



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

**COMPARACIÓN DEL MODELO ESTÁNDAR Y EL PROPUESTO POR WENZEL PARA LA  
ELABORACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, UTILIZANDO CINCO  
ESTACIONES CLIMÁTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHIXOY**

**Herbert Fernando Castillo Rodas**

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañón Contreras

Guatemala, agosto de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**COMPARACIÓN DEL MODELO ESTÁNDAR Y EL PROPUESTO POR WENZEL PARA LA  
ELABORACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, UTILIZANDO CINCO  
ESTACIONES CLIMÁTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHIXOY**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HERBERT FERNANDO CASTILLO RODAS**  
ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

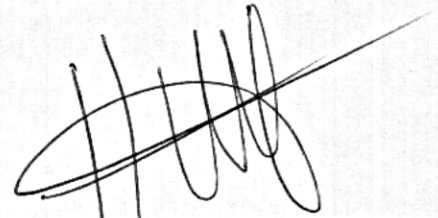
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. Alan Geovani Cosillo Pinto
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## 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 DEL MODELO ESTÁNDAR Y EL PROPUESTO POR WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, UTILIZANDO CINCO ESTACIONES CLIMÁTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHIXOY**

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



**Herbert Fernando Castillo Rodas**



**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,  
09 de mayo 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 DEL MODELO ESTÁNDAR Y EL PROPUESTO POR WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, UTILIZANDO CINCO ESTACIONES CLIMÁTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHIXOY, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Herbert Fernando Castillo Rodas, 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 ENSEÑADA A TODOS

Ing. Claudio César Castañón Contreras  
Asesor y  
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

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






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

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

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



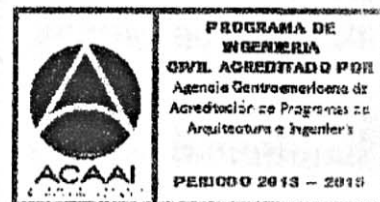
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Herberth Fernando Castillo Rodas, titulado **COMPARACIÓN DEL MODELO ESTÁNDAR Y EL PROPUESTO POR WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, UTILIZANDO CINCO ESTACIONES CLIMÁTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHIXOY**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2016  
/mrrm.

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





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **COMPARACIÓN DEL MODELO ESTÁNDAR Y EL PROPUESTO POR WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, UTILIZANDO CINCO ESTACIONES CLIMÁTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO CHIXOY**, presentado por el estudiante universitario: **Herbert Fernando Castillo Rodas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, agosto de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

El gran Yo Soy y creador del universo, por su omnipresencia y omnipotencia en la culminación de esta etapa de mi vida. Mi amado, a tus promesas eres fiel, nunca me has olvidado y tus maravillas son extraordinarias. ¡Gracias Abba Padre!

### **Mis padres**

Helber Fernando Castillo Santos y Lilian Aydee Rodas Herrera, su dedicación para formar a sus hijos es admirable, y cada esfuerzo realizado se ve reflejado en nuestros frutos. Ahora, a través de esta meta cumplida, los honro.

### **Mi hermana**

Dulce María Castillo Rodas, por ser la hermana visionaria y diligente. Tu apoyo es incondicional y me has enseñado mucho, sos la mejor y claramente un ejemplo a seguir, te amo mucho princesa de Dios.

### **Mis abuelos**

Oscar Rodas Ruíz (q. e. p. d.) y Servelia Herrera Barillas, Raúl Castillo Beltrán (q. e. p. d.) y Gilda Eloisa Santos Clara, por formar en mis padres el deseo de luchar por sus hijos, los aprecio.



**Mis tíos**

A todos por nombre, gracias por su apoyo en todo momento, este trabajo no habría sido posible sin la ayuda de ustedes a lo largo de mi carrera como estudiante, con aprecio dedico este acto a ustedes.

**Mis primos**

Desde los mayores hasta los menores, agradecido con ustedes por su ayuda en todo momento, por estar al pendiente de mi rendimiento y no dejarme solo, son lo máximo.

**Familia en general**

Por su apoyo incondicional.

**Mis amigos**

Como parte de esta etapa, por todos los momentos compartidos y vividos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Mi Padre, de tu mano me has llevado hasta donde estoy, eres asombroso, gracias por guiarme. Agradecido por ser mi proveedor y nunca olvidarme.
- Mis padres** Por su cariño, corrección y apoyo en todo momento. Los aprecio mucho, gracias por estar pendiente de mí en todo momento.
- Mi hermana** Gracias hermana por ser ejemplo en mi vida. Este momento fue tan esperado, sabiendo que algún día llegaría, se cumplió gracias a Dios. Te amo y aprecio.
- Mis abuelos** Gracias por cada consejo dado a este joven que desea ser ejemplo para muchos a través de esta meta cumplida.
- Mis tíos** Por su incondicional ayuda y apoyo en todo momento, siempre estaré agradecido. Con cariño.
- Mis primos** Por darme el ejemplo que todo esfuerzo tiene su recompensa.

**Mis amigos**

Gracias por su compañía y cada momento vivido a lo largo de esta etapa, los aprecio grandemente, que nuestra amistad perdure por siempre.

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios superiores y formar parte de la historia de cada profesional egresado de la USAC.

**Facultad de Ingeniería**

Agradezco a todo el personal docente y administrativo que día con día hace un esfuerzo por formar profesionales con conocimiento. Gracias a cada catedrático de esta Facultad que asiste a las aulas a compartir conocimiento y lecciones de vida.

**Ing. Claudio César  
Castañón Contreras**

Totalmente agradecido por aceptar ser mi asesor de este trabajo de graduación, por su valioso apoyo y compartir sus conocimientos.

**Ing. Wilder Eduardo  
González Raxjal**

Agradezco grandemente tu apoyo para llevar acabo la metodología utilizada en este trabajo de graduación. Dios te siga dando sabiduría y bendiga grandemente tu vida.

**Instituto Nacional de  
Electrificación**

Especialmente al Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque y al Ing. Elibar Montejo, por su ayuda desde el inicio de este trabajo de graduación y compartir amablemente los registros del pluviógrafo que a lo largo del tiempo se tienen guardados en archivos. Gracias por su colaboración para culminar este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	1
1.1. Estaciones climáticas .....	1
1.1.1. Componentes de una estación climática .....	2
1.1.1.1. Terreno circundante.....	2
1.1.1.2. Parcela meteorológica .....	2
1.1.1.3. Abrigo meteorológico.....	2
1.1.1.4. Oficina para el observador.....	3
1.1.1.5. Instrumentación .....	3
1.1.2. Tipos de estaciones climáticas .....	5
1.1.2.1. Estaciones climáticas tipo A .....	5
1.1.2.2. Estaciones climáticas tipo B .....	5
1.1.2.3. Estaciones climáticas tipo C .....	5
1.1.2.4. Estaciones climáticas tipo D .....	6
1.2. Descripción de las estaciones climáticas utilizadas.....	6
1.2.1. Estación climática Totonicapán .....	9
1.2.2. Estación climática El Paradillo.....	10
1.2.3. Estación climática Tierra Blanca.....	11
1.2.4. Estación climática Xequemeyá.....	12

1.2.5.	Estación climática Serchil.....	13
2.	PRECIPITACIÓN EN GUATEMALA .....	15
2.1.	Definición de precipitación .....	15
2.2.	Formación de la precipitación .....	16
2.3.	Formas de precipitación .....	17
2.3.1.	Lluvia .....	17
2.3.2.	Llovizna .....	17
2.3.3.	Chubasco .....	17
2.3.4.	Granizo.....	17
2.4.	Tipos de precipitación .....	18
2.4.1.	Precipitación convectiva.....	18
2.4.2.	Precipitación orográfica .....	18
2.4.3.	Precipitación por convergencia .....	18
2.5.	Medición de la precipitación .....	19
2.5.1.	Instrumentos de medición .....	19
2.5.1.1.	Pluviógrafo .....	20
2.5.1.2.	Pluviómetro .....	21
3.	CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA.....	23
3.1.	Definición de las curvas intensidad-duración-frecuencia.....	23
3.2.	Aplicaciones .....	25
3.3.	Metodología para la elaboración de las curvas intensidad- duración-frecuencia.....	26
3.3.1.	Recopilación de la información.....	26
3.3.2.	Selección de las intensidades máximas registradas.....	27
3.3.3.	Lectura de bandas pluviográficas.....	27

3.3.4.	Cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia .....	29
3.3.5.	Ajuste del modelo estándar y el propuesto por Wenzel, a cada estación climática .....	32
4.	APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA PARA EL CÁLCULO DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA .....	33
4.1.	Parámetros estadísticos .....	33
4.1.1.	Medidas de tendencia central .....	33
4.1.1.1.	Media aritmética .....	34
4.1.1.2.	Mediana .....	34
4.1.1.3.	Moda .....	34
4.1.1.4.	Media geométrica .....	35
4.1.2.	Medidas de dispersión .....	35
4.1.2.1.	Rango .....	35
4.1.2.2.	Varianza .....	35
4.1.2.3.	Desviación estándar .....	36
4.1.2.4.	Coficiente de variación .....	36
4.1.2.5.	Coficiente de asimetría .....	36
4.2.	Probabilidad .....	37
4.3.	Distribuciones de probabilidad .....	38
4.3.1.	Distribuciones teóricas .....	38
4.3.1.1.	Distribución binomial .....	39
4.3.1.2.	Distribución normal .....	39
4.3.1.3.	Distribución lognormal .....	40
4.3.1.4.	Distribución exponencial .....	40
4.3.1.5.	Distribución gamma .....	41
4.3.2.	Distribuciones extremas .....	41
4.3.2.1.	Distribución de Gumbel .....	42

4.3.2.2.	Periodo de retorno.....	42
4.4.	Modelos matemáticos para la determinación de las curvas intensidad-duración-frecuencia .....	43
4.4.1.	Modelo estándar.....	43
4.4.2.	Modelo propuesto por Wenzel.....	44
5.	CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA CADA ESTACIÓN CLIMÁTICA.....	45
5.1.	Estación climática Totonicapán .....	46
5.2.	Estación climática El Paradillo .....	51
5.3.	Estación climática Tierra Blanca .....	56
5.4.	Estación climática Xequemeyá .....	61
5.5.	Estación climática Serchil.....	66
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	71
6.1.	Comparación de modelos de ajuste .....	71
6.1.1.	Estación climática Totonicapán .....	72
6.1.2.	Estación climática El Paradillo.....	74
6.1.3.	Estación climática Tierra Blanca .....	76
6.1.4.	Estación climática Xequemeyá.....	78
6.1.5.	Estación climática Serchil.....	80
6.2.	Comparación de errores relativos .....	82
6.2.1.	Estación climática Totonicapán .....	83
6.2.2.	Estación climática El Paradillo.....	84
6.2.3.	Estación climática Tierra Blanca .....	85
6.2.4.	Estación climática Xequemeyá.....	86
6.2.5.	Estación climática Serchil.....	87



CONCLUSIONES ..... 95  
RECOMENDACIONES ..... 97  
BIBLIOGRAFÍA ..... 99



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de localización de la cuenca del río Chixoy en la República de Guatemala.....	7
2.	Estaciones climáticas utilizadas en la parte alta de la cuenca del río Chixoy .....	8
3.	Estación climática Totonicapán .....	9
4.	Estación climática El Paradiño .....	10
5.	Estación climática Tierra Blanca .....	11
6.	Estación climática Xequemeyá .....	12
7.	Estación climática Serchil.....	13
8.	Pluviógrafo .....	21
9.	Pluviómetro .....	22
10.	Banda diaria con registro de un evento representativo .....	29
11.	Curvas IDF de la estación climática Serchil, según la metodología propuesta por Témez .....	30
12.	Curvas IDF de la estación climática Totonicapán, utilizando la distribución normal .....	48
13.	Curvas IDF de la estación climática Totonicapán, utilizando la distribución de Gumbel.....	50
14.	Curvas IDF de la estación climática El Paradiño, utilizando la distribución normal .....	53
15.	Curvas IDF de la estación climática El Paradiño, utilizando la distribución de Gumbel.....	55

16.	Curvas IDF de la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución normal.....	58
17.	Curvas IDF de la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución de Gumbel .....	60
18.	Curvas IDF de la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución normal.....	63
19.	Curvas IDF de la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución de Gumbel .....	65
20.	Curvas IDF de la estación climática Serchil, utilizando la distribución normal.....	68
21.	Curvas IDF de la estación climática Serchil, utilizando la distribución de Gumbel .....	70

## TABLAS

I.	Instrumentación típica de una estación climática.....	4
II.	Ubicación de las estaciones climáticas utilizadas.....	6
III.	Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática Totonicapán .....	46
IV.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Totonicapán, utilizando la distribución normal .....	47
V.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Totonicapán, utilizando la distribución de Gumbel.....	49
VI.	Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática El Paradillo.....	51
VII.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución normal .....	52
VIII.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución de Gumbel .....	54

IX.	Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática Tierra Blanca .....	56
X.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución normal .....	57
XI.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución de Gumbel.....	59
XII.	Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática Xequemeyá .....	61
XIII.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución normal .....	62
XIV.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución de Gumbel.....	64
XV.	Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática Serchil .....	66
XVI.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Serchil, utilizando la distribución normal .....	67
XVII.	Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Serchil, utilizando la distribución de Gumbel.....	69
XVIII.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Totonicapán .....	72
XIX.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Totonicapán .....	73
XX.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática El Paradillo .....	74
XXI.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática El Paradillo .....	75
XXII.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Tierra Blanca .....	76

XXIII.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Tierra Blanca.....	77
XXIV.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Xequemeyá.....	78
XXV.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Xequemeyá.....	79
XXVI.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Serchil....	80
XXVII.	Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Serchil.....	81
XXVIII.	Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática Totonicapán .....	83
XXIX.	Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática El Paradillo.....	84
XXX.	Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática Tierra Blanca.....	85
XXXI.	Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática Xequemeyá.....	86
XXXII.	Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática Serchil.....	87
XXXIII.	Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática Totonicapán .....	89
XXXIV.	Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática El Paradillo.....	90
XXXV.	Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática Tierra Blanca.....	91
XXXVI.	Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática Xequemeyá.....	92
XXXVII.	Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática Serchil....	93

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>cal/cm<sup>2</sup>/mm</b>	Caloría por centímetro cuadrado por milímetro
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b><math>SK_1</math></b>	Coefficiente de asimetría
<b><math>CV</math></b>	Coefficiente de variación
<b><math>f(x)</math></b>	Densidad de probabilidad
<b><math>\sigma</math></b>	Desviación estándar
<b><math>\Delta P</math></b>	Diferencia de precipitación
<b><math>\Delta T</math></b>	Diferencia de tiempo
<b><math>T_d</math></b>	Duración de precipitación
<b><math>e</math></b>	Exponencial
<b><math>F(x)</math></b>	Función de probabilidad
<b><math>\Gamma(\alpha)</math></b>	Función Gamma
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>°</b>	Grado sexagesimal
<b>hPa</b>	Hectopascal
<b>h</b>	Hora
<b><math>i</math></b>	Intensidad de precipitación
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>km/h</b>	Kilómetro por hora
<b>L</b>	Litro
<b>ln</b>	Logaritmo neperiano

$\mu$	Media aritmética
$\bar{X}_G$	Media geométrica
$Me$	Mediana
$m$	Metro
$m^3$	Metro cúbico
$m^3/s$	Metro cúbico por segundo
$m/s$	Metro por segundo
$msnm$	Metros sobre el nivel del mar
$\mu m$	Micrómetro
$mb$	Milibar
$mm$	Milímetro
$mm\ Hg$	Milímetro de mercurio
$mm/h$	Milímetro por hora
'	Minuto
$Mo$	Moda
$\beta$	Parámetro de función
$\alpha$	Parámetro en la función
$T_r$	Periodo de retorno
%	Porcentaje
$P$	Precipitación
$P(A)$	Probabilidad de un evento
”	Segundo
$\lambda$	Tasa media de ocurrencia de eventos
$t$	Tiempo de concentración
$\sigma^2$	Varianza



## GLOSARIO

<b>Abscisa</b>	Distancia horizontal de un punto en el eje X al eje Y en el plano cartesiano.
<b>Afluente</b>	Curso de agua que desemboca en un curso de agua mayor o en un lago.
<b>Aliviadero</b>	Obra, habitualmente en presas, sobre la cual vierte el exceso de agua de crecidas, que así es evacuada.
<b>Condensación</b>	Transición de la fase de vapor a la fase líquida.
<b>Cuenca</b>	Área que tiene una salida única para su escorrentía superficial.
<b>IDF</b>	Intensidad-duración-frecuencia.
<b>Microclima</b>	Característica climática que presenta condiciones singulares en pequeñas zonas de una región.
<b>Orografía</b>	Conjunto de relieves o elevaciones que caracterizan a un área geográfica.
<b>Sublimación</b>	Cambio de fase directo del estado sólido al gaseoso o viceversa.



## RESUMEN

El estudio de la construcción de curvas IDF tuvo inicio con la lectura de las bandas pluviográficas. Esta fue registrada a lo largo de un periodo aproximado de 20 años para cada estación analizada. En algunas ocasiones se tuvo falta de registro porque se han presentado eventos representativos en la zona de estudio que las destruyen. Lastimosamente ya no es posible realizar las lecturas, quedando desechadas.

Las bandas pluviográficas que se analizaron en este estudio son mensuales, por lo que al inicio de mes son sustituidas para iniciar nuevamente el registro. Es importante destacar que una estación climática está a cargo de un operador y eventualmente vive en un lugar no muy lejano a la ubicación de dicha estación. Cada operador forma parte del buen funcionamiento de la red de estaciones que posee el país y así contribuir a través de estudios del recurso hídrico.

Para elaborar las curvas IDF se utilizó la metodología propuesta por Témez. Esta consiste en seleccionar y analizar las bandas pluviográficas que presentan mayores valores de precipitación para tiempos determinados. Se aplicó la estadística a través de la distribución normal y de Gumbel, generando curvas IDF para cada periodo de retorno analizado. Se prosiguió con la generación de las ecuaciones del modelo estándar que utiliza el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) y el propuesto por Wenzel.

Posteriormente, se hizo la comparación entre los dos modelos analizados, siendo un solo modelo el adecuado para cada estación climática. Este se estableció con el menor número de errores relativos al cuadrado generados.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Elaborar las curvas IDF para cinco estaciones climáticas de la cuenca del río Chixoy.

### **Específicos**

1. Calcular las intensidades de lluvia para diferentes periodos de retorno correspondientes a la zona de estudio.
2. Construir las curvas IDF aplicando el modelo estándar utilizando por el Departamento de Investigación y Servicios Hidrológicos de Insivumeh.
3. Construir las curvas IDF aplicando el modelo propuesto por Wenzel.
4. Comparar los resultados del modelo estándar y el propuesto por Wenzel, para determinar el que mejor se ajuste a cada estación climática.



## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de graduación fue realizado con el propósito de analizar el régimen de intensidades de lluvia, siendo la zona de estudio la cuenca del río Chixoy. Los estudios de este tipo son importantes para realizar previamente diseños de proyectos hidráulicos, con el fin de que exista una evacuación segura de la esorrentía generada por un evento de lluvia. Eventualmente las aplicaciones hidráulicas requieren de eventos de lluvias representativas asociadas a una duración y a una frecuencia de ocurrencia. Esta relación la ofrecen las curvas IDF.

Actualmente, en Guatemala, los estudios de las curvas IDF son insuficientes. Por esta razón fue el interés para realizar este estudio y contribuir con la construcción de curvas IDF, para las cinco estaciones analizadas.

La finalidad es realizar un análisis del régimen de intensidades de lluvia con base en las curvas IDF. Esto fue utilizando cinco estaciones climáticas de la parte alta de la cuenca del río Chixoy, identificadas con los siguientes nombres: Totonicapán, El Paradillo, Tierra Blanca, Xequemeyá y Serchil. Las estaciones en estudio son administradas por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y es gracias a su apoyo que este estudio se llevó a cabo.

De este modo, todo el objetivo de este trabajo de graduación se fundamenta en el régimen de lluvia registrado, a través del tiempo, en cada estación climática analizada.

En el capítulo 5, se presentan gráficamente las curvas IDF construidas para cada estación, aplicando dos distribuciones estadísticas. En el capítulo 6, se establecen las ecuaciones generadas de los dos modelos comparados. Para así determinar el modelo que más se ajusta a cada una de las cinco estaciones climáticas analizadas.



## **1. ANTECEDENTES GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio abarca la parte alta de la cuenca del río Chixoy. Área que pertenece a la vertiente del golfo de México que es la que posee mayor área geográfica de Guatemala: 50 803 km<sup>2</sup> aproximadamente el 47 % del territorio nacional. Además, es la más caudalosa (mayor disponibilidad hídrica), en 2 006 se contabilizaron 45 668 millones de m<sup>3</sup>, lo que representa aproximadamente el 49 % total del país. El río Chixoy posee un área de 12 150 km<sup>2</sup> lo que representa un 24 % del área de total de la cuenca y un 11 % a nivel nacional. Es el segundo río más largo de la república que cuenta con 417,90 km, afluente del Usumacinta, el más largo y caudaloso de Centroamérica, y frontera natural entre Guatemala y México.

Para el presente estudio se consideraron cinco estaciones climáticas que actualmente se encuentran funcionando correctamente en la parte alta de la cuenca del río Chixoy y son administradas por el INDE. Las estaciones en estudio cuentan con equipos pluviográficos que registran los eventos de precipitación que ocurren durante el año. Esto por medio de bandas pluviográficas mensuales y que se han registrado por un periodo considerable de años. Esto beneficia en la recolección de datos, para luego realizar lo planteado en la metodología y elaborar las curvas IDF de las cinco estaciones climáticas: Totonicapán, El Paradillo, Tierra Blanca, Xequemeyá y Serchil.

### **1.1. Estaciones climáticas**

Se analizan para la elaboración de curvas IDF. Están instaladas en un predio de aproximadamente 10 m por 5 m (puede ser variable) donde se

instalan instrumentos. Esto para recabar datos de parámetros climáticos o meteorológicos, para así evaluar los distintos comportamientos en una región determinada.

### **1.1.1. Componentes de una estación climática**

A continuación se presentan los componentes de una estación climática.

#### **1.1.1.1. Terreno circundante**

Una estación climática está comprendida en un terreno circundante que debe ser plano y libre de obstrucciones. Tiene que estar libre de obstáculos y su altura aparente sobre el suelo no debe exceder los 10° del horizonte al este y oeste. El suelo debe estar cubierto por césped y poseer un caminamiento de concreto o adoquín para que exista una mejor circulación en el terreno. Además, 7 debe ser circulado por una malla metálica.

