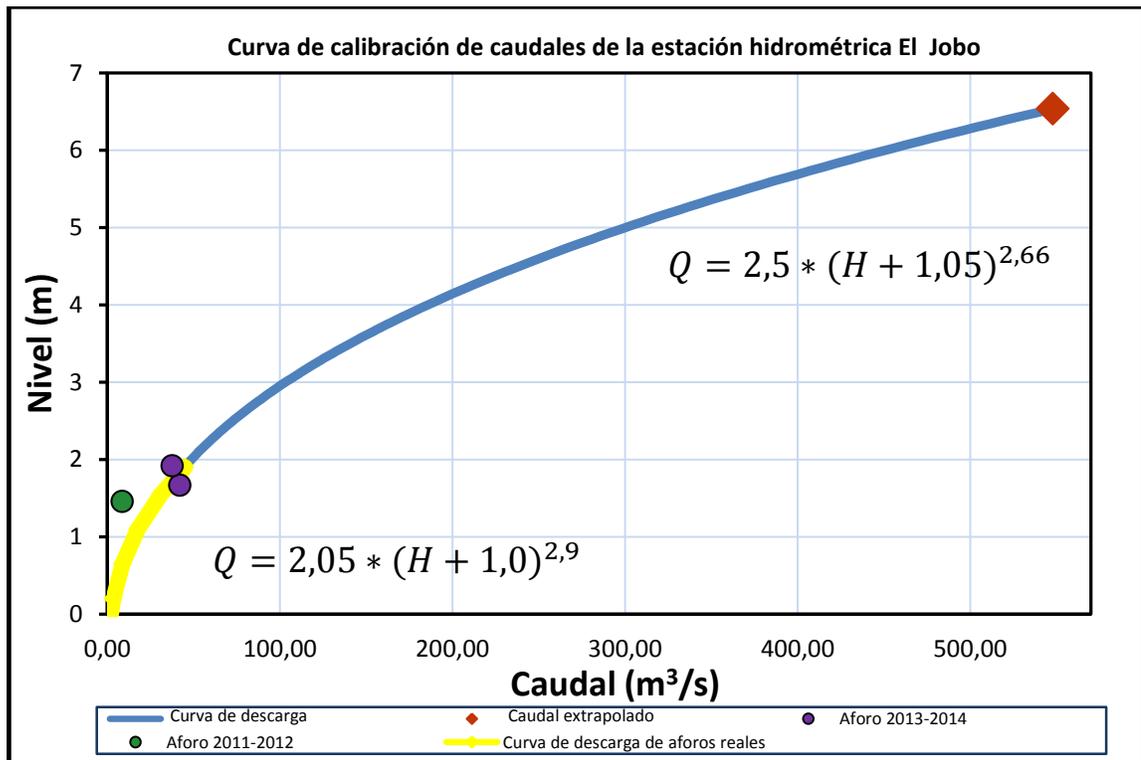


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.8. Estación El Jobo

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $42,046 \frac{m^3}{s}$  en fecha 30 de julio de 2013, así como un caudal mínimo de  $8,521 \frac{m^3}{s}$  en fecha 17 de abril de 2012. Se toman en cuenta los aforos del año hidrológico 2013-2014, para conocer si la tendencia de la curva coincide con el único aforo registrado del año hidrológico 2011-2012. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, en la figura 45.

Figura 45. **Curva de calibración de caudal estación El Jobo válido para el período 2010-2013**

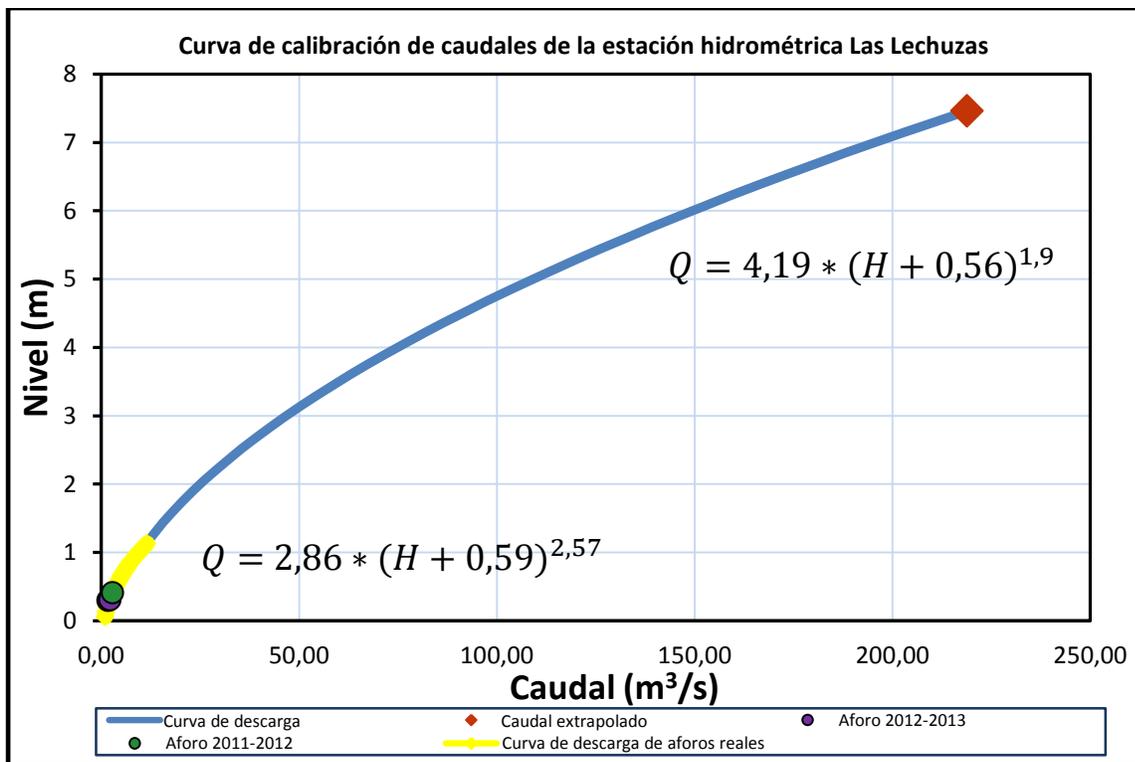


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.9. Estación Las Lechuzas

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $2,85 \frac{m^3}{s}$  en fecha 17 de abril de 2012, así como un caudal mínimo de  $1,663 \frac{m^3}{s}$  en fecha 04 de abril de 2013. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, en la figura 46.

