



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

**COMPARACIÓN DEL MODELO INSIVUMEH CONTRA EL MODELO *WENZEL* PARA LA
ELABORACIÓN DE CURVAS IDF EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN MARCOS,
QUETZALTENANGO, SOLOLÁ Y RETALHULEU**

Ricardo Eliseo Cojulún Martínez

Asesorado por el Ing. Sergio Antonio López Dubón

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**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

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RICARDO ELISEO COJULÚN MARTÍNEZ
ASESORADO POR EL ING. SERGIO ANTONIO LÓPEZ DUBÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

COMPARACIÓN DEL MODELO INSIVUMEH CONTRA EL MODELO WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS IDF EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN MARCOS, QUETZALTENANGO, SOLOLÁ Y RETALHULEU

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha febrero de 2013.


Ricardo Eliseo Cojulún Martínez

Guatemala, 3 de abril de 2013

Ingeniero Pedro Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Aguilar:

Por medio de la presente hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Ricardo Eliseo Cojulún Martínez, titulado **“COMPARACIÓN DEL MODELO INSIVUMEH CONTRA EL MODELO WENZEL PARA ELABORACIÓN DE CURVAS IDF EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN MARCOS, QUETZALTENANGO, SOLOLÁ Y RETALHULEU”**.

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

Atentamente,



Sergio Antonio Lopez Dubon
Ingeniero Civil
Col. No. 9914

Ing. Sergio López Dubón

Colegiado No. 9914



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



Guatemala,
14 de mayo de 2013

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

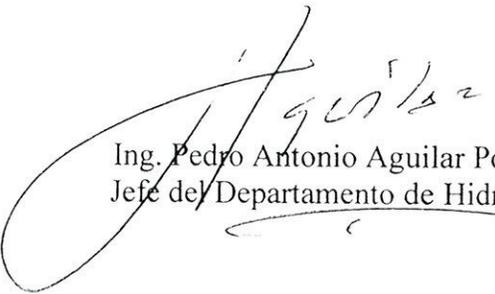
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **COMPARACIÓN DEL MODELO INSIVUMEH CONTRA EL MODELO WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS IDF EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN MARCOS, QUETZALTENANGO, SOLOLÁ Y RETALHULEU**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Ricardo Eliseo Cojulún Martínez, quien contó con la asesoría del Ing. Sergio López Dubón.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.

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





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Antonio López Dubón y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Ricardo Eliseo Cojulún Martínez, titulado **COMPARACIÓN DEL MODELO INSIVUMEH CONTRA EL MODELO WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS IDF EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN MARCOS, QUETZALTENANGO, SOLOLÁ Y RETALHULEU**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio de 2013.

/bbdeb.

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



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 464.2013

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 INSIVUMEH CONTRA EL MODELO WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS IDF EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN MARCOS, QUETZALTENANGO, SOLOLÁ Y RETALHULEU**, presentado por el estudiante universitario **Ricardo Eliseo Cojulún Martínez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en Funciones

Guatemala, 2 de julio de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Mis padres

Ricardo Eliseo Cojulún Leonardo y
Nora Emilia Martínez de Cojulún.

Mi hermana

Norma Cecilia Cojulún Martínez.

Mis abuelos

Ricardo Cojulún González (q.e.p.d.) y Almeda
Leonardo vda. de Cojulún; y Miguel Ángel
Martínez (q.e.p.d.) y Cleotilde Guillén García
(q.e.p.d.).

Mis tías

Norma Barrientos, Cecilia y Aída Cojulún.

Mis primos

Edwin Fausto, Katherine, Diego y Joselyn
Schultz.

Mi familia en general

Mis amigos

Los más próximos y los más lejanos.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Por otorgarme los ideales que han iluminado mi camino y compartir conmigo su sabiduría y esperanza.
Mi hermana	Porque su dedicación me inspira a esforzarme y ser una mejor persona.
Ing. Sergio López Dubón	Por brindarme su tiempo y ayuda desinteresada.
Crystal Muñoz	Por su apoyo y consejos.
La Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme las puertas y cobijarme hasta la culminación de mis estudios.
El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH)	Por aportar la información necesaria para la elaboración de este trabajo.

“Si el Niágara no fuera más que una catarata de arena ¿recorreríais vuestras mil millas para verlo? ¿Por qué los griegos le dieron al mar una divinidad aparte, un hermano del propio Júpiter?”