#### **1.1.1.2. Parcela meteorológica**

Está comprendida en un terreno rectangular o cuadrado, destinado a la protección de los instrumentos al aire. También se encuentra integrado un abrigo meteorológico.

#### **1.1.1.3. Abrigo meteorológico**

Resguarda y protege los instrumentos más sensibles que están en el interior como los termómetros, psicrómetros, termohigrógrafos, evaporímetros de piche, higrómetros, termógrafos e higrógrafos. Está construido con persianas para que exista libre circulación de aire y mantenga la temperatura. Además está pintado de color blanco, por ser un color neutro repele la luz solar.

#### **1.1.1.4. Oficina para el observador**

El observador eventualmente es una persona que reside cerca del lugar en donde se encuentra la estación climática. Esto en horario establecido también verifica y recolecta los datos que se han registrado en cada aparato que se posea para medir los parámetros meteorológicos.

#### **1.1.1.5. Instrumentación**

Los instrumentos son elementos importantes en la composición de una estación meteorológica. Esto debido a que ellos depende la correcta medida de los elementos meteorológicos. Además que las observaciones efectuadas sean correctas y no presenten información falsa o atípica.

Las estaciones climáticas que posee el INDE miden los siguientes parámetros climáticos:

- Temperatura ambiente
- Precipitación
- Evaporación a la intemperie (evaporación tanque)
- Evaporación a la sombra (de piche)
- Humedad relativa
- Velocidad del viento
- Insolación

Tabla I. Instrumentación típica de una estación climática

Parámetro climático	Instrumento	Descripción
Temperatura	Termómetro de máxima	Permite conocer la temperatura más alta (°C) del día.
	Termómetro de mínima	Permite conocer la temperatura más baja (°C) del día.
	Termógrafo	Registra gráficamente la temperatura (°C) de manera continua a través del tiempo.
	Aspiropsicrómetro	Está formado por el termómetro de bulbo seco, que registra el estado gaseoso y líquido bajo a las condiciones de temperatura que se dio, también por el termómetro bulbo húmedo, que mide la temperatura del momento. Ambos en °C.
	Geotermómetro	Mide la temperatura del suelo (°C) a profundidades de 2, 5, 10, 15, 20, 50 y 100 cm.
Precipitación	Pluviómetro	Mide la cantidad de agua precipitada (mm) en un lugar determinado.
	Pluviógrafo	Registra la cantidad de agua precipitada (mm) en un periodo determinado de tiempo.
Evaporación	Tanque de evaporación (intemperie)	Mide la cantidad de evaporación potencial con observaciones cada 24 h a través de un tornillo micrométrico con escala de 0 a 150 mm.
	Tanque piche (sombra)	Mide el nivel de desplazamiento del agua con observaciones cada 24 h a un tubo de vidrio (mm) que se encuentra en el abrigo meteorológico, esta es la cantidad de evaporación.
Humedad relativa	Higrógrafo	Registra la humedad relativa del aire a través del tiempo (%).
	Termohigrógrafo	Mide la temperatura (°C) y la humedad (%) de manera independiente.
Velocidad del viento	Veleta registradora	Indica la dirección del viento (°).
	Anemógrafo	Registra la velocidad (m/s) y dirección del viento (°).
	Anemómetro	Registra el recorrido total del viento (m/s).
Insolación	Heliógrafo	Registra la duración de la insolación o brillo solar, en horas y décimos.
Radiación solar	Actinógrafo	Mide la radiación solar global diaria (cal/cm <sup>2</sup> /mm).
Presión atmosférica	Barómetro	Mide la presión atmosférica, en mm Hg, mb y hPa.
	Barógrafo	Registra continuamente la presión atmosférica, en mm Hg, mb y hPa.

Fuente: elaboración propia, con base en información de Insivumeh.

### **1.1.2. Tipos de estaciones climáticas**

Por parte del (Insivumeh) existe una clasificación especial para las estaciones. La principal diferencia radica en los instrumentos que posee cada estación y por consiguiente, el número de elementos meteorológicos que se observa.

#### **1.1.2.1. Estaciones climáticas tipo A**

En estas se registran los siguientes fenómenos meteorológicos: temperatura, precipitación, humedad relativa del aire, presión atmosférica, temperatura del subsuelo y visibilidad. Esta es de las estaciones más completas, al igual que las automáticas. Estas últimas utilizan equipo electrónico que permite tener información en el momento preciso.

#### **1.1.2.2. Estaciones climáticas tipo B**

Los registros que se obtienen son de precipitación, temperaturas, humedad relativa del aire y velocidad de viento. Los instrumentos que operan en las estaciones tipo B son considerables y es necesario que el lector este capacitado para obtener los registros que cada aparato genera.

#### **1.1.2.3. Estaciones climáticas tipo C**

Únicamente miden temperatura y precipitación. El registro de estos parámetros es importante para tener un control en la zona en donde se encuentra instalada cada estación, cabe destacar que la gran mayoría de estaciones climáticas que existen en Guatemala son tipo C.

#### 1.1.2.4. Estaciones climáticas tipo D

Se tienen registros únicamente de precipitación. Los instrumentos que poseen estas estaciones básicamente son el pluviógrafo y pluviómetro. Los datos proporcionados por los instrumentos que registran la precipitación son valiosos, con base en estos se pueden obtener estudios hidrológicos favorables.

#### 1.2. Descripción de las estaciones climáticas utilizadas

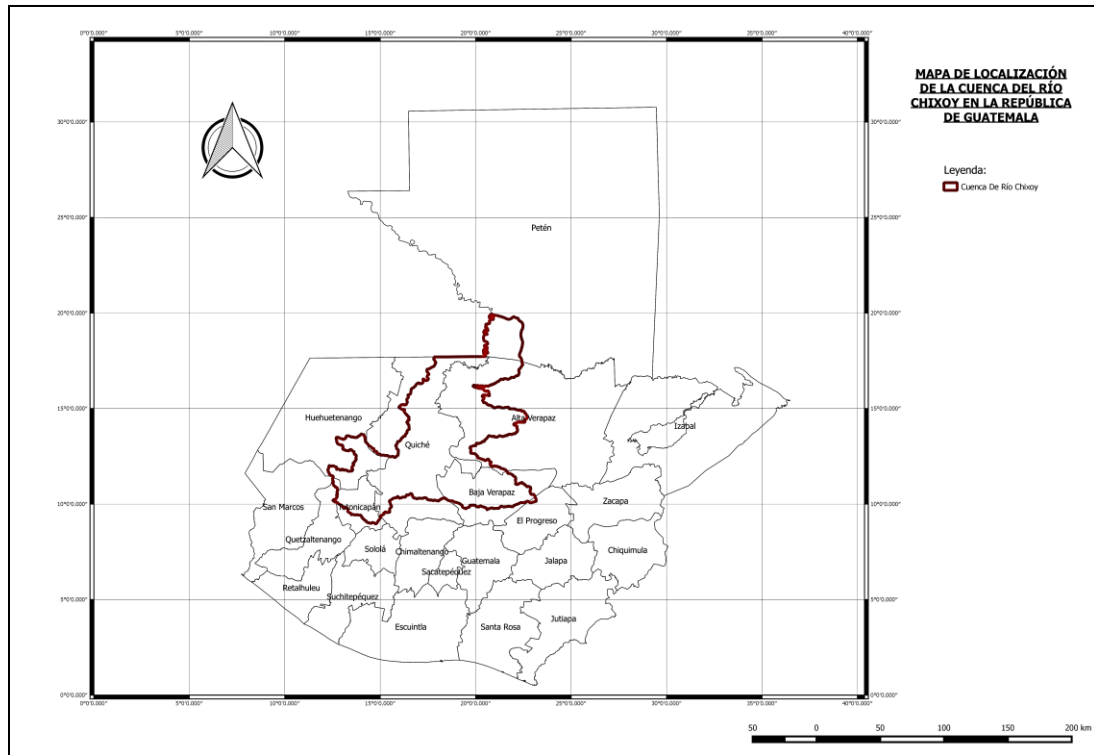
Las estaciones climáticas a través de los aparatos de medición proveen datos importantes para realizar estudios climáticos, meteorológicos e hidrológicos. La información registrada en bandas pluviográficas mensuales es la que en este estudio interesa conocer para elaborar las curvas de IDF. Esto porque se ha mencionado las cinco estaciones climáticas utilizadas son parte de la parte alta de la cuenca del río Chixoy y pertenecen al INDE.

Tabla II. Ubicación de las estaciones climáticas utilizadas

Estación	Departamento	Municipio	Altitud msnm	Latitud	Longitud
Totonicapán	Totonicapán	Totonicapán	2 400	14° 54' 20"	91° 22' 20"
Xequemeyá	Totonicapán	Momostenango	2 140	15° 05' 47"	91° 21' 09"
El Paradillo	Quiché	San Pedro Jocopilas	1 420	15° 15' 47"	91° 19' 54"
Tierra Blanca	Totonicapán	San Bartolo	2 325	15° 06' 38"	91° 29' 45"
Serchil	Huehuetenango	Malacatancito	1 600	15° 14' 00"	91° 24' 00"

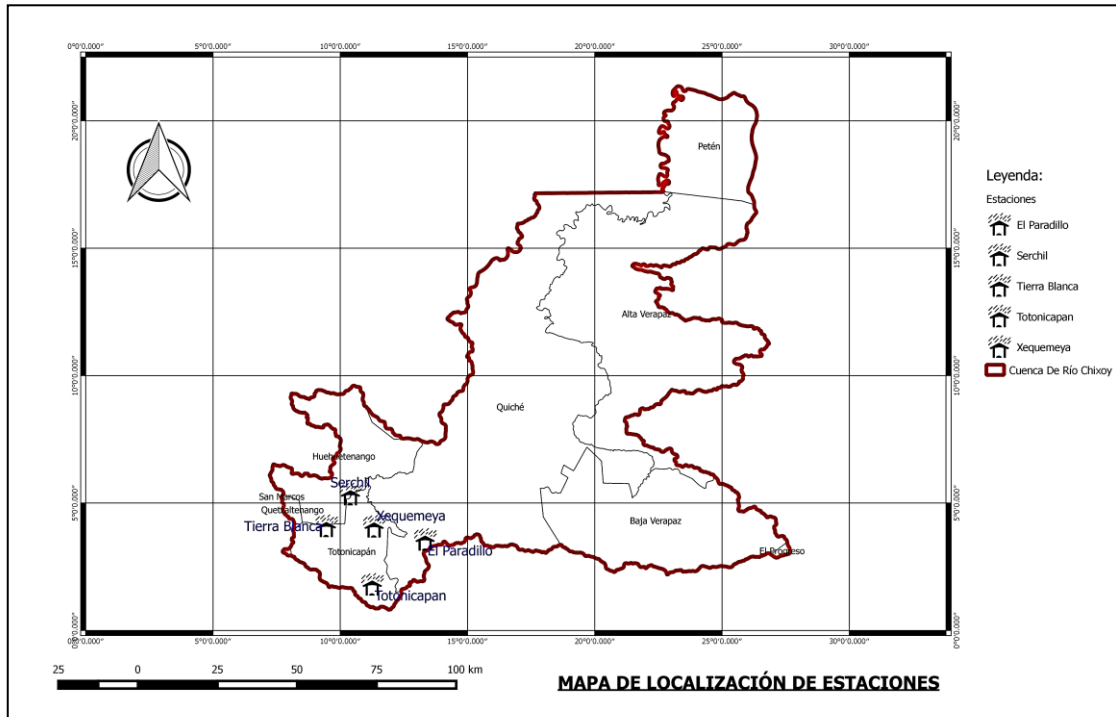
Fuente: INDE.

Figura 1. **Mapa de localización de la cuenca del río Chixoy en la República de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 2. Estaciones climáticas *utilizadas* en la parte alta de la cuenca del río Chixoy



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.



### 1.2.1. Estación climática Totonicapán

Esta inició a medir y registrar datos el 01 de abril de 1980. Es una estación tipo C, ubicada en el municipio de Totonicapán, departamento de Totonicapán. Su elevación sobre el nivel del mar es de 2 400 m, sus coordenadas geográficas son latitud 14° 54' 20" y longitud 91° 22' 20".

Figura 3. Estación climática Totonicapán



Fuente: Totonicapán, Totonicapán.

### 1.2.2. Estación climática El Paradillo

Esta inició a medir y registrar datos el 24 de junio de 1978. Es una estación tipo C, ubicada en el municipio de San Pedro Jocopilas, departamento de Quiché. Su elevación sobre el nivel del mar es de 1 450 m, sus coordenadas geográficas son latitud 15° 15' 47" y longitud 91° 19' 54".

Figura 4. Estación climática El Paradillo



Fuente: San Pedro Jocopilas, Quiché.

### 1.2.3. Estación climática Tierra Blanca

Esta inició a medir y registrar datos el 01 de mayo de 1992. Es una estación tipo C, ubicada en el municipio de San Bartolo, departamento de Totonicapán. Su elevación sobre el nivel del mar es de 2 325 m, sus coordenadas geográficas son latitud 15° 06' 38" y longitud 91° 29' 45".

Figura 5. Estación climática Tierra Blanca



Fuente: San Bartolo, Totonicapán.

#### 1.2.4. Estación climática Xequemeyá

Se inició a medir y registrar datos el 16 de marzo de 1978. Es una estación tipo C, ubicada en el municipio de Momostenango, departamento de Totonicapán. Su elevación sobre el nivel del mar es de 2 140 m, sus coordenadas geográficas son latitud 15° 05' 47" y longitud 91° 21' 09".

Figura 6. Estación climática Xequemeyá



Fuente: Momostenango, Totonicapán.

### 1.2.5. Estación climática Serchil

Se inició a medir y registrar datos el 10 de marzo de 1992. Es una estación tipo C, ubicada en el municipio de Malacatancito, departamento de Huehuetenango. Su elevación sobre el nivel del mar es de 1 600 m, sus coordenadas geográficas son latitud 15° 14' 00" y longitud 91° 24' 00".

Figura 7. Estación climática Serchil



Fuente: Malacatancito, Huehuetenango.



## 2. PRECIPITACIÓN EN GUATEMALA

“Guatemala está al norte de Centro América, se sitúa en 15° 30’ de latitud Norte y 90° 13’ de longitud Oeste. Su posición en el globo terrestre la hace única en el aspecto climático”<sup>1</sup>. Posee 360 microclimas en todo el territorio nacional y esta es la razón de la existencia de una precipitación distinta en cada región del país.

### 2.1. Definición de precipitación

“El Glosario Hidrológico Internacional define la precipitación como los elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación o sublimación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo”<sup>2</sup>. Ven Te Chow. “Establece que la precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como el granizo y nevisca”<sup>3</sup>.

“El autor Francisco Aparicio define la precipitación desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, como la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua”<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Estadística. *Caracterización República de Guatemala*. p. 5.

<sup>2</sup> OMM. *Vocabulario meteorológico internacional*, Suiza.

<sup>3</sup> CHOW VEN TE. *Hidrología aplicada*. p.65.

<sup>4</sup> APARICIO MIJARES, Francisco. *Fundamentos de hidrología superficial*. p.113.

## 2.2. Formación de la precipitación

“La humedad siempre está presente en la atmósfera aún en los días sin nubes. Para que ocurra la precipitación se requiere algún mecanismo que enfríe el aire lo suficiente, para que llegue de esta manera cerca del punto de saturación. Los enfriamientos de grandes masas necesarios para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logran cuando ascienden las masas de aire. Este fenómeno se lleva a cabo por medio de sistemas convectivos o convergentes que resultan de radiaciones desiguales las cuales producen calentamiento o enfriamiento de la superficie de la tierra y la atmósfera, o por barreras orográficas. Sin embargo, la saturación necesariamente no conlleva la precipitación”<sup>5</sup>.

“Los núcleos de condensación o de congelamiento son la base para que el aire saturado, o muy cerca de este punto, forme neblina o gotas de agua o cristales de hielo, sobre los cuales se forman las gotas de agua. Estos núcleos son pequeñas partículas de varias sustancias, no necesariamente higroscópicas, cuyo tamaño por lo general está entre 1,1 y 10  $\mu\text{m}$  de diámetro”<sup>6</sup>.

Después de la nucleación, la gota de agua o el cristal de hielo crecen hasta que su tamaño se vuelve visible y les permita caer. Las corrientes de aire presentan fuerzas. Son los componentes verticales de estas que sostienen a las nubes son pequeñas, pero suficientes para impedir que caigan partículas de determinado tamaño. Es necesario que el peso de las gotas sea suficiente para que no exista evaporación y desaparezca la nube lentamente. Las gotas pueden crecer por atracción electrostática o por turbulencia.

---

<sup>5</sup> LINSLEY, Ray; KOHLER, Max; PAULS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. p. 45.

<sup>6</sup> Op cit. p. 46.



## **2.3. Formas de precipitación**

“Cualquier producto formado por la condensación del vapor de agua atmosférico en el aire libre o la superficie de la tierra es un hidrometeoro”<sup>7</sup>.

En Guatemala se presentan hidrometeoros eventualmente, en la época de invierno o en tiempo en donde ingresan frentes fríos al territorio nacional.

A continuación se presentan aquellos hidrometeoros que en Guatemala descienden.

### **2.3.1. Lluvia**

Gotas de agua líquida con diámetro superior a 0,5 mm, normalmente de 1 a 2 mm.

### **2.3.2. Llovizna**

Consiste en finas gotas de agua, de diámetro inferior a 0,5 mm.

### **2.3.3. Chubasco**

Gotas o partículas sólidas eventualmente mayores que la lluvia.

### **2.3.4. Granizo**

Básicamente es una precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, de diámetro variable entre 5 y 50 mm, y mayores a veces.

---

<sup>7</sup> LINSLEY, Ray; KOHLER, Max; PAULS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. p. 48.

## **2.4. Tipos de precipitación**

“Se establece que la precipitación resulta de la elevación de una masa de agua en la atmósfera, de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense”<sup>8</sup>.

### **2.4.1. Precipitación convectiva**

Esta precipitación se da en tiempo caluroso y se produce un ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores, formando grandes masas de vapor de agua, lo que ocasiona condensación produciendo la precipitación que afecta áreas reducidas, del orden de 25 a 50 km<sup>2</sup>. Este tipo de precipitación son muy intensas y de corta duración, y ocurren generalmente en las zonas tropicales.

### **2.4.2. Precipitación orográfica**

Se produce cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujada por el viento hacia las montañas. Es donde la masa de aire sigue por las laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación. Por lo general, el lado de la montaña se produce un choque del viento que es la zona lluviosa, mientras el otro lado es más seco.

### **2.4.3. Precipitación por convergencia**

También llamada ciclónica. Se produce cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad. Las nubes más calientes

---

<sup>8</sup> VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. p. 70.

son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación.

Cuando la convergencia se produce en una zona de bajas presiones (zona de masas de aire cálido). Es donde se forman los llamados ciclones, que funcionan como una chimenea, haciendo subir el aire de las capas inferiores. En los trópicos, los ciclones son llamados huracanes o tifones. Se desarrollan entre los 8° y los 15° de latitud norte y sur. Producen lluvias de altísima intensidad, con vientos con velocidades de hasta 200 km/h.

## **2.5. Medición de la precipitación**

Esta se mide en términos de la altura de agua que se acumularía en una superficie horizontal e impermeable, si la precipitación permaneciese en el lugar donde cayó<sup>9</sup>. Se expresa en milímetros, tomando en cuenta que 1 mm equivale a 1 L de agua por metro cuadrado.

### **2.5.1. Instrumentos de medición**

Los instrumentos para medir la precipitación son importantes para recolectar datos generados a través de un evento en un periodo. En la actualidad se han desarrollado una gran variedad de instrumentos que ayudan a un mejor monitoreo de parámetros climáticos.

En la tabla I se menciona el parámetro climático precipitación. Se dan a conocer dos de los instrumentos que se utilizan para medir dicho parámetro, con una breve descripción y a continuación se detallan.

---

<sup>9</sup> VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. p. 73.

### 2.5.1.1. Pluviógrafo

“El pluviógrafo es un instrumento que registra la altura del agua en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación, dato importante para el diseño de estructuras hidráulicas”<sup>10</sup>.

En Guatemala el pluviógrafo que se tiende a utilizar es de flotador con sifón. Existen también los de oscilación, balanza y la combinación de ambos. El pluviógrafo de flotador con sifón consta de un receptor igual al del pluviómetro con un área de 200 cm<sup>2</sup>, unido a una caja cilíndrica de 110 cm de diámetro, en la que se aloja el sistema colector del aparato y una jarra colectora.

El agua colectada pasa por un embudo y un tubo al mecanismo regulador. Es constituido por un cilindro en cuyo interior se encuentra un flotador que se desplaza verticalmente. Está conectado a un brazo de palanca con plumilla que marca la línea en la banda, que está ubicada sobre un cilindro movido por un sistema de relojería, registrándose así la precipitación en función del tiempo.

---

<sup>10</sup> VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. p. 75.

Figura 8. **Pluviógrafo**



Fuente: Insivumeh.

### **2.5.1.2. Pluviómetro**

Este consiste dos partes cilíndricas, estos son: el receptor y el colector. El receptor está ubicado en la parte superior, unido al anillo de bronce y su fondo tiene forma de embudo. Cuando el agua es recolectada por el receptor pasa a una vasija de boca estrecha llamada colector, que está aislado del cilindro exterior para evitar la evaporación del agua.

El agua recolectada es medida utilizando una probeta especialmente graduada en milímetros y en décimas de milímetros. La altura que alcanza el agua, en la probeta, representa la altura del agua sobre el terreno, suponiendo que es una superficie horizontal e impermeable.

Figura 9. **Pluviómetro**



Fuente: Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa.

### **3. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA**

En la actualidad se tienen registros de la lluvia precipitada en varias regiones de Guatemala. Es importante realizar estudios relacionados para saber el comportamiento que se tendrá a lo largo del tiempo.

La lluvia puede ser estudiada de distintas maneras y cada una de ellas presenta resultados distintos. La intensidad precipitada, la duración y el periodo con que se repetirá un evento representativo son estudios importantes, para conocer las características de la lluvia en zonas que cuentan con estaciones climáticas en funcionamiento. El presente estudio de investigación parte de la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia en las cinco estaciones utilizadas de la parte alta de la cuenca del río Chixoy.

La cuenca del río Chixoy está comprendida por la parte alta, media y baja. El comportamiento de la lluvia en los siete departamentos que abarca la cuenca del río Chixoy (Ver figura 2) es diferente. También es importante estudiarlo desde el punto de vista hidrológico determinando la intensidad, duración y frecuencia a través de curvas IDF.

#### **3.1. Definición de las curvas intensidad-duración-frecuencia**

“Las curvas IDF son aquellas que resultan de unir puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno”<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> TÉMEZ, José Ramón. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. p. 53.