Figura 46. **Curva de calibración de caudal estación Las Lechuzas válido para el período 2010-2013**

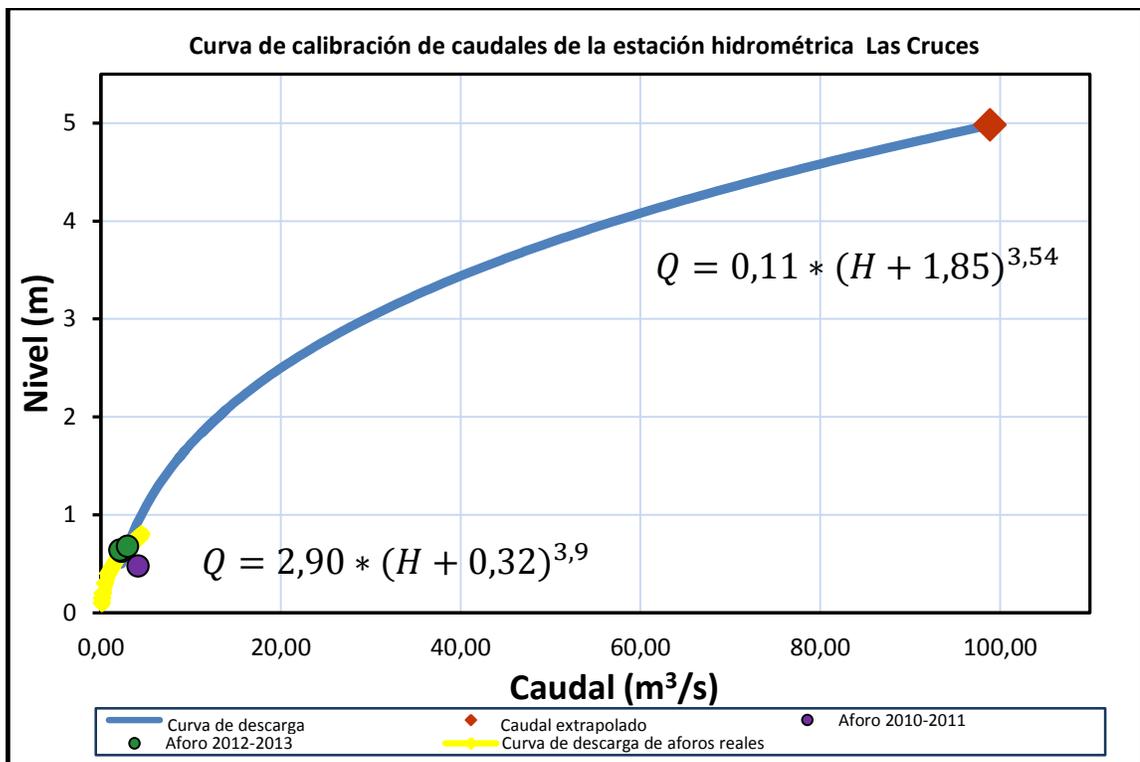


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.10. Estación Las Cruces

La estación muestra en el historial un caudal máximo de  $4,122 \frac{m^3}{s}$  en fecha 16 de febrero de 2011, así como un caudal mínimo de  $2,086 \frac{m^3}{s}$  en fecha 04 de abril de 2013. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación, en la figura 47.

Figura 47. **Curva de calibración de caudal estación Las Cruces válido para el período 2010-2013**

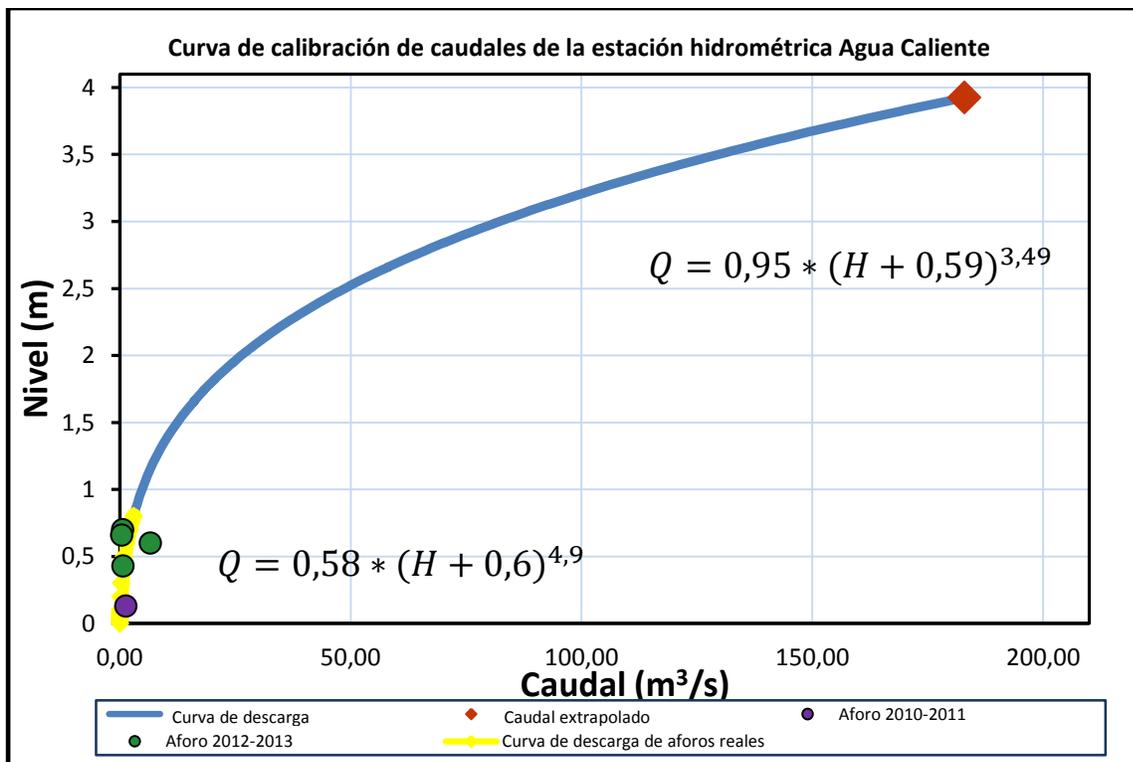


Fuente: elaboración propia.

### 3.4.11. Estación Agua Caliente

La estación muestra el historial un caudal máximo de  $6,58 \frac{m^3}{s}$  en fecha 25 de mayo del año 2012, así como un caudal mínimo de  $0,387 \frac{m^3}{s}$  en fecha 24 de abril del año 2013. La curva de calibración de caudal y la ecuación se muestra a continuación. Véase figura 48.

Figura 48. **Curva de calibración de caudal estación Agua Caliente válido para el período 2010-2013**



Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Resumen de resultados obtenidos de cada estación

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en cada estación hidrométrica.

#### 3.5.1. Informe de gabinete

En las tablas IX y X se presenta el informe de gabinete, como resultado del estudio que se llevó a cabo para la realización de la curva de calibración de caudal en cada estación hidrométrica, dicho resultado se ve reflejado en la ecuación que representa a cada una de ellas, correspondiente a la ecuación presentada en el inciso 3.3.2.

