



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

**COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE  
CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA EN LOS DEPARTAMENTOS DE  
ALTA VERAPAZ, IZABAL Y ZACAPA, GUATEMALA**

**Héctor Alberto Alvarado Pacay**

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañón Contreras

Guatemala, julio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE  
CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA EN LOS DEPARTAMENTOS DE  
ALTA VERAPAZ, IZABAL Y ZACAPA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HÉCTOR ALBERTO ALVARADO PACAY**  
ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JULIO 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	Ing. 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**

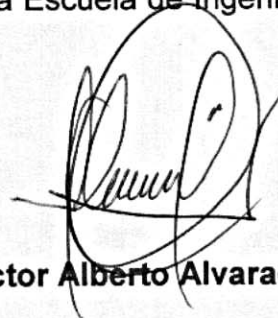
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Avila
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## 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:

**COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA EN LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ, IZABAL Y ZACAPA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha septiembre de 2015.



**Héctor Alberto Alvarado Pacay**





**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,  
13 de abril 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 COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA EN LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ, IZABAL Y ZACAPA, GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Héctor Alberto Alvarado Pacay, quien contó con la asesoría del Ing. Claudio César Castañón Contreras.

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  
Asesor y  
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 del Asesor y Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Héctor Alberto Alvarado Pacay , titulado **COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA EN LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ, IZABAL Y ZACAPA, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio 2016  
/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





Universidad de San Carlos  
de Guatemala

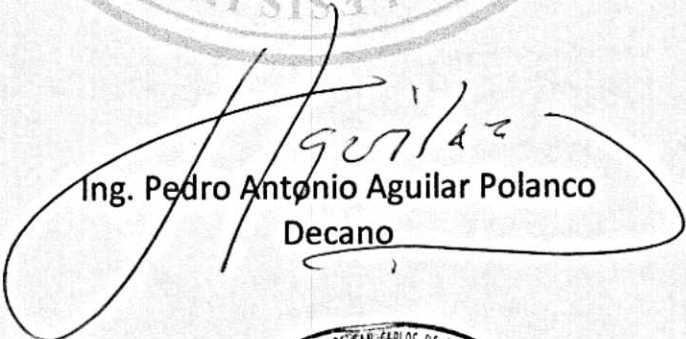


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 312.2016

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: **COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA EN LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA VERAPAZ, IZABAL Y ZACAPA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Héctor Alberto Alvarado Pacay**, 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, julio de 2016

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por amarme, ser siempre bueno conmigo y haberme permitido llegar a este punto en mi vida.
- Mis padres** Héctor Arnoldo Alvarado y Miriam Ileana Pacay García, por su amor y apoyo incondicional durante todo este tiempo, ya que sin ellos no hubiera conseguido este logro.
- Mis hermanas** Andrea Sofía y Jennie Elisa Alvarado Pacay, por su cariño y apoyo.
- Mis abuelos** Roberto Pacay y Gregoria García de Pacay, por ser parte de mi formación académica desde pequeño.
- Mis tíos** Por su cariño y estar siempre pendientes de mi formación universitaria.
- Mis primos** Por tantos momentos alegres.
- Mis amigos** Por su apoyo y cariño estos años.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por ser el director de este logro, colmarme de bendiciones y permitirme lograr una de las metas más importantes de mi vida.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	En especial a la Facultad de Ingeniería, por permitirme realizar mis estudios y formarme como un profesional de bien.
<b>Insivumeh</b>	Por su ayuda y guía desinteresada, en especial al Ing. Manuel de Jesús Sales Rodríguez.
<b>Ing. Claudio Castañón</b>	Por compartir su conocimiento y asesorarme en este trabajo de graduación.
<b>Ing. James Phillips</b>	Por su importante ayuda de forma desinteresada.
<b>Mi familia</b>	Por apoyarme todo este tiempo, nunca dejarme solo y mostrarme su cariño a lo largo de mi carrera universitaria.
<b>Inga. Gabriella López</b>	Por su cariño, amistad y apoyo para culminar mi carrera universitaria.

**Mis amigos**

Por estar en las buenas y en las malas durante esta aventura, en especial a la familia Argueta Mayorga, los de la cuadra y la canastilla.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO .....	1
1.1. Ubicación.....	1
1.1.1. Alta Verapaz .....	1
1.1.2. Izabal .....	2
1.1.3. Zacapa.....	3
1.2. Monografía .....	4
1.2.1. Alta Verapaz .....	4
1.2.2. Izabal .....	8
1.2.3. Zacapa.....	10
1.3. Estaciones.....	12
1.3.1. Estación climática San Agustín Chixoy.....	12
1.3.2. Estación climática Cahabón.....	12
1.3.3. Estación climática Cobán .....	12
1.3.4. Estación climática La Fragua.....	13
1.3.5. Estación climática Puerto Barrios .....	13
1.4. Cuencas .....	14
1.4.1. Alta Verapaz .....	14
1.4.2. Izabal .....	16



1.4.3.	Zacapa .....	17
1.5.	Ríos.....	17
1.5.1.	Alta Verapaz.....	17
1.5.2.	Izabal.....	19
1.5.3.	Zacapa .....	20
1.6.	Climatología .....	21
1.6.1.	Alta Verapaz.....	22
1.6.2.	Izabal.....	23
1.6.3.	Zacapa .....	24
2.	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.....	27
2.1.	Medidas de tendencia central .....	27
2.1.1.	Media.....	27
2.1.2.	Mediana.....	28
2.1.3.	Moda .....	28
2.2.	Medidas de dispersión .....	28
2.2.1.	Rango.....	28
2.2.2.	Desviación media .....	29
2.2.3.	Varianza .....	29
2.2.4.	Desviación estándar.....	30
2.2.5.	Períodos de retorno.....	31
2.2.6.	Distribución Normal .....	31
2.2.7.	Distribución de Gumbel .....	32
2.2.8.	Regresión no lineal.....	33
3.	CURVAS IDF .....	35
3.1.	Definición .....	35
3.2.	Metodología para la construcción de curvas IDF .....	36
3.2.1.	Medición de la precipitación .....	36
3.2.1.1.	Pluviómetro .....	37

	3.2.1.2.	Pluviógrafo.....	38
3.2.2.		Descripción del procedimiento.....	39
	3.2.2.1.	Recopilación de datos .....	39
	3.2.2.2.	Selección de valores máximos .....	41
	3.2.2.3.	Modelos matemáticos.....	41
	3.2.2.4.	Tipos de errores.....	43
	3.2.2.5.	Aplicación a los datos para la elaboración de las curvas IDF .....	43
4.		APLICACIÓN Y PRESENTACIÓN DE CURVAS IDF .....	51
4.1.		Cálculos.....	51
	4.1.1.	Estación San Agustín Chixoy.....	51
	4.1.2.	Estación Cahabón .....	54
	4.1.3.	Estación Cobán .....	58
	4.1.4.	Estación La Fragua.....	62
	4.1.5.	Estación Puerto Barrios .....	66
4.2.		Tablas de coeficientes de modelos de ajuste .....	70
	4.2.1.	Estación San Agustín Chixoy.....	71
	4.2.2.	Estación Cahabón .....	72
	4.2.3.	Estación Cobán .....	74
	4.2.4.	Estación La Fragua.....	76
	4.2.5.	Estación Puerto Barrios .....	77
4.3.		Tablas comparativas de errores relativos .....	79
	4.3.1.	Estación San Agustín Chixoy.....	79
	4.3.2.	Estación Cahabón .....	80
	4.3.3.	Estación Cobán .....	80
	4.3.4.	Estación La Fragua.....	81
	4.3.5.	Estación Puerto Barrios .....	82
4.4.		Resumen de errores relativos.....	83

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	87
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES .....	91
BIBLIOGRAFÍA.....	93
APÉNDICE .....	95



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Ubicación del departamento de Alta Verapaz .....	2
2.	Ubicación del departamento de Izabal .....	3
3.	Ubicación del departamento de Zacapa.....	4
4.	Localización de estaciones climatológicas .....	14
5.	Familia de curvas IDF para distintos tiempo de retorno .....	36
6.	Pluviómetro ordinario .....	38
7.	Pluviógrafo de flotador con sifón .....	39
8.	Banda pluviográfica.....	40
9.	Código de programación en Canopy para coeficientes.....	49
10.	Coeficientes obtenidos al correr el código de programación.....	50
11.	Curvas IDF de la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución Normal.....	52
12.	Curvas IDF de la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución de Gumbel.....	54
13.	Curvas IDF de la estación climática Cahabón, utilizando la distribución Normal.....	56
14.	Curvas IDF de la estación climática Cahabón, utilizando la distribución de Gumbel.....	58
15.	Curvas IDF de la estación climática Cobán, utilizando la distribución Normal.....	60
16.	Curvas IDF de la estación climática Cobán, utilizando la distribución de Gumbel.....	62

17.	Curvas IDF de la estación climática La Fragua, utilizando la distribución Normal .....	64
18.	Curvas IDF de la estación climática La Fragua, utilizando la distribución de Gumbel .....	66
19.	Curvas IDF de la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución Normal .....	68
20.	Curvas IDF de la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución de Gumbel .....	70
21.	Gráfica de errores relativos al utilizar la distribución Normal .....	84
22.	Gráfica de errores relativos al utilizar la distribución de Gumbel .....	85

## TABLAS

I.	Normales climáticas del departamento de Alta Verapaz.....	23
II.	Normales climáticas del departamento de Izabal.....	24
III.	Normales climáticas del departamento de Zacapa .....	25
IV.	Resumen de datos utilizados .....	40
V.	Datos acumulados de la estación Cobán.....	44
VI.	Discretización de banda pluviográfica de la estación Cobán. ....	45
VII.	Resumen de intensidades anuales de la estación Cobán .....	46
VIII.	Resumen multianual estación Cobán .....	47
IX.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución Normal .....	51
X.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución de Gumbel .....	53
XI.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Cahabón, utilizando la distribución Normal.....	55
XII.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Cahabón, utilizando la distribución de Gumbel.....	57

XIII.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Cobán, utilizando la distribución Normal.....	59
XIV.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Cobán, utilizando la distribución de Gumbel.....	61
XV.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática La Fragua, utilizando la distribución Normal .....	63
XVI.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática La Fragua, utilizando la distribución de Gumbel .....	65
XVII.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución Normal .....	67
XVIII.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución de Gumbel .....	69
XIX.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática San Agustín Chixoy .....	71
XX.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática San Agustín Chixoy .....	72
XXI.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Cahabón.....	73
XXII.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Cahabón.....	74
XXIII.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Cobán..	75
XXIV.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Cobán. ....	76
XXV.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática La Fragua . .....	76
XXVI.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática La Fragua .....	77
XXVII.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Puerto Barrios.....	78



XXVIII.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Puerto Barrios .....	78
XXIX.	Errores relativos para la estación climática San Agustín Chixoy .....	79
XXX.	Errores relativos para la estación climática Cahabón .....	80
XXXI.	Errores relativos para la estación climática Cobán .....	81
XXXII.	Errores relativos para la estación climática La Fragua .....	82
XXXIII.	Errores relativos para la estación climática Puerto Barrios .....	83
XXXIV.	Errores relativos al utilizar la distribución Normal .....	84
XXXV.	Errores relativos al utilizar la distribución de Gumbel .....	85

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$a_i$	Amplitud de clases
$x_i$	Conjunto de valores de la variable
$\sigma$	Desviación estándar
$D_{\bar{x}}$	Desviación media
<b>D</b>	Duración
$\varepsilon_a$	Error absoluto
$\varepsilon_r$	Error relativo
$F_i - 1$	Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana
<b>I</b>	Intensidad
$l_i$	Límite inferior de la clase donde se encuentra la mediana
$M_e$	Mediana.
$\bar{x}$	Media aritmética
<b>N</b>	Número total de valores
$\frac{N}{2}$	Semisuma de las frecuencias absolutas
<b>A</b>	Parámetro de ajuste a modelo matemático
<b>B</b>	Parámetro de ajuste a modelo matemático
<b>N</b>	Parámetro de ajuste a modelo matemático
<b>T</b>	Periodo de retorno





## GLOSARIO

<b>Colindancia</b>	Condición de colindante.
<b>Cuenca</b>	Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar.
<b>Enclave</b>	Territorio incluido en otro con diferentes características políticas, administrativas, geográficas, entre otras.
<b>Estación Climatológica tipo A</b>	Conjunto de instrumentos colocados a la intemperie que permite medir variaciones del clima, las cuales son: temperatura, precipitación, humedad relativa del aire, presión atmosférica, brillo solar, radiación solar, evaporación, nubosidad, viento en superficie, temperatura del subsuelo y visibilidad.
<b>Estación Climatológica tipo B</b>	Conjunto de instrumentos colocados a la intemperie que permite medir variaciones del clima, las cuales son: temperatura, precipitación, humedad relativa del aire y velocidad del viento.
<b>Intensidad de lluvia</b>	Tasa de lluvia expresada en unidades de altura por unidad de tiempo.

<b>Latitud</b>	Dimensión menor que tienen las cosas o figuras planas, en contraposición a la mayor longitud.
<b>Longitud</b>	Magnitud física que expresa la distancia entre dos puntos, y cuya unidad en el Sistema Internacional es el metro.
<b>Vertiente</b>	Declive o sitio por donde corre o puede correr el agua.

## **RESUMEN**

En este trabajo de graduación se construyeron curvas de intensidad, duración y frecuencia en tres departamentos del país, utilizando cinco estaciones climáticas. Se trabajaron dos modelos matemáticos para observar cuál es el que presenta menor cantidad de error para su utilización. Se describen las variables involucradas con el fin de presentar un documento coherente y con una estructura lógica de pasos.

Los primeros tres capítulos constituyen el marco teórico; este inicia con las características de interés para cada departamento estudiado, tales como ubicación, monografía, cuencas, ríos y climatología. Sigue con los parámetros estadísticos que fueron necesarios para la modelación de los procesos hidrológicos estocásticos. Concluye con la definición de curvas IDF y la metodología que se aplicó para su construcción.

Finalmente, se presentan los análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones del trabajo, para realizar una mejor caracterización de los eventos de lluvia en los departamentos presentados.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar el mejor modelo de distribución estadístico para el ajuste de curvas IDF en los departamentos de Alta Verapaz, Izabal y Zacapa.

### **Específicos**

1. Calcular intensidades de lluvia para diferentes períodos de retorno, utilizando la distribución Normal y la distribución de Gumbel.
2. Caracterizar el comportamiento de la precipitación para las estaciones asignadas por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh).
3. Realizar una comparación de los datos obtenidos a través de la distribución normal y la distribución de Gumbel.
4. Actualizar los datos que se tienen para el ajuste de curvas IDF.





## INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones son una parte importante del ciclo hidrológico, ya que afectan directamente las obras de ingeniería y es necesario conocer su caracterización para el aprovechamiento de este recurso hídrico.

Para la caracterización de estas precipitaciones se utilizan modelos de distribución estadísticos que permitan realizar el cálculo correspondiente. Estos modelos sirven para calcular las curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia) según la intensidad de lluvia, su distribución en el tiempo y probabilidad de ocurrencia. Estas se utilizan en el diseño de redes de drenajes, presas, carreteras, puentes, entre otros, y es de suma importancia para el país mantener estos datos actualizados para un mejor diseño de obras civiles que se necesiten construir.

Actualmente, estos datos son insuficientes y desactualizados, ya que los estudios que se cuentan son de hace más de 10 años. En este trabajo se pretende construir curvas IDF con datos actualizados, utilizando dos modelos de distribución estadística y corroborando cuál de los dos presenta el menor porcentaje de error. Las regiones a estudiar son los departamentos de Alta Verapaz, Izabal y Zacapa, usando para esto las estaciones climatológicas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh).



# **1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO**

## **1.1. Ubicación**

Según la ubicación de los departamentos a trabajar, estos presentan información de interés para el análisis del fenómeno de la precipitación. Esta radica principalmente en su elevación medida respecto del nivel del mar y otras características geográficas del departamento tales como longitud, latitud, colindancias, entre otros.

### **1.1.1. Alta Verapaz**

Alta Verapaz es un departamento ubicado al norte de Guatemala, a unos 200 kilómetros de la Ciudad de Guatemala. Limita al norte con Petén; al este con Izabal; al sur con Zacapa, El Progreso y Baja Verapaz; y al oeste con El Quiché.

Su altitud media es de 1 316 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con una extensión territorial de 8 686 kilómetros cuadrados. Su cabecera departamental es Cobán y su distancia con la ciudad capital es de 205 kilómetros. Sus coordenadas son 15,30 grados norte y 90,20 grados oeste.

Figura 1. **Ubicación del departamento de Alta Verapaz**



Fuente: Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/wiki/Alta\\_Verapaz](https://es.wikipedia.org/wiki/Alta_Verapaz). Consulta: marzo de 2016.

### **1.1.2. Izabal**

El departamento de Izabal se sitúa en la región nororiental de Guatemala. Limita al norte con el departamento de Petén, Belice y el mar Caribe; al sur con el departamento de Zacapa; al este con la República de Honduras, y al oeste con el departamento de Alta Verapaz.

Cuenta con una extensión territorial de 9 038 kilómetros cuadrados. La cabecera departamental, Puerto Barrios, está a una distancia de 308 kilómetros de la capital.

Su altitud varía desde los 0,67 metros sobre el nivel del mar en Puerto Barrios y 77 metros sobre el nivel del mar en los Amates. Sus coordenadas son 15,44 grados norte y 88,36 grados oeste.



Figura 2. **Ubicación del departamento de Izabal**



Fuente: Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Izabal>. Consulta: marzo de 2016.

### **1.1.3. Zacapa**

El departamento de Zacapa se ubica en la región nororiente de la República de Guatemala. Limita al norte con los departamentos de Alta Verapaz e Izabal; al sur con los departamentos de Chiquimula y Jalapa; al este con el departamento de Izabal y la República de Honduras, y al oeste con el departamento de El Progreso. Su cabecera departamental es Zacapa.

Por su configuración geográfica, que es bastante variada, sus alturas oscilan entre los 130 metros sobre el nivel del mar en Gualán y los 880 metros sobre el nivel del mar en el municipio de la Unión. Sus coordenadas son 14,58 grados norte y 89,31 grados oeste.

Figura 3. **Ubicación del departamento de Zacapa**



Fuente: Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Zacapa>. Consulta: marzo de 2016.

## **1.2. Monografía**

La monografía permite vincular los rasgos propios de cada departamento para poder determinar el progreso y la historia del mismo. Las curvas IDF determinan parámetros que permiten diseñar obras civiles a presente y futuro en estos lugares, para propiciar el desarrollo de los mismos.

### **1.2.1. Alta Verapaz**

Esta zona fue conocida en tiempos de la colonización como Tuzulutlán o Tezulutlán que significa “Tierra de guerra”, por la dificultad que tuvieron los españoles en conquistar este territorio, ya que no lo lograron con las armas, sino que fue Fray Bartolomé de las Casas quien a través de la fe conquistó al pueblo indígena de las Verapaces, lo que motivó al rey Carlos V a darle a Cobán el título de “Ciudad Imperial”.