Presentando otra definición de las curvas IDF son aquellas que representan duraciones en abscisas y alturas de precipitación en las ordenadas. En ellas, cada curva representada corresponde a una frecuencia (o periodo de retorno), de tal forma que las gráficas de las curvas IDF representan la intensidad media en intervalos de diferente duración. Estos van correspondiendo a todos los de una misma curva, a un idéntico periodo de retorno.

Con la definición de las curvas IDF establecida, ahora se presenta la precipitación como una variable. Con ella se puede caracterizar a través de la intensidad, su distribución en el espacio y en el tiempo y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia. Es de suma importancia tener claro el concepto de cada una de estas variables.

“La intensidad ( $i$ ) se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la altura de agua de precipitación por unidad de tiempo (mm/h o pulg/h)”<sup>12</sup>, y esta se expresa con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{P}{T_d}$$

Donde  $P$  es la altura de lluvia precipitada en milímetros o pulgadas, y  $T_d$  es la duración, dada usualmente en horas.

Es importante señalar que cuando solo se dispone de un pluviómetro en una estación, es evidente que en general, solo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas o del periodo de lectura que se este estudiando. Como se comprenderá, esta información puede inducir a grandes errores por defecto, por cuanto las lluvias de corta duración son en general las más intensas. Es

---

<sup>12</sup> CHOW, Ven Te. *Hidrología aplicada*. p. 465.



conveniente entonces que las determinaciones de intensidades de lluvia se hagan a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos.

“El siguiente parámetro importante es la frecuencia y es el número de casos en una clase, cuando los eventos son clasificados de acuerdo a diferencias en uno o más atributos”<sup>13</sup>. “La probabilidad es una base matemática para la predicción, la cual, para un conjunto exhaustivo de resultados, es la relación entre el número de resultados que producen un nuevo evento particular y en número posible de resultados”<sup>14</sup>. Es así como, en la hidrología torrencial se trata frecuentemente de evaluar la probabilidad de que una variable hidrológica alcance y sobrepase un determinado valor límite.

“Y por último se define el periodo de retorno ( $T_r$ ), que es el intervalo de tiempo promedio (expresado en años) entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño”<sup>15</sup>.

### **3.2. Aplicaciones**

Las curvas IDF son de importancia para los cálculos o estudios previos al diseño de muchos proyectos de diseño hidráulico. Esto como es el caso del diseño de un drenaje urbano, canales de desviación, diques de gravedad, determinación de la luz de un puente y determinación de caudales máximos. Estos deben pasar por el aliviadero de una represa, o que deben encausarse, para impedir las inundaciones. Es necesario determinar los máximos valores de intensidades de precipitación que se pueden alcanzar, con el objetivo de estimar el monto máximo de escorrentía que se podría producir en la ladera de

---

<sup>13</sup> LINSLEY, Ray; KOHLER, Max; PAULS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. p. 281.

<sup>14</sup> *Ibíd.*

<sup>15</sup> CHOW. Ven Te. *Hidrología aplicada*. p. 391.

un cerro, en una quebrada o en una cárcava y así poder dimensionar dichas obras”<sup>16</sup>.

“Para iniciar con el diseño hidráulico es conveniente utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias o periodos de retorno. Esta relación se denomina curvas IDF, que son determinadas para cada sitio en particular”<sup>17</sup>.

### **3.3. Metodología para la elaboración de las curvas intensidad-duración-frecuencia**

Para obtener las curvas IDF, de las cinco estaciones, en estudio se presenta la necesidad de plantear una metodología. Se debe establecer de manera correcta el método para llegar a cumplir con el objetivo general de este trabajo de investigación.

A continuación se describirá detalladamente cada una de las fases metodológicas. Esto para la obtención de las curvas IDF correspondientes a la zona de estudio.

#### **3.3.1. Recopilación de la información**

Es importante mencionar una vez más que la información utilizada para la elaboración de curvas IDF en las estaciones climáticas de Totonicapán, El Paradillo, Tierra Blanca, Xequemeyá y Serchil es proporcionada por el INDE.

---

<sup>16</sup> PIZARRO, Roberto; ABARZA, A.; FLORES, J. *Determinación de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, para 6 estaciones pluviográficas de la VII Región.* p. 8.

<sup>17</sup> CHOW, Ven Te. *Hidrología aplicada.* p. 465.

Las estaciones climáticas analizadas cuentan con equipos pluviográficos que registran los eventos de precipitación que ocurren durante el año por medio de bandas pluviográficas diarias y mensuales. Se utilizará la máxima cantidad de años de registro posible para disponer de la mayor cantidad de datos pluviográficos y obtener una estadística confiable. Sin embargo, existen años incompletos o bandas pluviográficas con defectos ocasionados por el paso del tiempo o por el funcionamiento incorrecto del instrumento.

### **3.3.2. Selección de las intensidades máximas registradas**

“Se propone un método para la elaboración de curvas IDF, el cual parte del análisis de bandas de registro pluviográfico y selección de máximos eventos de precipitación para determinado tiempo y lugar. Posteriormente los registros que representan eventos extremos son discretizados a cada 10 minutos, para obtener las cantidades máximas de lluvia en un lapso de veinticuatro horas”.<sup>18</sup>

### **3.3.3. Lectura de bandas pluviográficas**

Son las utilizadas para el registro de la precipitación a través del tiempo en una región en donde existe una estación climática. Básicamente, las bandas pluviográficas registran la información de precipitación, toda vez exista una de ellas instalada en el pluviógrafo, eventualmente estas bandas son reemplazadas a las 7:00 am por el observador encargado de cada estación climática. La mayoría de las bandas analizadas en este estudio son mensuales. Por ello, su reemplazo es el primer día de cada mes; siguiendo la metodología propuesta por Témez se procede a la lectura de las bandas, en este estudio se realizó la discretización de los datos a cada 10 min, es decir, la lectura del

---

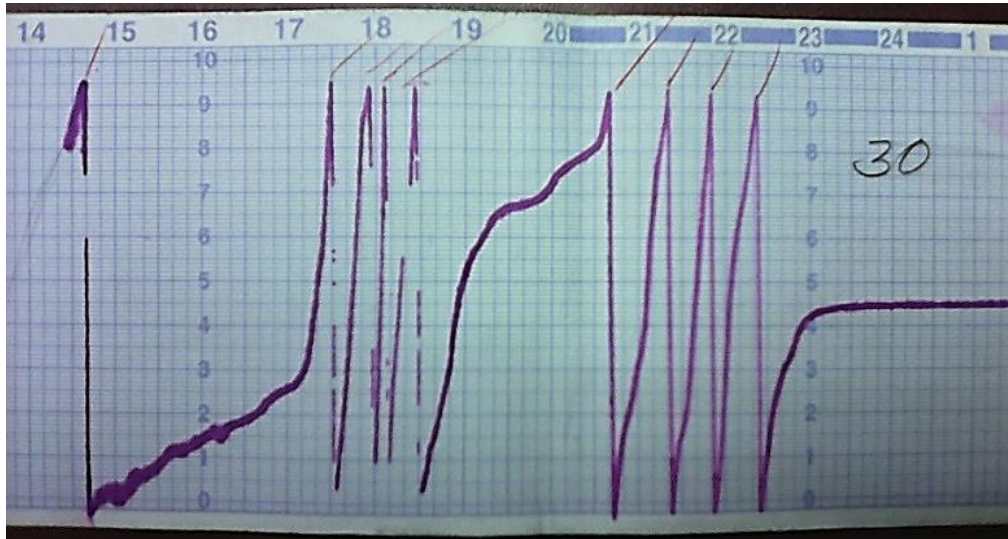
<sup>18</sup> TÉMEZ, José. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. p. 54.

acumulado de agua en el tubo que posee un mecanismo regulador se lleva a cabo con el registro de una gráfica que indica a través del tiempo la cantidad de la precipitación. Posteriormente, se elabora un cuadro que incluya el nombre de la estación, fecha, altura inicial del pluviómetro, la hora de inicio del evento y la hora de finalización. Por último, se procede a digitalizar toda la información a la computadora para su posterior análisis.

Para realizar la lectura de las bandas pluviográficas en este estudio se hizo una revisión de todas las bandas existentes de cada una de las cinco estaciones analizadas. En los eventos recientes que han afectado al territorio nacional, resaltan el huracán Stan (2005) y la tormenta tropical Agatha (2010). Se tienen registros de tormentas representativas que son de mucha importancia para realizar las curvas IDF de la parte alta de la cuenca del río Chixoy.

En la banda pluviográfica, presentada en la figura 10, se da a conocer un evento representativo de la estación Serchil, con fecha 30 de mayo de 2008, tuvo alta intensidad en un periodo de tiempo prolongado.

Figura 10. Banda diaria con registro de un evento representativo



Fuente: Serchil, Huehuetenango.

### 3.3.4. Cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia

La lectura de los eventos representativos con base en la precipitación en un periodo es de mucha importancia para el cálculo de las curvas IDF. Esto para iniciar con la construcción de dichas curvas es necesario utilizar la ecuación de la intensidad horaria. Consiste en realizar una división de la diferencia de la precipitación por duración y el intervalo de tiempo transcurrido de la precipitación. La ecuación de la intensidad horaria se presenta de la siguiente manera:

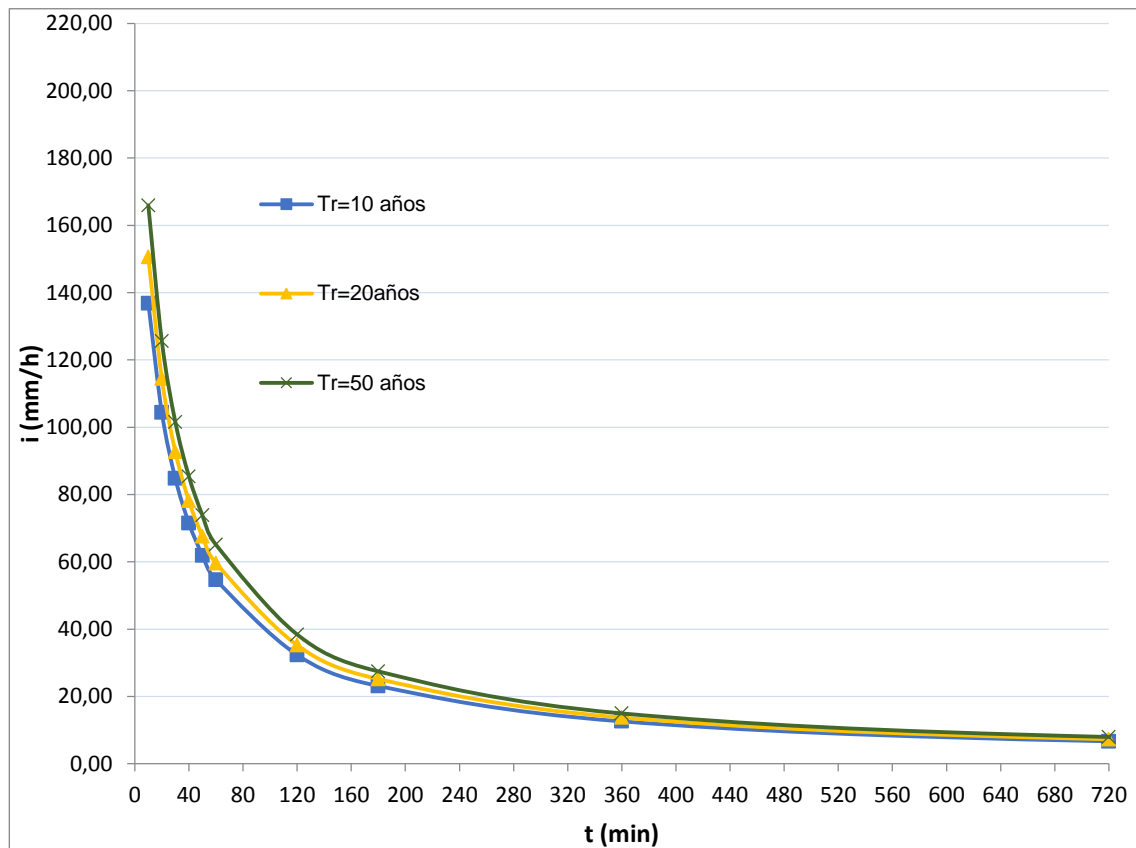
$$i = \frac{\Delta P}{\Delta T}$$

Donde  $i$  es la intensidad de la precipitación (mm/h),  $\Delta P$  el diferencial de precipitación (mm) y  $\Delta T$  la diferencia de tiempo (h).

Cuando ya se cuenta con la intensidad de la precipitación se procede a realizar las gráficas de cada estación con periodos de retorno de 10, 20 y 50 años. Únicamente se grafican tres periodos de retorno por cuestiones de visualización. Por el contrario, no se identificaría de manera correcta los diez periodos de retorno calculados.

A continuación se presenta el comportamiento de las curvas IDF de una estación climática analizada en el presente estudio.

Figura 11. **Curvas IDF de la estación climática Serchil, según la metodología propuesta por Témez**



Fuente: elaboración propia.

Básicamente las curvas IDF presentan el mismo comportamiento representado en la figura 11. En un tiempo corto de duración se tiene una intensidad alta del evento. Esta característica se observa en cada gráfica representada con los distintos periodos de retorno. Existe otra característica y se puede notar fácilmente, en cada periodo de retorno representado tiene como tendencia que la gráfica va disminuyendo a través de un periodo de larga duración.

Eventualmente, para realizar este tipo de estudios, se aplica la estadística, utilizando distribuciones de probabilidad. En este caso se utilizó la distribución normal y de Gumbel.

La función normal proviene de las distribuciones de probabilidad teóricas y es apropiada para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores. Esto de los resultados posibles que puedan presentarse en un experimento que se este analizando.

La función de Gumbel proviene de las distribuciones extremas y es apropiada para analizar valores extremos. En este caso, las intensidades máximas registradas en un periodo anual.

Al aplicar la función normal y de Gumbel a los datos de las curvas IDF, se procede a generar ecuaciones de los modelos matemáticos. Esto acorde a cada distribución de probabilidad en los distintos periodos de retorno analizados para cada estación climática.

### **3.3.5. Ajuste del modelo estándar y el propuesto por Wenzel, a cada estación climática**

Las bandas del pluviógrafo registran cada evento que ocurre a través del tiempo en una región determinada. En un año pueden ocurrir una serie de eventos y varios de ellos son representativos. Con base en la metodología propuesta por Témez se deben de seleccionar los valores máximos de cada año. Posteriormente, se realiza un resumen multianual de intensidades de lluvia máxima para cada estación climática.

Las distribuciones de probabilidad y las técnicas estadísticas son necesarias para aplicar al resumen multianual. En el capítulo 4, de este estudio, se detalla la aplicación de la estadística que se utilizó para realizar las curvas IDF con base en la metodología propuesta por Témez (1978).

La aplicación de la estadística, en el estudio de las curvas IDF es la manera de determinar el modelo que se ajusta acorde a cada estación climática entre el modelo estándar y el propuesto por Wenzel. Básicamente el ajuste se determina con un análisis, entre la sumatoria de los errores relativos al cuadrado de cada modelo y sus dos respectivas funciones de probabilidad (distribución normal y de Gumbel).



## **4. APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA PARA EL CÁLCULO DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA**

“El objetivo básico de la aplicación de la estadística en la hidrología es el análisis de la información hidrológica en forma de muestras, a fin de inferir las características con que debe ser esperado en el futuro el fenómeno que se estudia”<sup>19</sup>. En el caso de este estudio: la intensidad de lluvia a través del tiempo en distintos periodos de retorno.

### **4.1. Parámetros estadísticos**

Estos son aplicados a los estudios hidrológicos debido a que la información analizada tiene procesos aleatorios. Una definición práctica de los parámetros estadísticos se puede describir como característicos de una población o muestra y cada uno de ellos es el valor esperado de alguna función de una variable aleatoria. Entre ellos se encuentran la media aritmética, mediana, varianza, desviación estándar y otros más que a continuación se describen.

#### **4.1.1. Medidas de tendencia central**

“En un conjunto de datos las medidas de tendencia central están diseñadas para brindar al analista alguna medida cuantitativa de dónde está el centro de los datos en una muestra”<sup>20</sup>. Básicamente brindan información de los valores medios del conjunto de datos.

---

<sup>19</sup> CHEREQUE MORÁN, Wendor. *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. p. 159.

<sup>20</sup> WALPOLE, Ronald E. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 11.

#### 4.1.1.1. Media aritmética

En un conjunto determinado de datos  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , la medida de tendencia central familiar y útil es el promedio aritmético del conjunto. Debido a que casi siempre se considera a las  $x_i$  como partes constituyentes de una muestra, se hace referencia al promedio aritmético como la media muestral y se denota por  $\mu$ . La media es simplemente un promedio aritmético.

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde  $\mu$  es la media aritmética,  $x_i$  conjunto de valores de la variable y  $n$  número total de valores.

#### 4.1.1.2. Mediana

Es el valor medio cuando las observaciones se ordenan de menor a mayor. Si las observaciones se denotan por  $x_1, \dots, x_n$ , se emplea el símbolo  $\tilde{x}$  para representar la mediana central. Se representa por las letras *Me* y se define con la siguiente ecuación:

$$\tilde{x} \text{ tal que } F(\tilde{x}) = 0,50$$

#### 4.1.1.3. Moda

Indica el valor de un conjunto de datos que más se repite, también indica la clase que posee mayor frecuencia. Básicamente es el valor más típico de una serie de datos, se representa con las iniciales *Mo*.

#### **4.1.1.4. Media geométrica**

Esta medida de tendencia central es de utilidad cuando la variable cambia a lo largo del tiempo, mencionando algunos ejemplos: proporciones geométricas y relaciones de variables. La media geométrica de una serie de números es la raíz  $n$  –ésima del producto de esos números, denotados por  $x_1, \dots, x_n$ . La ecuación se define como:

$$\bar{X}_G = \sqrt[n]{x_1 * x_2 * x_3 \dots * x_n}$$

#### **4.1.2. Medidas de dispersión**

Son utilizadas en la distribución de los valores de la serie. Se emplean para medir los valores estudiados y analizar la dispersión alrededor de su media. Básicamente, presentan una cuantificación de los datos que varían entre sí y en relación a la medida de tendencia central llamada media.

##### **4.1.2.1. Rango**

Es un resumen estadístico y se obtiene de la diferencia entre los valores más grandes y más pequeños en una muestra. Es una medida de la dispersión, depende solamente de los dos valores extremos y no proporciona ninguna información acerca del resto de la muestra.

##### **4.1.2.2. Varianza**

Es una medida que determina cómo los valores de los datos se comportan respecto a la media de la distribución. Se define como la medida del cuadrado de la distancia promedio entre la media y cada observación de la población.

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n - 1}$$

#### **4.1.2.3. Desviación estándar**

Es una cantidad que mide el grado de dispersión de una muestra. Sea  $x_1, \dots, x_n$  una muestra, el resultado depende de la dispersión, porque cuando esta es grande. Los valores de la muestra tenderán a alejarse de su media, pero cuando la dispersión es pequeña, los valores tenderán a acercarse a su media. Se define como la raíz cuadrada de la varianza.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

#### **4.1.2.4. Coeficiente de variación**

Se define como la relación de la desviación estándar y la media, se expresa como porcentaje de la media. El objetivo de obtener este porcentaje es para comparar el nivel de dispersión de dos muestras.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100$$

#### **4.1.2.5. Coeficiente de asimetría**

Las funciones de frecuencia tienden a apartarse de una simetría perfecta, es en este caso en que el coeficiente de asimetría se aplica y evalúa esta tendencia. Este coeficiente presenta la característica que el signo determina la asimetría; si el resultado presenta signo positivo es una distribución asimétrica positiva. Si el resultado presenta signo negativo es una distribución asimétrica

negativa. Cuando el resultado del coeficiente de asimetría es cero, la distribución es simétrica.

El coeficiente de asimetría se expresa con cualquiera de las siguientes ecuaciones, considerando el resultado de la media  $\mu$ , la moda  $Mo$ , la mediana  $Me$  y la desviación estándar  $\sigma$ :

$$SK_1 = \frac{\mu - Mo}{\sigma} = \frac{3(\mu - Me)}{\sigma}$$

## 4.2. Probabilidad

“Es una base matemática para la predicción, la cual, para un conjunto exhaustivo de resultados, es la relación entre el número de resultados que producen un evento particular y el número posible de resultados”<sup>21</sup>.

“El término probabilidad se refiere al estudio de la aleatoriedad y la incertidumbre. En cualquier situación donde podría ocurrir uno de varios resultados posibles, la teoría de la probabilidad proporciona métodos para cuantificar las probabilidades relacionadas con varios resultados”<sup>22</sup>.

Siguiendo lo establecido en la probabilidad: si un espacio muestral contiene  $N$  resultados igualmente probables, la probabilidad de cada resultado es  $1/N$ . La probabilidad de  $P(A)$  de un evento  $A$  que contiene  $k$  resultados, se obtiene con la suma de las probabilidades de los  $k$  resultados, es decir:

$$P(A) = \frac{k}{N}$$

---

<sup>21</sup> LINSLEY, Ray; KOHLER, Max; PAULS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. p. 281.

<sup>22</sup> DEVORE, Jay L.; *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 52.

La probabilidad tiene que cumplir tres reglas de sentido común. Estas son llamadas axiomas:

- Sea  $A$  un espacio muestral. Entonces  $P(A) = 1$ .
- Para cualquier evento  $A$ ,  $0 \leq P(A) \leq 1$ .
- Si  $A$  y  $B$  son eventos mutuamente excluyentes, entonces  $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ . De forma más general, si  $P(A_1 \cup A_2 \cup \dots) = P(A_1) + P(A_2) + \dots$

### 4.3. Distribuciones de probabilidad

A continuación se describen algunas de las distribuciones de probabilidad comúnmente usadas en la hidrología y su desarrollo como a la evaluación de sus parámetros.

#### 4.3.1. Distribuciones teóricas

La prueba de Bernoulli en la estadística es un experimento básico para entender el origen de las distribuciones teóricas. Básicamente en cada ensayo solamente es posible obtener dos resultados: favorable o desfavorable. En donde  $p$  se denota como la probabilidad de éxito y  $q$  la probabilidad de fracaso.

Entonces como ecuación se representa de la siguiente manera:

$$p + q = 1$$

#### 4.3.1.1. Distribución binomial

Para aplicar la distribución binomial asociada con un experimento se tienen que cumplir la siguiente lista de características:

- El experimento consiste en una secuencia de  $n$  experimentos más pequeños llamados ensayos, donde  $n$  se fija antes del experimento.
- Cada ensayo produce dos resultados posibles, que se denotan mediante éxito ( $p$ ) o fracaso ( $q$ ).
- Los ensayos son independientes.
- La probabilidad de éxito es constante de un ensayo a otro; esta probabilidad se denota con  $p$ .