Tabla IX. **Resumen de ecuaciones para curva de calibración de caudal, con caudal extrapolado**

No.	Estación	Cuenca	K	Z	Ho	Válido hasta una altura H (m), punto extrapolado
1	El Carrizal	Coyolate	49,21	2,49	0,08	3,26
2	Puente Coyolate	Coyolate	9,30	2,15	0,65	4,70
3	Cenizas II	Achiguate	58,00	1,97	0,10	3,06
4	San Luis Las Carretas	Achiguate	13,80	2,21	0,12	2,52
5	Amatillo	María Linda	17,55	2,16	0,15	3,00
6	Guacamayas II	María Linda	33,01	1,95	0,58	3,93
7	Villa canales	María Linda	7,90	2,91	0,70	4,25
8	El Jobo	Paz	2,50	2,66	1,05	6,54
9	Las Cruces	Ostúa-Güija	0,11	3,54	1,85	4,98
10	Las Lechuzas	Ostúa-Güija	4,19	1,90	0,56	7,46
11	Agua Caliente	Olopa	0,95	3,49	0,59	3,93

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Resumen de ecuaciones para curva de calibración de caudal hasta una altura H**

No.	Estación	Cuenca	K	Z	Ho	Válido hasta una altura H (m)
1	El Carrizal	Coyolate	49,00	1,98	0,10	0,85
2	Puente Coyolate	Coyolate	10,95	2,52	0,32	1,50
3	Cenizas II	Achiguate	62,00	1,42	0,01	0,11
4	San Luis Las Carretas	Achiguate	20,95	2,01	0,01	0,50
5	Amatillo	María Linda	22,77	2,00	0,04	0,93
6	Guacamayas II	María Linda	64,88	1,78	0,21	0,80
7	Villa canales	María Linda	26,58	2,35	0,29	0,35
8	El Jobo	Paz	2,05	2,90	1,00	2,00
9	Las Cruces	Ostúa-Güija	2,90	3,90	0,32	0,70
10	Las Lechuzas	Ostúa-Güija	2,86	2,57	0,59	0,50
11	Agua Caliente	Olopa	0,58	4,90	0,60	0,70

Fuente: elaboración propia.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE GABINETE Y CAMPO

La curva de calibración de caudal, dependerá de la sección geométrica donde se ubica el punto de control del río, así como de la pendiente de este. Para las curvas realizadas en el capítulo 3, se asume que la sección transversal de cada estación es uniforme, por lo tanto, es posible utilizar la ecuación de la parábola descrita en el capítulo anterior:

$$Q = K(H - H_o)^Z$$

Es importante realizar las curvas de forma periódica, y así ubicar los nuevos datos extraídos de campo, entiéndase los aforos, para verificar que la curva sigue siendo válida y que los aforos mantienen la tendencia, debido a que estas representan el caudal de río, en un determinado nivel en el que es imposible medir, por la peligrosidad que este representa. Durante un evento extremo, ya sea huracán o tormenta, los aforos pueden variar de la curva, debido a que estos eventos provocan en algunos de los casos, un cambio de sección y pendiente que alteran la tendencia de los aforos y, por lo tanto, dejan sin validez la curva vigente hasta ese momento.

Para este estudio, se toman como eventos extremos los siguientes:

- Tormenta tropical Agatha año 2010
- Depresión tropical Doce-E año 2011
- Tormenta tropical Ernesto año 2012
- Huracán Barbará año 2013

Al realizar la curva de calibración en cada estación y analizar los datos de campo obtenidos para la realización de la misma, se observa una tendencia marcada en la mayoría de los casos, sin embargo, no todas las curvas presentan la misma tendencia en sus aforos, debido a los eventos extremos.

En el caso de la estación puente Coyolate, se observa la tendencia de la curva respecto de los aforos. Cabe resaltar, que estos en algún momento se alejan no de forma significativa de la curva, esto debido a los eventos extremos que surgieron en 2011, 2012, sin embargo, mantienen la tendencia de la curva. Otras estaciones que muestran un comportamiento similar al de la estación puente Coyolate, son las estaciones Carrizal, Cenizas II, Villa Canales, Guacamayas II y El Jobo, las que muestran una variación en su lecho del cauce principal que provoca un alejamiento de la curva sin perder la tendencia de la misma.

En los casos de las estaciones San Luis Carretas, Amatillo, Las Lechuzas y Las Cruces, se observa que los aforos siguen la tendencia de la curva, estos comportamientos son los esperados en la tendencia de los aforos dentro de la curva, es decir, que son ríos estables en su comportamiento.

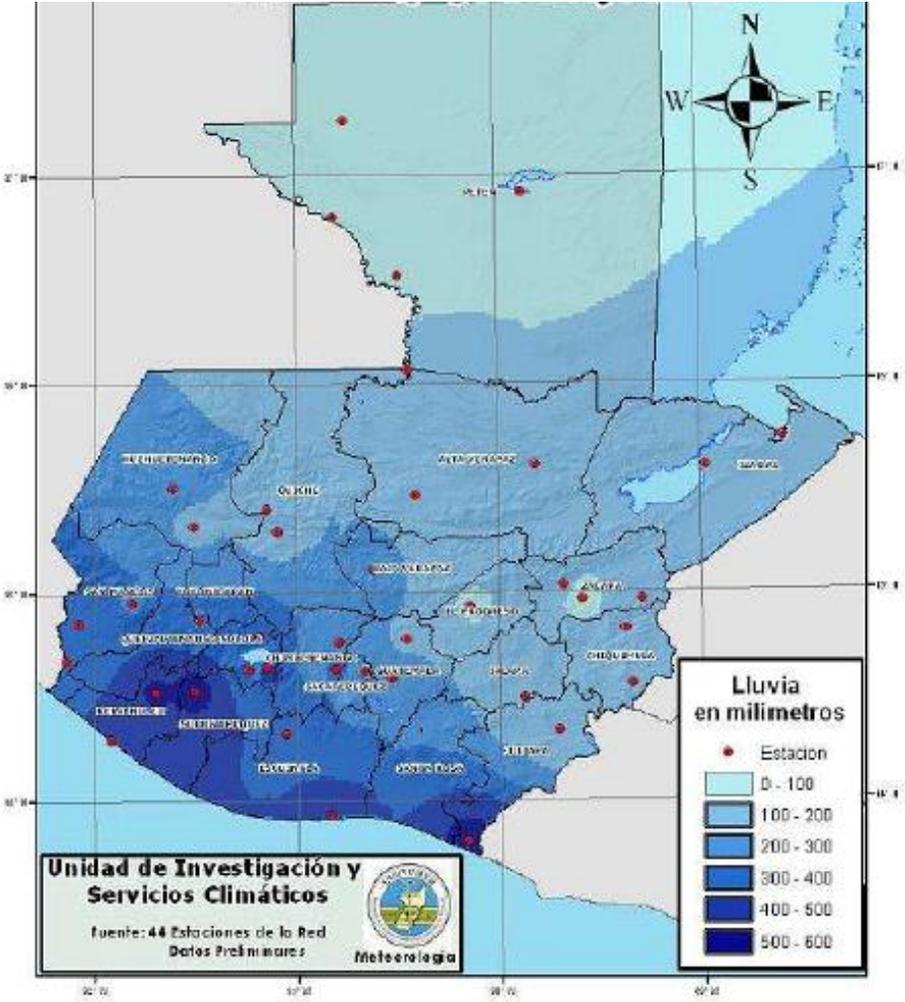
A continuación se presenta un resumen del evento extremo que más afectó al país durante los años 2010–2013.

#### **4.1. Tormenta tropical Agatha año 2010**

El 29 de mayo de 2010 el territorio guatemalteco se vio influido directamente por la tormenta tropical Agatha, esta fue la primera registrada en 2010. Los acumulados de lluvia fueron elevados en los seis días que duró la

tormenta, comprendidos del 25 al 30 de mayo, considerados como de influencia por la misma, como se muestra en la figura 49.

Figura 49. Acumulados de lluvia en tormenta tropical Agatha



Fuente: INSIVUMEH.