-Herman MELVILLE. *Moby Dick*.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO.....	1
1.1. Ubicación.....	1
1.1.1. San Marcos.....	1
1.1.2. Quetzaltenango.....	1
1.1.3. Sololá.....	2
1.1.4. Retalhuleu.....	2
1.2. Monografía	2
1.2.1. San Marcos.....	3
1.2.2. Quetzaltenango.....	6
1.2.3. Sololá.....	8
1.2.4. Retalhuleu.....	13
1.3. Estaciones climáticas	16
1.3.1. Estación climática San Marcos	16
1.3.2. Estación climática Labor Ovalle	17
1.3.3. Estación climática Santa María El Tablón	18
1.3.4. Estación climática Santiago Atitlán.....	19
1.3.5. Estación climática Retalhuleu	20
1.4. Cuencas	20
1.4.1. San Marcos.....	21

1.4.2.	Quetzaltenango	22
1.4.3.	Sololá	23
1.4.4.	Retalhuleu	24
1.5.	Ríos	25
1.5.1.	San Marcos	25
1.5.2.	Quetzaltenango	26
1.5.3.	Sololá	27
1.5.4.	Retalhuleu	27
1.5.	Climatología	28
1.6.1.	San Marcos	28
1.6.2.	Quetzaltenango	30
1.6.3.	Sololá	31
1.6.4.	Retalhuleu	32
2.	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.....	35
2.1.	Medidas de tendencia central.....	35
2.1.1.	Media	35
2.1.1.1.	Media aritmética de una distribución de frecuencias de valores sin agrupar	36
2.1.1.2.	Media aritmética de una distribución de frecuencias de valores agrupados en intervalos de amplitud constante o variable	36
2.1.2.	Mediana	37
2.1.3.	Moda	37
2.2.	Medidas de dispersión	37
2.2.1.	Rango.....	37
2.2.2.	Desviación media	38

	2.2.3.	Varianza.....	38
	2.2.4.	Desviación estándar	38
	2.3.	Probabilidad.....	39
	2.4.	Períodos de retorno	39
	2.5.	Distribución normal	39
	2.6.	Distribución de Gumbel	40
	2.7.	Regresión no lineal	41
3.		CURVAS IDF	43
	3.1.	Definición.....	43
	3.2.	Metodología para la construcción de curvas IDF	44
	3.2.1.	Medición de la precipitación	44
		3.2.1.1. Pluviógrafo	45
		3.2.1.2. Pluviómetro	46
	3.2.2.	Descripción del procedimiento para la elaboración de curvas IDF	47
		3.2.2.1. Recopilación de datos	48
		3.2.2.2. Selección de valores máximos	48
		3.2.2.3. Modelos matemáticos	49
		3.2.2.4. Tipos de errores	50
4.		CÁLCULO Y PRESENTACIÓN DE CURVAS IDF.....	51
	4.1.	Curvas IDF	51
		4.1.1. Estación San Marcos	51
		4.1.2. Estación Retalhuleu	54
		4.1.3. Estación Labor Ovalle	58
		4.1.4. Estación Santiago Atitlán	62
		4.1.5. Estación El Tablón	66
	4.2.	Tablas de coeficientes de modelos de ajuste.....	70

4.2.1.	Estación San Marcos.....	71
4.2.2.	Estación Retalhuleu.....	72
4.2.3.	Estación Labor Ovalle	73
4.2.4.	Estación Santiago Atitlán.....	75
4.2.5.	Estación El Tablón.....	76
4.3.	Tablas comparativas de errores relativos	78
4.3.1.	Estación San Marcos.....	78
4.3.2.	Estación Retalhuleu.....	79
4.3.3.	Estación Labor Ovalle	79
4.3.4.	Estación Santiago Atitlán.....	80
4.3.5.	Estación El Tablón.....	81
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estación climática San Marcos.....	16
2.	Estación climática Labor Ovalle.....	17
3.	Estación climática El Tablón.....	18
4.	Estación climática Santiago Atitlán.....	19
5.	Estación climática Retalhuleu.....	20
6.	Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).....	44
7.	Pluviógrafo.....	46
8.	Pluviómetro.....	47
9.	Curvas IDF de la estación climática San Marcos utilizando la distribución normal.....	52
10.	Curvas IDF de la estación climática San Marcos utilizando la distribución de Gumbel.....	54
11.	Curvas IDF de la estación climática Retalhuleu utilizando la distribución normal.....	56
12.	Curvas IDF de la estación climática Retalhuleu utilizando la distribución de Gumbel.....	58
13.	Curvas IDF de la estación climática Labor Ovalle utilizando la distribución normal.....	60
14.	Curvas IDF de la estación climática Labor Ovalle utilizando la distribución de Gumbel.....	62
15.	Curvas IDF de la estación climática Santiago Atitlán utilizando la distribución normal.....	64