#### 4.3.1.2. Distribución normal

Una de las distribuciones más utilizadas en la estadística es la distribución normal, también conocida como distribución de Gauss y además es la más importante en todo el campo de la estadística. En el campo de la investigación se aplica en áreas como los experimentos meteorológicos y estudios de lluvia a menudo se explican más que adecuadamente con una distribución normal.

La distribución normal es continua en vez de discreta. La media de una variable aleatoria normal puede tener cualquier valor y la varianza cualquier valor positivo. La función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$  en función del eje  $X$  está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

#### 4.3.1.3. Distribución lognormal

Es ideal para datos que tienen valores atípicos y es buena opción para estos conjuntos de datos. Esta se deriva de la distribución normal: si  $X$  es una variable aleatoria normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ , entonces la variable aleatoria  $Y = e^X$  tiene distribución lognormal con parámetros  $\mu$  y  $\sigma^2$ . Desde otra perspectiva,  $Y$  tiene una distribución normal con parámetros  $\mu$  y  $\sigma^2$ , entonces  $X = \ln Y$  tiene una distribución normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ .

La función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria lognormal está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} (\ln x - \mu)^2 \right]$$

#### 4.3.1.4. Distribución exponencial

Entre la variedad de distribuciones, que son utilizadas en ingeniería existe la distribución exponencial que básicamente es aplicada para numerosas situaciones que así lo requieran. Esta es una distribución continua que algunas veces es utilizada para modelar el tiempo que transcurre antes de que ocurra un evento. A este se le llama tiempo de espera.

La función de densidad de probabilidad tiene un parámetro que representa una constante positiva  $\lambda$ . Este valor determina la localización y forma de la función.



$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

#### 4.3.1.5. Distribución gamma

Es una distribución continua. Uno de sus propósitos es ampliar la utilidad de la distribución exponencial en el modelado de tiempos de espera.

La función de densidad de probabilidad gamma tiene dos parámetros,  $\alpha$  y  $\lambda$ , que son constantes positivas y se define como:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

La variable aleatoria continua  $X$  tiene una distribución gamma, con parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , y su función de densidad está dada por:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}$$

#### 4.3.2. Distribuciones extremas

La estadística presenta las distribuciones extremas debido a la consideración de los valores máximos y mínimos de una muestra. En este caso la distribución no será normal sino extrema para su respectivo análisis. En esta investigación se utilizó la distribución de Gumbel y el periodo de retorno para el análisis estadístico adecuado.

#### 4.3.2.1. Distribución de Gumbel

Es utilizada en estudios hidrológicos. Esta es empleada para representar el comportamiento de crecientes y sequias, a través de máximos y mínimos.

La descripción de esta distribución es básica, de  $N$  muestras se tienen  $n$  eventos y si se selecciona el máximo  $X$ , de dichos eventos, de cada una de las muestras, entonces la función de probabilidad a medida que  $n$  aumenta se representa:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

La función de densidad de probabilidad de Gumbel está dada por:

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

Es importante definir el cálculo de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la función:

$$\alpha = \frac{1,2825}{S} \quad \beta = \text{Media} - 0,45$$

#### 4.3.2.2. Periodo de retorno

“Se le denomina periodo de retorno al intervalo de recurrencia y lo define como el número de años que trascurren en promedio para que un evento sea igualado o excedido”<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> LINSLEY, Ray; KOHLER, Max; PAULS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. p. 282.

“Se define el periodo de retorno como el intervalo promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud  $x$  puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio”<sup>24</sup>.

El periodo de retorno  $T_r$  y la probabilidad  $P$  son recíprocos, es decir:

$$T_r = \frac{1}{P}$$

#### **4.4. Modelos matemáticos para la determinación de las curvas intensidad-duración-frecuencia**

Las curvas IDF se representan en forma gráfica para los distintos periodos de retorno generados, con la duración en el eje horizontal y la intensidad en el eje vertical. Sin embargo, es importante expresarlas con modelos matemáticos con el propósito de evitar la lectura de intensidad de lluvia en el análisis de una gráfica para un periodo de retorno de interés. Por ello, en el capítulo 6, se presentan los coeficientes que componen las ecuaciones del modelo estándar y el propuesto por Wenzel para cada estación analizada.

##### **4.4.1. Modelo estándar**

Este ha sido utilizado por el Insivumeh en estudios para el análisis del régimen de intensidades de lluvia en el país. El tipo de modelo para representar matemáticamente las curvas IDF se define de la siguiente manera:

---

<sup>24</sup> VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. p. 88.

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

Donde  $i$  es la intensidad de precipitación (mm/h) asociada a una frecuencia de ocurrencia, representada por el periodo de retorno ( $T_r$ ),  $t$  es el tiempo de concentración (min),  $a$ ,  $b$  y  $n$  son coeficientes que varían con el periodo de retorno analizado.

#### **4.4.2. Modelo propuesto por Wenzel**

Otro modelo que relaciona la intensidad de la lluvia con la duración y la frecuencia es el que Ven Te Chow, plantea a través de expresar las curvas IDF como ecuaciones. Este modelo fue deducido y propuesto por Wenzel para algunas ciudades de Estados Unidos, determinando algunos coeficientes que varían con el periodo de retorno analizado. El modelo propuesto por Wenzel se expresa de la siguiente manera:

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

Donde  $i$  es la intensidad de precipitación (mm/h),  $t$  es el tiempo de concentración (min),  $a$ ,  $b$  y  $n$  son coeficientes que varían con el periodo de retorno analizado.

## **5. CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA CADA ESTACIÓN CLIMÁTICA**

En este capítulo se presenta el resultado de las curvas IDF de cada estación climática analizada de la parte alta de la cuenca del río Chixoy. Básicamente se presentan las tablas de precipitación, probabilidad de lluvia y la representación gráfica de las curvas IDF para cada periodo de retorno. Este es el resultado del análisis basado en la distribución normal y de Wenzel.

Las cinco estaciones analizadas presentan registros importantes del pluviografo para este estudio. Aproximadamente 20 años de registro a través de las bandas pluviográficas, hay años en que no se cuenta con registro en los archivos del INDE. Por esta razón se establece un aproximado número de años en los que se cuenta con un registro de datos existentes de mucha importancia. Esta para generar las curvas IDF y tener una consistencia de datos para obtener resultados favorables en la zona en estudio.

Las tablas de probabilidad de lluvia son de importancia para generar las curvas IDF. Debido a que son los datos para obtener la representación gráfica de cada estación climática analizada. De los datos obtenidos en los periodos de retorno de 2, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75 y 100 años únicamente se representarán gráficamente los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años. Cada uno con su respectiva ecuación utilizando el modelo Wenzel, esto es debido a una mejor visualización y no tener saturada cada representación gráfica. Las ecuaciones generadas con el modelo estándar y el propuesto por Wenzel de todos los periodos de retorno pueden ser consultadas en el capítulo 6.

## 5.1. Estación climática Tonicapán

La tabla III representa la precipitación máxima dada en milímetros para cada discretización establecida y año analizado en la estación climática Tonicapán. Esto es producto de la lectura de las bandas del pluviógrafo siendo analizadas con una discretización de 10 minutos.

Tabla III. **Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática Tonicapán**

Año	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
1995	5,90	10,60	13,20	14,00	14,50	15,30	18,10	18,60	21,40	21,40	21,40
1998	3,50	6,00	7,70	9,60	11,20	12,10	19,00	25,10	32,60	32,60	32,60
1999	9,80	11,60	12,90	14,50	17,10	18,60	30,20	35,00	37,60	37,60	37,60
2000	10,10	20,10	30,10	32,00	38,70	39,80	55,00	60,00	60,00	60,00	60,00
2001	9,60	13,70	19,30	26,00	27,20	27,50	27,50	27,50	36,10	37,60	37,60
2002	7,90	10,90	15,40	18,40	19,30	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50	19,50
2004	11,30	21,30	31,80	42,30	52,50	54,30	57,20	61,20	87,90	87,90	87,90
2005	6,80	10,10	14,30	15,90	16,80	18,10	24,70	30,50	46,10	67,70	79,50
2006	5,50	8,30	10,90	12,50	13,10	14,60	16,60	18,60	19,80	19,80	19,80
2007	4,40	6,50	7,10	7,40	7,70	8,00	13,00	14,30	23,10	33,70	33,70
2008	9,70	14,80	16,50	18,60	19,70	20,60	29,40	35,40	47,20	48,90	48,90
2009	3,20	4,60	6,20	8,10	10,00	11,60	22,00	26,20	26,30	26,30	26,30
2012	18,40	28,30	34,30	37,50	37,90	37,90	37,90	37,90	44,90	44,90	44,90
2013	9,50	17,20	24,30	27,90	29,20	30,00	35,80	41,60	41,60	41,60	41,60
2014	6,70	12,20	16,70	19,80	20,20	20,60	20,60	23,40	40,10	68,90	106,80

Fuente: elaboración propia.

La tabla IV representa la precipitación dada en milímetros. Esto para los distintos periodos de retorno en la estación climática Totonicapán. Utilizando la distribución normal. Para obtener los datos de la precipitación se inició con la lectura de las bandas pluviográficas desde el año 1 995, contando con 51 tormentas representativas.

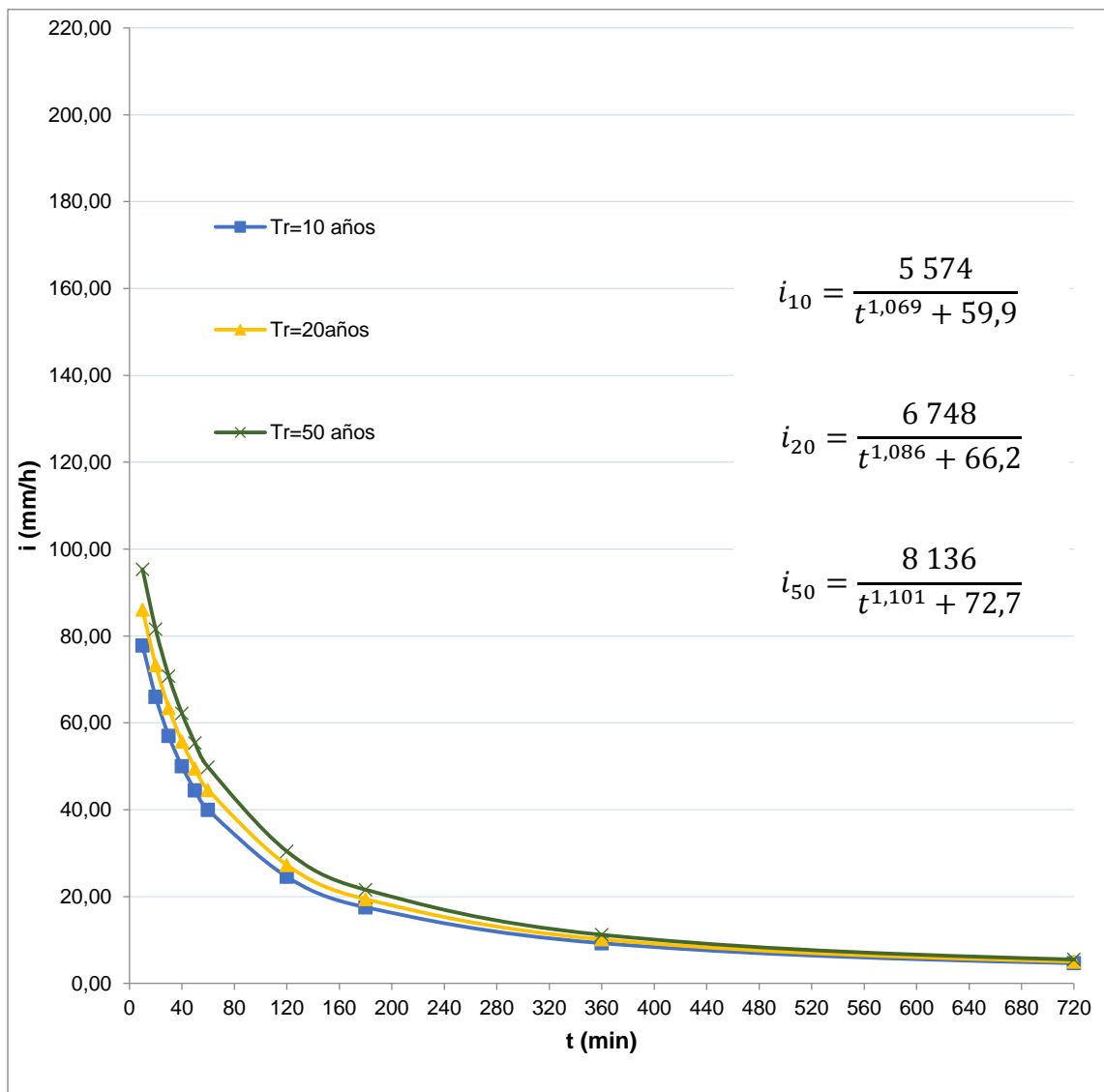
**Tabla IV. Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Totonicapán, utilizando la distribución normal**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución normal										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	2	48,92	39,24	34,76	30,45	26,81	23,23	14,22	10,55	6,49	3,60	1,94
0,80	5	68,20	55,49	49,86	43,93	39,49	33,84	19,79	14,51	9,01	5,02	2,86
0,90	10	78,28	63,98	57,75	50,98	46,11	39,38	22,70	16,58	10,33	5,76	3,34
0,93	15	83,31	68,22	61,69	54,50	49,42	42,15	24,15	17,61	10,98	6,13	3,58
0,95	20	86,60	70,99	64,26	56,80	51,59	43,96	25,10	18,29	11,42	6,37	3,74
0,96	25	89,03	73,04	66,16	58,50	53,18	45,29	25,80	18,79	11,73	6,55	3,85
0,97	30	90,93	74,64	67,66	59,83	54,44	46,34	26,35	19,18	11,98	6,69	3,95
0,98	50	95,97	78,89	71,60	63,35	57,75	49,11	27,81	20,21	12,64	7,06	4,19
0,99	75	99,69	82,03	74,52	65,96	60,20	51,16	28,88	20,98	13,13	7,33	4,36
0,99	100	102,21	84,15	76,49	67,72	61,85	52,55	29,61	21,50	13,46	7,52	4,48

Fuente: elaboración propia.

La figura 12 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática Tonicapán, utilizando la distribución normal.

Figura 12. **Curvas IDF de la estación climática Tonicapán, utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.



La tabla V representa la precipitación dada en milímetros para los distintos periodos de retorno en la estación climática Totonicapán, utilizando la distribución de Gumbel.

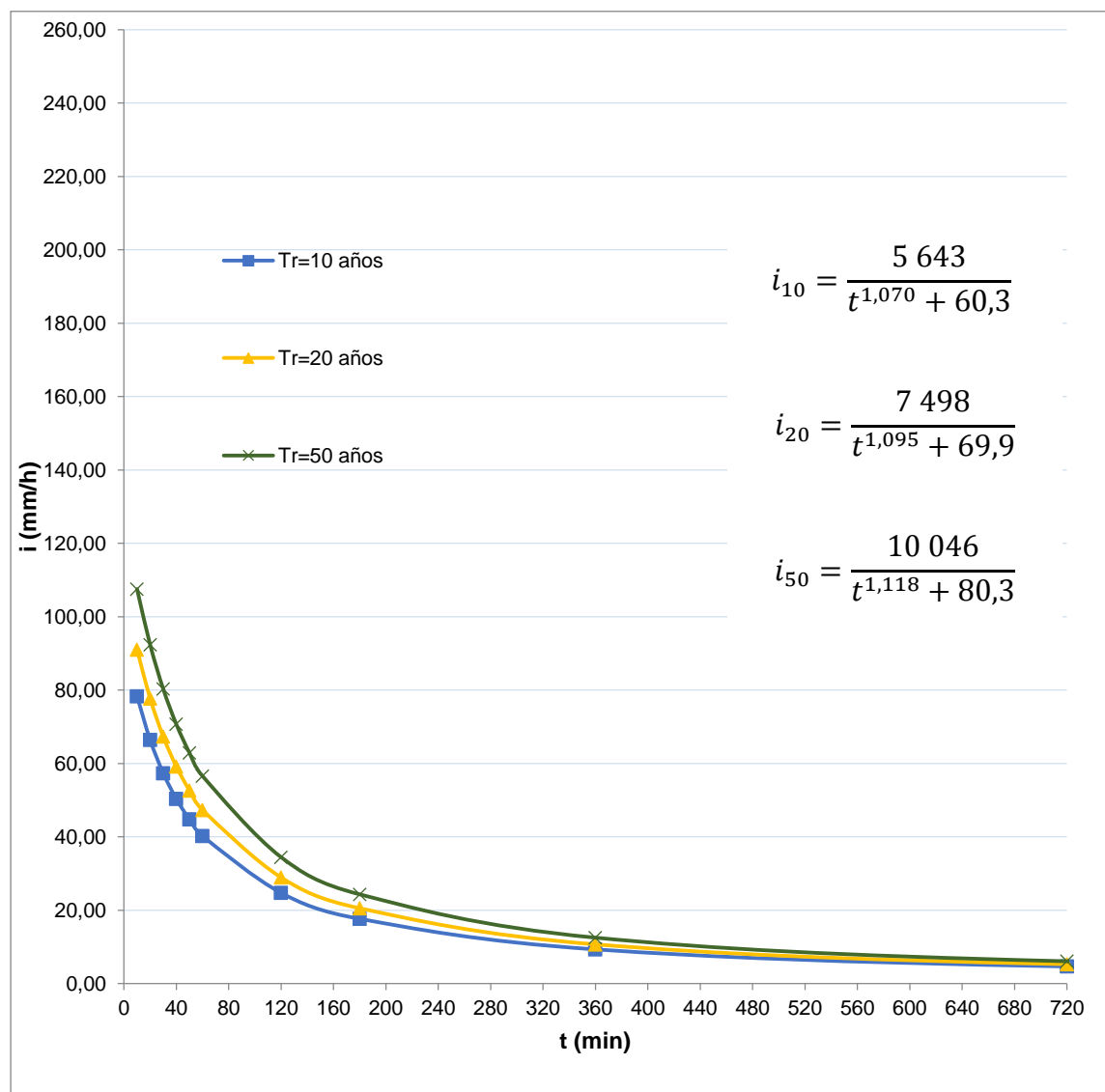
**Tabla V. Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Totonicapán, utilizando la distribución de Gumbel**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución de Gumbel										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	<b>2</b>	45,16	36,07	31,81	27,82	24,33	21,16	13,13	9,78	6,00	3,33	1,76
0,80	<b>5</b>	65,40	53,13	47,67	41,98	37,65	32,30	18,98	13,94	8,65	4,81	2,73
0,90	<b>10</b>	78,81	64,43	58,16	51,35	46,46	39,67	22,85	16,69	10,40	5,80	3,37
0,93	<b>15</b>	86,37	70,80	64,08	56,64	51,44	43,83	25,04	18,24	11,38	6,35	3,73
0,95	<b>20</b>	91,66	75,26	68,23	60,34	54,92	46,75	26,56	19,33	12,08	6,74	3,98
0,96	<b>25</b>	95,74	78,70	71,42	63,19	57,60	48,99	27,74	20,17	12,61	7,04	4,17
0,97	<b>30</b>	99,06	81,49	74,02	65,51	59,78	50,81	28,70	20,85	13,04	7,29	4,33
0,98	<b>50</b>	108,31	89,29	81,26	71,98	65,86	55,90	31,37	22,75	14,25	7,97	4,77
0,99	<b>75</b>	115,61	95,44	86,98	77,09	70,66	59,92	33,48	24,25	15,21	8,50	5,12
0,99	<b>100</b>	120,78	99,80	91,03	80,70	74,06	62,76	34,98	25,31	15,88	8,88	5,37

Fuente: elaboración propia.

La figura 13 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática Tonicapán, utilizando la distribución de Gumbel.

Figura 13. **Curvas IDF de la estación climática Tonicapán, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Estación climática El Paradillo

La tabla VI representa la precipitación máxima dada en milímetros para cada discretización establecida y año analizado en la estación climática El Paradillo. Esto es producto de la lectura de las bandas del pluviógrafo, siendo estas analizadas con una discretización de 10 min.

Tabla VI. **Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática El Paradillo**

Año	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
1978	8,50	13,00	19,30	23,80	25,00	26,80	37,00	40,90	46,50	46,50	46,50
1979	16,70	23,10	30,70	34,80	40,40	43,20	66,50	71,40	72,80	72,80	72,80
1980	7,90	14,20	16,40	19,30	20,10	21,50	24,20	27,20	28,50	28,50	28,50
1981	7,10	10,10	12,90	17,20	18,20	20,30	36,60	49,90	57,60	59,10	59,10
1982	7,10	10,10	12,90	17,20	18,20	20,30	36,60	49,90	57,60	59,10	59,10
1983	6,20	9,00	11,10	12,90	13,70	14,20	16,70	18,90	33,40	36,00	36,00
1984	3,60	5,80	7,00	8,80	11,70	13,90	18,60	20,70	25,70	38,70	38,70
1985	20,40	23,60	30,80	35,50	38,70	42,20	51,70	56,10	62,20	70,00	70,00
1988	9,50	17,60	24,70	24,90	24,90	25,00	30,40	36,20	44,90	44,90	44,90
1989	9,50	15,40	19,50	21,40	22,90	27,40	32,40	41,90	61,70	64,30	64,30
1990	8,60	13,70	18,50	22,20	25,20	28,60	53,70	55,70	55,70	55,70	55,70
1994	21,80	24,60	27,10	33,90	38,40	40,50	46,90	48,90	48,90	48,90	48,90
1995	9,60	18,50	25,30	29,40	32,50	33,90	40,80	42,10	55,60	55,90	55,90
1996	9,50	18,20	20,60	24,60	26,40	28,30	30,80	32,80	37,70	40,50	40,50
1997	8,90	15,10	21,50	27,70	32,70	35,70	41,50	43,20	43,20	43,20	43,20
1998	9,80	11,70	16,50	17,90	20,60	26,10	36,70	39,40	39,50	39,50	39,50
1999	12,10	17,60	24,20	30,80	34,00	38,80	53,70	57,80	67,80	72,10	72,10
2000	14,10	19,10	29,30	29,80	34,70	35,10	38,90	46,20	59,90	65,10	65,10
2001	14,70	23,00	33,20	36,50	37,30	37,80	39,40	52,80	62,50	62,50	62,50
2002	4,40	8,40	11,70	13,70	15,60	16,00	23,20	24,30	34,10	34,10	34,10
2005	20,80	30,60	35,80	39,40	42,00	44,60	46,20	46,30	46,30	46,30	46,30
2007	8,90	13,20	16,10	20,40	24,40	27,20	31,80	32,10	32,10	32,10	32,10
2010	15,10	24,00	30,40	33,30	35,10	36,80	45,40	64,10	66,40	66,40	75,40
2011	23,20	39,60	41,20	41,90	42,80	42,80	56,80	57,60	57,60	57,60	57,60
2012	24,90	31,50	37,30	39,50	45,90	47,30	59,20	59,20	59,20	59,20	59,20

Fuente: elaboración propia.