#### 4.2. Caudales aproximados alcanzados en la tormenta tropical Agatha

A continuación en la tabla XI se muestran los caudales aproximados, calculados con las curvas de calibración de caudal de cada estación elaborada en el inciso 3.4, los niveles son obtenidos de la base de datos del INSIVUMEH, en base a solicitud, respaldado en la Ley de Acceso a la Información Pública, decreto número 57-2008 del Congreso de la Republica. Es de notar que no todas las estaciones trabajadas, tienen niveles registrados para este evento.

Tabla XI. **Caudales aproximados alcanzados en la tormenta tropical Agatha**

No.	Estación	Cuenca	Nivel (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Fecha
1	El Carrizal	Coyolate	1,44	139,59	01/06/2010
2	Puente Coyolate	Coyolate	2,80	133,29	29/05/2010
3	Cenizas II	Achiguate	2,10	274,16	30/05/2010
4	San Luis Las Carretas	Achiguate	3,40	222,71	29/05/2010
5	Villa Canales	María Linda	3,00	355,71	29/05/2010
6	El Jobo	Paz	2,48	71,62	31/05/2010

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Se determinaron las curvas de calibración de caudal para las estaciones hidrométricas ubicadas entre la cuenca río Coyolate y la cuenca Olopa, pertenecientes a la vertiente del Pacífico para el período 2010-2013.
2. Se determinaron las ecuaciones por medio del método de logaritmos, ajustando cada ecuación por medio de la curva de calibración de caudal.
3. Se aplicó el programa HEC-RAS para la simulación hidráulica de los caudales máximos y mínimos en la sección transversal de cada cauce, con el cual se obtiene la extrapolación de la curva, con la relación de caudales para cada nivel.
4. Se analizó la serie de aforo para cada estación con la curva de calibración de caudal, se ajustó la curva para cada estación con su respectiva serie de aforos.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar aforos de forma periódica en cada estación hidrométrica para conocer la tendencia que estos nuevos datos proporcionan, a través de la línea del tiempo.
2. Si los aforos obtenidos en el futuro no coinciden con la curva presentada en esta investigación, se debe realizar una nueva curva y validarla para un nuevo período.
3. HEC-RAS es un software recomendado para la simulación y obtención de datos para la realización de curvas de calibración de caudal.
4. Seguir con el mantenimiento de forma periódica de los instrumentos y equipo de medición de cada estación para una mayor veracidad de los datos, asimismo, realizar un levantamiento topográfico al año como mínimo, de la sección transversal, del punto de control y de la estación hidrométrica.



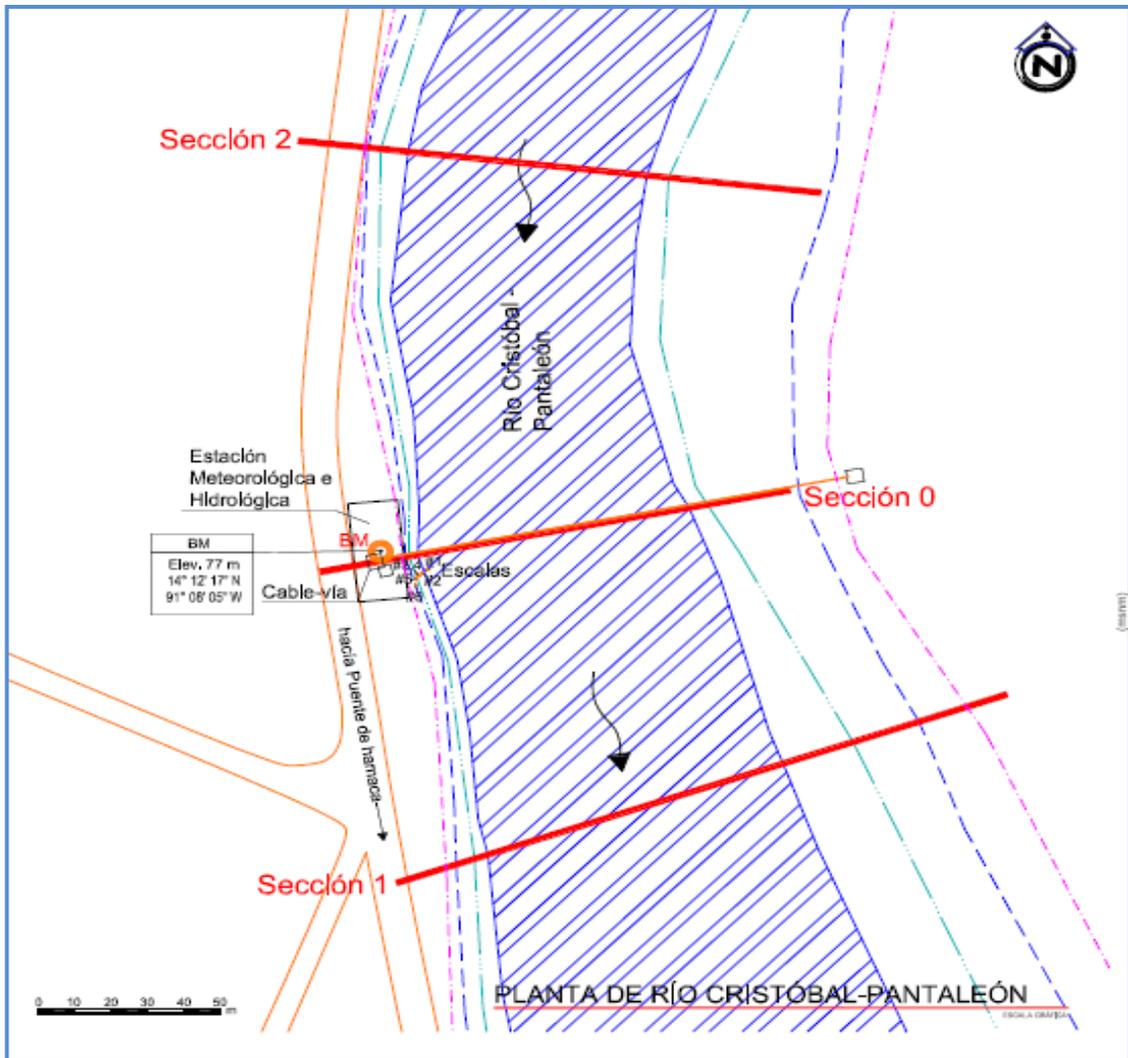
## BIBLIOGRAFÍA

1. CÓRDOBA TERCERO, José Luis. *Estudio hidrológico y propuesta de estructura hidráulica para el manejo de avenidas de la cuenca río Villalobos. Desde el puente El Frutal, Villa Nueva, hasta el puente La Unión, Villa Canales*. Universidad de San Carlos de Guatemala 2010. 04 p.
2. DÍAZ ARDILA, Wilfredo Arturo & RINCÓN HERNÁNDEZ, William Yesid. *Montaje y calibración de una estación hidrométrica automática para la medición de niveles en el Río de Oro*. Universidad Industrial de Santander 2006. 44 p.
3. FATTORELLI, Sergio & FERNANDEZ, Pedro C. *Diseño hidrológico. Water Assessment & Advisory Global Network*, Unesco Paris, France 2011, 602 p.
4. GONZÁLEZ JAÉN, Diego Arturo. *Cálculo de caudales de crecidas, caso de estudio cuenca del río Cabra, Panamá*. Universidad de San Carlos de Guatemala 2010. 87 p.
5. MARCUCCI RUANO, José Gehovanni & RUIZ MARCHENE, Miguel Antonio. *Consideraciones hidrológicas de la cuenca del río Motagua, hasta la estación Concuá II; aplicando el método de similitud de cuencas hasta chuarancajay con el propósito de abastecimiento de agua*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999. 91 p.

6. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. Gobierno de la República de Guatemala, 2011. 52 p.
7. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda Dirección General de Caminos. *Red vial de Guatemala año 2013*. Gobierno de la República de Guatemala, 2014. 119 p.
8. PÉREZ GONZÁLEZ, Víctor Manuel. *Proposición de soluciones alternas para determinar analíticamente los parámetros de la curva de descarga en corrientes superficiales*. Universidad Mariano Gálvez de Guatemala 1979. 68 p.
9. VERA HERNÁNDEZ, Luis Edilberto. *Análisis de aforo de la estación hidrométrica Obrajillo – período 2000-2001*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima-Perú 2002. 90 p.

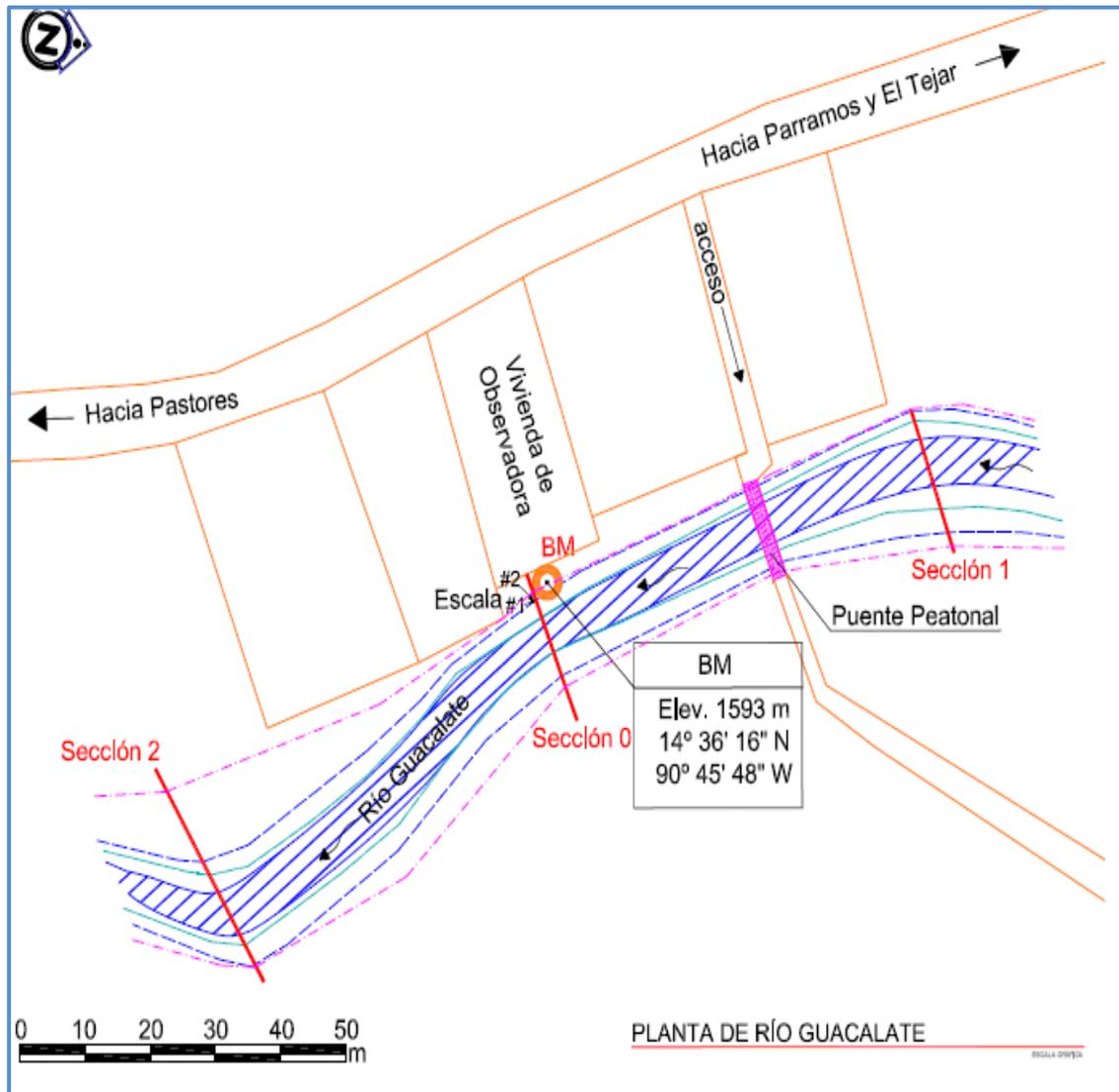
## ANEXOS

### Anexo 1. Plano en planta de estación El Carrizal



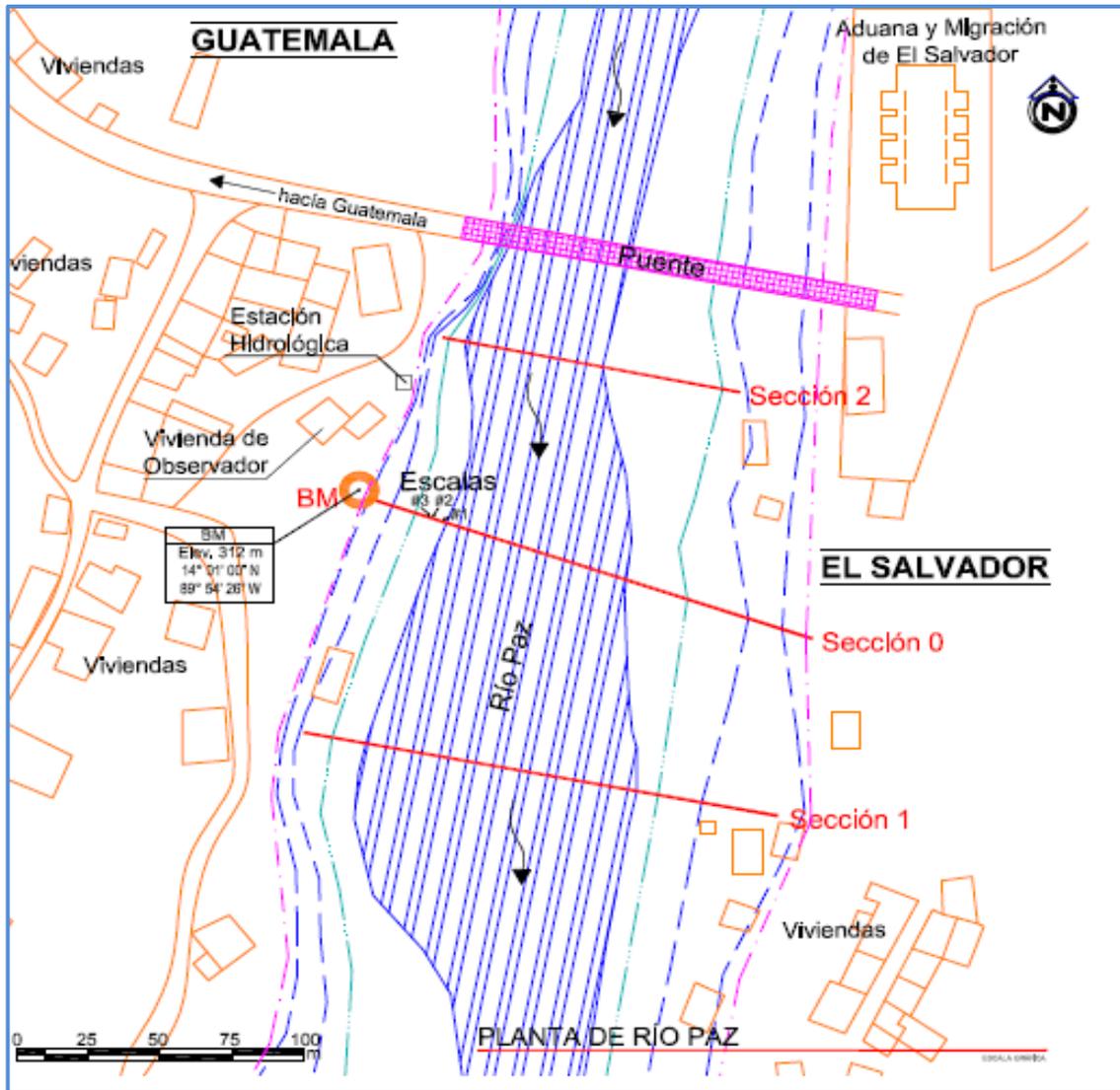
Fuente: INSIVUMEH.