Respecto del obispado de Verapaz, en 1569 se desmembró de Guatemala, pero al no poder subsistir de manera independiente, se adjuntó nuevamente. Desde 1608 hasta 1935, periodo en el que se erigió por segunda vez, los obispos de Guatemala eran también de Verapaz. Actualmente el obispado de Verapaz tiene jurisdicción eclesiástica sobre los departamentos de Alta y Baja Verapaz y la sede se encuentra en la ciudad de Cobán.

A finales del siglo XIX, ingleses y alemanes utilizaron la región para la siembra de café. La producción agrícola creció considerablemente y se incentivó también el cultivo del cardamomo. Para embarcar el café que producían las ricas fincas, los alemanes construyeron en su época lo que se llamó el ferrocarril Verapaz, que llegaba hasta las márgenes del lago de Izabal. También se introdujeron algunas máquinas de vapor para los beneficios de café, pero la vía férrea fue desmantelada.

En 1814 tras las modificaciones de Izabal, y que Petén fue elevado a la categoría de corregimiento, la región de Verapaz se redujo territorialmente. El 4 de mayo de 1877 sufrió su última división, convirtiéndose en Alta y Baja Verapaz, quedando constituido ya como departamento.

La feria titular de la cabecera de este departamento se celebra del 17 al 24 de septiembre, siendo el día principal el 21, fecha en que la iglesia católica conmemora al apóstol y evangelista San Mateo, patrono del lugar.

En este departamento, durante las celebraciones y festejos de las ferias patronales, se llevan a cabo bailes folklóricos entre los que destacan: los voladores, moros, toritos, venado, convite o enmascarados, judíos, diablos, animales, cortés, los 5 toros, el chico mudo, costeño, marineros y San Jorge.

El más famoso de todos estos bailes es el Rabinal Achí o varón de Rabinal o baile del Tun, conocido nacional e internacionalmente; es el único ballet prehispánico que se conserva en toda América. Para su presentación, los participantes se sujetan a una serie de ritos que incluyen visitas a los montes que se mencionan en la obra, en las cuales solicitan permiso para su representación consecutiva de 7 veces. Uno de los requisitos importantes para este evento es la abstinencia sexual 30 días antes de la presentación y 30 días después. Por lo regular se representa en la fiesta titular y elección de la Rabín Ajau.

Es uno de los departamentos de Guatemala más ricos en naturaleza; destacan entre sus maravillas las piscinas naturales de Semuc Champey en el río Cahabón, descubiertas por el famoso escritor guatemalteco Francisco Oswaldo Reyes Narciso; las cuevas de Candelaria, el Rey Marcos y Lanquín, y sus bosques húmedos.

En su patrimonio histórico-artístico, destacan los 64 enclaves arqueológicos correspondientes al período maya y algunos edificios religiosos singulares del período colonial, sobre todo en Cobán, San Juan Chamelco y San Pedro Carchá. Además del español, en este departamento se hablan los idiomas indígenas siguientes: Quekchí, Pocomchí y Achí.

El departamento tiene cultivos cuya producción se destina al mercado internacional, como café, cardamomo, achiote, cacao y pimienta, y otros para consumo nacional como maíz, frijol, chile, caña de azúcar, entre otros.

La producción forestal de este departamento es de suma importancia dentro del producto agrícola; los registros que existen de esta actividad lo demuestran claramente.

El sector pecuario de este departamento está dedicado básicamente al ganado vacuno, el cual se destina al mercado externo e interno.

En este departamento la mayoría de sus agroindustrias son dedicadas a beneficiar café, cardamomo y en menor cuantía el arroz. Cuatro municipios de Alta Verapaz se dedican a la actividad minera, siendo estos: Cobán, San Juan Chamelco, Santa María Cahabón y Tactic, en los que se extrae plomo, zinc y plata. Actualmente solo en este departamento se está realizando la extracción de petróleo.

En cuanto a su producción artesanal destacan los tejidos típicos de algodón, cerámica, cestería, instrumentos musicales, productos de palma, petates de tul y cohetería.

En la red vial de Alta Verapaz se cuenta con setecientos sesenta y dos kilómetros de carreteras, de las cuales únicamente sesenta kilómetros son asfaltados y setecientos dos son de terracería. Cuenta además con ciento cuarenta y seis kilómetros de caminos rurales.

En Alta Verapaz se ubican tres aeropuertos de pistas asfaltadas, con longitud aproximada de 1 kilómetro, estos son localizados, uno en la cabecera departamental, otro en el municipio de Fray Bartolomé de las Casas y el otro en las instalaciones petroleras de Rubelsanto (Chisec).

El transporte aéreo está constituido por una flotilla de diez avionetas y dos helicópteros.

### 1.2.2. Izabal

Respecto de la etimología de Izabal, se cree que se refiere al Golfo Dulce; sin embargo, ahora puede decirse que proviene del vasco o vascuence, en cuyo idioma: *Zabal* equivale a ancho, posiblemente por la bahía. Es preciso recordar que los miembros del Real Consulado de Comercio en su mayoría eran vascos, o sus descendientes.

En 1803, según documentos que obran en el Archivo General de Centroamérica, apareció el primer reglamento para embarques y desembarques del Real Consulado, en que se menciona a Izabal.

Durante el período hispánico este departamento pertenecía al corregimiento de Chiquimula de la Sierra, luego fue distrito, y por último fue creado como departamento el 18 de mayo de 1866. Desde el 11 de marzo de 1951, el departamento de Izabal pertenecía al obispado de Zacapa, integrado por Zacapa, Chiquimula e Izabal.

El 30 de abril de 1968 se erigió la administración apostólica de Izabal, con sede en Puerto Barrios y comprende solo este departamento.

El pueblo de Izabal está situado en la margen sur del lago de Izabal y durante el período hispánico tuvo mucha importancia, especialmente en el aspecto comercial, siendo por esto, muy asediado por los piratas de esa época. Sobre el mar Caribe, específicamente en Livingston y parte de Puerto Barrios se habla en caribe-araguaco o garífuna, cuyos habitantes son el resultado del mestizaje de tres grupos étnicos: los indios caribes (naturales de esas islas), los araguacos originarios de América del Sur y de los negros procedentes de África.



Un aspecto particular de su historia es que algunos de sus actuales municipios se constituían en territorios libres de trabajos forzados y repartimientos, por lo que muchos indígenas lograron huir de sus pueblos y se establecieron en pequeñas parcelas desarrollando una economía de subsistencia, especialmente en el Estor. Además trabajaron en actividades propias de los puertos, las cuales requerían de fuerza no solo indígena, sino también de raza negra.

De manera tradicional se han celebrado dos ferias titulares en la cabecera: del 4 al 14 de mayo, al tenor del acuerdo gubernativo del 27 de marzo de 1956 en honor del Sagrado Corazón de Jesús. El acuerdo gubernativo del 14 de octubre de 1974 transfirió para los días comprendidos del 14 al 21 de mayo, la feria titular de la cabecera departamental.

El idioma oficial y más hablado es el español, sin embargo, desde 1800 se alterna el idioma garífuna. En Estor y parte de Livingston también se habla el Quekchí, ya que la parte occidental de este departamento ha sido habitada por la etnia del mismo nombre.

Izabal es uno de los departamentos que ofrece mayor riqueza al país, por la fertilidad de su suelo, los recursos minerales, accesibilidad por las vías de comunicación, los puertos marítimos y alternativos dentro del sector turístico.

Sus principales vías de comunicación con la capital son la carretera Interoceánica o del Atlántico CA-9; las vías férreas del ferrocarril del norte que atraviesa el departamento. Cuenta con vías aéreas y marítimas como Santo Tomás de Castilla y Puerto Barrios, que son los principales puertos de entrada en el mar Caribe, donde anclan barcos de diferente calado.

### **1.2.3. Zacapa**

Zacapa, se deriva de la voces náhuatl *Zacatl*, que significa zacate o yerba y *apan* en el río, formado en vez de *atl*, agua y pan “sobre el río del zacate” o de la yerba, aludiendo indudablemente al río grande de Zacapa.

La historia de Zacapa se inicia en tiempos de la colonia. Durante este tiempo dependía de la provincia de Chiquimula que estuvo dividida en dos partidos o corregimientos que eran: Zacapa y Acasaguastlán, formado por los ocho pueblos y valles, situados en la parte occidental o el otro llamado Chiquimula, que comprendía los vendidos de la parte oriente.

En 1825, Chiquimula se convirtió en departamento, contando con siete municipios, siendo Zacapa uno de ellos. Debido a la extensión territorial de Chiquimula, la acción de las autoridades de este entonces determinaron que era muy difícil administrar un gran territorio y decidió dividir el departamento en dos: el de Chiquimula propiamente y el de Zacapa, que tuvo como cabecera el mismo nombre. Esta división se llevó a cabo por Decreto Núm. 31, con fecha 10 de noviembre de 1871, del Presidente de la República General Miguel García Granados.

El 29 de junio de 1821, por disposición de las Cortes de España, se dio a Zacapa el título de Villa.

Posteriormente por Decreto de la Asamblea Constituyente del 4 de noviembre del mismo año, se menciona a Zacapa como perteneciente al departamento de Chiquimula.

Álvaro Enrique Palma Sandoval, en ocasión del Centenario del Departamento menciona que el 10 de noviembre de 1871 a través del Decreto Núm. 30, Zacapa es elevado a la categoría de Departamento y en noviembre de 1896 la Villa fue elevada a la categoría de ciudad, convirtiéndose en la cabecera departamental. Actualmente Zacapa sigue siendo reconocido como el centro gravitacional del desarrollo de esta zona, por ser equidistante de los departamentos de la región; de esa cuenta se inició la descentralización y desconcentración de la administración pública.

La mitad del territorio, hacia el norte, es montañoso pues es atravesado por la Sierra de las Minas, de oeste a este; hacia el sur existen pequeñas cadenas de montes y cerros aislados, los cuales son separados por hondonadas más o menos profundas; en tanto que en la parte central, el cauce del río Motagua forma un extenso valle que, dependiendo de la configuración topográfica, se estrecha o ensancha, dando origen a tierras fértiles, así como a grandes extensiones de terreno como los llanos de la Fragua, los cuales son irrigados y producen cosechas de caña de azúcar, tabaco, tomate, entre otros.

Entre las principales vías de comunicación están la carretera Interoceánica (del Atlántico) CA-9, la CA-10 y la ruta nacional 20; así como el antiguo ferrocarril del norte que atravesaba el municipio y pasaba por la cabecera, de donde seguía un ramal hacia la frontera con El Salvador.

### **1.3. Estaciones**

Las características que presentan las estaciones climatológicas que brindan los datos pluviográficos permiten contextualizar los eventos de precipitación seleccionados para este trabajo de graduación.

#### **1.3.1. Estación climática San Agustín Chixoy**

Es una estación climática tipo A, automática, ubicada en el municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz, en la cuenca del río Chixoy, en las coordenadas totales latitud 160 400 y longitud 902 620. Su altitud es de 140 metros sobre el nivel del mar.

#### **1.3.2. Estación climática Cahabón**

Es una estación climática tipo B, ubicada en el municipio de Cahabón, departamento de Alta Verapaz, en la cuenca del río Cahabón, en las coordenadas totales latitud 153 630 y longitud 894 838. Su altitud es de 380 metros sobre el nivel del mar.

#### **1.3.3. Estación climática Cobán**

Es una estación climática tipo A, automática, ubicada en el municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz, en la cuenca del río Cahabón, en las coordenadas totales latitud 152 800 y longitud 902 427. Su altitud es de 1 323 metros sobre el nivel del mar.

#### **1.3.4. Estación climática La Fragua**

Es una estación climática tipo A, ubicada en el municipio de Zacapa, departamento de Zacapa, en la cuenca del río Grande de Zacapa, en las coordenadas totales latitud 145 751 y longitud 893 504. Su altitud es de 210 metros sobre el nivel del mar.

#### **1.3.5. Estación climática Puerto Barrios**

Es una estación climática tipo A, automática satelital, ubicada en el municipio de Puerto Barrios, departamento de Izabal, en la cuenca del río Motagua, en las coordenadas totales latitud 154 416 y longitud 883 530. Su altitud es de 2 metros sobre el nivel del mar.

Figura 4. **Localización de estaciones climatológicas**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Paint.

## 1.4. Cuencas

Las características de las cuencas hidrográficas son aspectos fundamentales que determinan la disponibilidad espacial del recurso hídrico en los departamentos bajo estudio, en este trabajo.

### 1.4.1. Alta Verapaz

El departamento es drenado por 3 cuencas de la vertiente del Océano Atlántico y 2 de la vertiente del Golfo de México. Dichas cuencas son:



- Vertiente del Océano Atlántico:
  - Polochic
  - Cahabón
  - Sarstún
  
- Vertiente del Golfo de México:
  - Salinas
  - La Pasión

La cuenca Polochic, cuya extensión es de 281 100 hectáreas, abarca 19 municipios de 5 departamentos y contiene un caudal de 105,78 metros cúbicos por segundo. Se desarrolla a lo largo del río Polochic, estando constituida principalmente por afloramientos de formaciones muy poco permeables o impermeables.

La cuenca Cahabón, cuya extensión es de 245 900 hectáreas, abarca 14 municipios de 3 departamentos y contiene un caudal de 130,71 metros cúbicos por segundo. Se encuentra en la región sedimentaria septentrional, inmediatamente al norte de la cuenca del río Polochic, en el que confluye el río Cahabón.

La cuenca Sarstún, cuya área es de 210 900 hectáreas abarcando 7 municipios de 3 departamentos y conteniendo un caudal de 100,33 metros cúbicos por segundo. Muestra prácticamente una sola formación acuífera y la recarga potencial puede alcanzar los 1 140 millones de metros cúbicos al año.

La cuenca Salinas o Chixoy, cuya extensión es de 1 215 000 hectáreas, abarca 47 municipios de 7 departamentos, contiene un caudal de 459,89 metros

cúbicos por segundo. En la región sedimentaria septentrional se ubica parte de Alta Verapaz, donde hay un extenso afloramiento de calizas cretácicas que se presentan muy fracturadas, por extensos fenómenos kársticos superficiales.

La cuenca La Pasión, cuya extensión es de 1 208 300 hectáreas, abarca 15 municipios de dos departamentos y contiene un caudal de 79,59 metros cúbicos por segundo. Posee dos formaciones acuíferas: las calizas cretácicas y los depósitos sedimentarios terciarios.

#### **1.4.2. Izabal**

Este departamento es drenado por 5 cuencas de la vertiente del Océano Atlántico:

- La cuenca Motagua, cuya extensión corresponde a 1 267 000 hectáreas, abarca 81 municipios de 11 departamentos y contiene un caudal de 207,54 metros cúbicos por segundo.
- La cuenca Río Dulce, cuya extensión es de 343 500 hectáreas, abarca 6 municipios de 2 departamentos y contiene un caudal de 104,01 metros cúbicos por segundo.
- La cuenca Polochic, con una extensión de 281 100 hectáreas, abarca 19 municipios de 5 departamentos y posee un caudal de 105,78 metros cúbicos por segundo.
- Cuenca Cahabón: la superficie de la cuenca corresponde a 245 900 hectáreas, con un caudal medio de 164,2 metros cúbicos por segundo.

- Cuenca Sarstún: Esta cuenca es compartida por Guatemala y Belice. La parte guatemalteca de la cuenca tiene una superficie de 210 900 hectáreas, y la parte beliceña cubre 19 400 hectáreas.

### **1.4.3. Zacapa**

Este departamento es drenado por 4 cuencas de la vertiente del Océano Atlántico. Dichas cuencas son:

- Grande de Zacapa
- Río Dulce
- Polochic
- Motagua

La cuenca Grande de Zacapa, cuya extensión corresponde a 246 200 hectáreas, abarca 20 municipios en 4 departamentos y contiene un caudal de 20,73 metros cúbicos por segundo.

## **1.5. Ríos**

La región del país a la cual pertenecen los departamentos analizados se encuentra irrigada por diversos ríos. A continuación, se listan los ríos principales de cada departamento, los cuales pertenecen principalmente a la vertiente del Océano Atlántico y en menor cantidad a la del Golfo de México.

### **1.5.1. Alta Verapaz**

Los ríos principales de este departamento son:

- Río de La Pasión: es uno de los principales afluentes del Usumacinta. Nace en la Sierra de Chamá, Alta Verapaz. Se interna en el departamento de Petén donde recibe numerosos tributarios, siendo los principales los ríos Santa Isabel o Cancuén, Machaquilá, Santa Amelia y San Juan. Ya en las planicies peteneras se hace profundo y tranquilo, formando un gran arco a la altura de Ceibal, hacia el oeste, antes de unirse con el Salinas, los cuales recibirán más al norte, las aguas del Lacantún o Lacandón, formando todos el Usumacinta. El río La Pasión es navegable en cerca de 300 kilómetros. Desde la montería El Porvenir hasta su confluencia con el río Salinas.
- Río Santa Isabel o Cancuén: nace en las montañas mayas (Belice). Sirve de límite en parte de su curso entre Petén y Alta Verapaz, desembocando luego en el río La Pasión.
- Río Chixoy o Negro: es el más largo y caudaloso de los afluentes del Usumacinta. Nace con el nombre de río Negro cerca de Santa Ana Malacatán, alimentándose con muchos tributarios de las montañas, por lo cual es muy caudaloso. Lo forman los ríos Hondo y Xecunabaj que vienen de Totonicapán y Quiché; y del San Juan Blanco y Aguacatán que nacen en los Cuchumatanes. Hacia el norte y entre Guatemala y México recibe el nombre de Salinas y se une al río La Pasión, formando el Usumacinta.
- Río Polochic: nace en Tactic y atraviesa los municipios de Tamahú, Tukurú, Panzós y El Estor, desembocando en el lago de Izabal por tres desembocaduras principales. Este río es de corriente rápida, navegable desde La Tinta, pero desde Panzós a su desembocadura es navegable sin obstáculos, en todo tiempo, pues llega a tener una anchura de 40

metros por 4 metros de profundidad. Su principal afluente es el Cahabón.

### **1.5.2. Izabal**

Los principales ríos que atraviesan el departamento de Izabal son los siguientes:

- Río Polochic: nace en el departamento de Alta Verapaz, en las montañas del municipio de Tukurú, y desemboca en Izabal, específicamente en el Lago de Izabal. Ocupa un área de 2 811 kilómetros y de acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), pertenece a la cuenca de la vertiente del Caribe. Es el cuarto río más grande de Guatemala, con una longitud de 193,65 kilómetros y un caudal de 69,3 metros cúbicos por segundo.
- Río Dulce: es un río que se encuentra en el departamento de Izabal, Guatemala, entre el lago de Izabal y la bahía de Amatique; tiene aproximadamente 43 kilómetros de largo. Es desde 1955 una de las primeras áreas protegidas de Guatemala. Cuenta con 7 200 hectáreas, donde existen ecosistemas acuáticos y manglares estuarinos. Es hábitat del manatí, mamífero en peligro de extinción, así como cocodrilos de la especie *acutus*. El cañón en la desembocadura del río sobre la bahía ofrece una belleza escénica singular por su vegetación y por ser refugio para muchas aves marinas; para recorrer los 16 kilómetros que distan entre el golfo y el mar.