La tabla VII representa la precipitación dada en milímetros para los distintos periodos de retorno en la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución normal. Para obtener los datos de la precipitación se inició con la lectura de las bandas pluviográficas desde 1978, contando con 60 tormentas representativas.

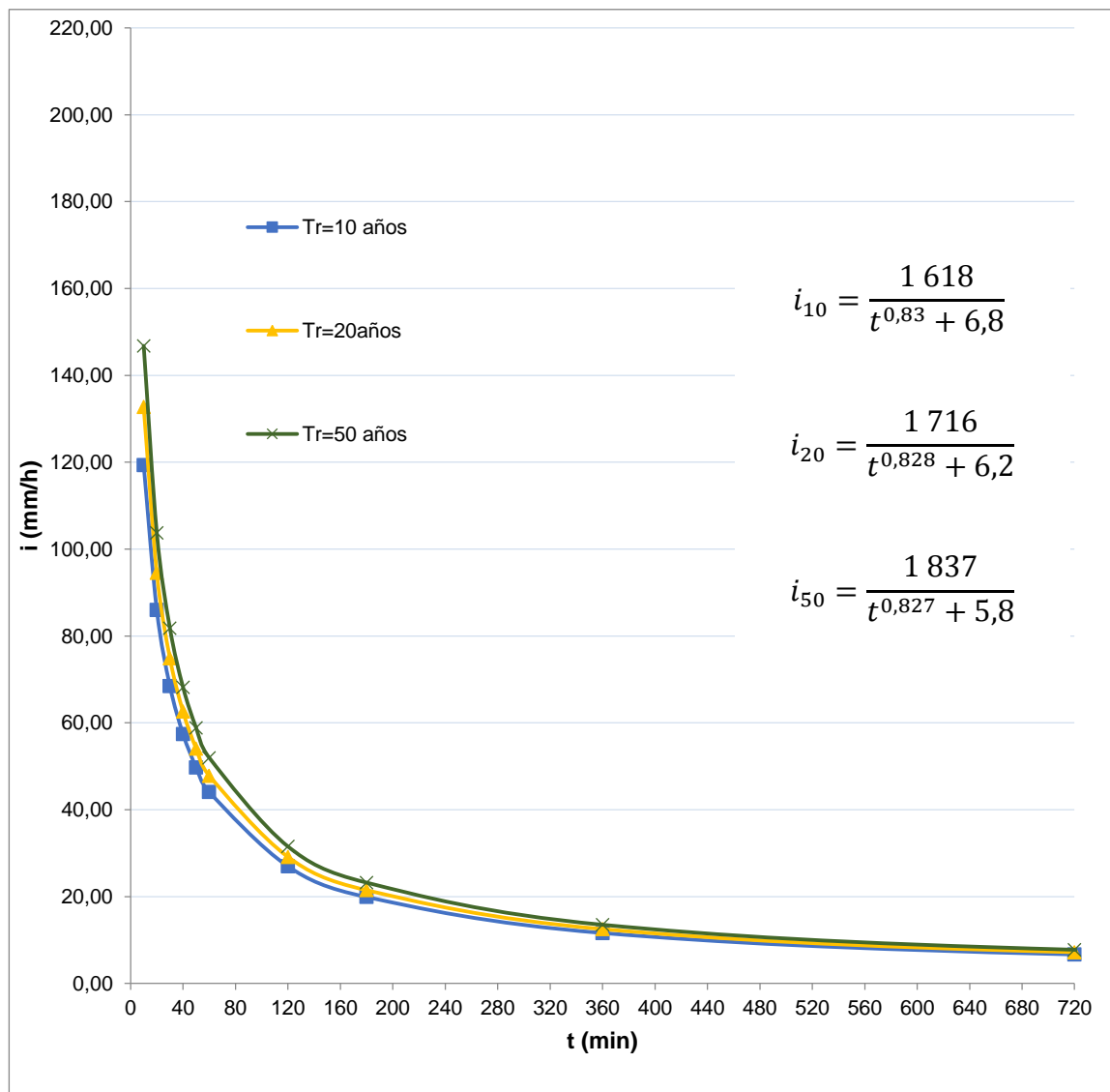
Tabla VII. **Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución normal**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución normal										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	2	72,58	54,36	46,25	39,52	34,70	31,02	19,66	14,54	8,18	4,22	2,13
0,80	5	103,21	74,47	61,21	51,01	44,64	39,36	25,16	18,49	10,14	5,21	2,64
0,90	10	119,23	84,98	69,02	57,01	49,83	43,72	28,03	20,56	11,16	5,72	2,90
0,93	15	127,22	90,23	72,93	60,01	52,43	45,89	29,46	21,59	11,67	5,98	3,04
0,95	20	132,45	93,66	75,48	61,97	54,12	47,31	30,40	22,26	12,01	6,15	3,13
0,96	25	136,30	96,19	77,36	63,41	55,37	48,36	31,09	22,76	12,25	6,27	3,19
0,97	30	139,33	98,18	78,84	64,55	56,36	49,19	31,64	23,15	12,45	6,37	3,24
0,98	50	147,34	103,43	82,75	67,55	58,95	51,36	33,07	24,18	12,96	6,63	3,37
0,99	75	153,26	107,32	85,64	69,77	60,87	52,98	34,14	24,94	13,34	6,82	3,47
0,99	100	157,26	109,95	87,59	71,27	62,17	54,07	34,85	25,46	13,59	6,95	3,54

Fuente: elaboración propia.

La figura 14 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución normal.

Figura 14. **Curvas IDF de la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla VIII representa la precipitación dada en milímetros para los distintos periodos de retorno en la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución de Gumbel.

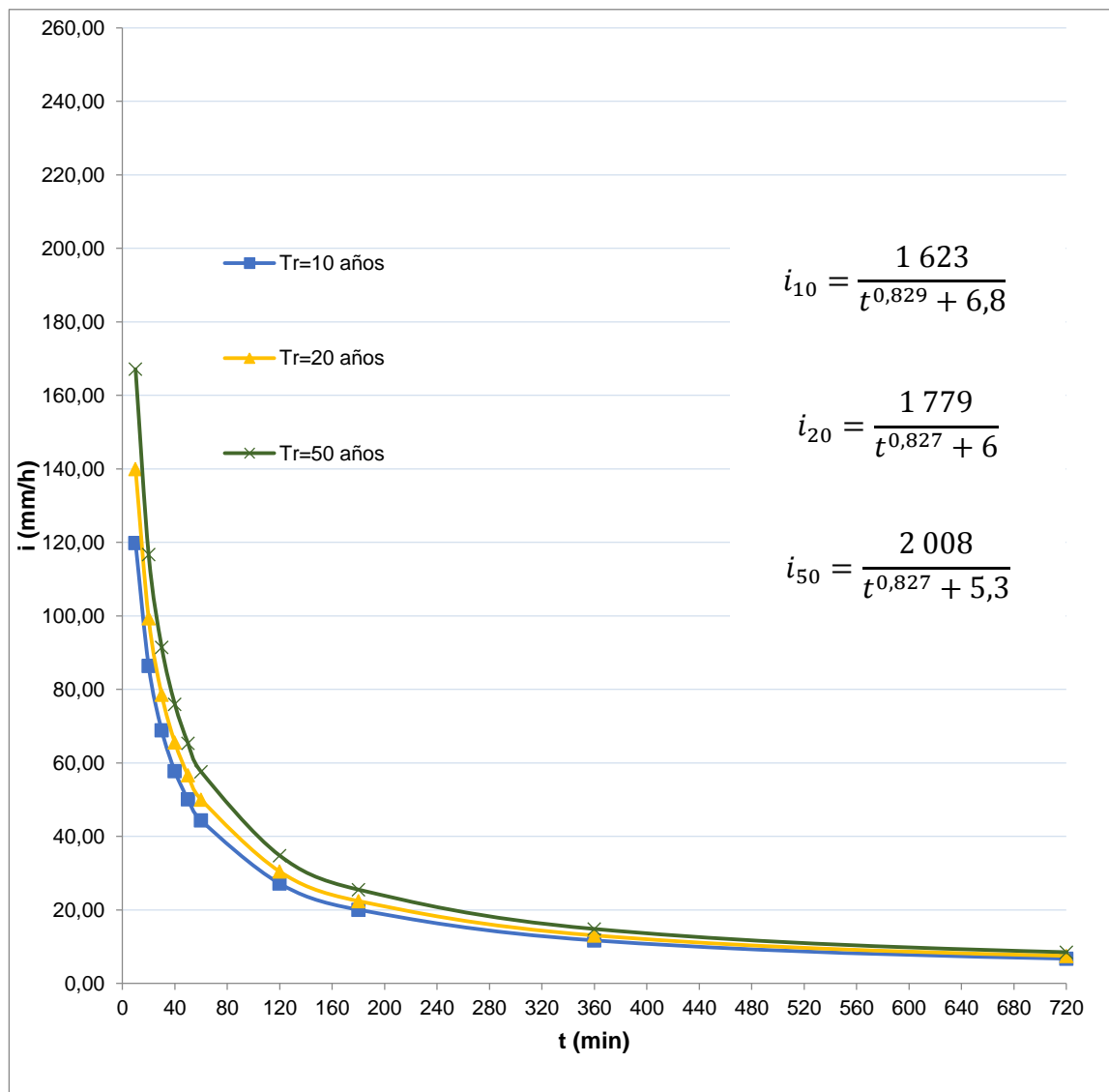
Tabla VIII. **Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución de Gumbel**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución de Gumbel										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	<b>2</b>	66,60	50,44	43,33	37,28	32,77	29,39	18,59	13,77	7,80	4,03	2,03
0,80	<b>5</b>	98,77	71,55	59,04	49,34	43,20	38,15	24,36	17,92	9,85	5,07	2,56
0,90	<b>10</b>	120,07	85,53	69,43	57,33	50,11	43,94	28,18	20,67	11,22	5,75	2,92
0,93	<b>15</b>	132,08	93,42	75,30	61,83	54,00	47,21	30,34	22,21	11,98	6,14	3,12
0,95	<b>20</b>	140,50	98,94	79,41	64,98	56,73	49,50	31,85	23,30	12,52	6,41	3,26
0,96	<b>25</b>	146,98	103,20	82,57	67,41	58,84	51,27	33,01	24,13	12,94	6,62	3,37
0,97	<b>30</b>	152,25	106,66	85,15	69,39	60,55	52,70	33,95	24,81	13,27	6,79	3,46
0,98	<b>50</b>	166,94	116,30	92,32	74,90	65,31	56,70	36,59	26,71	14,21	7,26	3,70
0,99	<b>75</b>	178,55	123,92	97,99	79,25	69,07	59,86	38,67	28,20	14,96	7,63	3,89
0,99	<b>100</b>	186,76	129,31	102,00	82,33	71,74	62,09	40,14	29,26	15,48	7,90	4,03

Fuente: elaboración propia.

La figura 15 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución de Gumbel.

Figura 15. **Curvas IDF de la estación climática El Paradillo, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

### 5.3. Estación climática Tierra Blanca

La tabla IX representa la precipitación máxima dada en milímetros para cada discretización establecida y año analizado en la estación climática Tierra Blanca. Esto es producto de la lectura de las bandas del pluviógrafo, siendo estas analizadas con una discretización de 10 min.

Tabla IX. **Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática Tierra Blanca**

Año	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
1990	6,10	11,30	15,40	17,30	18,80	20,30	36,30	37,10	37,10	37,10	37,10
1993	12,10	16,70	22,00	26,60	31,30	34,70	45,40	45,40	45,40	45,40	45,40
1995	7,50	12,30	16,60	21,60	28,60	33,10	33,90	33,90	33,90	33,90	33,90
1996	5,90	8,00	10,90	14,90	17,10	18,90	28,10	32,90	34,60	34,60	34,60
1997	9,40	17,60	21,90	23,90	27,20	30,60	55,00	63,10	90,10	90,20	90,20
1998	16,20	21,60	29,80	33,80	35,40	36,60	36,60	36,60	40,30	40,30	40,30
1999	7,00	10,80	13,80	16,60	20,40	23,00	35,60	40,10	40,60	47,60	47,60
2000	15,00	22,50	27,20	33,70	38,10	40,10	53,90	56,00	110,60	112,40	112,40
2001	15,00	29,30	42,90	48,20	50,20	52,30	54,50	55,20	55,20	55,20	55,20
2002	19,80	30,00	39,90	45,40	49,40	50,60	60,00	60,80	61,00	61,00	61,00
2003	12,20	20,70	26,20	30,00	32,00	40,00	61,40	70,30	70,30	70,30	70,30
2004	3,20	6,00	8,50	10,50	13,00	14,70	24,30	31,50	46,10	47,80	47,80
2005	10,90	20,20	23,40	26,00	29,10	31,20	36,50	40,50	40,70	40,70	40,70
2006	13,60	25,30	34,30	36,80	38,70	39,50	48,70	51,90	64,80	64,80	64,80
2010	16,00	18,40	21,10	27,40	32,80	36,50	48,30	50,00	50,00	58,30	58,30
2011	12,10	17,60	21,20	22,70	26,60	29,20	39,70	48,60	48,60	48,60	48,60
2012	12,10	22,70	28,90	33,40	37,10	40,20	45,20	51,70	62,30	65,00	65,00

Fuente: elaboración propia.



La tabla X representa la precipitación dada en milímetros para los distintos periodos de retorno en la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución normal. Para obtener los datos de la precipitación se inició con la lectura de las bandas pluviográficas desde 1990, contando con 49 tormentas representativas.

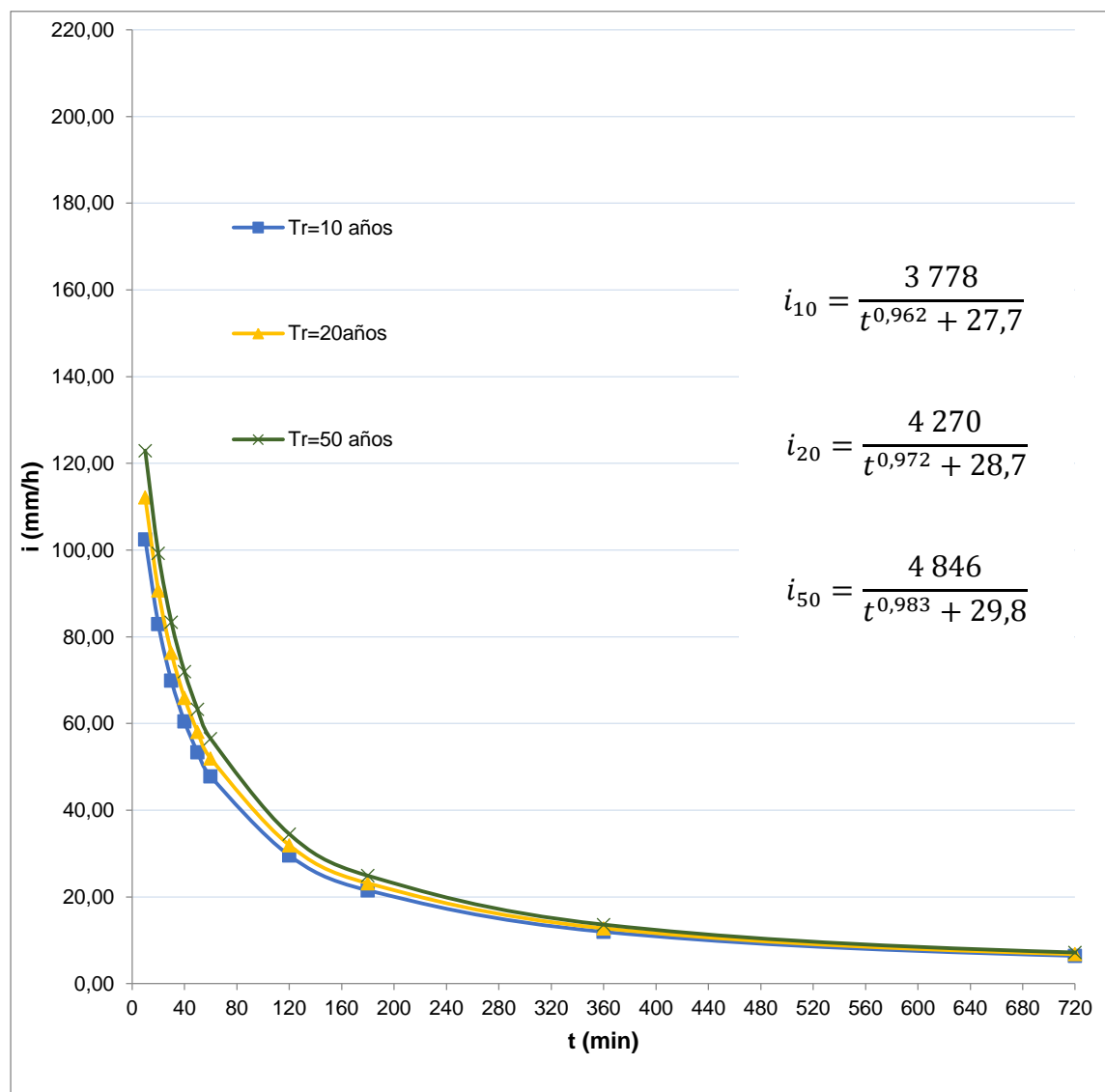
**Tabla X. Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución normal**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución normal										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	2	68,51	54,88	47,53	41,36	37,12	33,62	21,86	15,80	9,13	4,67	2,34
0,80	5	90,81	72,36	63,60	54,37	47,52	42,33	26,49	19,01	12,02	6,12	3,06
0,90	10	102,46	81,49	71,99	61,17	52,96	46,89	28,91	20,70	13,53	6,88	3,44
0,93	15	108,28	86,05	76,18	64,57	55,68	49,16	30,11	21,54	14,29	7,26	3,63
0,95	20	112,09	89,03	78,93	66,79	57,46	50,65	30,90	22,09	14,78	7,51	3,75
0,96	25	114,89	91,23	80,95	68,42	58,77	51,75	31,49	22,49	15,14	7,69	3,84
0,97	30	117,10	92,96	82,54	69,71	59,79	52,61	31,94	22,81	15,43	7,83	3,92
0,98	50	122,92	97,52	86,73	73,11	62,51	54,89	33,15	23,65	16,18	8,21	4,10
0,99	75	127,23	100,90	89,84	75,62	64,52	56,57	34,05	24,27	16,74	8,49	4,24
0,99	100	130,15	103,18	91,94	77,32	65,88	57,71	34,65	24,69	17,12	8,68	4,34

Fuente: elaboración propia.

La figura 16 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución normal.

Figura 16. **Curvas IDF de la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla XI representa la precipitación dada en milímetros. Esto para los distintos periodos de retorno en la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución de Gumbel.

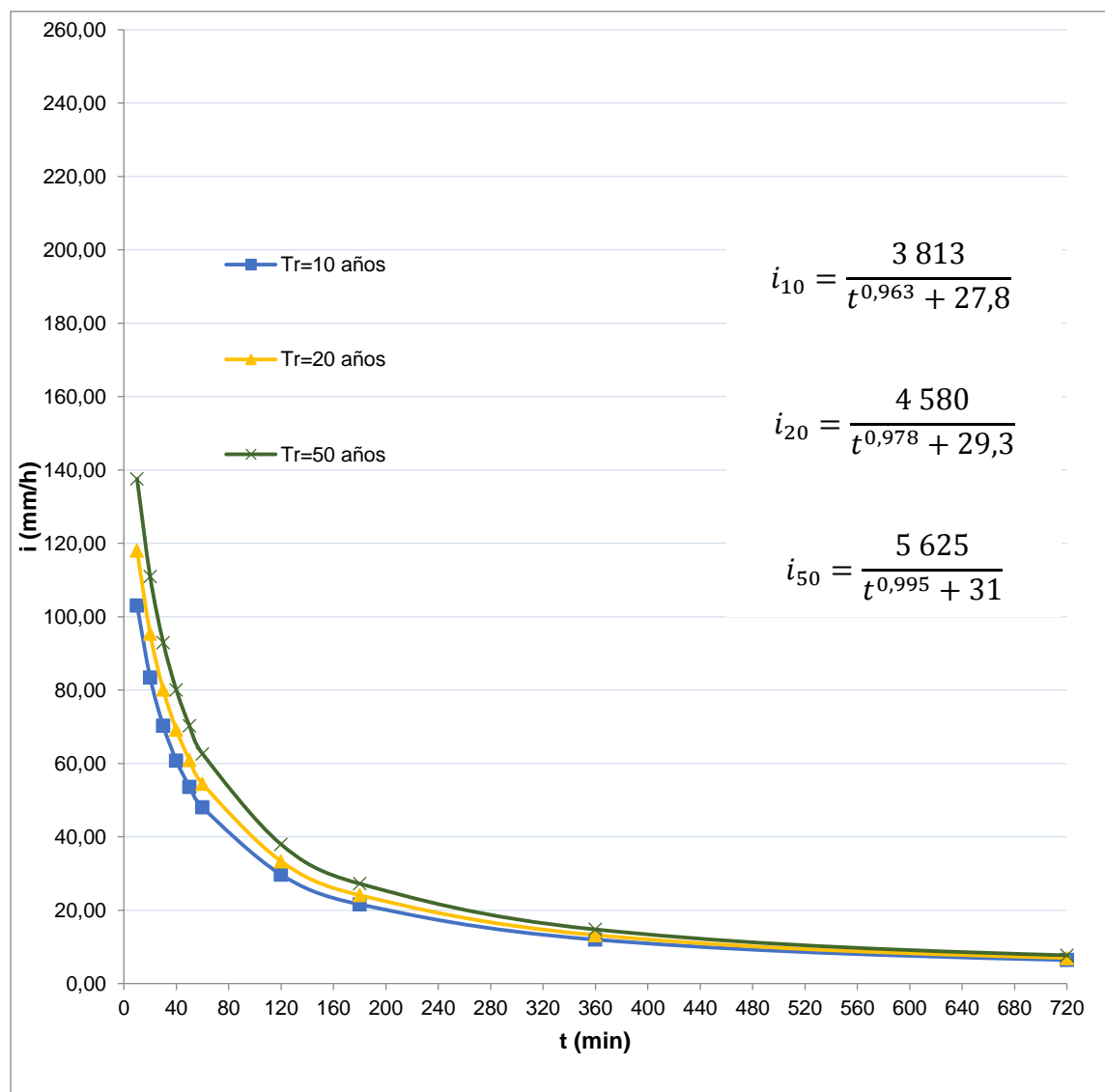
**Tabla XI. Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución de Gumbel**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución de Gumbel										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	<b>2</b>	64,15	51,47	44,39	38,83	35,08	31,92	20,96	15,17	8,57	4,39	2,19
0,80	<b>5</b>	87,57	69,82	61,26	52,49	46,01	41,07	25,82	18,55	11,60	5,91	2,96
0,90	<b>10</b>	103,07	81,97	72,43	61,53	53,25	47,13	29,03	20,78	13,61	6,92	3,46
0,93	<b>15</b>	111,82	88,82	78,73	66,63	57,33	50,55	30,85	22,05	14,75	7,49	3,74
0,95	<b>20</b>	117,94	93,62	83,15	70,21	60,19	52,94	32,12	22,93	15,54	7,89	3,94
0,96	<b>25</b>	122,66	97,32	86,54	72,96	62,39	54,78	33,10	23,61	16,15	8,19	4,10
0,97	<b>30</b>	126,50	100,32	89,31	75,20	64,18	56,28	33,89	24,16	16,65	8,44	4,22
0,98	<b>50</b>	137,19	108,70	97,01	81,43	69,17	60,46	36,11	25,71	18,03	9,14	4,57
0,99	<b>75</b>	145,64	115,32	103,10	86,36	73,12	63,76	37,86	26,93	19,13	9,69	4,84
0,99	<b>100</b>	151,62	120,01	107,41	89,85	75,91	66,10	39,10	27,79	19,90	10,07	5,04

Fuente: elaboración propia.