16.	Curvas IDF de la estación climática Santiago Atitlán utilizando la distribución de Gumbel.....	66
17.	Curvas IDF de la estación climática El Tablón utilizando la distribución normal	68
18.	Curvas IDF de la estación climática El Tablón utilizando la distribución de Gumbel.....	70

TABLAS

I.	Normales climáticas del departamento de San Marcos	30
II.	Normales climáticas del departamento de Quetzaltenango	31
III.	Normales climáticas del departamento de Sololá	32
IV.	Normales climáticas del departamento de Retalhuelu	33
V.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Marcos utilizanzo la distribución normal	51
VI.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Marcos utilizando la distribución de Gumbel.....	53
VII.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Retalhuleu utilizando la distribución normal	55
VIII.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Retalhuleu utilizando la distribución de Gumbel	57
IX.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Labor Ovalle utilizando la distribución normal.....	59
X.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Labor Ovalle utilizando la distribución de Gumbel	61
XI.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Santiago Atitlán utilizando la distribución normal	63
XII.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Santiago Atitlán utilizando la distribución de Gumbel.....	65

XIII.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática El Tablón utilizando la distribución normal.....	67
XIV.	Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática El Tablón utilizando la distribución de Gumbel	69
XV.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática San Marcos	71
XVI.	Coeficientes del modelo <i>Wenzel</i> para la estación climática San Marcos	72
XVII.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Retalhuleu	72
XVIII.	Coeficientes del modelo <i>Wenzel</i> para la estación climática Retalhuleu	73
XIX.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Labor Ovalle	74
XX.	Coeficientes del modelo <i>Wenzel</i> para la estación climática Labor Ovalle	74
XXI.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Santiago Atitlán	75
XXII.	Coeficientes del modelo <i>Wenzel</i> para la estación climática Santiago Atitlán	76
XXIII.	Coeficientes del modelo estándar para la estación climática El Tablón	77
XXIV.	Coeficientes del modelo <i>Wenzel</i> para la estación climática El Tablón	77
XXV.	Errores relativos para la estación climática San Marcos.....	78
XXVI.	Errores relativos para la estación climática Retalhuleu.....	79
XXVII.	Errores relativos para la estación climática Labor Ovalle	80
XXVIII.	Errores relativos para la estación climática Santiago Atitlán.....	80
XXIX.	Errores relativos para la estación climática El Tablón.....	81

GLOSARIO

Afluente	Corriente de agua que desemboca en otra corriente de agua; no en el mar.
Altiplano	Meseta extensa y ubicada a una gran altitud, generalmente en medio de una cadena montañosa.
Bocacosta	Región angosta que transversalmente se extiende desde el departamento de San Marcos hasta el de Jutiapa, situada en la ladera montañosa de la Sierra Madre, en el descenso desde el altiplano hacia la planicie costera del Pacífico, con elevaciones de 300 a 1 400 metros sobre el nivel del mar.
Cuenca	Depresión de terreno cuyas aguas afluyen al mismo cuerpo de agua, es decir, un territorio que drena sus aguas naturalmente.
Estocástico	En hidrología se utiliza como sinónimo de aleatorio, especialmente para referirse a series de tiempo parcialmente aleatorias.

**Franja transversal del
norte**

Zona climática definida por la ladera de la sierra de los Cuchumatanes, Chamá y las minas, norte de los departamentos de Huehuetenango, El Quiché y Alta Verapaz, y la cuenca del río Polochic.

RESUMEN

Este trabajo de investigación pretende construir curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia en cuatro departamentos del país utilizando dos modelos matemáticos para comprobar cuál es el más fiable. Además de describir las variables involucradas en el proceso con el objetivo de presentar un documento coherente y con una estructura lógica de pasos.