Las aguas del río se introducen por una enorme grieta que separan las montañas donde altas paredes de rocas calizas con exuberante vegetación, de 120 a 150 metros de altura ocultan casi por completo la luz del sol; en este lugar el río presenta una profundidad de 30 a 50 metros, y un ancho de 200 metros.

Al biotopo del manatí, únicamente puede accederse por vía acuática, ya sea desde la aldea Río Dulce, municipio de Livingston o desde Puerto Barrios. La aldea Río Dulce y el puerto de Livingston cuentan con lanchas que hacen los recorridos a través del río y el cañón. Ambas localidades ofrecen servicios de hotelería y alimentación de todas las categorías, además de marinas. La visita al parque puede combinarse con la del biotopo protegido Chocón Machacas, y el Castillo de San Felipe de Lara, con el cual compone una unidad. Sobre este, está ubicado el puente más largo de Guatemala el cual tiene una altura de 45 metros y posee una longitud de 1 563 metros y se encuentra a la entrada de la aldea de Río Dulce.

- Río Golfete Dulce: el Golfete Dulce, Golfo Dulce, Izabalito o simplemente El Golfete, es un río a través del cual drena el lago de Izabal. El Golfete se extiende aproximadamente entre las fronteras de Río Dulce y Livingston. Geográficamente pertenece al municipio de Livingston.

### **1.5.3. Zacapa**

La principal fuente de agua que tiene el departamento de Zacapa está localizada en la montaña de Las Granadillas, parte de la Sierra del Merendón.

Río Grande o Motagua: es uno de los más importantes de la cuenca Atlántica, nace en el municipio de Chichicastenango con el nombre de río Selapec. Después recibe el nombre de Motagua o Grande hasta Usumatlán, y de aquí hasta su desembocadura se llama río Motagua. Sirve de límite entre Quiché y Chimaltenango, Baja Verapaz y Guatemala y atraviesa los departamentos de Zacapa, El Progreso e Izabal; sirve de límite corto entre Guatemala y Honduras, desembocando en la bahía de Omoa. Tiene una extensión aproximada de 400 kilómetros, y es navegable por pequeñas embarcaciones en cerca de 200 kilómetros desde Gualán a su desembocadura. Tiene numerosos afluentes de los cuales el principal es el río Hondo, importante porque la fuerza de sus aguas se utiliza para mover la planta eléctrica de la ciudad de Zacapa.

Desde sus orígenes se precipita torrencialmente en cañadas profundas, pero a la altura de Gualán su curso es más suave y sus aguas pueden ser utilizadas para irrigación. Aquí su profundidad es de 2 a 5 metros y su anchura media de 60 metros.

Además del Motagua, el suelo de Zacapa está bañado por otros ríos de menor importancia tales como: Blanco, Negro, Teculután, Pasabién, Hondo, Jones, Santiago, Los Achiotos, Mayuelas, El Lobo, Doña María, Agua Fría, Huijo, El Tambor, San Vicente, Huité, Grande de Zacapa, Carí, Guaranjá, Las Cañas, El Naranjo, Biafra y El Islote.

## **1.6. Climatología**

La climatología permite conocer los registros de temperatura y precipitación y su variación a lo largo del tiempo en los departamentos a

investigar en este trabajo. Posibilita inferir sobre qué eventos pueden considerarse inusuales para las zonas analizadas.

### **1.6.1. Alta Verapaz**

Debido a su configuración variada y a sus diferentes alturas, existen condiciones de clima que van desde las tierras bajas en la región de Panzós, hasta las altas de Tactic, que es más frío que Cobán, con muchas alturas intermedias hacia la parte norte, donde lo montañoso desciende hacia las llanuras del Petén. La principal parte montañosa aproximadamente en el centro del departamento es conocida como sierra de Chamá.

Alta Verapaz presenta temperaturas anuales cuyos promedios oscilan entre 17 y 21 grados centígrados, precipitación promedio superior a los 2 000 milímetros anuales y humedad relativa promedio del 88 %. El clima de este departamento se define como cálido muy húmedo, sin estación seca definida.

Su complejo montañoso de la región está conformado por las sierras de Chuacús, Chamá y Las Minas, las cuales en su conjunto forman una barrera natural a los vientos fríos provenientes del norte.

El registro de las normales climáticas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) brinda una mejor perspectiva del clima de este departamento a partir de los registros de las estaciones. Los datos que no se encontraban disponibles aparecen con el valor de -99.



Tabla I. **Normales climáticas del departamento de Alta Verapaz**

Localidad	Elevación	Temperaturas	Absolutas	Precipitación	Brillo Solar	Húmedad relativa	Velocidad del viento	Evaporación
	(Msnm)	Máx-Mín (°C)	Máx-Mín	(Milímetros)	Total/Hrs/Promedio Mes	(%)	(Kms/hr)	(%)
<b>Departamento de Alta verapaz</b>								
Cobán	1323	24,5 - 13,0	34,2 - 0,8	2 074,9	172,5	88	4,2	93,1
Cahabón	380	31,2 - 19,4	38,7 - 13,3	2 386,3	- 99	81	- 99	- 99
Chisec	140	31,4 - 20,1	38,3 - 13,8	2 477,5	168,3	84	3	94,4
Panzós	30	32,1 - 21,0	37,6 - 14,2	2 656,7	187	81	2,1	118,5
Panzós, papalha	120	31,5 - 20,4	36,8 - 14,8	1911,4	- 99	77	- 99	- 99

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh).

### 1.6.2. Izabal

En general este departamento se caracteriza por su clima cálido y húmedo, con temperaturas de 20 a 25 grados centígrados en promedio y llegando a alcanzar los 30 grados centígrados o más en la planicie del río Polochic. Hacia el sur, el clima se vuelve un poco más seco.

En lo alto de las áreas montañosas el clima es templado, 20 grados centígrados en promedio, siendo más húmedo o seco, dependiendo del área.

En este departamento se distinguen 6 zonas de vida: bosque seco subtropical, bosque húmedo subtropical templado, bosque muy húmedo subtropical frío, bosque muy húmedo subtropical cálido, bosque muy húmedo tropical y bosque pluvial montano bajo subtropical.

El registro de las normales climáticas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) brinda una mejor

perspectiva del clima de este departamento a partir de los registros de las estaciones. Los datos que no se encontraban disponibles aparecen con el valor de -99.

Tabla II. **Normales climáticas del departamento de Izabal**

Localidad	Elevación	Temperaturas	Absolutas	Precipitación	Brillo Solar	Húmedad relativa	Velocidad del viento	Evaporación
	(Msnm)	Máx-Mín (°C)	Máx-Mín	(Milímetros)	Total/Hrs/Promedio Mes	(%)	(Kms/hr)	(%)
<b>Departamento de Izabal</b>								
Puerto Barrios	2	29,7 - 21,4	39,6 - 11,0	3 111,3	202,2	83	20,2	-99
Livingston	10	31,6 - 20,4	42,0 - 10,0	1 825,6	-99	82	-99	-99
Los Amates	76	32,7 - 21,4	43,5 - 13,0	1 800,3	-99	75	-99	-99

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh).

### 1.6.3. **Zacapa**

El clima del municipio de Zacapa es cálido, con temperatura promedio anual de 27 grados centígrados; la máxima es de 35,9 grados centígrados y la mínima de 21,3; siendo los meses de marzo y abril los más cálidos. Debido a la posición geográfica y al hecho de estar situado en la vertiente del Atlántico, el municipio posee cierta variabilidad en sus condiciones climáticas.

La humedad relativa es de 74 % aproximadamente. La velocidad promedio de los vientos es de 6,2 kilómetros por hora, la insolación media mensual alcanza 205 horas y la anual 2 469,70 horas, teniéndose de seis a siete horas diarias de sol directo.

Los registros de lluvias en el valle son de 470 milímetros por año en 39 días de precipitación; las cordilleras altas crean condiciones de sombra de

lluvia, lo que repercute que en el valle medio del Motagua; se reporta una precipitación anual de menos de 500 milímetros, convirtiendo al valle en el más árido y seco de Centro América.

El registro de las normales climáticas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) brinda una mejor perspectiva del clima de este departamento a partir de los registros de las estaciones. Los datos que no se encontraban disponibles aparecen con el valor de -99.

Tabla III. **Normales climáticas del departamento de Zacapa**

Localidad	Elevación	Temperaturas	Absolutas	Precipitación	Brillo Solar	Húmedad relativa	Velocidad del viento	Evaporación
	(Msnm)	Máx-Mín (°C)	Máx-Mín	(Milímetros)	Total/Hrs/Promedio Mes	(%)	(Kms/hr)	(%)
<b>Departamento de Zacapa</b>								
Estanzuela	210	34,1- 21,2	45,0 - 7,0	652,3	232,7	70	8	220,3
La Unión	8	25,9 - 17,9	38,5 - 4,4	1 592,1	-99	80	-99	-99
Rio Hondo	260	33,5 - 20,3	42,0 - 9,0	721,3	-99	72	-99	-99

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh).



## 2. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Los parámetros estadísticos describen procesos aleatorios de cualquier tipo de información que se encuentre en tablas o gráficos, en este caso información hidrológica. Se basan en principios matemáticos que describen la variación aleatoria, centrándose en las observaciones de los eventos y no en los procesos físicos que los producen.

### 2.1. Medidas de tendencia central

Son valores que suelen situarse hacia el centro de una distribución de datos que pueden orientarse hacia donde se agrupan. Dichos datos sirven para su caracterización.

#### 2.1.1. Media

Se obtiene dividiendo la sumatoria de un conjunto de datos entre el número total de los mismos. Es una forma de encontrar un valor representativo en una serie de números. Su ecuación es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

Donde:

$\bar{x}$  = media

$x_i$  = conjunto de valores de la variable

N = número total de valores

### **2.1.2. Mediana**

La mediana de una colección de datos ordenados en orden de magnitud es el valor medio o la media de los dos valores medios. Para datos agrupados se realiza una interpolación. Geométricamente, la mediana es el valor de  $x$  (abscisa) que corresponde a la vertical que divide un histograma en dos partes iguales de igual área.

### **2.1.3. Moda**

La moda de una serie de números es aquel valor que se presenta con la mayor frecuencia, es decir, es el valor más común. La moda puede no existir, incluso si existe puede no ser única. Una distribución que tiene una sola moda se llama unimodal. En el caso de datos agrupados donde se ha construido una curva de frecuencias para ajustar los datos, la moda será el valor (o valores) de  $x$  correspondientes al máximo (o máximos) de la curva.

## **2.2. Medidas de dispersión**

Al grado en que los datos numéricos tienden a extenderse alrededor de un valor medio se le llama variación o dispersión de los datos.

### **2.2.1. Rango**

También conocido como el recorrido o amplitud total de la distribución; es el valor absoluto de la diferencia más uno entre el mayor y el menor de los datos de una distribución estadística.

Es la medida de variabilidad más fácil de obtener y la menos estable, ya que varía considerablemente con un ligero cambio en los datos.

### **2.2.2. Desviación media**

Es el valor absoluto de la media aritmética de las desviaciones de los valores de la variable respecto de su promedio. Es la medida de las desviaciones absolutas. Su ecuación es la siguiente:

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{N}$$

Donde:

DM = desviación media

$x_i$  = conjunto de valores de la variable

$\bar{x}$  = media

N = número total de valores

### **2.2.3. Varianza**

La varianza es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto de su media. Está medida en unidades distintas de las de la variable. Hay que tener en cuenta que la varianza puede verse muy influida por los valores atípicos y no se aconseja su uso cuando las distribuciones de las variables aleatorias tienen colas pesadas. En tales casos se recomienda el uso de otras medidas de dispersión más robustas.

Su ecuación es la siguiente:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

Donde:

$\sigma^2$  = varianza

$x_i$  = conjunto de valores de la variable

$\bar{x}$  = media

N = número total de valores

#### **2.2.4. Desviación estándar**

Es la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación. Es el indicador de variabilidad que varía menos cuando se calcula para distintas muestras extraídas de la misma población; esto la convierte en la medida de dispersión más fiable. Su ecuación es la siguiente:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Donde:

$\sigma$  = desviación estándar

$x_i$  = conjunto de valores de la variable

$\bar{x}$  = media

N = número total de valores



### 2.2.5. Períodos de retorno

Es el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o sobrepasan una magnitud extrema establecida. Para el caso de intensidades máximas de lluvia, el período de retorno es el tiempo en años que probablemente transcurrirá para que la variable aleatoria  $x$  se repita o se sobrepase. El período de retorno es el equivalente de la probabilidad para eventos de precipitación.

### 2.2.6. Distribución Normal

Es una distribución de variable continua, con campo de variación  $[-\infty, \infty]$ , que queda especificada por dos parámetros de los que depende su función de densidad: la media y la desviación estándar de la distribución. Permite realizar modelos de un gran número de fenómenos reales. Generalmente tiene la forma de una campana simétrica respecto del origen y puntos de inflexión en menos uno y más uno, por lo que la media, mediana y moda coinciden, siendo nulos. La función de distribución normal queda expresada de la siguiente forma:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

A partir de cualquier variable  $x$  que siga una distribución  $N(\mu, \sigma)$ , se puede obtener un valor  $Z$  con una distribución estándar, mediante la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{X - \bar{x}}{\sigma}$$

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética

$X$  = valores de la variable

$\sigma$  = desviación estándar

$Z$  = puntuación típica o valor expresado en términos de la desviación estándar

Las variables hidrológicas, tienden a seguir la distribución normal. Las principales limitaciones de esta distribución en la descripción de variables hidrológicas son su campo de variación, que, como se mencionó anteriormente, es  $[-\infty, \infty]$ , mientras que la mayor parte de las variables hidrológicas no son negativas; además, la información hidrológica tiende a ser asimétrica y la distribución normal es simétrica alrededor de la media.

### **2.2.7. Distribución de Gumbel**

En teoría de probabilidad y estadística la distribución de Gumbel es utilizada para modelar la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos. Es muy útil para representar la distribución del máximo nivel de eventos hidrológicos.

La aplicabilidad potencial de la distribución de Gumbel para representar los máximos se debe a la teoría de valores extremos que indica que es probable que sea útil si la muestra de datos tiene una distribución normal o exponencial.

Es una herramienta de cálculo de probabilidades que modela la distribución de máximos y mínimos de una serie. Entre sus características principales se encuentra la aplicación de la ley de valores extremos tipo I

(Gumbel) si la función de distribución inicial converge hacia una exponencial, para  $x$  tendiendo a infinito.

Además, el campo de variación de  $x$  se extiende desde  $-\infty$  hasta  $+\infty$ . El valor medio y la desviación estándar de la variable reducida son fijos e independientes de la muestra.

$$F(x) = e^{-e^{-b}}$$

Donde:

$$b = \alpha(x - u)$$

$$\alpha = \sigma_{y-S_x}$$

$$u = X - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

$X$  = media aritmética de la muestra

$S_x$  = desviación típica

$\sigma_{y,\mu_y}$  = media y desviación típica, respectivamente, de una serie de valores  $y_i$

$$y_i = -\ln\left(\ln\left(\frac{N+1}{i}\right)\right)$$

### 2.2.8. Regresión no lineal

Se aplica a modelos de tipo  $y = f(x, \theta) + \varepsilon$ , donde  $f$  es alguna función no lineal respecto de algunos parámetros desconocidos  $\theta$ . Busca obtener los valores de los parámetros asociados con el mejor modelo de ajuste.



## 3. CURVAS IDF

### 3.1. Definición

Es importante, además de cuantificar la lluvia que cae registrada en pluviómetros, predecir cuánto podrá caer en un futuro, cuál puede ser la máxima precipitación, para predecir los caudales de agua que producen las cuencas en eventos extremos, de manera que se puedan diseñar las obras de contención, drenaje de carreteras, alcantarillas y otras infraestructuras urbanas.

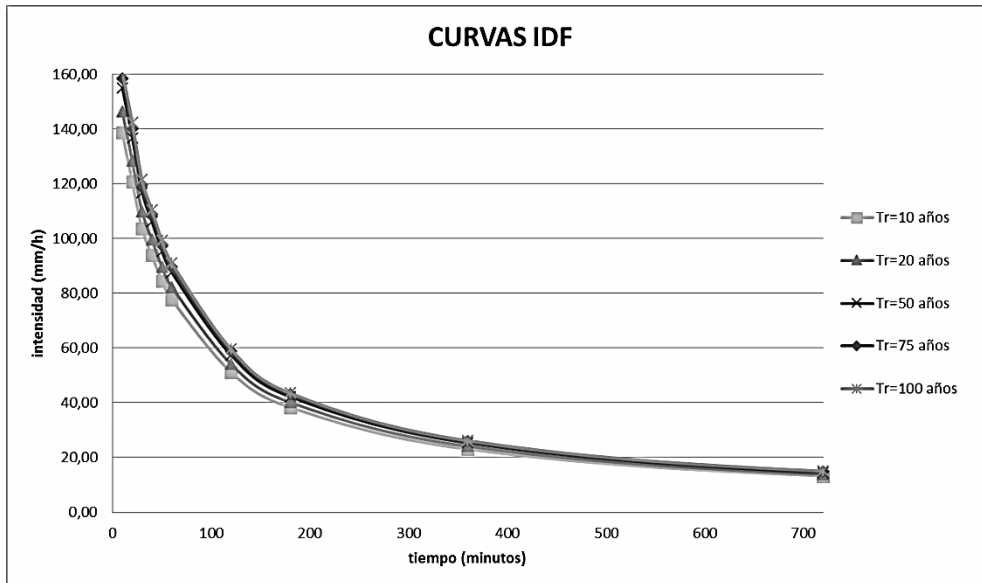
El problema es que el evento de la precipitación es aleatorio y para estudiar su evolución y predicción se debe realizar mediante conceptos probabilísticos. Esto es lo que pretenden las curvas de intensidad, duración y frecuencia IDF, asociar la intensidad con la duración de la lluvia y la probabilidad de ocurrencia y frecuencia.

Una definición más detallada se refiere a que “las curvas IDF representan a las duraciones en las abscisas y a la altura o intensidad de precipitación en las ordenadas, donde cada curva representada corresponde a una frecuencia (o periodo de retorno), de tal forma que las gráficas de estas curvas representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los puntos de una misma curva a un idéntico periodo de retorno”.<sup>1</sup> (Ver figura 5).

---

<sup>1</sup> Unesco. <[http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/IDF\\_15\\_24\\_horas.pdf](http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/IDF_15_24_horas.pdf)>. Consulta: enero de 2016.

Figura 5. Familia de curvas IDF para distintos tiempo de retorno



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel.

### 3.2. Metodología para la construcción de curvas IDF

Existe una metodología tradicional para la construcción de curvas IDF; esta consiste en analizar las frecuencias de valores máximos de precipitación de una serie de datos para cada duración. Para realizar este análisis se utilizan las distribuciones estadísticas normal y la de Gumbel.

#### 3.2.1. Medición de la precipitación

La medición de la precipitación se expresa en milímetros y esta es la representación de una lámina de agua que se acumula en una superficie en el plano horizontal y es impermeable. Se debe tomar en cuenta que un milímetro en esta unidad de medida equivale a un litro de agua por metro cuadrado.

Los instrumentos más comunes para realizar estas mediciones son el pluviómetro y el pluviógrafo.