La figura 17 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución de Gumbel.

Figura 17. **Curvas IDF de la estación climática Tierra Blanca, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

#### 5.4. Estación climática Xequemeyá

La tabla XII representa la precipitación máxima dada en milímetros para cada discretización establecida y año analizado en la estación climática Xequemeyá. Es producto de la lectura de las bandas del pluviógrafo, siendo estas analizadas con una discretización de 10 min.

Tabla XII. **Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática Xequemeyá**

Año	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
1993	5,50	9,60	13,50	15,60	17,50	19,40	24,10	24,20	24,20	24,20	24,20
1999	5,80	7,80	11,20	12,40	13,30	14,00	16,60	16,60	16,60	16,60	16,60
2000	18,40	23,90	28,70	34,20	36,50	37,20	42,10	49,20	53,70	53,70	53,70
2001	7,30	11,10	15,80	20,70	22,90	25,40	31,30	35,60	36,00	36,00	36,00
2002	17,30	27,30	27,60	28,50	32,50	34,00	38,30	40,40	46,50	46,50	46,50
2003	9,90	18,40	25,60	32,60	35,10	35,50	45,20	47,40	47,40	47,40	47,40
2004	9,70	17,90	22,20	24,50	26,90	28,80	40,60	41,30	41,30	41,30	41,30
2005	20,20	38,80	51,80	63,90	64,60	67,30	68,80	68,80	68,80	68,80	68,80
2006	9,10	16,40	22,20	25,00	26,80	28,60	36,00	36,10	36,10	36,10	36,10
2008	5,70	8,60	12,20	15,40	18,30	19,20	24,70	27,50	28,60	28,60	28,60
2009	9,00	16,80	19,80	21,80	23,80	28,00	31,90	34,70	40,30	40,30	40,30
2010	12,50	20,70	27,90	33,40	36,20	37,40	41,10	41,10	52,10	88,90	100,60
2011	10,20	19,10	27,50	33,20	39,10	41,40	42,30	42,30	42,30	49,30	55,80
2012	11,80	22,30	30,50	33,50	35,50	35,70	36,10	36,10	36,10	36,10	36,10
2013	22,10	26,50	30,00	33,20	33,20	33,20	33,20	33,20	33,20	33,20	33,20

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIII representa la precipitación dada en milímetros para los distintos periodos de retorno en la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución normal. Para obtener los datos de la precipitación se inició con la lectura de las bandas pluviográficas desde 1993, contando con 56 tormentas representativas.

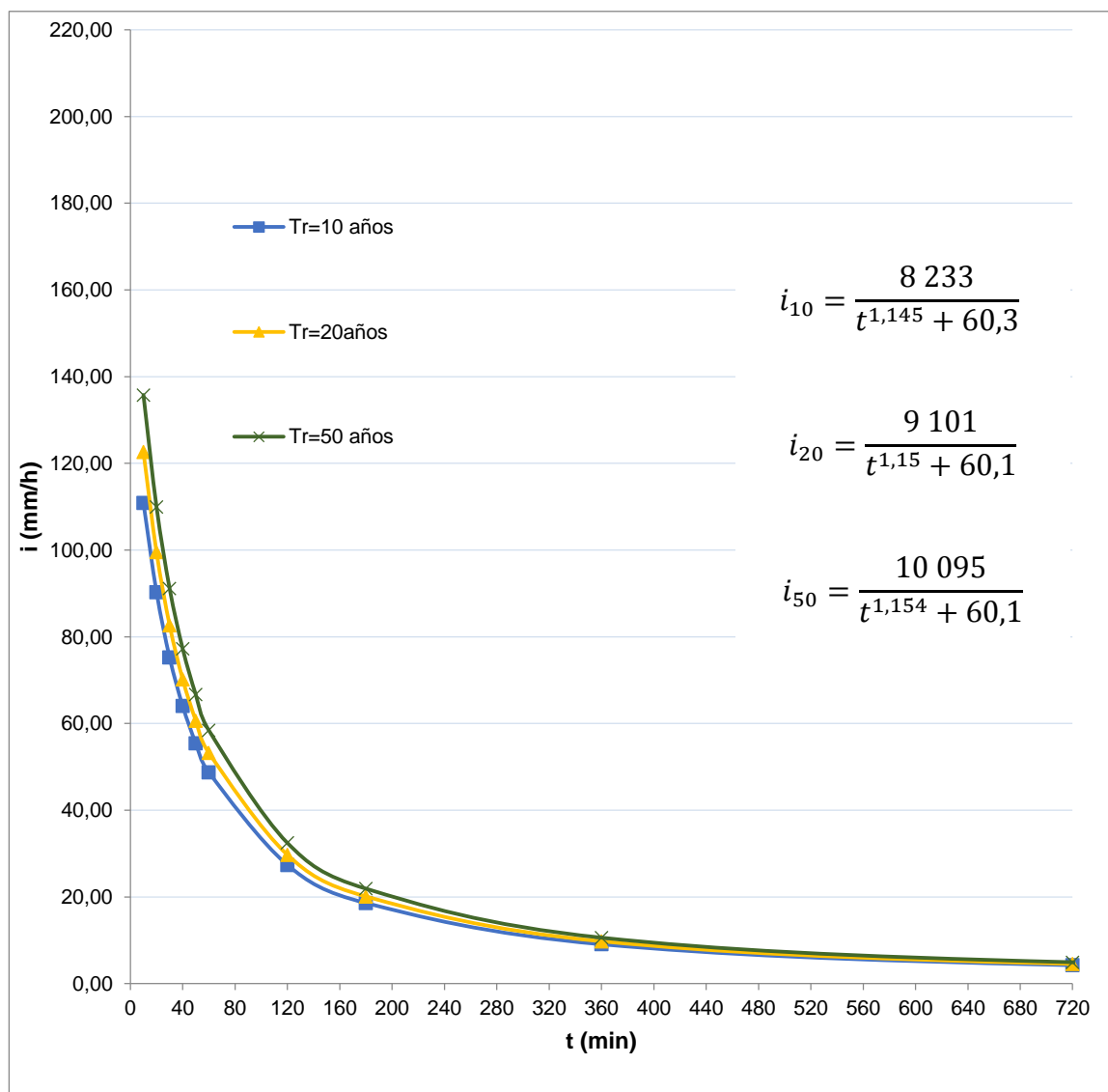
Tabla XIII. **Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución normal**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución normal										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	2	69,80	57,04	48,87	42,79	36,98	32,34	18,41	12,77	6,70	3,59	1,85
0,80	5	97,11	77,87	65,81	58,35	49,36	42,77	23,40	16,13	8,49	4,85	2,56
0,90	10	111,38	88,75	74,66	66,48	55,83	48,22	26,02	17,89	9,43	5,50	2,93
0,93	15	118,50	94,18	79,08	70,54	59,06	50,93	27,32	18,76	9,90	5,83	3,12
0,95	20	123,17	97,74	81,97	73,20	61,17	52,72	28,17	19,34	10,21	6,04	3,24
0,96	25	126,60	100,36	84,11	75,16	62,73	54,03	28,80	19,76	10,43	6,20	3,33
0,97	30	129,30	102,42	85,78	76,70	63,96	55,06	29,29	20,09	10,61	6,32	3,40
0,98	50	136,44	107,86	90,21	80,76	67,19	57,78	30,60	20,97	11,08	6,65	3,59
0,99	75	141,71	111,88	93,48	83,77	69,58	59,79	31,56	21,62	11,42	6,89	3,72
0,99	100	145,28	114,61	95,69	85,80	71,20	61,16	32,22	22,06	11,66	7,06	3,82

Fuente: elaboración propia.

La figura 18 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución normal.

Figura 18. **Curvas IDF de la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla XIV representa la precipitación dada en milímetros para los distintos periodos de retorno en la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución de Gumbel.

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

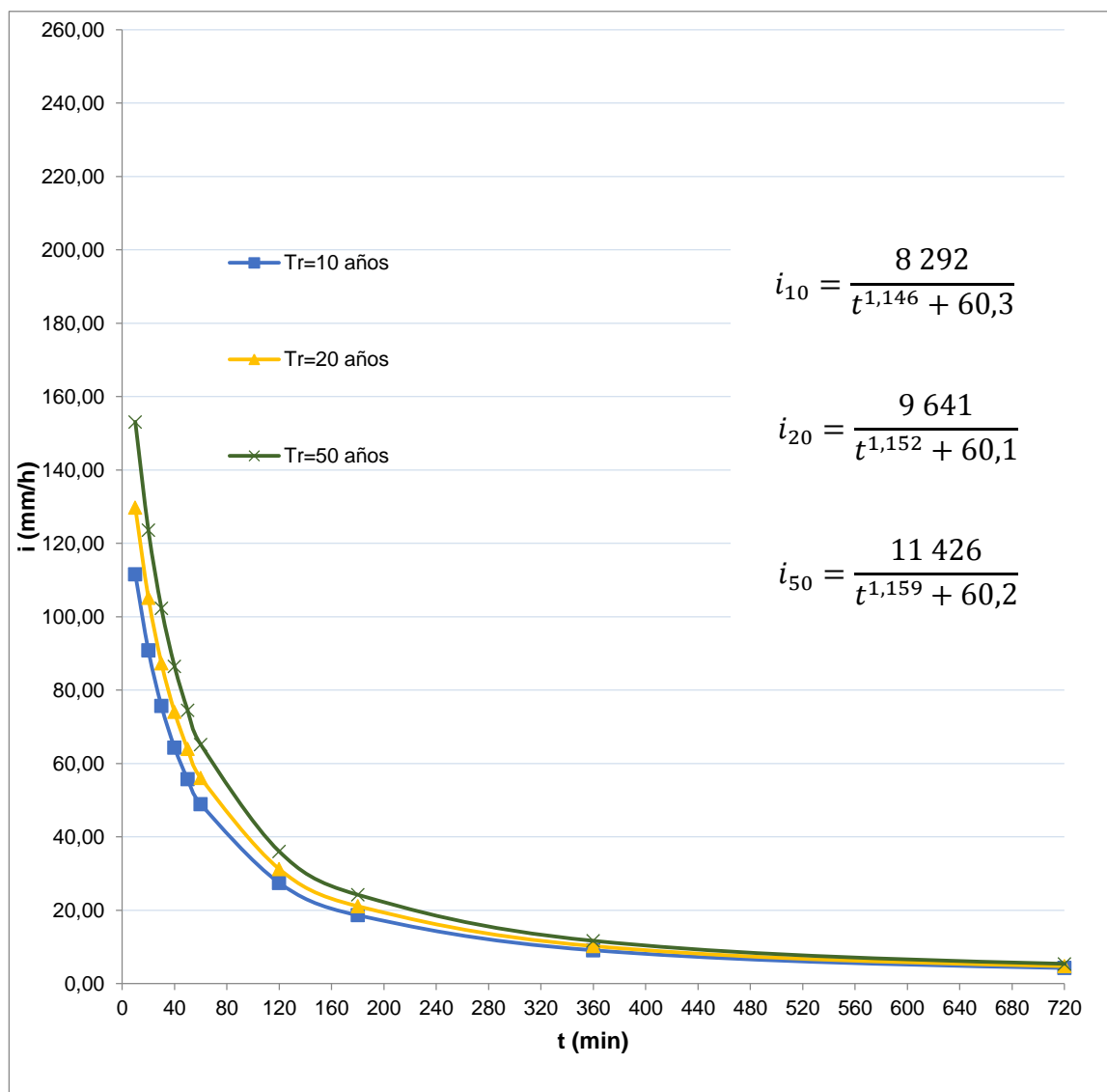
Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución de Gumbel										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	2	64,47	52,98	45,56	39,75	34,56	30,31	17,44	12,11	6,35	3,35	1,71
0,80	5	93,14	74,84	63,35	56,09	47,56	41,25	22,68	15,64	8,23	4,67	2,46
0,90	10	112,13	89,32	75,13	66,91	56,17	48,50	26,15	17,98	9,48	5,54	2,95
0,93	15	122,84	97,49	81,77	73,01	61,03	52,59	28,11	19,30	10,18	6,03	3,23
0,95	20	130,34	103,21	86,42	77,29	64,43	55,45	29,48	20,22	10,68	6,37	3,43
0,96	25	136,12	107,62	90,01	80,58	67,05	57,66	30,54	20,93	11,06	6,64	3,58
0,97	30	140,81	111,20	92,92	83,26	69,18	59,45	31,40	21,51	11,36	6,85	3,70
0,98	50	153,91	121,19	101,05	90,72	75,11	64,45	33,79	23,12	12,22	7,45	4,04
0,99	75	164,25	129,08	107,46	96,61	79,80	68,40	35,69	24,40	12,90	7,93	4,31
0,99	100	171,57	134,66	112,00	100,78	83,12	71,20	37,02	25,30	13,38	8,26	4,50

Fuente: elaboración propia.



La figura 19 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución de Gumbel.

Figura 19. **Curvas IDF de la estación climática Xequemeyá, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

## 5.5. Estación climática Serchil

La tabla XV representa la precipitación máxima dada en milímetros para cada discretización establecida y año analizado en la estación climática Serchil. Es producto de la lectura de las bandas del pluviógrafo, siendo estas analizadas con una discretización de 10 min.

Tabla XV. **Precipitación máxima según su discretización dada en la estación climática Serchil**

Año	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
1992	14,90	25,90	30,20	32,90	36,90	39,90	54,80	55,90	55,90	55,90	55,90
1998	19,50	26,00	28,60	33,40	33,70	37,80	41,10	41,10	41,10	41,10	41,10
1999	11,00	14,30	17,20	17,80	19,20	20,60	26,60	34,80	41,30	41,30	41,30
2000	4,70	9,00	13,20	14,90	18,60	22,10	32,70	35,40	37,60	37,60	37,60
2003	45,60	32,10	26,40	23,40	21,36	20,20	12,00	8,23	4,12	2,06	1,03
2004	19,00	29,10	40,00	46,50	50,30	53,30	57,70	61,70	63,50	63,50	63,50
2005	10,90	16,10	21,00	27,30	29,50	31,70	42,70	51,10	61,00	62,20	62,20
2006	17,00	27,20	34,20	36,30	37,40	37,70	40,80	43,50	66,80	66,80	66,80
2007	5,40	9,40	13,80	15,00	19,30	20,50	22,80	24,30	31,00	31,00	31,00
2008	19,70	29,60	38,80	41,30	42,10	45,50	51,40	55,60	55,60	55,60	55,60
2009	12,50	22,30	32,10	34,50	36,00	38,20	40,30	41,30	41,80	41,80	41,80
2010	10,00	15,10	19,40	23,30	27,60	30,90	42,90	44,70	81,60	86,40	86,40
2011	18,60	30,20	40,20	50,10	58,50	63,20	70,70	70,70	70,70	70,70	70,70
2012	29,90	40,80	48,60	55,30	59,90	65,20	82,10	86,10	87,80	87,80	87,80
2013	13,30	22,80	27,00	28,80	30,60	32,50	51,00	52,00	52,00	52,00	52,00
2014	20,90	29,90	38,80	39,70	39,70	40,10	46,80	49,90	49,90	49,90	49,90
2015	15,00	27,20	33,90	36,90	37,40	37,60	37,60	37,60	37,60	37,60	37,60

Fuente: elaboración propia.

La tabla XVI representa la precipitación dada en milímetros para los distintos periodos de retorno en la estación climática Serchil, utilizando la distribución normal. Para obtener los datos de la precipitación se inició con la lectura de las bandas pluviográficas desde 1992, contando con 66 tormentas representativas.

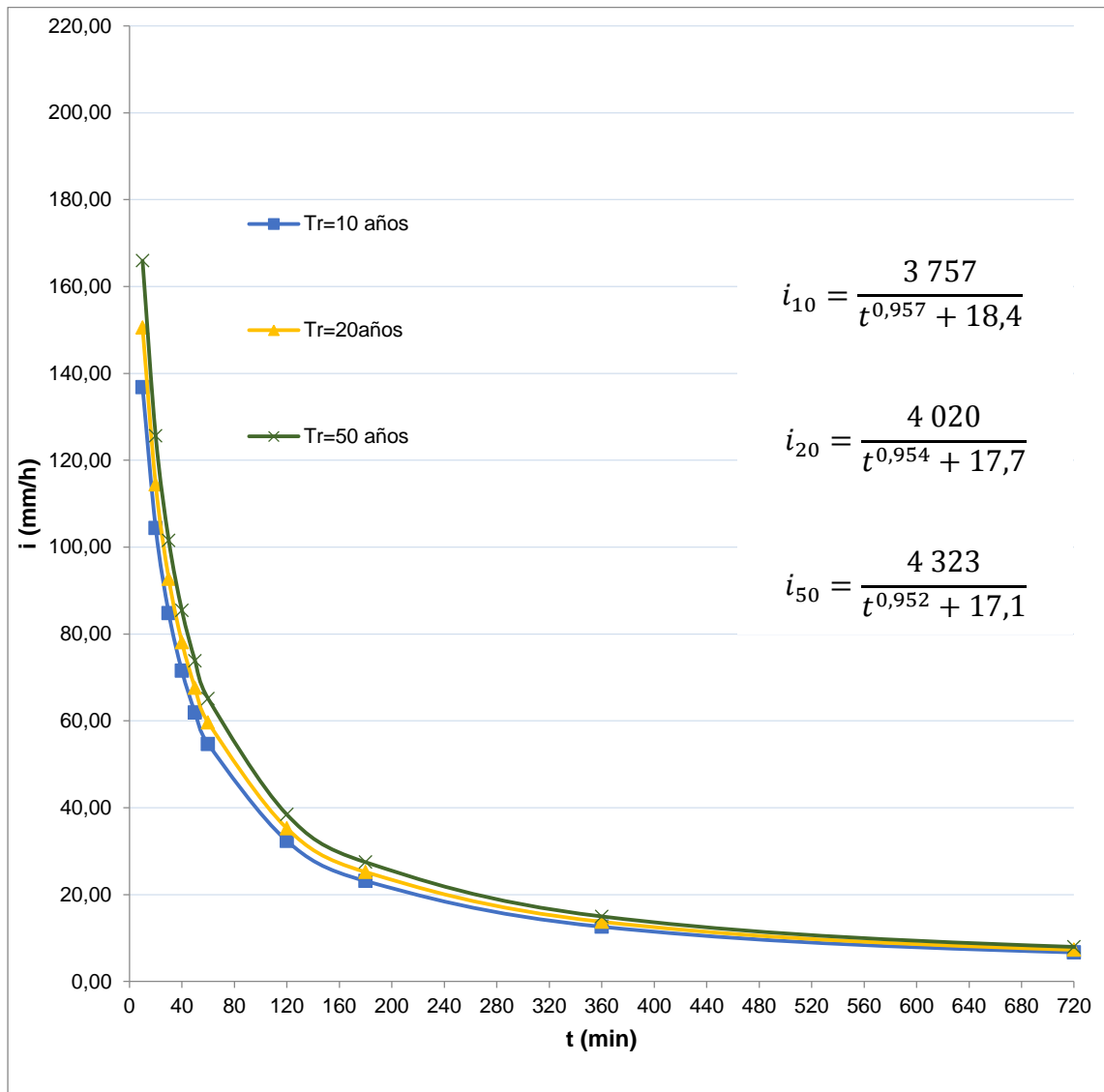
**Tabla XVI. Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Serchil, utilizando la distribución normal**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución normal										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	2	88,20	68,05	57,67	48,49	41,96	37,47	22,53	15,89	8,82	4,44	2,22
0,80	5	120,40	90,51	76,08	64,07	54,99	48,93	29,11	20,31	11,28	5,71	2,85
0,90	10	137,23	102,25	85,71	72,21	61,80	54,92	32,56	22,62	12,56	6,37	3,18
0,93	15	145,63	108,11	90,51	76,28	65,20	57,91	34,27	23,77	13,20	6,70	3,35
0,95	20	151,13	111,95	93,65	78,94	67,42	59,87	35,40	24,53	13,62	6,91	3,46
0,96	25	155,18	114,77	95,97	80,90	69,06	61,31	36,23	25,08	13,93	7,07	3,54
0,97	30	158,36	117,00	97,79	82,44	70,35	62,45	36,88	25,52	14,17	7,20	3,60
0,98	50	166,77	122,86	102,60	86,51	73,75	65,44	38,60	26,68	14,81	7,53	3,76
0,99	75	173,00	127,20	106,16	89,52	76,27	67,66	39,87	27,53	15,28	7,77	3,89
0,99	100	177,20	130,14	108,56	91,55	77,97	69,15	40,73	28,11	15,60	7,94	3,97

Fuente: elaboración propia.

La figura 20 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática Serchil, utilizando la distribución normal.

Figura 20. **Curvas IDF de la estación climática Serchil, utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla XVII representa la precipitación dada en milímetros para los distintos periodos de retorno en la estación climática Serchil, utilizando la distribución de Gumbel.