Los primeros tres capítulos constituyen el marco teórico, éste inicia con las características de interés de los departamentos bajo estudio; incluye ubicación, monografía, cuencas, ríos y climatología. Continúa con los parámetros estadísticos necesarios para la modelación de procesos hidrológicos estocásticos, como la precipitación, y el porqué de su utilización para este fin. El marco teórico concluye con la definición y utilidad de las curvas IDF y la metodología empleada para su construcción en este documento.

A partir del capítulo cuarto inicia la parte práctica del trabajo, presentando en primer lugar los cálculos realizados a partir de la información pluviográfica proporcionada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH); y los resultados alcanzados: curvas IDF, modelos de ajuste, coeficientes y sumatoria de errores relativos. El capítulo número cinco muestra el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo para la mejor caracterización posible de los eventos de lluvia en las regiones comprendidas en este documento.

OBJETIVOS

General

Determinar el mejor modelo matemático para el ajuste de curvas IDF para los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Sololá y Retalhuleu.

Específicos

1. Calcular intensidades de lluvia para diferentes períodos de retorno utilizando la distribución normal y la distribución de Gumbel
2. Caracterizar el comportamiento temporal de la precipitación para las estaciones bajo estudio.
3. Comparar los valores obtenidos a través de la distribución normal y la distribución de Gumbel.
4. Comparar el ajuste del modelo estándar con el ajuste del modelo *Wenzel*.

INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones son uno de los factores ambientales que mayor efecto tienen en las obras de ingeniería y tienen una importancia especial en el aprovechamiento de recursos hídricos. Los excesos o déficits de lluvia son eventos extremos que deben considerarse en el diseño y ejecución de proyectos.

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) caracterizan las precipitaciones de acuerdo a la cantidad de lluvia, su distribución en el tiempo y probabilidad de ocurrencia. Éstas se utilizan en el diseño de redes de drenaje pluvial, canales abiertos, presas y sistemas de riego. Las curvas IDF se construyen a partir de puntos representativos de intensidad de precipitación respecto a diferentes duraciones, correspondientes a un mismo período de retorno. La metodología tradicional consiste en analizar la frecuencia de los valores máximos de precipitación para cada duración.

Actualmente los datos de curvas IDF son insuficientes y desactualizados, ya que el estudio con el que se cuenta data de aproximadamente 10 años. En ese período de tiempo han ocurrido eventos extremos tales como el huracán Stan y la tormenta tropical Agatha. Además, se carece de estudios del mejor ajuste para los patrones de precipitación. Todo esto deriva en una mala estimación de los datos de diseño que dependen de la información relativa a la precipitación.

En este trabajo se pretende construir curvas IDF con datos actualizados utilizando 2 tipos de distribuciones estadísticas, para obtener dos modelos de ajuste de curvas y determinar los datos de mayor fiabilidad.

1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

1.1. Ubicación

La información de interés contenida en la ubicación de los departamentos, para el fenómeno de la precipitación, radica principalmente en su elevación medida a partir del nivel del mar. También es importante mencionar sus límites geográficos y longitud y latitud, entre otros.

1.1.1. San Marcos

El departamento de San Marcos está situado en la región suroccidental de Guatemala. Limita al norte con Huehuetenango, al sur con Retalhuleu y el océano Pacífico, al oeste con el estado mexicano de Chiapas, y al este con Quetzaltenango. Su altitud media es de 2 398 metros sobre el nivel del mar. Su cabecera departamental, San Marcos, se encuentra a 252 kilómetros de la ciudad capital. Sus coordenadas son 14,96 grados norte y 91,80 grados oeste.

1.1.2. Quetzaltenango

Está localizado a los 14,84 grados norte y 91,50 grados oeste, a 206 kilómetros al noroeste de la ciudad de Guatemala. Se encuentra ubicado en un valle montañoso en el altiplano occidental, con una altitud media sobre el mar de 2 333 metros.

1.1.3. Sololá

Situado en la región suroccidental del país. Limita al norte con Quiché y Totonicapán, al sur con el departamento de Suchitepéquez, al oeste con Suchitepéquez y Quetzaltenango, y al este con Chimaltenango. La cabecera departamental se encuentra a 140 kilómetros de la capital. Sus coordenadas son 14,77 grados norte y 91,19 grados oeste. Su altitud media es de 2 113 metros sobre el nivel del mar.