#### **3.2.1.1. Pluviómetro**

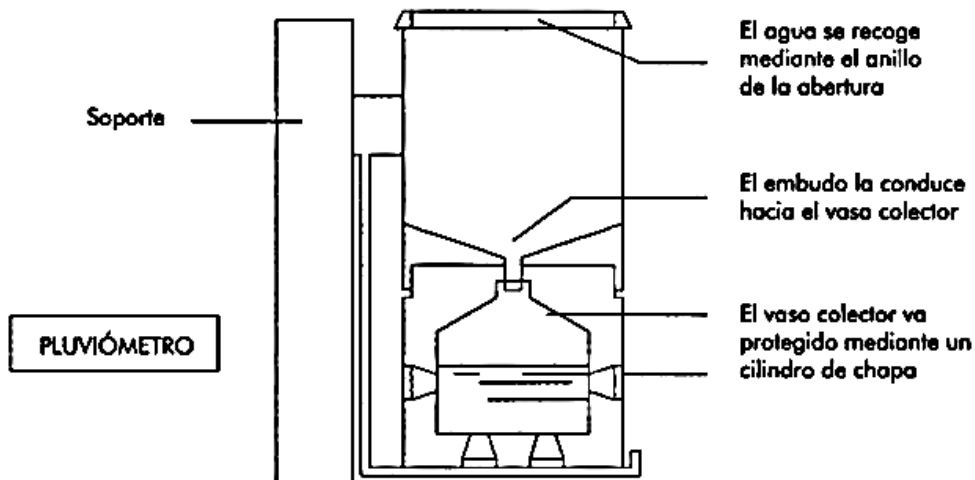
Existen varios tipos de pluviómetros, pero en esencia todos constan de una boca de recogida, un embudo y un vaso colector. El conjunto se integra en una caja bastante robusta que se coloca en un lugar apropiado. Dependiendo del modelo del pluviómetro, estos pueden ser aéreos enganchados a un soporte apropiado, o colocados directamente en el suelo.

Los pluviómetros son en esencia vasos cilíndricos abiertos por su parte superior. Esta abertura esta rematada por un aro de bronce, de forma que el área de recogida sea de 200 centímetros cuadrados.

El embudo está situado profundamente de manera que las gotas que entren no puedan rebotar y salirse; conduce el líquido hacia un vaso colector de boca muy estrecha y dobles paredes, con el fin de evitar en lo posible la evaporación.

Se recomienda colocar el equipo a una altura mínima de 30 centímetros del suelo y protegerlo de remolinos de aire que se puedan formar, próximos al aparato.

Figura 6. **Pluviómetro ordinario**



Fuente: FARIÑA TOJO, José. *La ciudad y el medio natural*. p. 218.

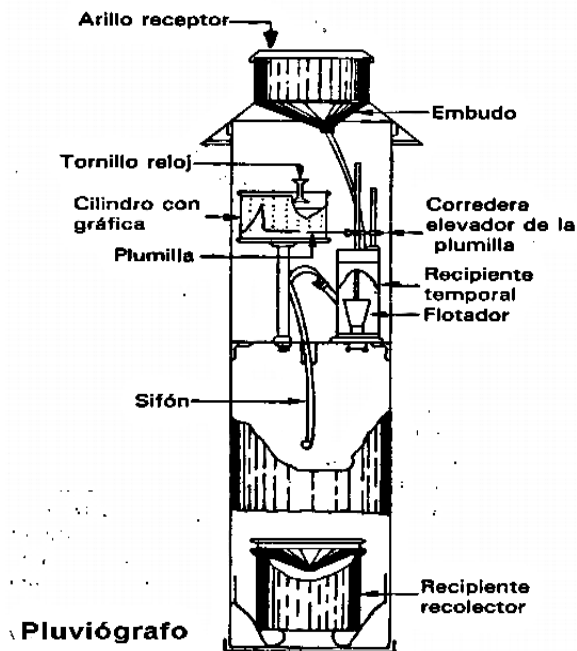
### 3.2.1.2. **Pluviógrafo**

El pluviógrafo es un registrador pluviométrico continuo. Existen diversos tipos de pluviógrafos; uno de los más utilizados es el de sifón.

El funcionamiento del pluviógrafo de sifón se basa en que el compartimiento de recogida del agua cuenta con un flotador unido a la plumilla inscriptora. Esta plumilla va marcando la altura del agua de forma continua, sobre un tambor giratorio provisto de un papel. Al ir subiendo el nivel de esta en el compartimiento del pluviógrafo, lo hace a su vez el flotador. El problema es que si se deja subir indefinidamente el agua, llegará un momento en que agote la capacidad del depósito. Para evitarlo, este tipo de pluviógrafo cuenta con el siguiente mecanismo: cuando el agua alcanza una altura determinada se vacía en otro recipiente a través de un sifón y vuelve a comenzar el ciclo.



Figura 7. **Pluviógrafo de flotador con sifón**



Fuente: FARIÑA TOJO, José. *La ciudad y el medio natural*. p. 219.

### 3.2.2. Descripción del procedimiento

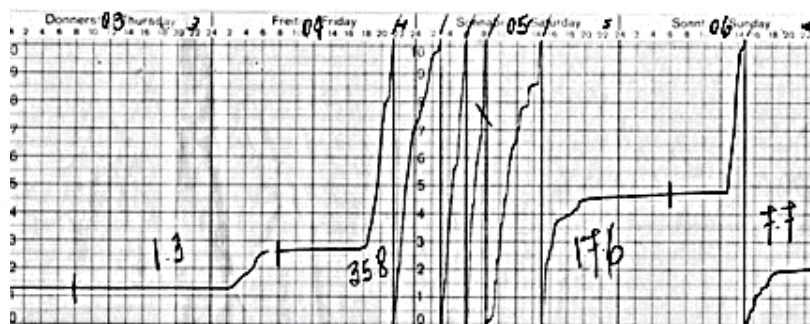
A continuación, se describirá la metodología utilizada para la elaboración de las curvas de intensidad, duración y frecuencia en las estaciones climáticas, a partir de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (Insivumeh).

#### 3.2.2.1. Recopilación de datos

La información utilizada para la elaboración de las curvas IDF en los departamentos de Alta Verapaz, Izabal y Zacapa fue proporcionada por el archivo del Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (Insivumeh).

Las estaciones climáticas que se analizaron cuentan con equipos pluviográficos que registraron los eventos de precipitación que ocurren durante el año por medio de bandas milimetradas (ver figura 8); las cuales quedan registradas de manera constante, ya que utilizan bandas diarias. Se utilizó la mayor cantidad posible de años de registro con la que se contaba, para que la información resultante fuera confiable estadísticamente. Sin embargo existen años incompletos o bandas pluviográficas que se encontraban defectuosas por el paso del tiempo y por el funcionamiento incorrecto del instrumento de medición.

Figura 8. **Banda pluviográfica**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología Vulcanología Meteorología e Hidrología (Insivumeh).

Tabla IV. **Resumen de datos utilizados**

Estaciones climatológicas	Años de registro	Años faltantes	Bandas analizadas
<b>San Agustín Chixoy</b>	2004 - 2013	2009 - 2010 - 2012	24
<b>Cahabón</b>	2004 - 2010	-	71
<b>Cobán</b>	1989 - 2013	1991 - 1993 - 1994 - 1995 - 1996	26
<b>La Fragua</b>	1990 - 2010	1992 - 1993 - 1994 - 1996 - 1997 - 1998 - 2003 - 2004 - 2005 - 2006 - 2007 - 2008 - 2009	33
<b>Puerto Barrios</b>	1994 - 2004	1998	72

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2.2. Selección de valores máximos

El método de mayor validez para la elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) es el propuesto por José Ramón Témez, el cual parte del análisis de bandas de registro pluviográfico y selección de máximos eventos de precipitación para determinado tiempo y lugar. Los registros que presenten eventos extremos son discretizados para obtener las cantidades máximas de lluvia en un lapso de veinticuatro horas.

### 3.2.2.3. Modelos matemáticos

Algo bien singular de las curvas IDF es que pueden expresarse como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de las intensidades de precipitación en una gráfica para obtener datos exactos. De este modo, a través del tiempo varios investigadores han generado diversos planteamientos de las relaciones matemáticas que modelan a dichas curvas. A continuación se presentan algunas de ellas:

Modelo propuesto por Sherman:

$$I = \frac{KT^m}{(D + B)^n}$$

Modelo propuesto por Bernard:

$$I = \frac{KT^m}{D^n}$$

Modelo propuesto por Linsley, válido para duraciones entre 5 y 20 minutos:

$$I = \frac{A}{D + B}$$

Modelo propuesto por Linsley, válido para duraciones superiores a 60 minutos:

$$I = \frac{c}{D^n}$$

Modelo propuesto por Wenzel:

$$I = \frac{A}{D^n + B}$$

Modelo propuesto por Chen:

$$I = \frac{KT^m}{(D + B)^n}$$

Modelo propuesto por Chow:

$$I = \frac{k * T^m}{d^n + c}$$

Donde A, B, K, c, m y n son parámetros adimensionales y periodo de retorno de T años. T es periodo de retorno, D es la duración e I la intensidad máxima de precipitación.

#### **3.2.2.4. Tipos de errores**

Para determinar qué modelo genera el menor error es necesario conocer la magnitud del error estadístico. Esto con el fin de determinar el modelo que se ajusta mejor a las curvas IDF. A continuación se hace una breve descripción de los tipos de errores que son de interés para este trabajo de graduación.

- Error absoluto: se define como la diferencia entre el valor de la medida y el valor tomado como exacto o valor real de la magnitud. Puede ser positivo o negativo, dependiendo de si la medida es superior o inferior al valor real.
- Error relativo: es el valor obtenido de la división del error absoluto entre el valor exacto. A menudo suele presentarse como porcentaje.
- Mínimos cuadrados: es la diferencia entre el error observado y el error predicho, elevada al cuadrado. Se conoce por ser una técnica de análisis numérico utilizada para el ajuste de curvas. Esta intenta minimizar la suma de cuadrados de las diferencias ordenadas entre los puntos generados por la función y los que corresponden a los datos.

#### **3.2.2.5. Aplicación a los datos para la elaboración de las curvas IDF**

A continuación, se desarrolla la metodología completa que se utilizó para obtener la curva IDF de la estación climatológica Cobán.

Para el análisis se toman únicamente los eventos que presenten precipitación considerable. Se debe anotar la altura en mm que refleja la banda

cada 10 minutos que ha ocurrido el evento. Los datos obtenidos se proceden a discretizar a 10 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60 – 120 – 180 – 360 – 720 – 1 440 minutos.

Luego se realiza una tabla de acumulación de precipitación según los valores máximos que se puedan observar en los datos; hasta encontrar uno mayor se realiza la sumatoria con el dato máximo anterior, de esta forma sucesivamente hasta el final.

Tabla V. **Datos acumulados de la estación Cobán**

<b>Estación</b>	<b>Cobán</b>	
<b>Fecha</b>	<b>27/05/2011</b>	
<b>Hora de inicio</b>	<b>19:50</b>	
<b>Altura</b>	<b>2</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Altura</b>	<b>Acumulado</b>
10	3,4	3,4
20	9,8	9,8
30	9,7	19,5
40	9,7	29,2
50	1,6	30,8
60	2,6	31,8
70	3,2	32,4
80	3,9	33,1
90	4,6	33,8
100	4,8	34
110	5,3	34,5
120	5,6	34,8
130	5,7	34,9

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Discretización de banda pluviográfica de la estación Cobán**

Intensidad (mm/hr)			58,2	58,2	51,6	43,8	37,0	31,8	17,4	11,6
Valores maximos (mm)			9,7	19,4	25,8	29,2	30,8	31,8	34,8	34,9
t (min)	h (mm)	Acumulado (h)	10	20	30	40	50	60	120	180
10	3,4	3,4	3,4							
20	9,8	9,8	6,4	9,8						
30	9,7	19,5	9,7	16,1	19,5					
40	9,7	29,2	9,7	19,4	25,8	29,2				
50	1,6	30,8	1,6	11,3	21	27,4	30,8			
60	2,6	31,8	1	2,6	12,3	22	28,4	31,8		
70	3,2	32,4	0,6	1,6	3,2	12,9	22,6	29		
80	3,9	33,1	0,7	1,3	2,3	3,9	13,6	23,3		
90	4,6	33,8	0,7	1,4	2	3	4,6	14,3		
100	4,8	34	0,2	0,9	1,6	2,2	3,2	4,8		
110	5,3	34,5	0,5	0,7	1,4	2,1	2,7	3,7		
120	5,6	34,8	0,3	0,8	1	1,7	2,4	3	34,8	
130	5,7	34,9	0,1	0,4	0,9	1,1	1,8	2,5	31,5	
140	0	0	0	0,1	0,4	0,9	1,1	1,8	25,1	
150	0	0	0	0	0,1	0,4	0,9	1,1	15,4	
160	0	0	0	0	0	0,1	0,4	0,9	5,7	
170	0	0	0	0	0	0	0,1	0,4	4,1	
180	0	0	0	0	0	0	0	0,1	3,1	34,9
190	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	31,5
200	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	25,1
210	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1	15,4
220	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	5,7
230	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	4,1
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	3,1
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5
260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8
270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,1
280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9
290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1

Fuente: elaboración propia.

A continuación se realiza el cálculo de las intensidades, utilizando la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\text{Valor máximo} * 60}{D}$$

Donde D debe tomar el valor de 10 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60 – 120 – 180 – 360 – 720 – 1440 minutos, respectivamente. Esto se realiza para cada banda pluviográfica.

Luego se elabora una tabla de resumen de las intensidades obtenidas por cada año de análisis en la estación trabajada. Esto se realiza para encontrar la intensidad máxima en el año para las discretizaciones.

Tabla VII. **Resumen de intensidades anuales de la estación Cobán**

Estacion Cobán 2011											
Fecha	Intensidades (mm/hr)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
25/04/2011	116,40	116,40	97,00	87,30	74,16	64,70	36,45	23,63	12,83	6,42	3,21
27/05/2011	58,20	58,20	51,60	43,80	36,96	31,80	17,40	11,63	5,82	2,91	1,45
23/05/2011	116,40	87,30	77,60	67,20	57,00	49,10	25,30	10,27	10,50	5,28	2,64
28/08/2011	22,80	17,40	15,20	13,95	13,20	12,20	9,30	9,17	5,38	3,18	1,59
27/08/2011	42,00	31,50	30,00	25,50	21,24	18,80	12,95	10,60	7,00	3,83	1,91
<b>Máximo</b>	116,40	116,40	97,00	87,30	74,16	64,70	36,45	23,63	12,83	6,42	3,21

Fuente: elaboración propia.

Cuando ya se han calculado estos valores para todos los años de los cuales se tienen registros de la estación trabajada, se realiza una tabla de resumen multianual. Esta tabla se utiliza para calcular la media, desviación estándar,  $\alpha$  y  $\mu$ . Estas constantes están dadas por las fórmulas siguientes:

$$\alpha = \frac{\sigma}{\pi} * \sqrt{6}$$

$$\mu = \bar{x} - 0.45\sigma$$



Tabla VIII. **Resumen multianual estación Cobán**

Resumen multianual estacion Cobán											
Año	Intensidad (mm/hr)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
1989	27,00	22,50	20,40	19,20	17,16	16,40	15,35	13,73	7,97	4,98	2,49
1990	120,00	75,00	56,00	45,00	37,20	31,60	18,75	15,33	8,78	5,11	2,59
1992	120,00	90,00	69,20	56,10	46,32	39,20	21,30	12,00	7,90	4,95	2,53
1997	60,00	60,00	56,60	51,60	41,52	34,60	18,15	12,10	7,93	5,12	2,56
1998	51,00	51,00	44,00	34,65	27,72	23,10	18,55	13,83	8,97	5,78	2,95
1999	60,00	60,00	57,00	45,75	42,12	35,60	20,05	19,63	12,33	7,28	5,33
2000	120,00	90,00	80,00	73,50	61,56	54,50	33,45	23,20	11,97	5,98	2,99
2001	52,20	33,00	37,40	32,55	27,60	24,70	17,00	11,30	11,87	7,42	3,90
2002	60,00	60,00	60,00	57,00	48,00	43,80	25,50	17,47	9,98	6,34	3,23
2003	120,00	90,00	80,00	75,00	72,00	65,60	52,80	45,03	25,00	13,55	6,80
2004	60,00	52,50	48,60	40,20	34,80	29,40	15,85	5,83	9,45	6,43	5,11
2005	120,00	90,00	80,00	60,45	60,00	60,00	47,25	29,20	26,67	15,00	7,50
2006	60,00	52,80	48,20	45,00	45,12	39,60	23,40	15,83	9,37	5,66	3,04
2007	120,00	90,00	80,00	75,00	63,60	60,00	55,00	45,67	24,48	12,27	6,30
2008	87,00	60,00	52,00	48,00	42,00	37,50	20,75	13,90	11,40	9,08	4,54
2009	48,00	29,40	26,40	21,75	17,88	15,20	8,90	6,67	6,17	3,97	1,98
2010	58,80	58,20	48,40	43,65	46,56	47,10	27,35	20,93	14,30	7,98	3,99
2011	116,40	116,40	97,00	87,30	74,16	64,70	36,45	23,63	12,83	6,42	3,21
2012	18,00	17,10	14,00	12,75	11,64	11,80	10,90	5,90	4,92	2,60	1,30
2013	114,00	85,50	69,00	57,00	55,80	52,50	30,40	20,43	11,58	5,79	2,90
$\bar{x}$	79,62	64,17	56,21	49,07	43,64	39,35	25,86	18,58	12,19	7,09	3,76
$\sigma$	35,44	26,47	21,68	19,61	17,68	16,57	13,13	10,99	6,14	3,17	1,67
$\alpha$	27,63	20,64	16,90	15,29	13,78	12,92	10,24	8,57	4,79	2,47	1,30
$\mu$	63,67	52,26	46,45	40,25	35,68	31,89	19,95	13,64	9,43	5,66	3,01

Fuente: elaboración propia.

Se calculan las probabilidades de retorno utilizando las distribuciones Normal y de Gumbel. Para encontrarlas se utilizan las siguientes expresiones:

Distribución Normal:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$$

$$z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Distribución de Gumbel:

$$u = \mu_0 + \frac{1}{\alpha_0} \ln T$$

Luego se procede a graficar las curvas IDF para cada distribución que se necesite. Dichas curvas se pueden observar en el capítulo 4, con sus respectivas tablas de los períodos de retorno.

Con las tablas de los períodos de retorno para cada estación se tomaron los valores que se ingresaron en el código de programación proporcionado por el Ingeniero James Phillips, para poder encontrar los coeficientes de las ecuaciones para cada tiempo de retorno.

El editor de programación que se utilizó es Canopy. Este editor es una herramienta de ambiente amigable, fácil de usar para paquetes de análisis matemáticos desarrollados por programadores. Se ingresaron manualmente 200 datos al código de programación desarrollado por el Ing. James Phillips, para encontrar dichos coeficientes. En el código se especificó si se estaba utilizando el método Estándar o el de Wenzel.