Anexo 2. Plano en planta de estación San Luis Carretas



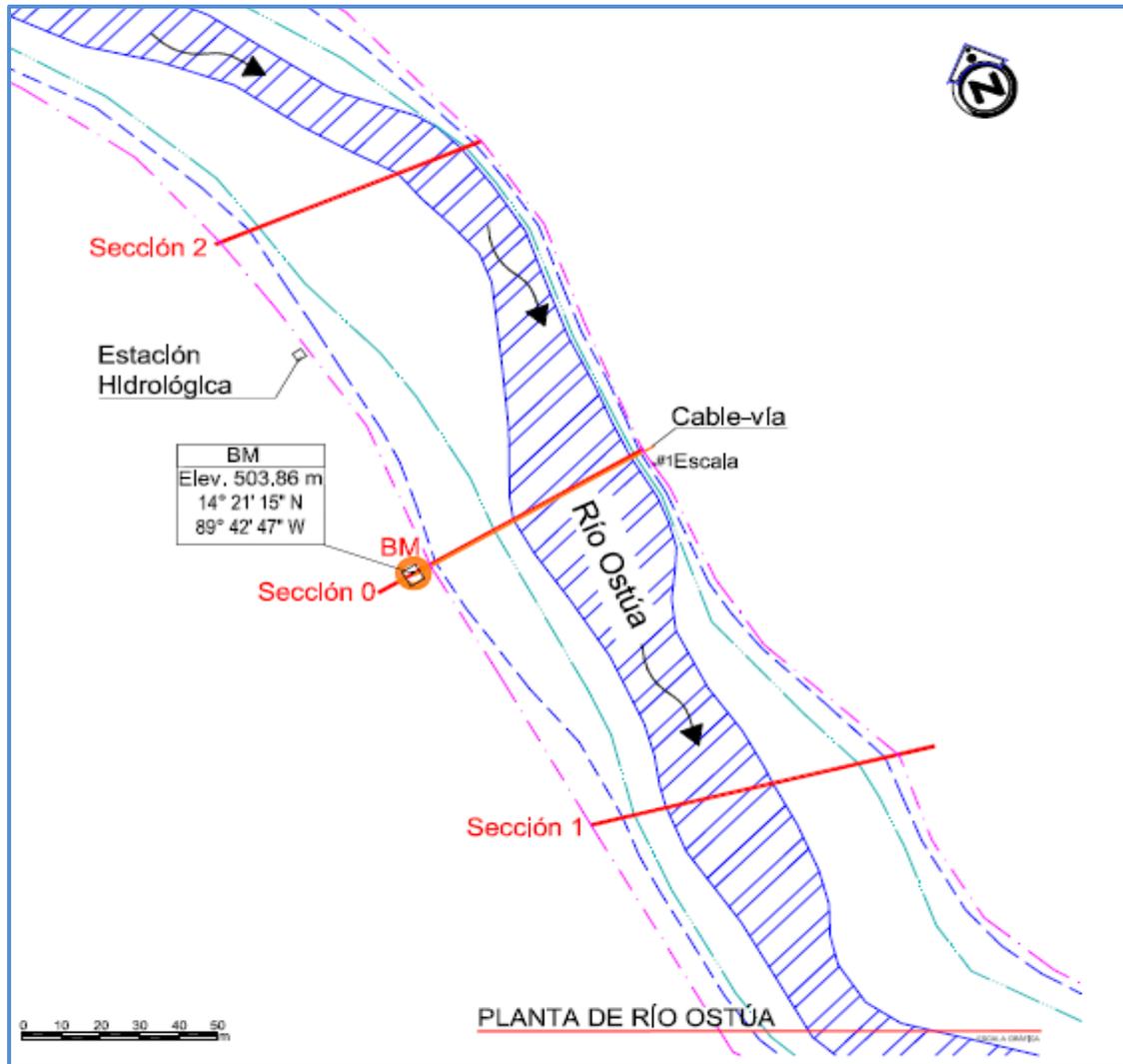
Fuente: INSIVUMEH.