1.1.4. Retalhuleu

Se encuentra en la región suroccidental de Guatemala. Limita al norte con Quetzaltenango, al sur con el océano Pacífico, al este con Suchitepéquez y al oeste con Quetzaltenango y San Marcos. Cuenta con una altitud media de 239 metros sobre el nivel del mar. Sus coordenadas son 14,54 grados norte y 91,68 grados oeste. La cabecera departamental de Retalhuleu está situada a 190 kilómetros de la ciudad de Guatemala.

1.2. Monografía

La monografía es uno de los aspectos principales para caracterizar un lugar que se encuentra bajo estudio. Permite vincular los rasgos propios de cada departamento con las medidas necesarias para propiciar su desarrollo, que es el fin último de la elaboración de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia por su relación con ciertas obras civiles.

1.2.1. San Marcos

Al ser fundado en el siglo XVI, se le conocía como El Barrio y se le levantó un templo donde funcionaría la iglesia católica consagrada a San Marcos Evangelista, de donde el departamento tomó su nombre, por haber sido puesto bajo la advocación de San Marcos. Su cabecera departamental es San Marcos y su extensión territorial es de 3 791 kilómetros cuadrados.

Su población total, proyectada al 2010 según el XI Censo Nacional de Población del Instituto Nacional de Estadística (INE) realizado en enero de 2003, es de 995 472 habitantes.

Se hablan los idiomas español; mam, excepto en cuatro municipios de la costa sur: Ocos, Ayutla, Catarina y Malacatán; y el sipacapense, en el municipio de Sipacapa. También se habla el k'iche en los municipios de Ixhiguán y San José Ojetenám.

La feria titular de la cabecera departamental, conocida como Feria Departamental de Primavera, se celebra del 22 al 28 de abril; siendo el día principal el 25, fecha en que la iglesia católica conmemora a San Marcos Evangelista, patrono del municipio y departamento. También se celebran varias danzas folclóricas en honor a los santos patronos de cada municipio.

En este departamento se localizan las siguientes carreteras: Ruta Nacional 1, Ruta Nacional 6-W, Ruta Nacional 12-S y la Interamericana CA-2 que, partiendo de la ciudad Tecún Umán, municipio de Ayutla, frontera con México, y recorriendo la zona costera del país, al llegar a Escuintla, por la carretera interoceánica, el departamento se comunica con la ciudad capital.

Este departamento tiene además vías de comunicación marítimas a través del Puerto de Ocos.

El departamento marquense, por tener un clima variado, y abarcar su extensión territorial desde las playas del Pacífico hasta las cumbres más altas de Centroamérica, posee un uso de la tierra capacitado para la siembra de una gran variedad de cultivos, como: maíz, frijol, arroz, banano, cacao, caña de azúcar, tabaco y café, en la costa y bocacosta; papa, trigo, avena, cebada, manzana, durazno, melocotón y hortalizas, en el altiplano. Así también para la producción forestal y la floricultura; crianza de ganado vacuno, ovino, porcino y equino; la avicultura y apicultura.

Las playas a orillas del océano Pacífico en los municipios de Ocos y Tilapa, son visitadas por turistas nacionales y extranjeros, especialmente durante semana santa y las fiestas de fin de año. Son también conocidos los distintos balnearios que se encuentran en el departamento, en los municipios de San Pedro Sacatepéquez, San Rafael Pié de la Cuesta, San Pablo y Malacatán. Actualmente se impulsa el turismo de aventura y ecoturismo en los ascensos a los volcanes Tajumulco (el más alto de Centroamérica) y Tacaná (fronterizo con México).

En su aspecto arqueológico cuenta con gran cantidad de sitios de interés, tanto de la época precolombina como de los primeros poblados coloniales, en los municipios del altiplano, quedando algunas ruinas de iglesias que posteriormente fueron trasladadas. Su patrimonio arquitectónico está integrado por templos coloniales y objetos de valor de Justo Rufino Barrios en el municipio de San Lorenzo y algunos edificios públicos que aún guardan su estilo neoclásico de finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX.