Figura 9. Código de programación en Canopy para coeficientes

```
1 import pyeq2
2
3 wenzelFunctionString = 'A / (X**n + B)'
4 standardFunctionString = 'A / ((X + B)**n)'
5
6 data_For_Row_D2 = '''
7 10      190.79
8 20      147.20
9 30      124.22
0 40      110.58
1 50      99.08
2 60      91.31
3 120     67.04
4 180     53.05
5 360     31.46
6 720     17.03
7 1440    9.00
8 '''
9 #functionString = wenzelFunctionString
0 functionString = standardFunctionString
1
2 equation = pyeq2.Models_2D.UserDefinedFunction.UserDefinedFunction(inUserFunctionString = functionString)
3
4 pyeq2.dataConvertorService().ConvertAndSortColumnarASCII(data_For_Row_D2, equation, False)
5
6 equation.Solve()
7
8 print 'User Defined Function:', functionString
9 print equation.fittingTargetDictionary[equation.fittingTarget], '=',
0 equation.CalculateAllDataFittingTarget(equation.solvedCoefficients)
1 print "Fitted Parameters:"
2 for i in range(len(equation.solvedCoefficients)):
3     print "    %s = %-.16E" % (equation.GetCoefficientDesignators()[i], equation.solvedCoefficients[i])
```

Fuente: elaboración propia, empleando el programa Paint.

Al correr el programa este entrega como resultados los coeficientes de las ecuaciones de los tiempos de retorno para cada estación y sus errores relativos respectivos (ver figura 10).

Las tablas de resumen de coeficientes y errores se encuentran en el siguiente capítulo.

Figura 10. **Coefficientes obtenidos al correr el código de programación**

```
Welcome to Canopy's interactive data-analysis environment!  
with pylab-backend set to: qt  
Type '?' for more information.  
  
In [1]: %run "C:\Users\grupoad01\Documents\PROGRAMA TESIS\FittingCode0k.py"  
User Defined Function: A / ((X + B)**n)  
sum of squared absolute error = 100.156615222  
Fitted Parameters:  
  A = 1.3370722986903279E+03  
  B = 1.2520225281632033E+01  
  n = 6.2851918080413194E-01
```

Fuente: elaboración propia, empleando el programa Paint.

En resumen, el código de programación utilizado encuentra los coeficientes de las funciones de intensidad de lluvia para distintos tiempos de retorno. Estas funciones son las que se colocaron en cada gráfica para su mejor entendimiento. Se colocó en el apéndice el resumen de todas estas funciones.

## 4. APLICACIÓN Y PRESENTACIÓN DE CURVAS IDF

### 4.1. Cálculos

Las tablas que se presentan a continuación corresponden a los resultados de las distribuciones estadísticas, generados por los datos de precipitación y sus gráficas respectivas, con las curvas IDF correspondientes a cada uno.

#### 4.1.1. Estación San Agustín Chixoy

En la tabla IX se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución Normal.

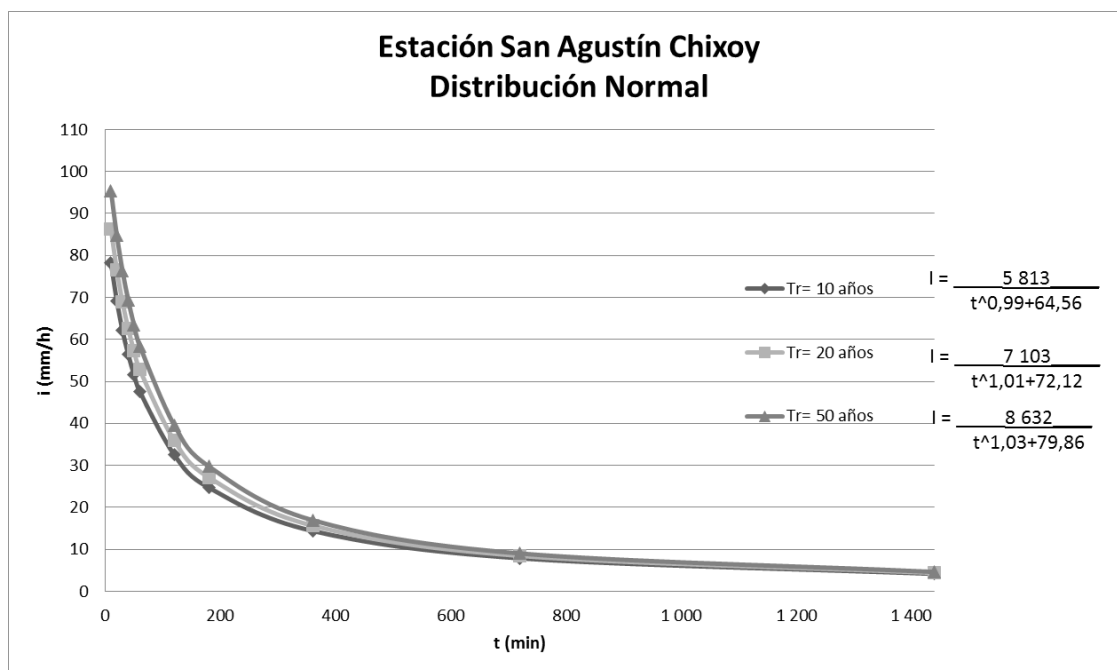
Tabla IX. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución Normal**

Distribución Normal											
Período de retorno/Duración (años)	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	48,94	43,20	37,09	32,25	30,02	28,09	18,15	13,78	9,33	5,16	2,62
5	67,00	61,54	54,02	46,59	43,53	40,63	25,73	20,83	12,91	7,03	3,50
10	76,44	71,12	62,87	54,09	50,59	47,19	29,70	24,52	14,78	8,01	3,96
15	81,15	75,90	67,28	57,83	54,11	50,47	31,68	26,36	15,71	8,50	4,19
20	84,24	79,04	70,17	60,28	56,42	52,61	32,97	27,57	16,32	8,82	4,34
25	86,51	81,34	72,30	62,08	58,12	54,19	33,93	28,46	16,77	9,05	4,45
30	88,29	83,16	73,98	63,50	59,45	55,43	34,68	29,15	17,12	9,24	4,54
50	93,01	87,95	78,40	67,25	62,98	58,71	36,66	31,00	18,06	9,73	4,77
75	96,50	91,49	81,67	70,02	65,59	61,13	38,12	32,36	18,75	10,09	4,94
100	98,86	93,89	83,88	71,89	67,36	62,77	39,12	33,28	19,22	10,34	5,05

Fuente: elaboración propia.

En la figura 11, se presentan las curvas IDF para la estación climática San Agustín Chixoy para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución Normal.

Figura 11. **Curvas IDF de la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución Normal**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la tabla X se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años, en la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución de Gumbel.

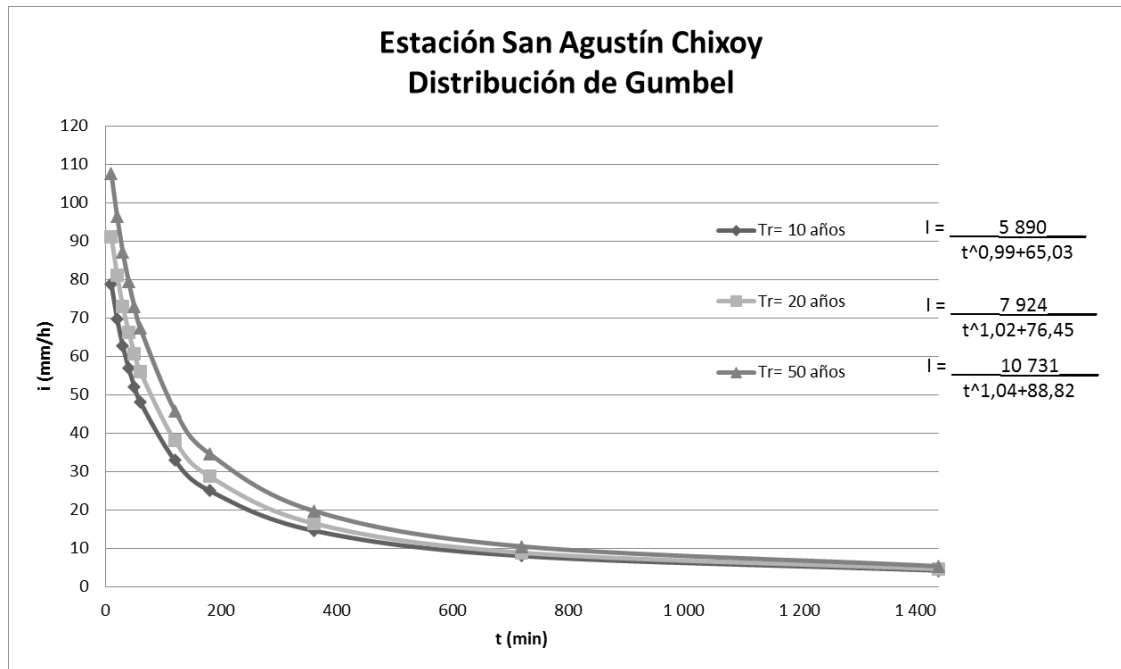
Tabla X. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución de Gumbel**

<b>Distribución de Gumbel</b>											
<b>Período de retorno/Duración (años)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>										
	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>720</b>	<b>1440</b>
<b>2</b>	45,42	39,62	33,78	29,45	27,38	25,64	16,67	12,40	8,63	4,79	2,45
<b>5</b>	64,38	58,88	51,56	44,51	41,57	38,81	24,63	19,81	12,39	6,76	3,37
<b>10</b>	76,94	71,62	63,33	54,48	50,96	47,54	29,91	24,72	14,87	8,06	3,99
<b>15</b>	84,02	78,82	69,97	60,11	56,25	52,46	32,88	27,48	16,28	8,80	4,33
<b>20</b>	88,98	83,85	74,62	64,05	59,96	55,91	34,97	29,42	17,26	9,31	4,57
<b>25</b>	92,80	87,73	78,20	67,08	62,82	58,56	36,57	30,91	18,02	9,71	4,76
<b>30</b>	95,91	90,89	81,12	69,55	65,15	60,72	37,88	32,13	18,63	10,03	4,91
<b>50</b>	104,57	99,68	89,23	76,43	71,62	66,74	41,51	35,51	20,35	10,93	5,33
<b>75</b>	111,41	106,63	95,65	81,86	76,74	71,49	44,39	38,19	21,71	11,64	5,67
<b>100</b>	116,25	111,54	100,19	85,70	80,36	74,86	46,42	40,08	22,66	12,14	5,90

Fuente: elaboración propia.

En la figura 12, se presentan las curvas IDF para la estación climática San Agustín Chixoy, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución de Gumbel.

Figura 12. **Curvas IDF de la estación climática San Agustín Chixoy, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

#### 4.1.2. Estación Cahabón

En la tabla XI se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Cahabón, utilizando la distribución Normal.



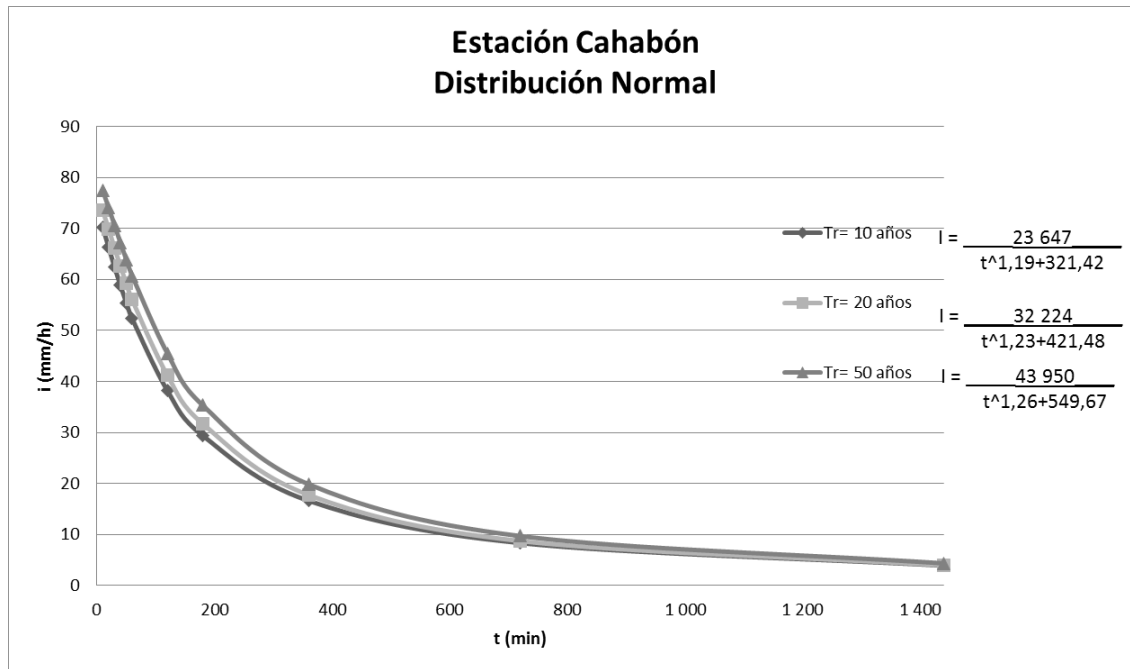
Tabla XI. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Cahabón, utilizando la distribución Normal**

<b>Distribución Normal</b>											
<b>Período de retorno/Duración (años)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>										
	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>720</b>	<b>1440</b>
<b>2</b>	59,49	52,84	48,77	44,14	40,56	38,54	26,69	16,07	12,09	7,09	3,69
<b>5</b>	64,57	62,54	58,40	54,00	50,56	48,18	35,70	19,02	16,29	10,03	5,15
<b>10</b>	67,23	67,61	63,43	59,15	55,78	53,22	40,41	20,57	18,49	11,57	5,91
<b>15</b>	68,56	70,14	65,94	61,72	58,39	55,73	42,76	21,34	19,59	12,34	6,29
<b>20</b>	69,43	71,80	67,59	63,40	60,09	57,38	44,30	21,84	20,31	12,84	6,54
<b>25</b>	70,07	73,01	68,80	64,64	61,35	58,59	45,43	22,21	20,84	13,21	6,72
<b>30</b>	70,57	73,97	69,75	65,61	62,34	59,55	46,32	22,51	21,25	13,50	6,86
<b>50</b>	71,90	76,51	72,27	68,19	64,95	62,06	48,68	23,28	22,35	14,27	7,24
<b>75</b>	72,88	78,38	74,13	70,09	66,88	63,93	50,42	23,85	23,16	14,84	7,52
<b>100</b>	73,55	79,65	75,38	71,38	68,19	65,18	51,60	24,23	23,71	15,22	7,71

Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se presentan las curvas IDF para la estación climática Cahabón, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución Normal.

Figura 13. **Curvas IDF de la estación climática Cahabón, utilizando la distribución Normal**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

En la tabla XII se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Cahabón, utilizando la distribución de Gumbel.

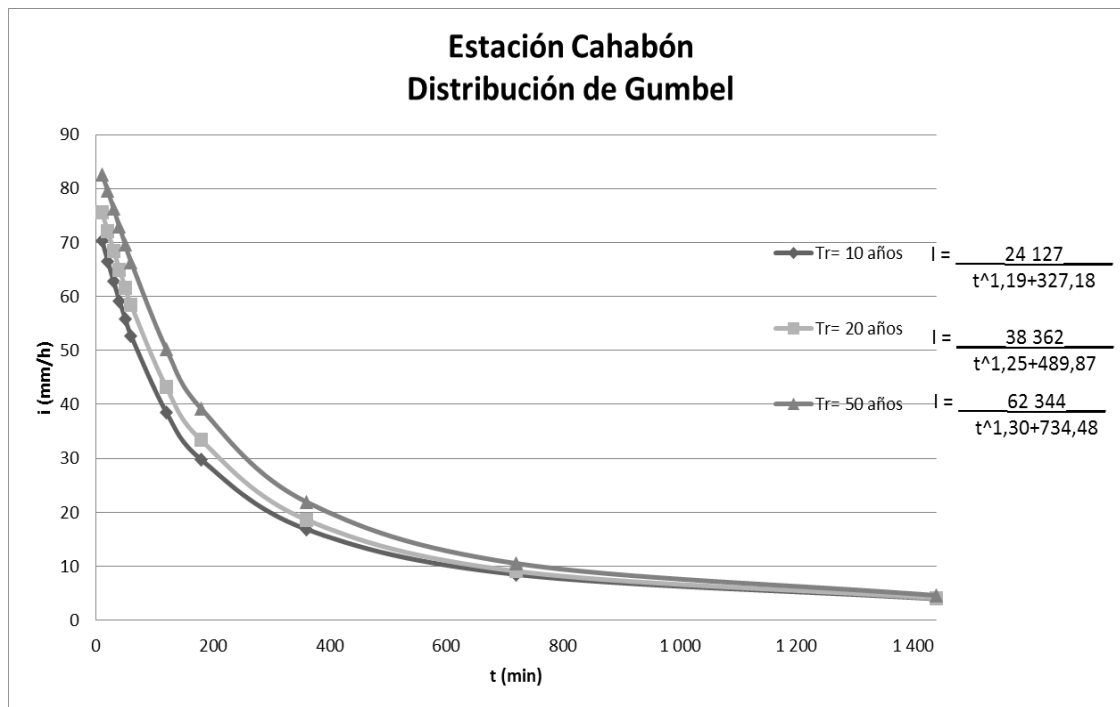
Tabla XII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Cahabón, utilizando la distribución de Gumbel**

<b>Distribución de Gumbel</b>											
<b>Período de retorno/Duración (años)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>										
	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>720</b>	<b>1440</b>
<b>2</b>	58,49	50,95	46,89	42,22	38,61	36,66	24,93	15,50	11,26	6,51	3,41
<b>5</b>	63,83	61,13	57,00	52,57	49,10	46,78	34,39	18,60	15,68	9,60	4,94
<b>10</b>	67,37	67,87	63,70	59,42	56,05	53,48	40,66	20,65	18,61	11,65	5,95
<b>15</b>	69,37	71,68	67,47	63,28	59,97	57,26	44,19	21,81	20,26	12,80	6,52
<b>20</b>	70,76	74,34	70,12	65,99	62,72	59,91	46,67	22,62	21,41	13,61	6,92
<b>25</b>	71,84	76,39	72,15	68,07	64,83	61,95	48,57	23,24	22,30	14,23	7,23
<b>30</b>	72,71	78,06	73,81	69,77	66,55	63,61	50,12	23,75	23,03	14,74	7,48
<b>50</b>	75,15	82,71	78,43	74,49	71,35	68,23	54,44	25,17	25,04	16,15	8,17
<b>75</b>	77,08	86,39	82,07	78,22	75,13	71,88	57,85	26,28	26,64	17,27	8,72
<b>100</b>	78,44	88,99	84,66	80,86	77,81	74,47	60,27	27,08	27,76	18,06	9,11

Fuente: elaboración propia.

En la figura 14 se presentan las curvas IDF para la estación climática Cahabón, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución de Gumbel.

Figura 14. **Curvas IDF de la estación climática Cahabón, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

#### 4.1.3. Estación Cobán

En la tabla XIII se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Cobán, utilizando la distribución Normal.