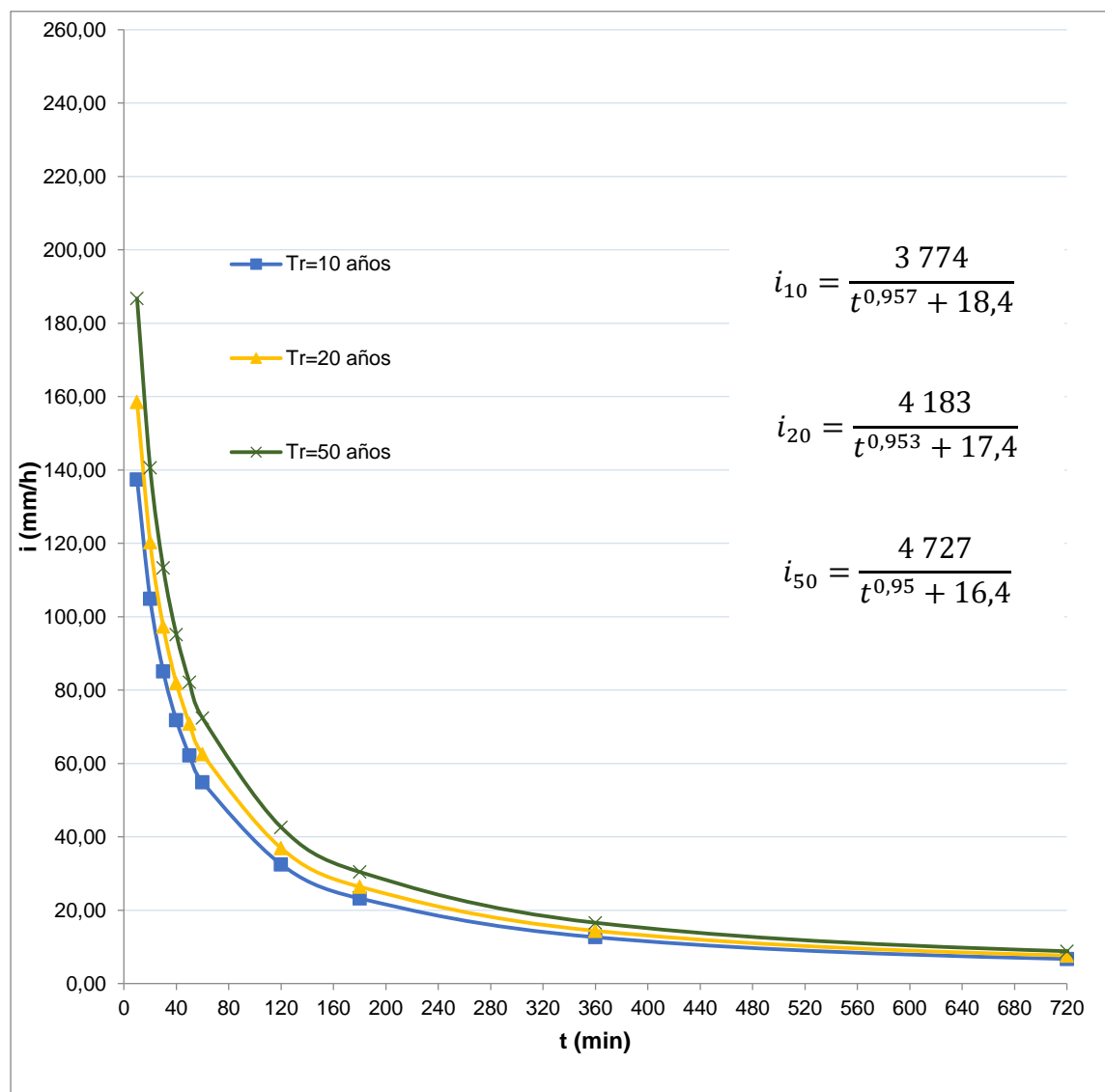
Tabla XVII. **Probabilidad de intensidad de lluvia máxima en la estación climática Serchil, utilizando la distribución de Gumbel**

Probabilidad	Periodo de retorno (años)	Distribución de Gumbel										
		Intensidad (mm/h)										
		10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
0,50	<b>2</b>	81,92	63,66	54,08	45,45	39,42	35,23	21,24	15,03	8,34	4,19	2,10
0,80	<b>5</b>	115,73	87,25	73,41	61,81	53,10	47,27	28,16	19,67	10,92	5,52	2,76
0,90	<b>10</b>	138,11	102,87	86,21	72,64	62,16	55,24	32,74	22,74	12,63	6,40	3,20
0,93	<b>15</b>	150,74	111,68	93,43	78,75	67,27	59,73	35,32	24,48	13,59	6,90	3,45
0,95	<b>20</b>	159,59	117,85	98,49	83,03	70,84	62,88	37,13	25,69	14,26	7,25	3,62
0,96	<b>25</b>	166,40	122,60	102,38	86,33	73,60	65,31	38,52	26,62	14,78	7,52	3,76
0,97	<b>30</b>	171,94	126,47	105,55	89,01	75,84	67,28	39,65	27,38	15,20	7,73	3,87
0,98	<b>50</b>	187,38	137,24	114,38	96,48	82,09	72,78	42,81	29,50	16,38	8,34	4,17
0,99	<b>75</b>	199,58	145,75	121,35	102,38	87,02	77,12	45,31	31,18	17,31	8,82	4,41
0,99	<b>100</b>	208,21	151,77	126,29	106,55	90,52	80,19	47,07	32,36	17,97	9,16	4,58

Fuente: elaboración propia.

La figura 21 representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 10, 20 y 50 años de la estación climática Serchil, utilizando la distribución de Gumbel.

Figura 21. **Curvas IDF de la estación climática Serchil, utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

## **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El resultado de las curvas IDF generadas de las estaciones climáticas analizadas de la parte alta de la cuenca del río Chixoy se da a conocer en este capítulo. Básicamente consiste en comparar el modelo estándar y el propuesto por Wenzel para establecer el modelo que más se ajusta a cada estación. Esto para generar las ecuaciones matemáticas de dichos modelos con ayuda del programa Canopy, cuyo entorno presenta una multiplataforma que analiza y visualiza datos que previamente son analizados aplicando las ciencias básicas. En el caso de este estudio fue de gran ayuda, únicamente se necesitó ingresar los datos de intensidad de lluvia para cada periodo de retorno obtenidos con la distribución normal y de Gumbel.

En este capítulo se concluye con lo establecido en el objetivo principal de este estudio, a través de la generación de coeficientes para las ecuaciones del modelo estándar y el propuesto por Wenzel. Así también la sumatoria del error relativo al cuadrado de cada periodo de retorno que es determinante para establecer el modelo que más se ajusta a cada estación analizada.

### **6.1. Comparación de modelos de ajuste**

Los resultados que se presentan en las siguientes tablas establecen los valores de los coeficientes que componen las ecuaciones del modelo estándar y el propuesto por Wenzel.

### 6.1.1. Estación climática Totonicapán

La tabla XVIII establece los coeficientes de la ecuación del modelo estándar de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado. Esto para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Totonicapán.

Tabla XVIII. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Totonicapán**

Periodo de retorno (años)	Modelo estándar							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	1,78E+03	3,41E+01	9,50E-01	1,73E-02	1,38E+03	3,12E+01	9,21E-01	1,04E-02
5	4,76E+03	4,54E+01	1,06E+00	1,22E-01	4,22E+03	4,40E+01	1,05E+00	9,80E-02
10	7,01E+03	4,97E+01	1,10E+00	2,38E-01	7,13E+03	4,99E+01	1,10E+00	2,45E-01
15	8,34E+03	5,17E+01	1,12E+00	3,15E-01	9,19E+03	5,27E+01	1,13E+00	3,67E-01
20	9,23E+03	5,28E+01	1,13E+00	3,73E-01	1,08E+04	5,45E+01	1,14E+00	4,72E-01
25	9,95E+03	5,36E+01	1,14E+00	4,17E-01	1,21E+04	5,57E+01	1,16E+00	5,60E-01
30	1,05E+04	5,42E+01	1,14E+00	4,58E-01	1,31E+04	5,66E+01	1,16E+00	6,42E-01
50	1,21E+04	5,57E+01	1,16E+00	5,67E-01	1,65E+04	5,90E+01	1,19E+00	8,97E-01
75	1,34E+04	5,68E+01	1,17E+00	6,59E-01	1,93E+04	6,07E+01	1,20E+00	1,13E+00
100	1,42E+04	5,75E+01	1,17E+00	7,23E-01	2,15E+04	6,18E+01	1,21E+00	1,32E+00

Fuente: elaboración propia.



La tabla XIX establece los coeficientes de la ecuación del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Totonicapán.

Tabla XIX. **Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Totonicapán**

Periodo de retorno (años)	Modelo Wenzel							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	2,05E+03	3,26E+01	9,72E-01	1,80E-02	1,69E+03	2,85E+01	9,52E-01	1,11E-02
5	4,24E+03	5,15E+01	1,04E+00	1,14E-01	3,89E+03	4,89E+01	1,04E+00	9,34E-02
10	5,57E+03	5,99E+01	1,07E+00	2,15E-01	5,64E+03	6,03E+01	1,07E+00	2,22E-01
15	6,29E+03	6,39E+01	1,08E+00	2,80E-01	6,72E+03	6,61E+01	1,09E+00	3,25E-01
20	6,75E+03	6,62E+01	1,09E+00	3,30E-01	7,50E+03	6,99E+01	1,09E+00	4,12E-01
25	7,10E+03	6,80E+01	1,09E+00	3,66E-01	8,11E+03	7,26E+01	1,10E+00	4,84E-01
30	7,39E+03	6,94E+01	1,09E+00	4,01E-01	8,61E+03	7,47E+01	1,11E+00	5,50E-01
50	8,14E+03	7,27E+01	1,10E+00	4,90E-01	1,00E+04	8,03E+01	1,12E+00	7,55E-01
75	8,71E+03	7,52E+01	1,11E+00	5,64E-01	1,12E+04	8,43E+01	1,13E+00	9,44E-01
100	9,09E+03	7,67E+01	1,11E+00	6,16E-01	1,21E+04	8,70E+01	1,13E+00	1,09E+00

Fuente: elaboración propia.

### 6.1.2. Estación climática El Paradillo

La tabla XX establece los coeficientes de la ecuación del modelo estándar de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática El Paradillo.

Tabla XX. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática El Paradillo**

Periodo de retorno (años)	Modelo estándar							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	1,09E+03	1,75E+01	8,20E-01	1,65E-02	1,12E+03	1,99E+01	8,33E-01	1,62E-02
5	1,17E+03	1,14E+01	7,96E-01	1,75E-02	1,15E+03	1,19E+01	7,97E-01	1,72E-02
10	1,27E+03	9,90E+00	7,93E-01	2,01E-02	1,28E+03	9,83E+00	7,93E-01	2,02E-02
15	1,33E+03	9,37E+00	7,93E-01	2,19E-02	1,37E+03	9,09E+00	7,93E-01	2,33E-02
20	1,37E+03	9,07E+00	7,93E-01	2,33E-02	1,43E+03	8,67E+00	7,93E-01	2,64E-02
25	1,40E+03	8,87E+00	7,93E-01	2,47E-02	1,48E+03	8,39E+00	7,93E-01	2,87E-02
30	1,42E+03	8,73E+00	7,93E-01	2,58E-02	1,52E+03	8,20E+00	7,94E-01	3,11E-02
50	1,48E+03	8,38E+00	7,93E-01	2,91E-02	1,64E+03	7,72E+00	7,95E-01	3,96E-02
75	1,53E+03	8,16E+00	7,94E-01	3,19E-02	1,74E+03	7,43E+00	7,96E-01	4,77E-02
100	1,56E+03	8,02E+00	7,94E-01	3,37E-02	1,81E+03	7,25E+00	7,97E-01	5,42E-02

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXI establece los coeficientes de la ecuación del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática El Paradillo.

**Tabla XXI. Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática El Paradillo**

Periodo de retorno (años)	Modelo Wenzel							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	1,45E+03	1,28E+01	8,62E-01	9,10E-03	1,48E+03	1,49E+01	8,74E-01	9,48E-03
5	1,52E+03	7,91E+00	8,35E-01	9,59E-03	1,49E+03	8,32E+00	8,37E-01	9,28E-03
10	1,62E+03	6,84E+00	8,30E-01	1,22E-02	1,62E+03	6,79E+00	8,29E-01	1,23E-02
15	1,68E+03	6,47E+00	8,29E-01	1,40E-02	1,71E+03	6,27E+00	8,28E-01	1,54E-02
20	1,72E+03	6,25E+00	8,28E-01	1,54E-02	1,78E+03	5,97E+00	8,27E-01	1,84E-02
25	1,75E+03	6,11E+00	8,28E-01	1,68E-02	1,83E+03	5,78E+00	8,27E-01	2,08E-02
30	1,77E+03	6,01E+00	8,27E-01	1,78E-02	1,88E+03	5,64E+00	8,27E-01	2,32E-02
50	1,84E+03	5,77E+00	8,27E-01	2,11E-02	2,01E+03	5,32E+00	8,27E-01	3,17E-02
75	1,89E+03	5,61E+00	8,27E-01	2,38E-02	2,11E+03	5,12E+00	8,27E-01	3,98E-02
100	1,92E+03	5,52E+00	8,27E-01	2,57E-02	2,19E+03	5,00E+00	8,28E-01	4,65E-02

Fuente: elaboración propia.

### 6.1.3. Estación climática Tierra Blanca

La tabla XXII establece los coeficientes de la ecuación del modelo estándar de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Tierra Blanca.

Tabla XXII. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Tierra Blanca**

Periodo de retorno (años)	Modelo estándar							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	1,75E+03	3,00E+01	8,80E-01	5,58E-03	1,60E+03	3,04E+01	8,72E-01	1,09E-02
5	2,65E+03	2,95E+01	9,18E-01	1,81E-02	2,50E+03	2,95E+01	9,13E-01	1,19E-02
10	3,19E+03	2,96E+01	9,35E-01	6,53E-02	3,22E+03	2,96E+01	9,36E-01	6,94E-02
15	3,47E+03	2,97E+01	9,42E-01	1,10E-01	3,65E+03	2,97E+01	9,47E-01	1,46E-01
20	3,67E+03	2,97E+01	9,47E-01	1,49E-01	3,97E+03	2,98E+01	9,54E-01	2,26E-01
25	3,81E+03	2,98E+01	9,51E-01	1,82E-01	4,22E+03	2,99E+01	9,60E-01	3,03E-01
30	3,92E+03	2,98E+01	9,53E-01	2,14E-01	4,43E+03	3,00E+01	9,64E-01	3,81E-01
50	4,24E+03	2,99E+01	9,60E-01	3,08E-01	5,02E+03	3,01E+01	9,74E-01	6,51E-01
75	4,47E+03	3,00E+01	9,65E-01	3,95E-01	5,51E+03	3,03E+01	9,82E-01	9,39E-01
100	4,63E+03	3,00E+01	9,67E-01	4,63E-01	5,87E+03	3,04E+01	9,88E-01	1,18E+00

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXIII establece los coeficientes de la ecuación del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Tierra Blanca.

Tabla XXIII. **Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Tierra Blanca**

Periodo de retorno (años)	Modelo Wenzel							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	2,23E+03	2,45E+01	9,15E-01	2,91E-03	2,06E+03	2,42E+01	9,08E-01	5,85E-03
5	3,21E+03	2,66E+01	9,48E-01	1,89E-02	3,06E+03	2,62E+01	9,43E-01	1,20E-02
10	3,78E+03	2,77E+01	9,62E-01	6,98E-02	3,81E+03	2,78E+01	9,63E-01	7,42E-02
15	4,07E+03	2,83E+01	9,68E-01	1,17E-01	4,25E+03	2,87E+01	9,72E-01	1,54E-01
20	4,27E+03	2,87E+01	9,72E-01	1,58E-01	4,58E+03	2,93E+01	9,78E-01	2,37E-01
25	4,42E+03	2,90E+01	9,75E-01	1,92E-01	4,83E+03	2,97E+01	9,83E-01	3,15E-01
30	4,53E+03	2,92E+01	9,78E-01	2,24E-01	5,04E+03	3,01E+01	9,86E-01	3,94E-01
50	4,85E+03	2,98E+01	9,83E-01	3,20E-01	5,63E+03	3,10E+01	9,95E-01	6,63E-01
75	5,08E+03	3,02E+01	9,87E-01	4,08E-01	6,10E+03	3,18E+01	1,00E+00	9,47E-01
100	5,24E+03	3,04E+01	9,90E-01	4,75E-01	6,45E+03	3,23E+01	1,01E+00	1,18E+00

Fuente: elaboración propia.

### 6.1.4. Estación climática Xequemeyá

La tabla XXIV establece los coeficientes de la ecuación del modelo estándar de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Xequemeyá.

Tabla XXIV. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Xequemeyá**

Periodo de retorno (años)	Modelo estándar							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	9,99E+03	4,81E+01	1,22E+00	6,06E-03	9,25E+03	4,92E+01	1,22E+00	3,04E-03
5	1,44E+04	4,50E+01	1,25E+00	5,65E-02	1,37E+04	4,53E+01	1,24E+00	4,47E-02
10	1,69E+04	4,42E+01	1,26E+00	1,15E-01	1,70E+04	4,42E+01	1,26E+00	1,19E-01
15	1,82E+04	4,40E+01	1,26E+00	1,55E-01	1,91E+04	4,38E+01	1,27E+00	1,82E-01
20	1,91E+04	4,38E+01	1,27E+00	1,84E-01	2,05E+04	4,36E+01	1,27E+00	2,37E-01
25	1,98E+04	4,37E+01	1,27E+00	2,08E-01	2,16E+04	4,34E+01	1,27E+00	2,84E-01
30	2,03E+04	4,36E+01	1,27E+00	2,29E-01	2,26E+04	4,34E+01	1,28E+00	3,26E-01
50	2,17E+04	4,34E+01	1,27E+00	2,86E-01	2,53E+04	4,31E+01	1,28E+00	4,61E-01
75	2,28E+04	4,33E+01	1,28E+00	3,34E-01	2,73E+04	4,29E+01	1,29E+00	5,86E-01
100	2,34E+04	4,32E+01	1,28E+00	3,68E-01	2,89E+04	4,29E+01	1,29E+00	6,86E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXV establece los coeficientes de la ecuación del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Xequemeyá.

Tabla XXV. **Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Xequemeyá**

Periodo de retorno (años)	Modelo Wenzel							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	5,31E+03	6,30E+01	1,12E+00	3,86E-03	4,96E+03	6,39E+01	1,12E+00	1,69E-03
5	7,20E+03	6,07E+01	1,14E+00	4,59E-02	6,92E+03	6,08E+01	1,14E+00	3,57E-02
10	8,23E+03	6,03E+01	1,15E+00	9,72E-02	8,29E+03	6,03E+01	1,15E+00	1,01E-01
15	8,76E+03	6,02E+01	1,15E+00	1,33E-01	9,08E+03	6,02E+01	1,15E+00	1,58E-01
20	9,10E+03	6,01E+01	1,15E+00	1,60E-01	9,64E+03	6,01E+01	1,15E+00	2,08E-01
25	9,37E+03	6,02E+01	1,15E+00	1,82E-01	1,01E+04	6,01E+01	1,15E+00	2,51E-01
30	9,57E+03	6,02E+01	1,15E+00	2,00E-01	1,04E+04	6,02E+01	1,16E+00	2,89E-01
50	1,01E+04	6,01E+01	1,15E+00	2,53E-01	1,14E+04	6,02E+01	1,16E+00	4,14E-01
75	1,05E+04	6,02E+01	1,16E+00	2,97E-01	1,22E+04	6,02E+01	1,16E+00	5,30E-01
100	1,08E+04	6,01E+01	1,16E+00	3,28E-01	1,28E+04	6,03E+01	1,16E+00	6,24E-01

Fuente: elaboración propia.

### 6.1.5. Estación climática Serchil

La tabla XXVI establece los coeficientes de la ecuación del modelo estándar de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Serchil.

Tabla XXVI. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Serchil**

Periodo de retorno (años)	Modelo estándar							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	2,70E+03	2,50E+01	9,64E-01	2,54E-03	2,63E+03	2,61E+01	9,68E-01	1,88E-03
5	3,17E+03	2,16E+01	9,48E-01	1,06E-02	3,09E+03	2,19E+01	9,50E-01	8,94E-03
10	3,44E+03	2,05E+01	9,44E-01	1,85E-02	3,46E+03	2,05E+01	9,44E-01	1,88E-02
15	3,58E+03	2,01E+01	9,43E-01	2,34E-02	3,67E+03	1,98E+01	9,42E-01	2,65E-02
20	3,67E+03	1,98E+01	9,41E-01	2,69E-02	3,82E+03	1,95E+01	9,40E-01	3,31E-02
25	3,74E+03	1,97E+01	9,41E-01	3,00E-02	3,94E+03	1,92E+01	9,39E-01	3,86E-02
30	3,80E+03	1,95E+01	9,40E-01	3,20E-02	4,04E+03	1,91E+01	9,39E-01	4,33E-02
50	3,95E+03	3,95E+03	9,39E-01	3,90E-02	4,31E+03	1,86E+01	9,37E-01	5,86E-02
75	4,06E+03	1,90E+01	9,38E-01	4,46E-02	4,52E+03	1,83E+01	9,36E-01	7,22E-02
100	4,13E+03	1,89E+01	9,38E-01	4,80E-02	4,68E+03	1,81E+01	9,35E-01	8,29E-02

Fuente: elaboración propia.



La tabla XXVII establece los coeficientes de la ecuación del modelo Wenzel de ajuste de curvas IDF y la sumatoria de los errores relativos al cuadrado, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Serchil.

Tabla XXVII. **Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Serchil**

Periodo de retorno (años)	Modelo Wenzel							
	Distribución normal				Distribución de Gumbel			
	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado	a	b	n	Sumatoria del error relativo al cuadrado
2	2,89E+03	2,35E+01	9,73E-01	2,32E-03	2,80E+03	2,47E+01	9,77E-01	1,76E-03
5	3,44E+03	1,96E+01	9,61E-01	9,06E-03	3,36E+03	2,00E+01	9,62E-01	7,68E-03
10	3,76E+03	1,84E+01	9,57E-01	1,57E-02	3,77E+03	1,84E+01	9,57E-01	1,60E-02
15	3,92E+03	1,80E+01	9,55E-01	1,98E-02	4,01E+03	1,77E+01	9,54E-01	2,24E-02
20	4,02E+03	1,77E+01	9,54E-01	2,27E-02	4,18E+03	1,74E+01	9,53E-01	2,79E-02
25	4,10E+03	1,75E+01	9,54E-01	2,53E-02	4,31E+03	1,71E+01	9,52E-01	3,25E-02
30	4,16E+03	1,74E+01	9,53E-01	2,70E-02	4,43E+03	1,69E+01	9,52E-01	3,65E-02
50	4,32E+03	1,71E+01	9,52E-01	3,28E-02	4,73E+03	1,64E+01	9,50E-01	4,93E-02
75	4,44E+03	1,69E+01	9,52E-01	3,76E-02	4,96E+03	1,61E+01	9,49E-01	6,07E-02
100	4,53E+03	1,67E+01	9,51E-01	4,04E-02	5,14E+03	1,59E+01	9,48E-01	6,98E-02

Fuente: elaboración propia.