El departamento de San Marcos se encuentra dividido en 29 municipios que son:

- San Marcos (San Marcos)
- Ayutla
- Catarina
- Comitancillo
- Concepción Tutuapa
- El Quetzal
- El Rodeo
- El Tumbador
- Ixchiguán
- La Reforma
- Malacatán
- Nuevo Progreso
- Ocós
- Pajapita
- Esquipulas Palo Gordo
- San Antonio Sacatepéquez
- San Cristóbal Cucho
- San José Ojetenam
- San Lorenzo
- San Miguel Ixtahuacán
- San Pablo
- San Pedro Sacatepéquez
- San Rafael Pie de la Cuesta
- Sibinal
- Sipacapa

- Tacaná
- Tajumulco
- Tejutla
- Río Blanco

1.2.2. Quetzaltenango

Su cabecera Quetzaltenango, también conocida como Xelajú, es la segunda ciudad más importante de Guatemala. El departamento fue creado por decreto de la Asamblea Nacional Constituyente el 16 de septiembre de 1845. Cuenta con una extensión territorial de 1 953 kilómetros cuadrados. La ciudad de Quetzaltenango fue proclamada como capital de Centroamérica por el Parlacén en 2008. El municipio forma parte de la mancomunidad Metrópoli de los Altos.

Quetzaltenango cuenta con diversos centros educativos, como algunas de las universidades más reconocidas de Guatemala. Es la ciudad con la mayor cantidad de centros educativos por habitante, debido, a su estratégica ubicación, ya que la mayoría de sus estudiantes no son de Quetzaltenango, sino de ciudades y poblaciones que se ubican en promedio a hora y media de ésta ciudad.

La población total del departamento de Quetzaltenango, censada en 2002 fue de 624 716 habitantes, lo que equivale a un 6,0 por ciento del total nacional. Para el período 1981-1994 la tasa de crecimiento anual fue de 1,8 por ciento, inferior al promedio nacional, el cual fue de 2,5 por ciento. La composición de la población es de un 40 por ciento a nivel urbano y 60 por ciento a nivel rural.

Actualmente la capital de Quetzaltenango se constituye en un lugar estratégico para el comercio y los servicios, así como para la industria textil y licorera a nivel nacional. Otro sector que ha tenido un repunte interesante en la ciudad es el sector de la construcción, ya que ha proliferado la industria de servicios para la construcción, debido al incremento de centros comerciales, colonias y condominios.

Dentro de sus cultivos destacan: café, maíz, fruta, palma africana, ajonjolí, arroz y hule. Es una zona ganadera, industrial y de gran actividad comercial.

El departamento se caracteriza por tener atractivos turísticos como: el Cerro del Baúl, el Cerro Siete Orejas, Cerro Quemado, los baños de Almolonga Cirilo Flores, las Delicias, las Fuentes Georginas, la Laguna de Chicabal y otras, lo que ha determinado que el número de turistas haya aumentado en los últimos años. Así como el 15 de septiembre, cuando se conmemora la independencia de Guatemala con una serie de actividades a lo largo del mes.

A nivel departamental el 60,57 por ciento de la población es indígena, porcentaje superior al observado a nivel nacional (41,9 por ciento). Predomina el grupo étnico k'iche' y mam. Se habla español, idioma oficial, pero también se habla k'iche' y mam.

El departamento está dividido en 24 municipios:

- Almolonga
- Cabricán
- Cajolá
- Cantel
- Coatepeque

- Colomba
- Concepción Chiquirichapa
- El Palmar
- Flores Costa Cuca
- Génova
- Huitán
- La Esperanza
- Olintepeque
- San Juan Ostuncalco
- Palestina de Los Altos
- Quetzaltenango
- Salcajá
- San Carlos Sija
- San Francisco La Unión
- San Martín Sacatepéquez
- San Mateo
- San Miguel Sigüilá
- Sibilía
- Zunil

1.2.3. Sololá

Sololá fue erigido en departamento por decreto de la Asamblea Constituyente del 4 noviembre de 1825. Formó parte del Estado de los Altos en 1838, 1840, 1848 y 1849, cuando volvió a incorporarse a la República. El territorio del departamento de Sololá estuvo ocupado por tres pueblos, los k'iche', tz'utujil y kaqchikel. Uno de los documentos indígenas más importantes es el Memorial de Sololá, escrito por dos miembros de la familia Xahil,

Francisco Hernández Arana y Francisco Díaz, entre 1573 y 1610, como un título o prueba para un proceso judicial.