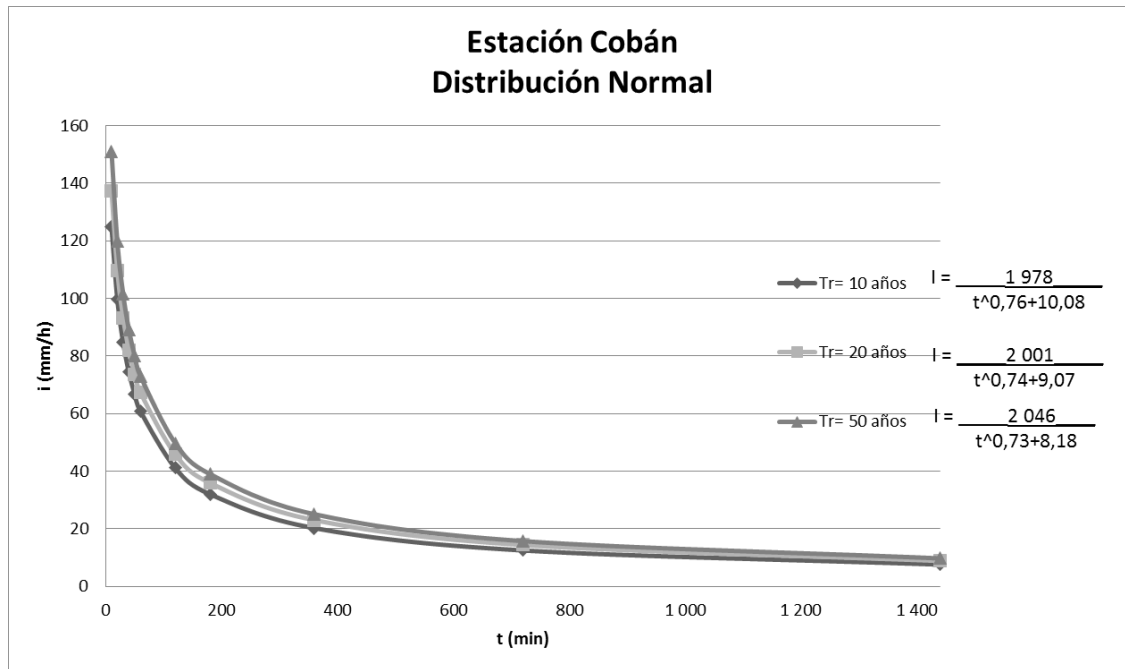
Tabla XIII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Cobán, utilizando la distribución Normal**

<b>Distribución Normal</b>											
<b>Período de retorno/Duración (años)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>										
	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>720</b>	<b>1440</b>
<b>2</b>	79,62	64,17	56,21	49,07	43,64	39,35	25,86	18,58	12,19	7,09	3,76
<b>5</b>	109,45	86,45	74,46	65,58	58,51	53,29	36,91	27,83	17,36	9,75	5,17
<b>10</b>	125,04	98,09	84,00	74,20	66,29	60,57	42,69	32,66	20,06	11,15	5,90
<b>15</b>	132,82	103,90	88,76	78,51	70,17	64,21	45,57	35,08	21,41	11,84	6,27
<b>20</b>	137,92	107,71	91,87	81,33	72,71	66,59	47,46	36,66	22,30	12,30	6,51
<b>25</b>	141,67	110,51	94,17	83,40	74,58	68,35	48,85	37,82	22,95	12,63	6,68
<b>30</b>	144,62	112,71	95,97	85,03	76,05	69,72	49,94	38,73	23,46	12,90	6,82
<b>50</b>	152,41	118,53	100,74	89,35	79,94	73,37	52,82	41,15	24,81	13,59	7,19
<b>75</b>	158,17	122,84	104,26	92,53	82,81	76,06	54,96	42,93	25,81	14,11	7,46
<b>100</b>	162,07	125,75	106,65	94,69	84,76	77,88	56,40	44,14	26,48	14,46	7,64

Fuente: elaboración propia.

En la figura 15 se presentan las curvas IDF para la estación climática Cobán, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución Normal.

Figura 15. **Curvas IDF de la estación climática Cobán, utilizando la distribución Normal**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel.

En la tabla XIV se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años, en la estación climática Cobán, utilizando la distribución de Gumbel.

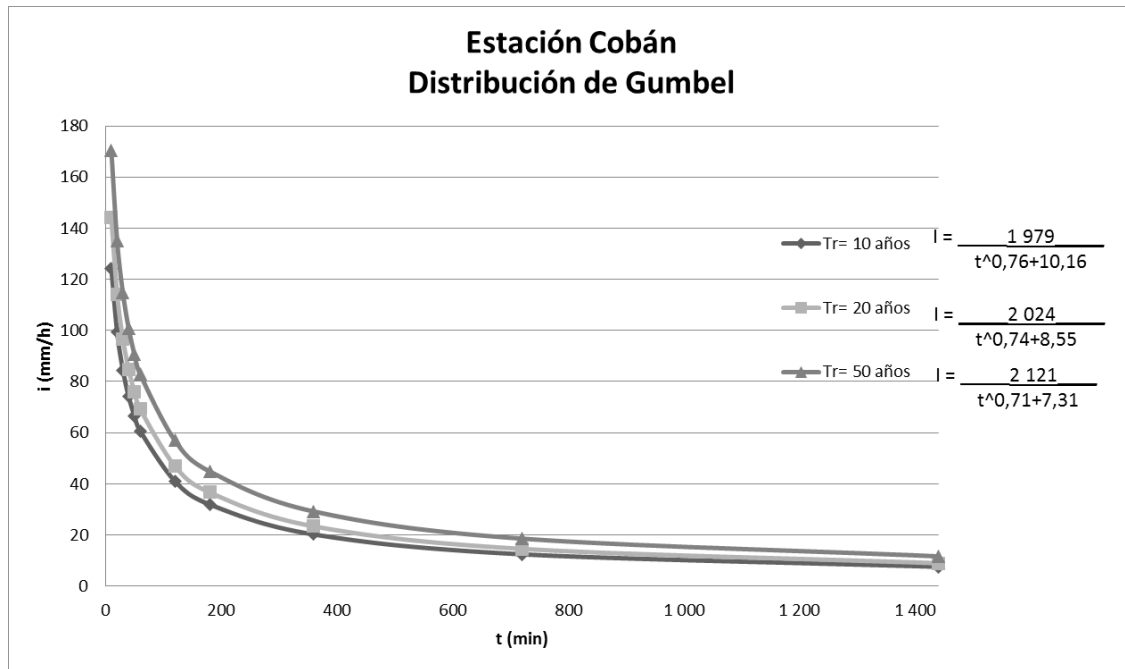
Tabla XIV. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Cobán, utilizando la distribución de Gumbel**

Distribución de Gumbel											
Período de retorno/Duración (años)	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
<b>2</b>	73,80	59,82	52,65	45,85	40,74	36,62	23,70	16,78	11,18	6,56	3,49
<b>5</b>	105,12	83,22	71,81	63,18	56,36	51,26	35,31	26,49	16,61	9,37	4,96
<b>10</b>	125,86	98,70	84,50	74,66	66,70	60,96	42,99	32,92	20,21	11,22	5,94
<b>15</b>	137,56	107,44	91,65	81,13	72,53	66,42	47,32	36,54	22,23	12,27	6,49
<b>20</b>	145,75	113,56	96,66	85,66	76,62	70,25	50,36	39,08	23,65	13,00	6,88
<b>25</b>	152,06	118,27	100,52	89,15	79,77	73,20	52,70	41,04	24,75	13,56	7,17
<b>30</b>	157,19	122,11	103,66	91,99	82,33	75,60	54,60	42,63	25,64	14,02	7,41
<b>50</b>	171,50	132,79	112,42	99,91	89,46	82,29	59,90	47,07	28,11	15,30	8,09
<b>75</b>	182,80	141,23	119,33	106,16	95,09	87,57	64,08	50,57	30,07	16,31	8,62
<b>100</b>	190,79	147,20	124,22	110,58	99,08	91,31	67,04	53,05	31,46	17,03	9,00

Fuente: elaboración propia.

En la figura 16 se presentan las curvas IDF para la estación climática Cobán, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución de Gumbel.

Figura 16. **Curvas IDF de la estación climática Cobán, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel.

#### 4.1.4. Estación La Fragua

En la tabla XV se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática La Fragua, utilizando la distribución Normal.



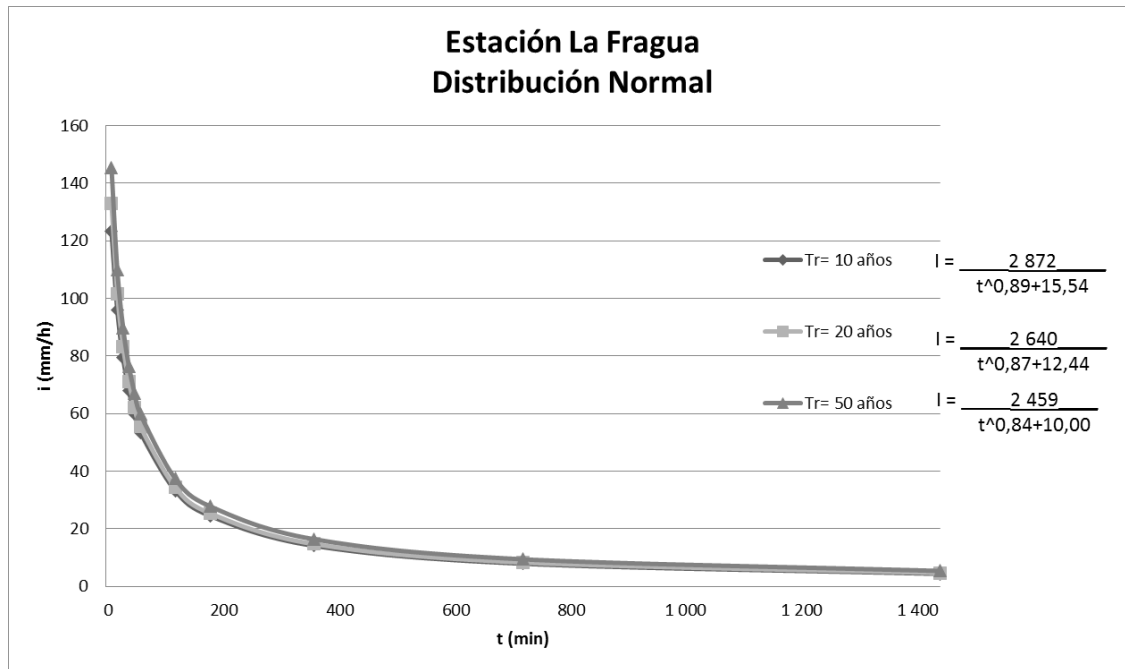
Tabla XV. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática La Fragua, utilizando la distribución Normal**

<b>Distribución Normal</b>											
<b>Período de retorno/Duración (años)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>										
	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>720</b>	<b>1440</b>
<b>2</b>	85,20	72,08	60,98	52,07	45,63	40,24	25,14	17,58	9,44	5,03	2,51
<b>5</b>	109,83	87,09	73,29	61,65	53,34	47,52	31,87	21,95	11,57	6,10	3,05
<b>10</b>	122,70	94,94	79,73	66,66	57,37	51,33	35,39	24,24	12,68	6,65	3,33
<b>15</b>	129,13	98,86	82,95	69,16	59,38	53,23	37,14	25,38	13,23	6,93	3,47
<b>20</b>	133,34	101,42	85,05	70,80	60,70	54,47	38,29	26,13	13,60	7,12	3,56
<b>25</b>	136,43	103,31	86,60	72,00	61,67	55,39	39,14	26,68	13,86	7,25	3,63
<b>30</b>	138,87	104,79	87,82	72,95	62,43	56,11	39,80	27,11	14,08	7,36	3,68
<b>50</b>	145,30	108,71	91,04	75,45	64,44	58,01	41,56	28,25	14,63	7,63	3,82
<b>75</b>	150,06	111,62	93,42	77,30	65,93	59,42	42,86	29,10	15,04	7,84	3,92
<b>100</b>	153,28	113,58	95,03	78,55	66,94	60,37	43,74	29,67	15,32	7,98	3,99

Fuente: elaboración propia.

En la figura 17 se presentan las curvas IDF para la estación climática La Fragua, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución Normal.

Figura 17. **Curvas IDF de la estación climática La Fragua, utilizando la distribución Normal**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel

En la tabla XVI se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática La Fragua, utilizando la distribución de Gumbel.

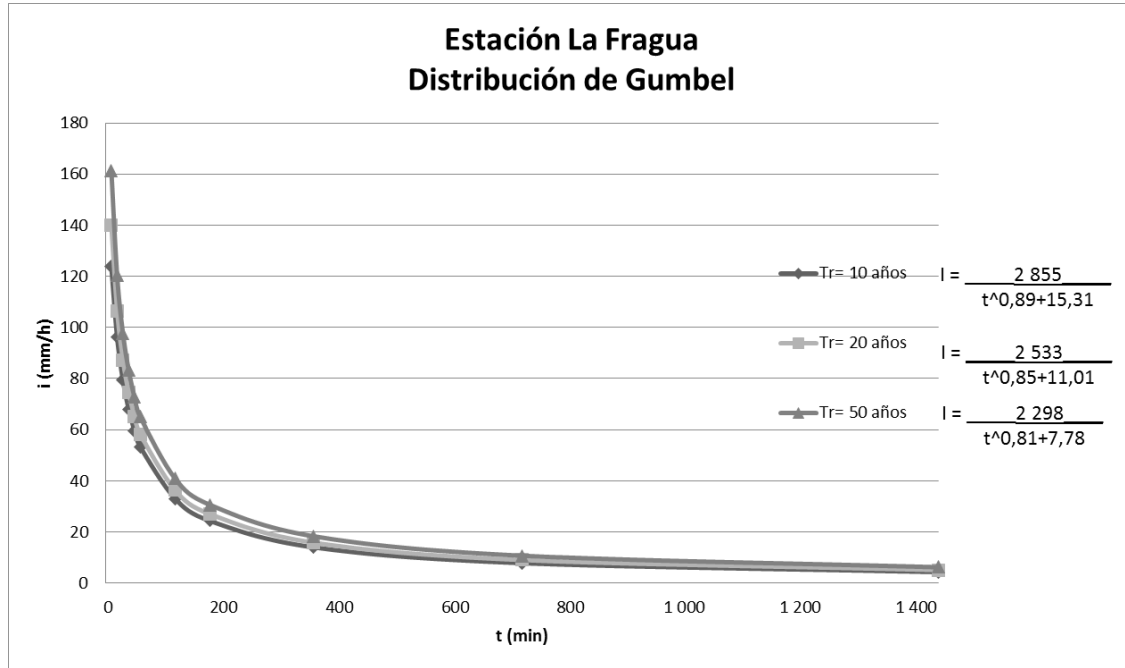
Tabla XVI. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática La Fragua, utilizando la distribución de Gumbel**

<b>Distribución de Gumbel</b>											
<b>Período de retorno/Duración (años)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>										
	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>720</b>	<b>1440</b>
<b>2</b>	80,39	69,15	58,57	50,20	44,13	38,82	23,83	16,73	9,02	4,82	2,41
<b>5</b>	106,26	84,91	71,51	60,26	52,22	46,46	30,89	21,32	11,26	5,94	2,97
<b>10</b>	123,38	95,35	80,07	66,92	57,58	51,53	35,57	24,36	12,74	6,68	3,34
<b>15</b>	133,04	101,24	84,90	70,68	60,61	54,38	38,21	26,07	13,57	7,10	3,55
<b>20</b>	139,80	105,36	88,28	73,31	62,72	56,38	40,06	27,27	14,16	7,40	3,70
<b>25</b>	145,01	108,54	90,89	75,34	64,35	57,92	41,48	28,20	14,61	7,62	3,81
<b>30</b>	149,25	111,12	93,01	76,99	65,68	59,18	42,64	28,95	14,97	7,81	3,91
<b>50</b>	161,06	118,32	98,92	81,58	69,38	62,67	45,86	31,05	15,99	8,32	4,16
<b>75</b>	170,39	124,01	103,58	85,21	72,30	65,43	48,41	32,71	16,80	8,72	4,37
<b>100</b>	176,99	128,04	106,89	87,78	74,37	67,38	50,21	33,88	17,37	9,01	4,51

Fuente: elaboración propia

En la figura 18 se presentan las curvas IDF para la estación climática La Fragua, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución de Gumbel.

Figura 18. **Curvas IDF de la estación climática La Fragua, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel.

#### 4.1.5. Estación Puerto Barrios

En la tabla XVII se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años, en la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución Normal.

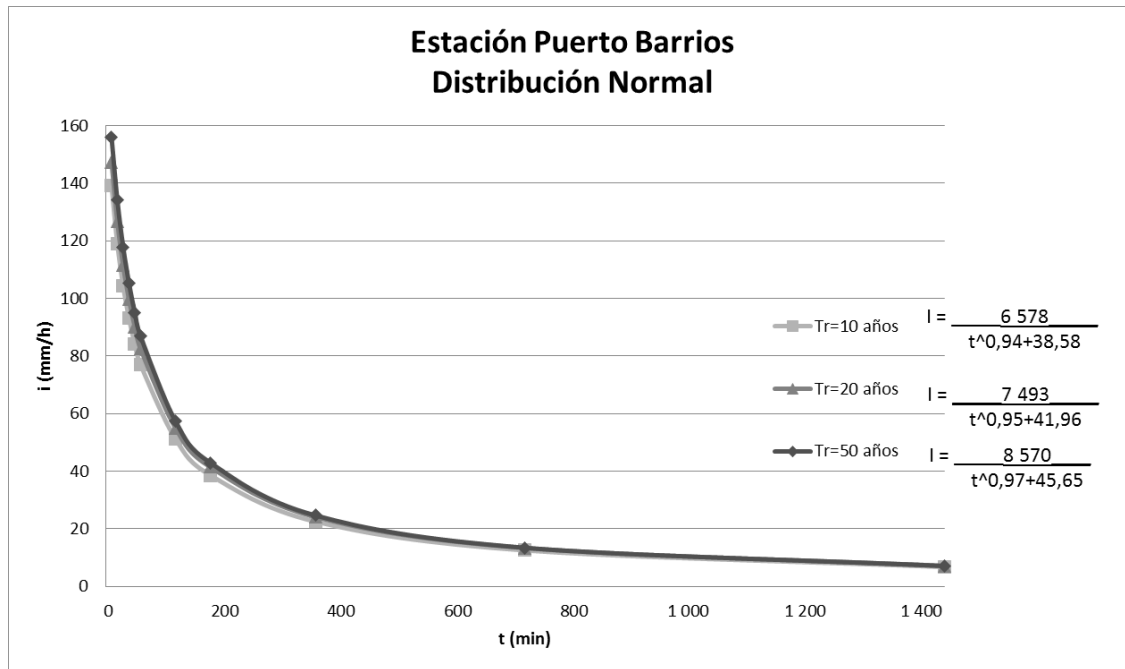
Tabla XVII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Puerto Barrios utilizando la distribución Normal**

Distribución Normal											
Período de retorno/Duración (años)	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
<b>2</b>	111,53	94,28	81,63	73,38	66,42	61,26	40,89	32,01	19,22	11,10	6,02
<b>5</b>	129,33	111,69	96,03	86,78	78,31	72,04	47,69	36,18	21,75	12,54	6,93
<b>10</b>	138,64	120,79	103,57	93,79	84,52	77,68	51,24	38,36	23,07	13,29	7,41
<b>15</b>	143,29	125,33	107,32	97,28	87,63	80,49	53,01	39,45	23,72	13,66	7,65
<b>20</b>	146,33	128,30	109,79	99,57	89,66	82,33	54,18	40,17	24,15	13,91	7,80
<b>25</b>	148,57	130,49	111,60	101,26	91,15	83,69	55,03	40,69	24,47	14,09	7,92
<b>30</b>	150,33	132,21	113,02	102,58	92,33	84,75	55,70	41,10	24,72	14,23	8,01
<b>50</b>	154,98	136,76	116,79	106,08	95,43	87,57	57,48	42,19	25,38	14,61	8,25
<b>75</b>	158,42	140,12	119,57	108,67	97,73	89,65	58,79	43,00	25,87	14,89	8,42
<b>100</b>	160,75	142,40	121,45	110,42	99,28	91,06	59,68	43,55	26,20	15,08	8,54

Fuente: elaboración propia.