## **6.2. Comparación de errores relativos**

Obtenidos los coeficientes de las ecuaciones del modelo estándar y el propuesto por Wenzel se procede a realizar la comparación de los errores estadísticos a través del error relativo. Este se define como el valor obtenido de la división entre el error absoluto y el valor exacto, es decir, la media.

Para establecer el modelo que más se ajusta a cada estación climática, analizada en este estudio, es determinante el valor obtenido de la resta de las sumatorias de los errores relativos al cuadrado de los modelos estándar y el propuesto por Wenzel. Es con este valor que se realiza la comparación de los dos modelos. El que presente menor error, es el modelo adecuado a utilizar en cada estación analizada de la parte alta de la cuenca del río Chixoy.

Básicamente con las tablas que se presentan, a continuación, se concluye con el análisis estadístico y matemático realizado para obtener las ecuaciones de los dos modelos comparados en este estudio. Es muy importante tener conocimiento de cómo realizar estos análisis porque establece un buen camino para realizar estudios cómo es el caso de la elaboración de las curvas IDF.

### 6.2.1. Estación climática Totonicapán

La tabla XXVIII contiene la diferencia de errores de los modelos estándar y Wenzel, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Totonicapán.

Tabla XXVIII. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática Totonicapán**

Periodo de retorno (años)	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)
2	1,73E-02	1,80E-02	-7,52E-04	1,04E-02	1,11E-02	-7,08E-04
5	1,22E-01	1,14E-01	7,22E-03	9,80E-02	9,34E-02	4,68E-03
10	2,38E-01	2,15E-01	2,23E-02	2,45E-01	2,22E-01	2,34E-02
15	3,15E-01	2,80E-01	3,41E-02	3,67E-01	3,25E-01	4,25E-02
20	3,73E-01	3,30E-01	4,32E-02	4,72E-01	4,12E-01	6,04E-02
25	4,17E-01	3,66E-01	5,09E-02	5,60E-01	4,84E-01	7,63E-02
30	4,58E-01	4,01E-01	5,79E-02	6,42E-01	5,50E-01	9,13E-02
50	5,67E-01	4,90E-01	7,75E-02	8,97E-01	7,55E-01	1,42E-01
75	6,59E-01	5,64E-01	9,48E-02	1,13E+00	9,44E-01	1,91E-01
100	7,23E-01	6,16E-01	1,07E-01	1,32E+00	1,09E+00	2,31E-01

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.2. Estación climática El Paradillo

La tabla XXIX contiene la diferencia de errores de los modelos estándar y Wenzel, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática El Paradillo.

Tabla XXIX. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática El Paradillo**

Periodo de retorno (años)	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)
2	1,65E-02	9,10E-03	7,35E-03	1,62E-02	9,48E-03	6,68E-03
5	1,75E-02	9,59E-03	7,86E-03	1,72E-02	9,28E-03	7,93E-03
10	2,01E-02	1,22E-02	7,93E-03	2,02E-02	1,23E-02	7,89E-03
15	2,19E-02	1,40E-02	7,89E-03	2,33E-02	1,54E-02	7,91E-03
20	2,33E-02	1,54E-02	7,87E-03	2,64E-02	1,84E-02	7,99E-03
25	2,47E-02	1,68E-02	7,94E-03	2,87E-02	2,08E-02	7,95E-03
30	2,58E-02	1,78E-02	7,97E-03	3,11E-02	2,32E-02	7,94E-03
50	2,91E-02	2,11E-02	7,99E-03	3,96E-02	3,17E-02	7,98E-03
75	3,19E-02	2,38E-02	8,01E-03	4,77E-02	3,98E-02	7,84E-03
100	3,37E-02	2,57E-02	7,97E-03	5,42E-02	4,65E-02	7,66E-03

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.3. Estación climática Tierra Blanca

La tabla XXX contiene la diferencia de errores de los modelos estándar y Wenzel, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Tierra Blanca.

Tabla XXX. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática Tierra Blanca**

Periodo de retorno (años)	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)
2	5,58E-03	2,91E-03	2,67E-03	1,09E-02	5,85E-03	5,01E-03
5	1,81E-02	1,89E-02	-8,23E-04	1,19E-02	1,20E-02	-1,48E-04
10	6,53E-02	6,98E-02	-4,53E-03	6,94E-02	7,42E-02	-4,77E-03
15	1,10E-01	1,17E-01	-6,92E-03	1,46E-01	1,54E-01	-8,33E-03
20	1,49E-01	1,58E-01	-8,45E-03	2,26E-01	2,37E-01	-1,06E-02
25	1,82E-01	1,92E-01	-9,45E-03	3,03E-01	3,15E-01	-1,19E-02
30	2,14E-01	2,24E-01	-1,03E-02	3,81E-01	3,94E-01	-1,26E-02
50	3,08E-01	3,20E-01	-1,19E-02	6,51E-01	6,63E-01	-1,19E-02
75	3,95E-01	4,08E-01	-1,26E-02	9,39E-01	9,47E-01	-7,54E-03
100	4,63E-01	4,75E-01	-1,28E-02	1,18E+00	1,18E+00	-1,63E-03

Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.4. Estación climática Xequemeyá

La tabla XXXI contiene la diferencia de errores de los modelos estándar y Wenzel, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Xequemeyá.

Tabla XXXI. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática Xequemeyá**

Periodo de retorno (años)	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)
2	6,06E-03	3,86E-03	2,20E-03	3,04E-03	1,69E-03	1,35E-03
5	5,65E-02	4,59E-02	1,06E-02	4,47E-02	3,57E-02	9,00E-03
10	1,15E-01	9,72E-02	1,73E-02	1,19E-01	1,01E-01	1,80E-02
15	1,55E-01	1,33E-01	2,16E-02	1,82E-01	1,58E-01	2,41E-02
20	1,84E-01	1,60E-01	2,43E-02	2,37E-01	2,08E-01	2,92E-02
25	2,08E-01	1,82E-01	2,67E-02	2,84E-01	2,51E-01	3,33E-02
30	2,29E-01	2,00E-01	2,85E-02	3,26E-01	2,89E-01	3,66E-02
50	2,86E-01	2,53E-01	3,34E-02	4,61E-01	4,14E-01	4,70E-02
75	3,34E-01	2,97E-01	3,72E-02	5,86E-01	5,30E-01	5,57E-02
100	3,68E-01	3,28E-01	4,00E-02	6,86E-01	6,24E-01	6,20E-02

Fuente: elaboración propia.

### 6.2.5. Estación climática Serchil

La tabla XXXII contiene la diferencia de errores de los modelos estándar y Wenzel, para la distribución normal y de Gumbel de la estación climática Serchil.

Tabla XXXII. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado para la estación climática Serchil**

Periodo de retorno (años)	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)	Modelo estándar (m)	Modelo Wenzel (n)	Diferencia (m-n)
2	2,54E-03	2,32E-03	2,21E-04	1,88E-03	1,76E-03	1,17E-04
5	1,06E-02	9,06E-03	1,52E-03	8,94E-03	7,68E-03	1,26E-03
10	1,85E-02	1,57E-02	2,81E-03	1,88E-02	1,60E-02	2,88E-03
15	2,34E-02	1,98E-02	3,61E-03	2,65E-02	2,24E-02	4,15E-03
20	2,69E-02	2,27E-02	4,20E-03	3,31E-02	2,79E-02	5,20E-03
25	3,00E-02	2,53E-02	4,68E-03	3,86E-02	3,25E-02	6,09E-03
30	3,20E-02	2,70E-02	5,02E-03	4,33E-02	3,65E-02	6,83E-03
50	3,90E-02	3,28E-02	6,15E-03	5,86E-02	4,93E-02	9,28E-03
75	4,46E-02	3,76E-02	7,05E-03	7,22E-02	6,07E-02	1,15E-02
100	4,80E-02	4,04E-02	7,62E-03	8,29E-02	6,98E-02	1,32E-02

Fuente: elaboración propia.

Establecidas las tablas con la sumatoria de errores relativos al cuadrado, para cada estación analizada, se determina a través del ajuste de los valores de intensidad de lluvia máxima generados con base en la metodología propuesta por Témez, lo siguiente:

El modelo estándar utilizado por Insivumeh, presenta menores errores relativos únicamente en la estación climática Tierra Blanca.

El modelo propuesto por Wenzel presenta menores errores relativos en las estaciones climáticas: Tonicapán, El Paradiño, Xequemeyá y Serchil.

El resultado obtenido, a través de la comparación de los errores relativos al cuadrado de los dos modelos comparados, se ve claramente que es el modelo propuesto por Wenzel que se adecua a cuatro de cinco estaciones climáticas analizadas en este estudio. Es importante destacar que la estación climática Tierra Blanca es la única que se adecua al modelo estándar y está ubicada en mayor dirección oeste en ubicación de las demás estaciones analizadas de la cuenca del río Chixoy.

Además de todas las estaciones analizadas es la segunda que presenta mayor registro de precipitación. Las cuatro estaciones que se adecuaron al modelo propuesto por Wenzel, se encuentran dispersas en la delimitación de la parte alta de la cuenca del río Chixoy. Un dato importante es que la estación climática Xequemeyá se encuentra al final de la parte alta de la cuenca del río Chixoy y es la que presenta mayor registro de precipitación de las cinco estaciones analizadas en este estudio.

Indiferentemente del modelo que se adecua a cada estación climática, se observa que cada modelo tiene errores relativos al cuadrado. Esto no depende del régimen de lluvia registrado en cada una de las estaciones analizadas.



Se concluye con la presentación de las tablas con las ecuaciones generadas, según el modelo adecuado para cada estación climática analizada y se presenta la distribución que tuvo menor error relativo al cuadrado, siendo esta la propuesta a utilizar.

Tabla XXXIII. **Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática Totonicapán**

Estación climática Totonicapán, modelo Wenzel			
Distribución normal			
Periodo de retorno (años)	Ecuación	Periodo de retorno (años)	Ecuación
2	$i = \frac{2\ 049}{t^{0,972} + 32,6}$	25	$i = \frac{7\ 103}{t^{1,090} + 68}$
5	$i = \frac{4\ 343}{t^{1,044} + 51,5}$	30	$i = \frac{7\ 387}{t^{1,093} + 69,4}$
10	$i = \frac{5\ 574}{t^{1,069} + 59,9}$	50	$i = \frac{8\ 136}{t^{1,101} + 72,7}$
15	$i = \frac{6\ 285}{t^{1,080} + 63,9}$	75	$i = \frac{8\ 713}{t^{1,107} + 75,2}$
20	$i = \frac{6\ 748}{t^{1,086} + 66,2}$	100	$i = \frac{9\ 092}{t^{1,110} + 76,7}$

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXIV presenta las ecuaciones generadas, según el modelo adecuado para la estación climática El Paradillo.

Tabla XXXIV. **Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática El Paradillo**

Estación climática El Paradillo, modelo Wenzel			
Distribución normal			
Periodo de retorno (años)	Ecuación	Periodo de retorno (años)	Ecuación
2	$i = \frac{1\ 450}{t^{0,862} + 12,8}$	25	$i = \frac{1\ 747}{t^{0,828} + 6,1}$
5	$i = \frac{1\ 517}{t^{0,835} + 7,9}$	30	$i = \frac{1\ 771}{t^{0,827} + 6}$
10	$i = \frac{1\ 618}{t^{0,830} + 6,8}$	50	$i = \frac{1\ 837}{t^{0,827} + 5,8}$
15	$i = \frac{1\ 677}{t^{0,829} + 6,5}$	75	$i = \frac{1\ 887}{t^{0,827} + 5,6}$
20	$i = \frac{1\ 716}{t^{0,828} + 6,2}$	100	$i = \frac{1\ 922}{t^{0,827} + 5,5}$

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXV presenta las ecuaciones generadas, según el modelo adecuado para la estación climática Tierra Blanca.

**Tabla XXXV. Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática Tierra Blanca**

Estación climática Tierra Blanca, modelo estándar			
Distribución normal			
Periodo de retorno (años)	Ecuación	Periodo de retorno (años)	Ecuación
2	$i = \frac{1\ 747}{(t + 30)^{0,880}}$	25	$i = \frac{3\ 813}{(t + 29,8)^{0,951}}$
5	$i = \frac{2\ 649}{(t + 29,6)^{0,918}}$	30	$i = \frac{3\ 924}{(t + 29,8)^{0,953}}$
10	$i = \frac{3\ 187}{(t + 26,9)^{0,935}}$	50	$i = \frac{4\ 237}{(t + 29,9)^{0,960}}$
15	$i = \frac{3\ 472}{(t + 29,7)^{0,942}}$	75	$i = \frac{4\ 469}{(t + 30)^{0,965}}$
20	$i = \frac{3\ 666}{(t + 29,7)^{0,947}}$	100	$i = \frac{4\ 626}{(t + 30)^{0,967}}$

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXVI presenta las ecuaciones generadas, según el modelo adecuado para la estación climática Xequemeyá.

Tabla XXXVI. **Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática Xequemeyá**

Estación climática Xequemeyá, modelo Wenzel			
Distribución normal			
Periodo de retorno (años)	Ecuación	Periodo de retorno (años)	Ecuación
2	$i = \frac{5\,311}{t^{1,125} + 63}$	25	$i = \frac{9\,367}{t^{1,151} + 60,2}$
5	$i = \frac{7\,204}{t^{1,140} + 60,7}$	30	$i = \frac{9\,571}{t^{1,152} + 60,2}$
10	$i = \frac{8\,233}{t^{1,145} + 60,3}$	50	$i = \frac{10\,095}{t^{1,154} + 60,1}$
15	$i = \frac{8\,760}{t^{1,148} + 60,2}$	75	$i = \frac{10\,500}{t^{1,156} + 60,2}$
20	$i = \frac{9\,101}{t^{1,150} + 60,1}$	100	$i = \frac{10\,759}{t^{1,157} + 60,1}$

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXVII presenta las ecuaciones generadas, según el modelo adecuado para la estación climática Serchil.

**Tabla XXXVII. Ecuaciones adecuadas para utilizar en la estación climática Serchil**

Estación climática Serchil, modelo Wenzel			
Distribución normal			
Periodo de retorno (años)	Ecuación	Periodo de retorno (años)	Ecuación
2	$i = \frac{2\ 892}{t^{0,973} + 23,5}$	25	$i = \frac{4\ 098}{t^{0,954} + 17,5}$
5	$i = \frac{3\ 444}{t^{0,961} + 19,6}$	30	$i = \frac{4\ 161}{t^{0,953} + 17,4}$
10	$i = \frac{3\ 757}{t^{0,957} + 18,4}$	50	$i = \frac{4\ 323}{t^{0,952} + 17,1}$
15	$i = \frac{3\ 917}{t^{0,955} + 18}$	75	$i = \frac{4\ 444}{t^{0,952} + 16,9}$
20	$i = \frac{4\ 020}{t^{0,954} + 17,7}$	100	$i = \frac{4\ 526}{t^{0,951} + 16,7}$

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Se elaboró información de las curvas IDF en las cinco estaciones climáticas analizadas en este estudio, que tuvo como zona de estudio la parte alta de la cuenca del río Chixoy.
2. Las intensidades de lluvia presentaron un comportamiento interesante. Debido a un menor tiempo de concentración, existe mayor intensidad de lluvia y a un mayor tiempo de concentración, existe menor intensidad de lluvia. Eventualmente existen eventos extremos que ocasionan intensidades de lluvia altas y cuya probabilidad de ocurrencia baja, pero cuando ocurren ocasionan desastres en zonas vulnerables.
3. La construcción de las curvas IDF se llevó acabo utilizando modelos matemáticos para definir coeficientes que componen las ecuaciones de ajuste. En Guatemala existe el modelo estándar utilizado por Insivumeh y el propuesto por Wenzel. Estos modelos son adecuados para el estudio del recurso hídrico porque se adecuan a las condiciones de información pluvial registrada en el país y así obtener resultados favorables en los estudios realizados.
4. El modelo estándar se ajustó únicamente a la estación climática Tierra Blanca, y el propuesto por Wenzel presentó un mejor ajuste en las estaciones climáticas Totonicapán, El Paradillo, Xequemeyá y Serchil. Con base en estos resultados se observa que el modelo propuesto por Wenzel presentó menor sumatoria de errores relativos al cuadrado, adecuándose a mayor número de estaciones climáticas.





## RECOMENDACIONES

1. Para Guatemala es importante contar con estudios relacionados a temas hidrológicos, porque beneficia al país, aplicando la información generada, a través de obras de ingeniería y así no basarse en un empirismo que mal hace como población, retrasando el desarrollo continuo.
2. Es apropiado utilizar los modelos generados en este estudio para ser utilizados en cada estación analizada, pero es importante destacar que esta información debe ser actualizada periódicamente para que exista mejor manejo de resultados.
3. Las instituciones que poseen estaciones climáticas en las diferentes cuencas que componen el país deben tener un mejor control en cada una de sus estaciones, debido a que es desde ahí que se comienza con un estudio adecuado. En el caso de las curvas IDF se comienza con la lectura de las bandas pluviográficas y estas deben estar en condiciones favorables para realizar el trabajo de gabinete y proseguir con el análisis estadístico correcto.
4. Estudios de este tipo son apropiados realizarlos para determinar el comportamiento de la lluvia en cierta zona de estudio. Esto para las diferentes cuencas que componen el país, por esta razón se deben de seguir aplicando los conocimientos y generar información adecuada.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ABAC PRADO, Michael Vinicio. *Consideraciones básicas sobre parámetros meteorológicos y su importancia en el diseño, construcción y operación de proyectos de infraestructura*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 72 p.
2. APARICIO MIJARES, Francisco Javier. *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa, 1989. 303 p.
3. Área de estadística. *Variable aleatoria discreta unidimensional*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, 2011. 15 p.
4. \_\_\_\_\_. *Variable aleatoria continua*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, 2011. 9 p.
5. \_\_\_\_\_. *Manual de estadística descriptiva*. Guatemala: Facultad de Ingeniería, USAC, 2011. 23 p.
6. CERECEDA PEÑA, Raúl Elias. *Propuesta de un método para la construcción de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en estaciones pluviométricas de Chile central*. Trabajo de graduación Facultad de Ingeniería, de Ing. Forestal. Universidad de Talca, 2008. 145 p.

7. CHEREQUE MORÁN, Wendor. *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima – Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 1989. 223 p.
8. CHOW, Ven Te. *Estadística en hidrología aplicada*; Colombia: MC Graw-Hill Interamericana, 1994. 584 p.
9. COJULÚN MARTÍNEZ, Ricardo Eliseo. *Comparación del modelo INSIVUMEH contra el modelo Wenzel para la elaboración de curvas IDF en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Sololá y Retalhuleu*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 90 p.
10. DEVORE, Jay L. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 6a. ed. México: Thomson Learning, 2005. 794 p.
11. GONZÁLEZ RAXJAL, Wilder Eduardo. *Comparación de los modelos estándar y Wenzel en curvas intensidad-duración-frecuencia en las cuencas de los ríos Paz, Ostúa-Güija, Olopa y Los Esclavos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 108 p.
12. Instituto Nacional de Estadística. *Caracterización República de Guatemala*. [en línea]. <0lw2211|1>. [Consulta: abril de 2016]
13. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Componentes de una estación meteorológica*. [en línea].

<<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/estacion%20meteorologica.htm>>. [Consulta: marzo de 2016]

14. \_\_\_\_\_. *Estudio de lluvia máxima diaria en la República de Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH, 2004. 22 p.
15. \_\_\_\_\_. *Informe de intensidades de lluvia en Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH, 2001. 22 p.
16. \_\_\_\_\_. *Manual de instalación de estaciones meteorológicas de superficie terrestre*. Guatemala: INSIVUMEH, 1992. 137 P.
17. \_\_\_\_\_. *Método estándar de cálculo de curvas Duración-Intensidad-Frecuencia*. Guatemala: INSIVUMEH, 1988. 77 p.
18. LEDEZMA VELÁZQUEZ, Alma Luz. *Obtención de la relación intensidad, duración, frecuencia de la precipitación en el altiplano central mexicano*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, 2012. 220 p.
19. LINSLEY, Ray; KOHLER, Max; PAULS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. 2a ed. México: McGraw-Hill Latinoamericana, 1977. 300 p.
20. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. *Atlas temático de las cuencas hidrográficas de la República de Guatemala*. Guatemala: MAGA, 2005. 269 p.

21. MINTEGUI, Juan Ángel; LÓPEZ, Fermin Unzu. *La ordenación agrohidrológica en la planificación*. España: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 1990. 306 p.
22. NAVIDI, William. *Estadística para ingenieros y científicos*. México: MC Graw-Hill Interamericana, 2006. 736 p.
23. Organización Mundial Meteorológica. *Guía de prácticas climáticas*. 3a ed. OMM, 2011. 622 p.
24. \_\_\_\_\_ . *Guía de prácticas hidrológicas, adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones*. 5a ed. OMM, 1994. 779 p.
25. PIZARRO, Roberto; ABARZA, A.; FLORES, J. *Determinación de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia, para 6 estaciones pluviográficas de la VII Región*. Uruguay: Revista Virtual de UNESCO, 2001. 48 P.
26. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. *Curvas Intensidad Duración Frecuencia para las regiones Metropolitana, Maule y Biobío. Intensidades desde 15 minutos hasta 24 horas*. Uruguay: UNESCO, 2013. 129 p.
27. SALES RODRÍGUEZ, Manuel de Jesús. *Comparación del modelo estándar y el modelo Wenzel para curvas intensidad-duración-frecuencia en la cuenca del río Motagua*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 94 p.

28. TÉMEZ, José Ramón. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. España: Dirección General de Carreteras, 1978. 111 p.
29. Vaught, Travis; Jones, Eric. *Canopy*. [en línea]. <<https://store.enthought.com/downloads/#default>>. [Consulta: abril de 2016]
30. VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica, 2002. 430 p.
31. \_\_\_\_\_ *Vocabulario meteorológico internacional*. Suiza: OMM, 1992.
32. WALPOLE, Ronald E.; MYERS, Raymond H.; MYERS, Sharon L. y YE, Keing. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 8a ed. México: Pearson Educación, 2007. 840 p.