### Anexo 3. Plano en planta de estación El Jobo



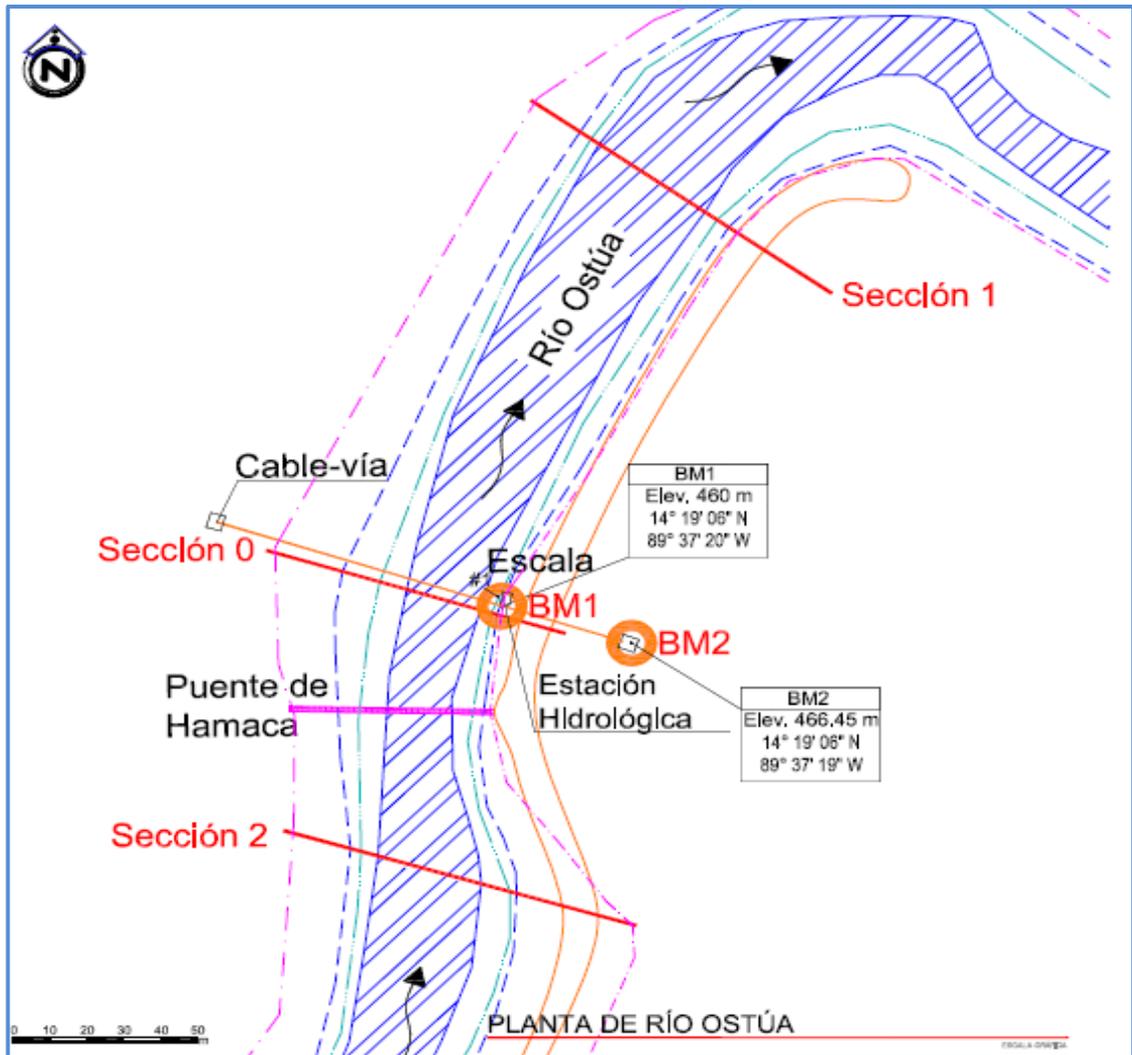
Fuente: INSIVUMEH.

Anexo 4. Plano en planta de estación Las Lechuzas



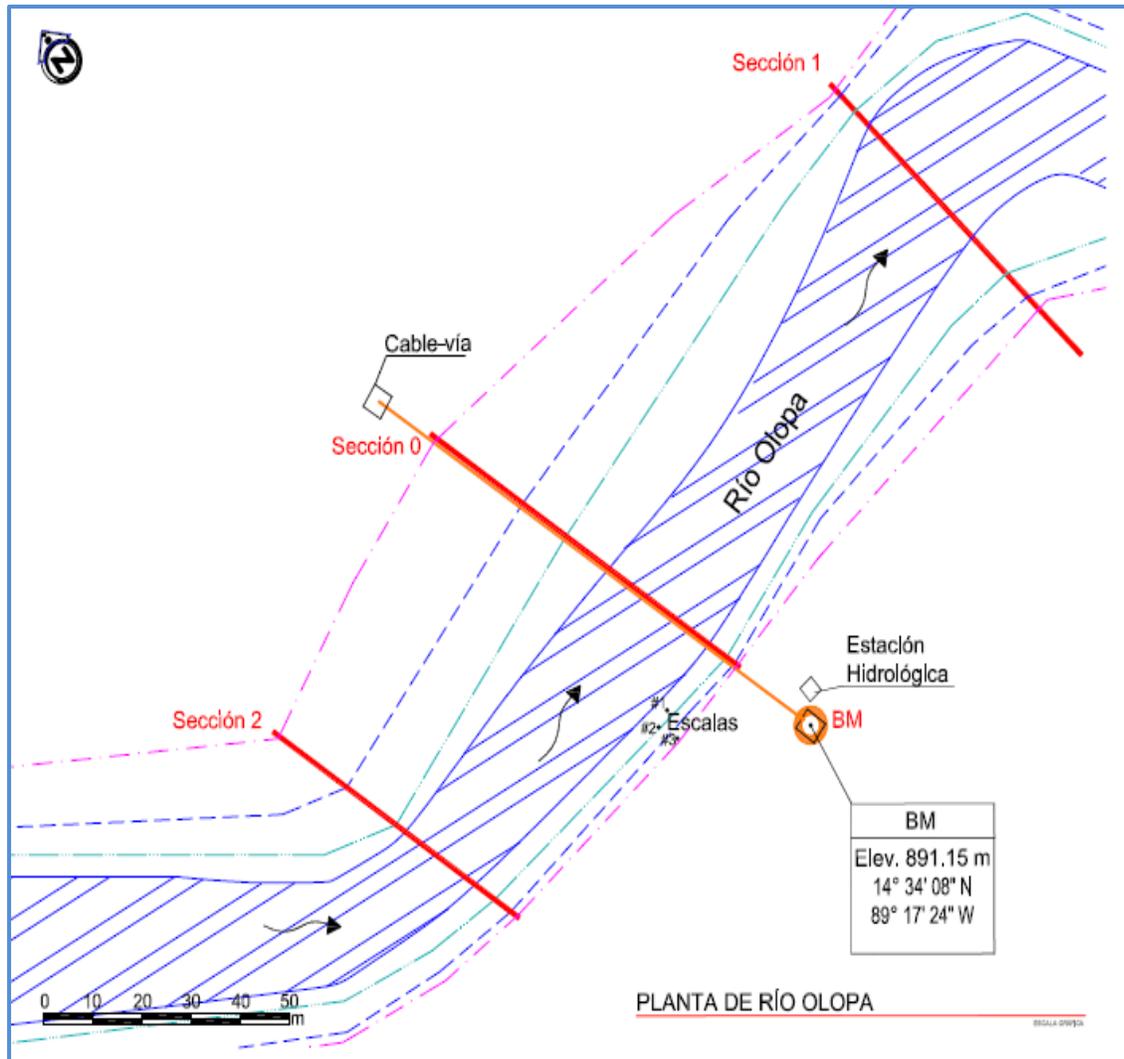
Fuente: INSIVUMEH.

Anexo 5. Plano en planta de estación Las Cruces



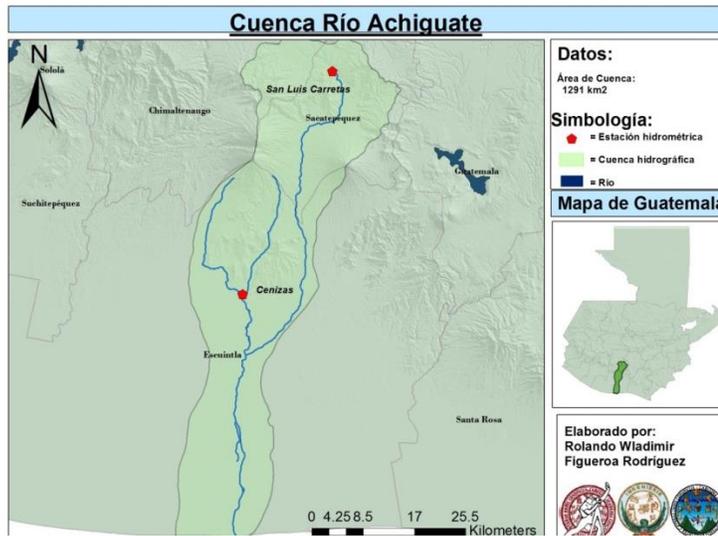
Fuente: INSIVUMEH.