En la figura 19, se presentan las curvas IDF para la estación climática Puerto Barrios para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución Normal.

Figura 19. **Curvas IDF de la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución Normal**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel.

En la tabla XVIII se muestran los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años, en la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución de Gumbel.

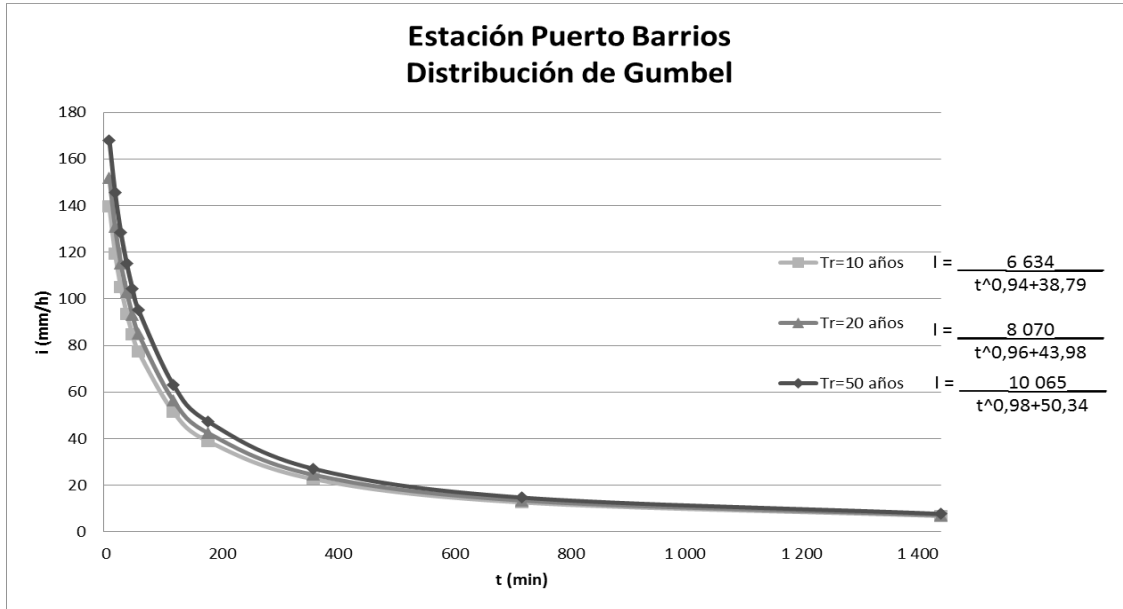
Tabla XVIII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución de Gumbel**

Distribución de Gumbel											
Período de retorno/Duración (años)	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
<b>2</b>	108,05	90,88	78,82	70,76	64,10	59,16	39,56	31,19	18,73	10,82	5,84
<b>5</b>	126,75	109,16	93,94	84,84	76,59	70,48	46,70	35,58	21,38	12,33	6,80
<b>10</b>	139,13	121,26	103,96	94,15	84,85	77,97	51,43	38,48	23,13	13,33	7,43
<b>15</b>	146,11	128,09	109,61	99,41	89,51	82,20	54,09	40,12	24,12	13,89	7,79
<b>20</b>	151,00	132,87	113,57	103,09	92,78	85,16	55,96	41,26	24,82	14,29	8,04
<b>25</b>	154,77	136,56	116,62	105,92	95,29	87,44	57,40	42,15	25,35	14,59	8,24
<b>30</b>	157,84	139,55	119,10	108,23	97,34	89,30	58,57	42,86	25,78	14,84	8,39
<b>50</b>	166,38	147,90	126,01	114,66	103,04	94,47	61,83	44,87	26,99	15,53	8,83
<b>75</b>	173,12	154,49	131,46	119,73	107,54	98,55	64,40	46,45	27,95	16,08	9,18
<b>100</b>	177,89	159,16	135,33	123,33	110,73	101,44	66,23	47,57	28,63	16,46	9,42

Fuente: elaboración propia.

En la figura 20 se presentan las curvas IDF para la estación climática Puerto Barrios, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución de Gumbel.

Figura 20. **Curvas IDF de la estación climática Puerto Barrios, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel.

#### 4.2. **Tablas de coeficientes de modelos de ajuste**

Las siguientes tablas contienen los coeficientes de las ecuaciones matemáticas a las que fueron ajustadas las gráficas utilizando modelos matemáticos. Para realizar esto se contactó al ingeniero James Phillips, quien proporcionó un código de programación con el que se obtuvieron los coeficientes de los siguientes modelos:

Modelo estándar:

$$I = \frac{a}{(t + b)^n}$$



Modelo Wenzel:

$$I = \frac{a}{t^n + b}$$

#### 4.2.1. Estación San Agustín Chixoy

La tabla XIX contiene los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática San Agustín Chixoy.

Tabla XIX. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática San Agustín Chixoy**

MODELO ESTÁNDAR						
Período de retorno (años)	Distribución Normal			Distribución Gumbel		
	a	b	n	a	b	n
2	1,24E+03	3,87E+01	8,30E-01	9,66E+02	3,46E+01	8,03E-01
5	3,34E+03	5,51E+01	9,32E-01	2,96E+03	5,31E+01	9,20E-01
10	4,91E+03	6,15E+01	9,70E-01	5,00E+03	6,18E+01	9,71E-01
15	5,81E+03	6,43E+01	9,86E-01	6,39E+03	6,58E+01	9,95E-01
20	6,43E+03	6,60E+01	9,96E-01	7,47E+03	6,84E+01	1,01E+00
25	6,93E+03	6,72E+01	1,00E+00	8,34E+03	7,02E+01	1,02E+00
30	7,32E+03	6,81E+01	1,01E+00	9,11E+03	7,16E+01	1,03E+00
50	8,40E+03	7,03E+01	1,02E+00	1,13E+04	7,51E+01	1,05E+00
75	9,25E+03	7,18E+01	1,03E+00	1,32E+04	7,75E+01	1,06E+00
100	9,84E+03	7,28E+01	1,04E+00	1,47E+04	7,92E+01	1,07E+00

Fuente: elaboración propia.

La tabla XX contiene los coeficientes del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática San Agustín Chixoy.

Tabla XX. **Coefficientes del modelo Wenzel para la estación climática San Agustín Chixoy**

<b>MODELO WENZEL</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	1,96E+03	3,17E+01	8,97E-01	1,58E+03	2,69E+01	8,75E-01
<b>5</b>	4,34E+03	5,43E+01	9,73E-01	3,96E+03	5,13E+01	9,65E-01
<b>10</b>	5,81E+03	6,46E+01	9,98E-01	5,89E+03	6,50E+01	9,99E-01
<b>15</b>	6,59E+03	6,92E+01	1,01E+00	7,07E+03	7,19E+01	1,01E+00
<b>20</b>	7,10E+03	7,21E+01	1,01E+00	7,92E+03	7,64E+01	1,02E+00
<b>25</b>	7,49E+03	7,42E+01	1,02E+00	8,59E+03	7,96E+01	1,03E+00
<b>30</b>	7,81E+03	7,59E+01	1,02E+00	9,15E+03	8,23E+01	1,03E+00
<b>50</b>	8,63E+03	7,99E+01	1,03E+00	1,07E+04	8,88E+01	1,05E+00
<b>75</b>	9,26E+03	8,27E+01	1,04E+00	1,20E+04	9,35E+01	1,05E+00
<b>100</b>	9,68E+03	8,45E+01	1,04E+00	1,29E+04	9,68E+01	1,06E+00

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.2. Estación Cahabón**

La tabla XXI contiene los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Cahabón.

Tabla XXI. **Coefficientes del modelo estándar para la estación climática Cahabón**

<b>MODELO ESTÁNDAR</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	6,12E+03	7,78E+01	1,03E+00	4,73E+03	6,87E+01	1,01E+00
<b>5</b>	2,20E+04	1,28E+02	1,18E+00	1,85E+04	1,21E+02	1,16E+00
<b>10</b>	3,90E+04	1,55E+02	1,24E+00	4,01E+04	1,56E+02	1,24E+00
<b>15</b>	5,05E+04	1,67E+02	1,26E+00	5,87E+04	1,75E+02	1,28E+00
<b>20</b>	5,93E+04	1,75E+02	1,28E+00	7,54E+04	1,87E+02	1,30E+00
<b>25</b>	6,65E+04	1,81E+02	1,29E+00	9,00E+04	1,97E+02	1,32E+00
<b>30</b>	7,30E+04	1,86E+02	1,30E+00	1,03E+05	2,04E+02	1,33E+00
<b>50</b>	9,10E+04	1,97E+02	1,32E+00	1,49E+05	2,24E+02	1,37E+00
<b>75</b>	1,06E+05	2,06E+02	1,34E+00	1,92E+05	2,39E+02	1,39E+00
<b>100</b>	1,18E+05	2,11E+02	1,35E+00	2,29E+05	2,49E+02	1,41E+00

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXII contiene los coeficientes del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Cahabón.

Tabla XXII. **Coefficientes del modelo Wenzel para la estación climática Cahabón**

<b>MODELO WENZEL</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	5,96E+03	8,92E+01	1,04E+00	4,88E+03	7,33E+01	1,01E+00
<b>5</b>	1,55E+04	2,19E+02	1,15E+00	1,36E+04	1,95E+02	1,13E+00
<b>10</b>	2,36E+04	3,21E+02	1,19E+00	2,41E+04	3,27E+02	1,20E+00
<b>15</b>	2,86E+04	3,80E+02	1,22E+00	3,20E+04	4,19E+02	1,23E+00
<b>20</b>	3,22E+04	4,21E+02	1,23E+00	3,84E+04	4,90E+02	1,25E+00
<b>25</b>	3,51E+04	4,53E+02	1,24E+00	4,36E+04	5,46E+02	1,26E+00
<b>30</b>	3,74E+04	4,80E+02	1,25E+00	4,82E+04	5,94E+02	1,27E+00
<b>50</b>	4,40E+04	5,50E+02	1,26E+00	6,23E+04	7,34E+02	1,30E+00
<b>75</b>	4,92E+04	6,04E+02	1,28E+00	7,44E+04	8,46E+02	1,32E+00
<b>100</b>	5,29E+04	6,41E+02	1,28E+00	8,37E+04	9,29E+02	1,33E+00

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.3. Estación Cobán**

La tabla XXIII contiene los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Cobán.

Tabla XXIII. **Coefficientes del modelo estándar para la estación climática Cobán**

<b>MODELO ESTÁNDAR</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	1,47E+03	2,65E+01	8,11E-01	1,61E+03	2,89E+01	8,42E-01
<b>5</b>	1,22E+03	1,92E+01	7,17E-01	1,23E+03	1,99E+01	7,26E-01
<b>10</b>	1,20E+03	1,71E+01	6,89E-01	1,20E+03	1,70E+01	6,88E-01
<b>15</b>	1,21E+03	1,63E+01	6,78E-01	1,21E+03	1,58E+01	6,72E-01
<b>20</b>	1,21E+03	1,58E+01	6,72E-01	1,22E+03	1,51E+01	6,63E-01
<b>25</b>	1,22E+03	1,54E+01	6,68E-01	1,24E+03	1,46E+01	6,57E-01
<b>30</b>	1,22E+03	1,52E+01	6,64E-01	1,25E+03	1,43E+01	6,52E-01
<b>50</b>	1,24E+03	1,46E+01	6,57E-01	1,28E+03	1,34E+01	6,41E-01
<b>75</b>	1,25E+03	1,42E+01	6,51E-01	1,31E+03	1,29E+01	6,33E-01
<b>100</b>	1,26E+03	1,40E+01	6,48E-01	1,34E+03	1,25E+01	6,29E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXIV contiene los coeficientes del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Cobán.

Tabla XXIV. **Coefficientes del modelo Wenzel para la estación climática Cobán**

<b>MODELO WENZEL</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	2,19E+03	2,01E+01	8,70E-01	2,31E+03	2,34E+01	8,96E-01
<b>5</b>	1,98E+03	1,21E+01	7,87E-01	1,99E+03	1,27E+01	7,95E-01
<b>10</b>	1,98E+03	1,02E+01	7,61E-01	1,98E+03	1,01E+01	7,59E-01
<b>15</b>	1,99E+03	9,47E+00	7,50E-01	2,00E+03	9,10E+00	7,44E-01
<b>20</b>	2,00E+03	9,07E+00	7,44E-01	2,02E+03	8,55E+00	7,35E-01
<b>25</b>	2,01E+03	8,82E+00	7,40E-01	2,04E+03	8,19E+00	7,29E-01
<b>30</b>	2,02E+03	8,62E+00	7,36E-01	2,06E+03	7,93E+00	7,24E-01
<b>50</b>	2,05E+03	8,18E+00	7,29E-01	2,12E+03	7,31E+00	7,13E-01
<b>75</b>	2,07E+03	7,88E+00	7,24E-01	2,17E+03	6,91E+00	7,05E-01
<b>100</b>	2,08E+03	7,70E+00	7,20E-01	2,21E+03	6,66E+00	7,00E-01

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.4. Estación La Fragua

La tabla XXV contiene los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática La Fragua.

Tabla XXV. **Coefficientes del modelo estándar para la estación climática La Fragua**

<b>MODELO ESTÁNDAR</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	6,13E+03	4,14E+01	1,08E+00	8,11E+03	4,71E+01	1,14E+00
<b>5</b>	2,75E+03	2,43E+01	9,10E-01	2,96E+03	2,60E+01	9,28E-01
<b>10</b>	2,25E+03	1,95E+01	8,59E-01	2,23E+03	1,93E+01	8,57E-01
<b>15</b>	2,09E+03	1,77E+01	8,39E-01	2,02E+03	1,67E+01	8,28E-01
<b>20</b>	2,01E+03	1,66E+01	8,27E-01	1,91E+03	1,52E+01	8,11E-01
<b>25</b>	1,96E+03	1,59E+01	8,19E-01	1,85E+03	1,42E+01	7,99E-01
<b>30</b>	1,92E+03	1,54E+01	8,13E-01	1,80E+03	1,34E+01	7,91E-01
<b>50</b>	1,84E+03	1,41E+01	7,99E-01	1,71E+03	1,17E+01	7,70E-01
<b>75</b>	1,80E+03	1,33E+01	7,89E-01	1,67E+03	1,05E+01	7,56E-01
<b>100</b>	1,77E+03	1,28E+01	7,83E-01	1,64E+03	9,79E+00	7,48E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXVI contiene los coeficientes del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática La Fragua.

Tabla XXVI. **Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática La Fragua**

<b>MODELO WENZEL</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	5,10E+03	4,81E+01	1,06E+00	5,81E+03	5,93E+01	1,09E+00
<b>5</b>	3,29E+03	2,13E+01	9,38E-01	3,45E+03	2,34E+01	9,51E-01
<b>10</b>	2,87E+03	1,55E+01	8,96E-01	2,86E+03	1,53E+01	8,94E-01
<b>15</b>	2,73E+03	1,36E+01	8,79E-01	2,65E+03	1,25E+01	8,69E-01
<b>20</b>	2,64E+03	1,24E+01	8,68E-01	2,53E+03	1,10E+01	8,54E-01
<b>25</b>	2,59E+03	1,17E+01	8,61E-01	2,46E+03	1,00E+01	8,43E-01
<b>30</b>	2,55E+03	1,12E+01	8,56E-01	2,41E+03	9,35E+00	8,35E-01
<b>50</b>	2,46E+03	1,00E+01	8,42E-01	2,30E+03	7,78E+00	8,14E-01
<b>75</b>	2,40E+03	9,23E+00	8,33E-01	2,23E+03	6,81E+00	8,00E-01
<b>100</b>	2,37E+03	8,76E+00	8,27E-01	2,19E+03	6,24E+00	7,92E-01

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2.5. Estación Puerto Barrios**

La tabla XXVII contiene los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Puerto Barrios.

Tabla XXVII. **Coefficientes del modelo estándar para la estación climática Puerto Barrios**

<b>MODELO ESTÁNDAR</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	2,36E+03	3,46E+01	8,04E-01	2,12E+03	3,32E+01	7,91E-01
<b>5</b>	3,86E+03	4,07E+01	8,65E-01	3,61E+03	3,99E+01	8,57E-01
<b>10</b>	4,84E+03	4,35E+01	8,92E-01	4,89E+03	4,36E+01	8,93E-01
<b>15</b>	5,38E+03	4,48E+01	9,04E-01	5,73E+03	4,56E+01	9,12E-01
<b>20</b>	5,75E+03	4,56E+01	9,12E-01	6,35E+03	4,68E+01	9,24E-01
<b>25</b>	6,04E+03	4,62E+01	9,18E-01	6,86E+03	4,78E+01	9,33E-01
<b>30</b>	6,26E+03	4,67E+01	9,22E-01	7,30E+03	4,85E+01	9,40E-01
<b>50</b>	6,89E+03	4,78E+01	9,34E-01	8,59E+03	5,05E+01	9,59E-01
<b>75</b>	7,38E+03	4,87E+01	9,42E-01	9,69E+03	5,19E+01	9,73E-01
<b>100</b>	7,72E+03	4,92E+01	9,47E-01	1,05E+04	5,29E+01	9,83E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXVIII contiene los coeficientes del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF para las distribuciones Normal y de Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Puerto Barrios.