Anexo 6. Plano en planta de estación Agua Caliente



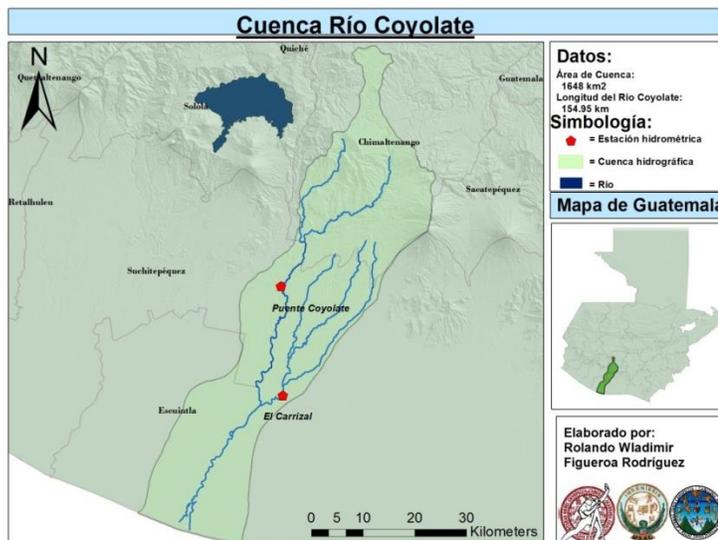
Fuente: INSIVUMEH.

## Anexo 7. Cuenca río Achiguate



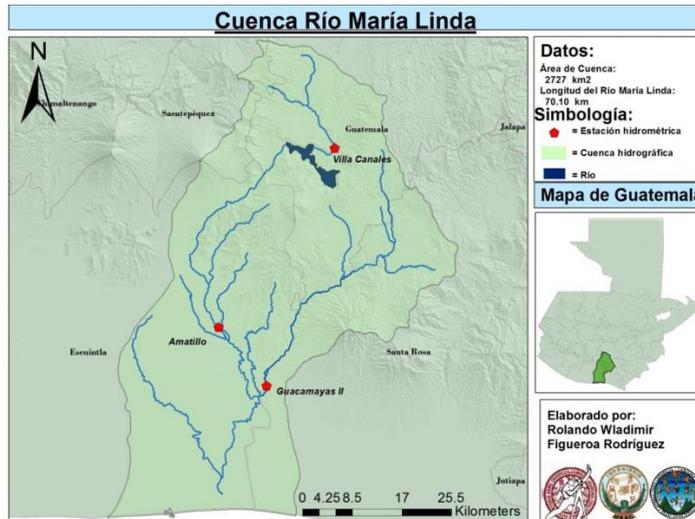
Fuente: elaboración propia.

## Anexo 8. Cuenca río Coyolate



Fuente: elaboración propia.

## Anexo 9. Cuenca río María Linda



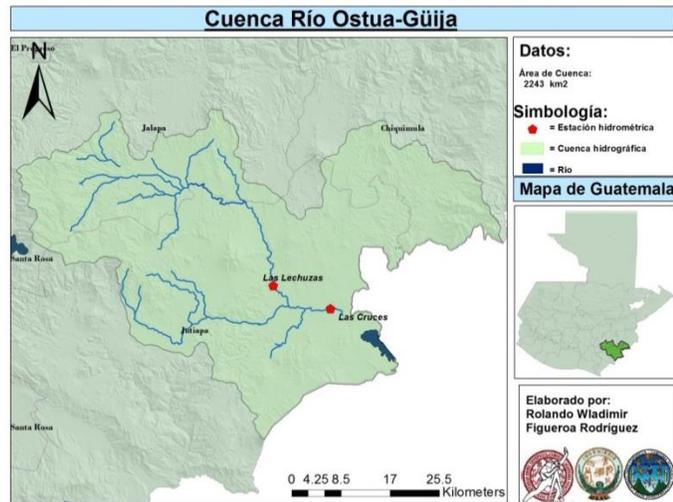
Fuente: elaboración propia.

## Anexo 10. Cuenca río Olopa



Fuente: elaboración propia.

## Anexo 11. Cuenca río Ostua-Güija



Fuente: elaboración propia.

## Anexo 12. Cuenca río Paz



Fuente: elaboración propia.

Anexo 13. **Resolución de solicitud de niveles alcanzados en la tormenta tropical Agatha 2010**

  
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE  
**GUATEMALA**  
MINISTERIO DE COMUNICACIONES  
INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDA  
INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA,  
VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E  
UNIDAD DE INFORMACIÓN PÚBLICA. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH. Guatemala veintiocho de septiembre de dos mil dieciséis.



**Resolución No. UAIP-235-2016**

Se tiene a la vista para resolver, la solicitud de información pública contenida dentro del expediente, el cual fuera presentada por **Ronaldo Wladimir Figueroa Rodríguez**, de conformidad con lo que al efecto estipula la Ley de Acceso a la Información Pública, decreto número 57-2008 del Congreso de la República. El interesado no señaló dirección para recibir notificaciones ni el número de teléfono

**CONSIDERANDO**

Según solicitud de fecha **20 de septiembre de 2016**, El interesado presentó solicitud de información pública, en la cual requiere lo siguiente:

- "solicito por este medio información de los niveles de escala del río, alcanzados en la tormenta tropical Aghata 2010 de las estaciones: Puente Coyolate, El Carrizal, Cenizas II, San Luis Carretas, Guacamayas II, Villa Canales, Amatiño, El Jobo, La Lechuzas, Las Cruces, Agua Caliente, periodos 2010-2013.

**CONSIDERANDO**

Que en el presente caso, la solicitud presentada por el interesado se ajusta a las prescripciones legales que le son aplicables. Por lo que se confirió el trámite respectivo al Departamento de Hidrología del Instituto de Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH por lo cual la información requerida, tal lo indica la solicitud arriba planteada, es procedente su entrega al interesado con las formalidades de Ley, haciéndose saber que, de conformidad con el Artículo 15 de la Ley de Acceso a la Información Pública, "**Los interesados tendrán responsabilidad penal y civil por el uso, manejo o difusión de la información pública a la que tengan acceso, de conformidad con esta ley y demás leyes aplicables.**"

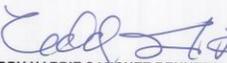
**POR TANTO**

Con base en lo considerado y lo estipulado en los Artículos: 30 y 31, de la Constitución Política de la República de Guatemala; 1 al 6, 8, 16 al 20, 38, 42, 43 y 45 del Decreto número 57-2008 del Congreso de la República; la Unidad de Información Pública del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología INSIVUMEH,

**RESUELVE**

1) **CON LUGAR**, la solicitud de información pública arriba relacionada. Del Departamento De Hidrología en oficio No.246-2016, de fecha 26 de septiembre del presente año, nos trasladó la información correspondiente, por lo que se le hace entrega de la información solicitada ya que consta en los archivos de la oficina de mérito.

**Notifíquese.**

  
**EDDY HARDIE SANCHEZ BENNETT**  
DIRECTOR GENERAL  
INSIVUMEH



7a. Avenida 14-57, Zona 13, Guatemala, Teléfono: 2310-5000

@insivumchgt

Fuente: INSIVUMEH.