Tabla XXVIII. **Coefficientes del modelo Wenzel para la estación climática Puerto Barrios**

<b>MODELO WENZEL</b>						
<b>Período de retorno (años)</b>	<b>Distribución Normal</b>			<b>Distribución Gumbel</b>		
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	3,73E+03	2,61E+01	8,71E-01	3,42E+03	2,44E+01	8,60E-01
<b>5</b>	5,53E+03	3,44E+01	9,17E-01	5,25E+03	3,32E+01	9,11E-01
<b>10</b>	6,58E+03	3,86E+01	9,38E-01	6,63E+03	3,88E+01	9,39E-01
<b>15</b>	7,13E+03	4,06E+01	9,47E-01	7,47E+03	4,19E+01	9,52E-01
<b>20</b>	7,49E+03	4,20E+01	9,52E-01	8,07E+03	4,40E+01	9,61E-01
<b>25</b>	7,77E+03	4,29E+01	9,56E-01	8,54E+03	4,56E+01	9,67E-01
<b>30</b>	7,99E+03	4,37E+01	9,60E-01	8,94E+03	4,69E+01	9,72E-01
<b>50</b>	8,57E+03	4,57E+01	9,67E-01	1,01E+04	5,03E+01	9,85E-01
<b>75</b>	9,01E+03	4,71E+01	9,73E-01	1,10E+04	5,30E+01	9,94E-01
<b>100</b>	9,31E+03	4,80E+01	9,76E-01	1,17E+04	5,49E+01	1,00E+00

Fuente: elaboración propia.



### 4.3. Tablas comparativas de errores relativos

Las tablas que se presentan a continuación servirán para realizar la comparación de los errores generados por el modelo estándar y Wenzel. De la misma manera se comparará la distribución Normal y de Gumbel.

#### 4.3.1. Estación San Agustín Chixoy

La tabla XXIX contiene el error relativo generado por los modelos estándar y Wenzel de ajuste de curvas y las distribuciones estadísticas Normal y Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática San Agustín Chixoy.

Tabla XXIX. Errores relativos para la estación climática San Agustín Chixoy

Estación San Agustín Chixoy						
Período de retorno (años)	Distribución Normal			Distribución Gumbel		
	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)
2	3,12E-01	3,47E-01	-3,52E-02	2,65E-01	2,91E-01	-2,59E-02
5	1,03E+00	1,08E+00	-4,64E-02	8,76E-01	9,25E-01	-4,94E-02
10	1,75E+00	1,77E+00	-2,06E-02	1,79E+00	1,81E+00	-1,87E-02
15	2,20E+00	2,19E+00	1,40E-03	2,51E+00	2,49E+00	1,76E-02
20	2,53E+00	2,51E+00	1,90E-02	3,08E+00	3,03E+00	5,19E-02
25	2,78E+00	2,75E+00	3,39E-02	3,58E+00	3,49E+00	8,25E-02
30	3,00E+00	2,96E+00	4,71E-02	4,01E+00	3,90E+00	1,11E-01
50	3,61E+00	3,52E+00	8,46E-02	5,36E+00	5,15E+00	2,05E-01
75	4,10E+00	3,98E+00	1,17E-01	6,58E+00	6,29E+00	2,94E-01
100	4,45E+00	4,31E+00	1,41E-01	7,52E+00	7,15E+00	3,68E-01

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.2. Estación Cahabón

La tabla XXX contiene el error relativo generado por los modelos estándar y Wenzel de ajuste de curvas y las distribuciones estadísticas Normal y Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Cahabón.

Tabla XXX. Errores relativos para la estación climática Cahabón

Estación Cahabón						
Período de retorno (años)	Distribución Normal			Distribución Gumbel		
	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)
2	1,69E-01	1,66E-01	3,70E-03	1,18E-01	1,17E-01	7,00E-04
5	7,34E-01	6,68E-01	6,64E-02	6,16E-01	5,64E-01	5,16E-02
10	1,26E+00	1,13E+00	1,35E-01	1,30E+00	1,16E+00	1,39E-01
15	1,60E+00	1,42E+00	1,78E-01	1,82E+00	1,61E+00	2,07E-01
20	1,84E+00	1,63E+00	2,10E-01	2,25E+00	1,99E+00	2,64E-01
25	2,03E+00	1,80E+00	2,35E-01	2,62E+00	2,31E+00	3,10E-01
30	2,19E+00	1,93E+00	2,55E-01	2,94E+00	2,59E+00	3,51E-01
50	2,64E+00	2,33E+00	3,13E-01	3,96E+00	3,48E+00	4,76E-01
75	3,01E+00	2,65E+00	3,59E-01	4,88E+00	4,30E+00	5,84E-01
100	3,27E+00	2,88E+00	3,92E-01	5,60E+00	4,93E+00	6,67E-01

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.3. Estación Cobán

La tabla XXXI, contiene el error relativo generado por los modelos estándar y Wenzel de ajuste de curvas y las distribuciones estadísticas Normal y Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Cobán.

Tabla XXXI. Errores relativos para la estación climática Cobán

Estación Cobán						
Período de retorno (años)	Distribución Normal			Distribución Gumbel		
	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)
2	2,65E-02	2,70E-02	-5,13E-04	3,31E-02	3,67E-02	-3,61E-03
5	8,24E-02	4,43E-02	3,81E-02	6,49E-02	3,43E-02	3,06E-02
10	1,72E-01	1,02E-01	6,99E-02	1,78E-01	1,06E-01	7,18E-02
15	2,32E-01	1,44E-01	8,82E-02	2,73E-01	1,73E-01	9,99E-02
20	2,77E-01	1,76E-01	1,01E-01	3,54E-01	2,33E-01	1,22E-01
25	3,14E-01	2,03E-01	1,11E-01	4,25E-01	2,86E-01	1,40E-01
30	3,43E-01	2,24E-01	1,19E-01	4,87E-01	3,32E-01	1,55E-01
50	4,29E-01	2,88E-01	1,41E-01	6,83E-01	4,83E-01	2,00E-01
75	4,99E-01	3,41E-01	1,58E-01	8,62E-01	6,23E-01	2,40E-01
100	5,49E-01	3,79E-01	1,70E-01	1,00E+00	7,33E-01	2,69E-01

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.4. Estación La Fragua

La tabla XXXII contiene el error relativo generado por los modelos estándar y Wenzel de ajuste de curvas y las distribuciones estadísticas Normal y Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática La Fragua.

Tabla XXXII. Errores relativos para la estación climática La Fragua

Estación La Fragua						
Período de retorno (años)	Distribución Normal			Distribución Gumbel		
	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)
2	3,98E-02	3,33E-02	6,53E-03	5,30E-02	3,96E-02	1,33E-02
5	8,77E-02	8,55E-02	2,17E-03	7,06E-02	6,99E-02	7,28E-04
10	1,75E-01	1,64E-01	1,04E-02	1,80E-01	1,69E-01	1,09E-02
15	2,31E-01	2,16E-01	1,56E-02	2,70E-01	2,51E-01	1,91E-02
20	2,73E-01	2,53E-01	1,94E-02	3,44E-01	3,19E-01	2,53E-02
25	3,06E-01	2,84E-01	2,22E-02	4,07E-01	3,77E-01	3,03E-02
30	3,33E-01	3,08E-01	2,45E-02	4,62E-01	4,28E-01	3,44E-02
50	4,11E-01	3,81E-01	3,06E-02	6,34E-01	5,88E-01	4,60E-02
75	4,74E-01	4,39E-01	3,52E-02	7,87E-01	7,32E-01	5,50E-02
100	5,18E-01	4,80E-01	3,83E-02	9,05E-01	8,43E-01	6,12E-02

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.5. Estación Puerto Barrios

La tabla XXXIII contiene el error relativo generado por los modelos estándar y Wenzel de ajuste de curvas y las distribuciones estadísticas Normal y Gumbel, para los datos de precipitación de la estación climática Puerto Barrios.

Tabla XXXIII. Errores relativos para la estación climática Puerto Barrios

Estación Puerto Barrios						
Período de retorno (años)	Distribución Normal			Distribución Gumbel		
	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)	Modelo Estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)
2	2,14E-02	9,43E-03	1,20E-02	2,68E-02	1,12E-02	1,56E-02
5	2,30E-02	2,69E-02	-3,93E-03	1,96E-02	2,16E-02	-2,01E-03
10	4,37E-02	5,30E-02	-9,37E-03	4,49E-02	5,43E-02	-9,48E-03
15	5,93E-02	7,04E-02	-1,11E-02	7,02E-02	8,21E-02	-1,19E-02
20	7,09E-02	8,28E-02	-1,19E-02	9,27E-02	1,05E-01	-1,27E-02
25	8,10E-02	9,34E-02	-1,24E-02	1,13E-01	1,26E-01	-1,29E-02
30	8,94E-02	1,02E-01	-1,26E-02	1,30E-01	1,43E-01	-1,26E-02
50	1,14E-01	1,27E-01	-1,29E-02	1,88E-01	1,98E-01	-1,03E-02
75	1,34E-01	1,47E-01	-1,25E-02	2,43E-01	2,50E-01	-6,93E-03
100	1,49E-01	1,61E-01	-1,22E-02	2,86E-01	2,89E-01	-3,44E-03

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Resumen de errores relativos

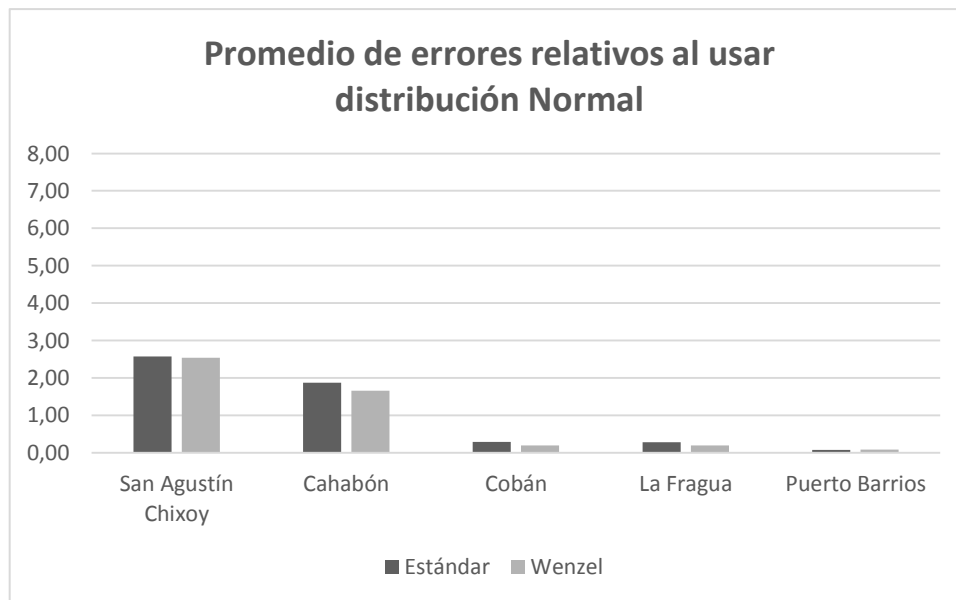
A continuación, se realiza una comparación del promedio de los errores relativos encontrados en cada estación. Estos se obtuvieron a partir de la utilización de las distribuciones Normal y Gumbel. Los errores de los modelos utilizados se presentan por medio de tablas y su respectiva representación gráfica.

Tabla XXXIV. Errores relativos al utilizar la distribución Normal

Distribución Normal		
Estación	Estándar	Wenzel
San Agustín Chixoy	2,58	2,54
Cahabón	1,87	1,66
Cobán	0,29	0,19
La Fragua	0,28	0,19
Puerto Barrios	0,08	0,09
Promedio Total	1,02	0,93

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Gráfica de errores relativos al utilizar la distribución Normal



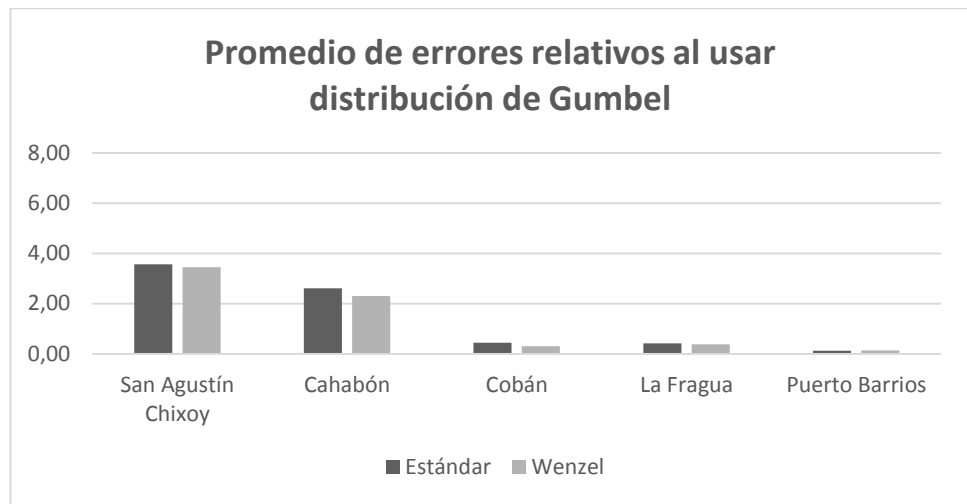
Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel.

Tabla XXXV. Errores relativos al utilizar la distribución de Gumbel

Distribución Gumbel		
Estación	Estándar	Wenzel
San Agustín Chixoy	3,56	3,45
Cahabón	2,61	2,31
Cobán	0,44	0,30
La Fragua	0,41	0,38
Puerto Barrios	0,12	0,13
Promedio Total	1,43	1,31

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Gráfica de errores relativos al utilizar la distribución de Gumbel



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Excel.

Promedio total de errores relativos modelos estándar = 1,22

Promedio total de errores relativos modelos Wenzel = 1,12





## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos se determina lo siguiente: se observa que las curvas IDF de las estaciones analizadas presentan el patrón normal que se encuentra en estudios anteriores. Se hace la observación que en la estación climática Cahabón se obtuvieron datos singulares, producto del tipo de precipitación que se presenta en la región.

Al realizar la verificación de las tablas comparativas de los errores generados por ambos modelos de ajuste de curvas, se constata que el modelo estándar genera errores relativos mayores en cuatro de las cinco estaciones analizadas, siendo estas: San Agustín Chixoy, Cahabón, Cobán y La Fragua. En la estación restante el modelo Wenzel generó mayor error relativo.

En cuanto a las distribuciones, los errores relativos con mayor magnitud se observaron en todos los modelos generados a partir de la distribución de Gumbel.

Ambos modelos y distribuciones presentaron errores en todas las estaciones y todos los intervalos de tiempo, independientemente de la naturaleza de los eventos de precipitación examinados en este estudio.

La estación que presentó la mayor magnitud de error fue la que se sitúa en Cahabón. Esto es producto del tipo de precipitación que se presenta en esta región, probablemente efecto del cambio climático.

Finalmente, al observar el total de promedios en los errores relativos de ambos modelos, el modelo estándar presentó una magnitud mayor, comparado con el modelo Wenzel, por lo cual se puede concluir que el modelo Wenzel es el que mejor se ajusta a los datos de intensidades de lluvia.

## CONCLUSIONES

1. Se elaboraron curvas de intensidad, duración y frecuencia de cinco estaciones climáticas de tres departamentos, usando la distribución Normal y Gumbel; de igual manera se utilizaron los modelos estándar y Wenzel.
2. El modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF, fue el que mejor se acopló en las estaciones San Agustín Chixoy, Cahabón, Cobán y La Fragua.
3. El modelo estándar de ajuste de curvas IDF, fue el que mejor se acopló en la estación Puerto Barrios.
4. La distribución de Gumbel fue la que presentó mayor cantidad de errores, independientemente del modelo que mejor se acoplara a las curvas IDF.
5. Los datos de precipitación de la estación climática Cahabón, son procedencia de la naturaleza de los eventos de precipitación analizados.



## RECOMENDACIONES

1. Mantener actualizada la información pluviográfica del país, con el fin de poseer datos precisos al momento de dimensionar obras hidráulicas.
2. Determinar qué modelos matemáticos se implementan de una mejor manera a los estudios de curvas IDF, utilizando otras distribuciones y modelos.
3. Dar mantenimiento a las estaciones climatológicas, ya que de estas se obtienen los datos para elaborar los estudios de curvas IDF.
4. Los desastres naturales provocados por intensidades de lluvia muy altas pueden evitarse mediante el diseño de obras hidráulicas adecuadas derivadas del conocimiento de las curvas IDF, propias de la región de interés.



## BIBLIOGRAFÍA

1. APARICIO MIJARES, Francisco Javier. *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa, 1997. 126 p.
2. BATEMAN, Allen. *Hidrología básica y aplicada*. Cataluña: Grupo de investigación en transporte de sedimentos, 2007. 70 p.
3. CID ESPINOZA, Luis Alberto. *Estadística matemática: probabilidades e inferencia estadística*. Trabajo de graduación de Administrador de Empresas. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias, Chile, 1990. 42 p.
4. FARIÑA TOJO, José. *La ciudad y el medio natural*. España: Akal, 2007. 344 p. ISBN: 9788446016571.
5. PIZARRO TAPIA, Roberto; et al. *Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para la zona centro sur de Chile*. Chile: Programa Hidrológico Internacional de la Unesco para América Latina y el Caribe. 5 p.
6. SALES RODRÍGUEZ, Manuel de Jesús. *Comparación del modelo Estándar y modelo Wenzel para curvas intensidad-duración-frecuencia en la cuenca del Río Motagua*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 78 p.

7. SUÁREZ BENDEFELDT, Gustavo Adolfo. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. Guatemala: Dirección General de Planificación, Programación Política y Estrategias Ambientales, 2011. 20 p.
  
8. UNESCO. *Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia para las regiones Metropolitana, Maule y Biobío. Intensidades desde 15 minutos a 24 horas*. [en línea]. [http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/IDF\\_15\\_24\\_horas.pdf](http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/IDF_15_24_horas.pdf). [Consulta: enero de 2016].



## APÉNDICE

Para la estación de San Agustín Chixoy se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I(10 \text{ años}) = \frac{5\,813}{t^{0,99} + 64,56}$$

$$I(20 \text{ años}) = \frac{7\,103}{t^{1,01} + 72,12}$$

$$I(50 \text{ años}) = \frac{8\,632}{t^{1,03} + 79,86}$$

Para la estación de Cahabón es conveniente utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I(10 \text{ años}) = \frac{23\,647}{t^{1,19} + 321,42}$$

$$I(20 \text{ años}) = \frac{32\,224}{t^{1,23} + 421,48}$$

$$I(50 \text{ años}) = \frac{43\,950}{t^{1,26} + 549,67}$$

Para la estación de Cobán deben utilizarse las siguientes ecuaciones:

$$I(10 \text{ años}) = \frac{1\ 978}{t^{0,76} + 10,08}$$

$$I(20 \text{ años}) = \frac{2\ 001}{t^{0,74} + 9,07}$$

$$I(50 \text{ años}) = \frac{2\ 046}{t^{0,73} + 8,18}$$

Para la estación de La Fragua se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I(10 \text{ años}) = \frac{2\ 872}{t^{0,89} + 15,54}$$

$$I(20 \text{ años}) = \frac{2\ 640}{t^{0,87} + 12,44}$$

$$I(50 \text{ años}) = \frac{2\ 459}{t^{0,84} + 10,00}$$

Para la estación de Puerto Barrios se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I(10 \text{ años}) = \frac{6\ 578}{t^{0,94} + 38,58}$$

$$I(20 \text{ años}) = \frac{7\,493}{t^{0,95} + 41,96}$$

$$I(50 \text{ años}) = \frac{8\,570}{t^{0,97} + 45,65}$$

Fuente: elaboración propia.