La población total estimada por la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN), con base en la estructura del XI Censo Nacional de Población llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en enero de 2003, es de 307 661 habitantes. Cuenta con una extensión territorial de 1 061 kilómetros cuadrados.

Su principal medio de comunicación es la carretera que atraviesa su territorio, conocida como la Interamericana CA-1, que hacia el occidente conduce a Quetzaltenango hasta llegar a la frontera con México. Cuenta también con las Rutas Nacionales 11 y 15, así como con adecuadas rutas departamentales que unen a los diferentes municipios entre sí y con los departamentos vecinos. Cuenta con 152 kilómetros de asfalto, 133 kilómetros de terracería y 99 kilómetros de caminos rurales.

En el departamento de Sololá por sus variados climas, tipos de suelo y la topografía del terreno, además de la utilización que se le da a la tierra para urbanizar y construir, sus habitantes siembran gran diversidad de cultivos anuales, permanentes o semipermanentes, encontrándose entre estos los cereales, hortalizas, árboles frutales, café, legumbres y semillas de tubérculos. Además por las cualidades con que cuenta el departamento, se da la crianza de varias clases de ganado, destacándose entre estas el vacuno, ovino, equino, y caprino, dedicando parte de estas tierras para el cultivo de diversos pastos que sirven de alimento a los mismos.

La existencia de bosques, ya sean naturales, de manejo integrado, y mixtos, compuestos de variadas especies arbóreas, arbustivas o rastreras dan

al departamento un toque especial en su ecosistema y ambiente, convirtiéndolo en uno de los lugares típicos para ser visitado por turistas, no solo nacionales sino también extranjeros.

La feria titular se celebra en la cabecera de Sololá el 15 de agosto, y se celebra la fiesta llamada Nim Akij Sololá, que significa Día Grande de Sololá. En este departamento existe un sincretismo religioso muy arraigado, pues veneran, tanto a Jesucristo y todos los santos de la iglesia católica como al Dios Mundo, al Dueño del cerro y los espíritus de los antepasados.

La iglesia católica está presidida por los obispos y sacerdotes, y la religión ancestral por los xamanes o como se les llama a los sacerdotes mayas. En Sololá, especialmente en Santiago Atitlán, se lleva a cabo la veneración de una imagen conocida como Maximón, considerada como un elemento importante en la religión de los indígenas y que ha trascendido también entre los ladinos, el cual es venerado en varias comunidades de Guatemala. Algo importante dentro de la religión católica es la existencia de las cofradías y los servicios que se prestan en la propia iglesia. En cada comunidad funcionan diversas cofradías, que prestan ayuda y servicios a sus integrantes, aparte de rendir culto a sus deidades o santos patronos.

En este departamento, los indígenas ejecutan sus bailes folclóricos cuando se lleva a cabo la feria titular de cada uno de sus municipios. Es de los pocos lugares en Guatemala (San Pedro La Laguna), donde se pueden encontrar todavía a los hueseros, personas con capacidad de mover la posición de un hueso en el cuerpo con sus manos para aliviar el dolor de una articulación o un hueso.

En este departamento, además de hablar el castellano, también se hablan tres idiomas mayas, el k'iché, tz'utujil y kaqchikel.

Una de las principales fuentes de la economía de este departamento es el lago de Atitlán, pues además de ser un centro turístico de gran importancia, sirve como medio de comunicación social y comercial entre los pueblos de la ribera; a la vez que surte a los habitantes de pescado, cangrejos, especies vegetales como gallaretas y tul para la elaboración de artículos artesanales. En este lago se produce una especie de pez muy pequeño conocido localmente como patín, que constituye un plato exquisito en la alimentación tanto de ladinos como de indígenas.

En la economía además juegan un papel importante los productos agrícolas que sus habitantes cultivan, siendo el principal de estos el café, produciéndose además maíz, caña de azúcar, frijol, trigo, cebada, papa y legumbres.

Este departamento también cuenta con la crianza de diferentes clases de ganado, como el vacuno, caballar y lanar, siendo este departamento uno de los mayores productores de lana a nivel nacional. Es importante resaltar que en este departamento aún se conserva la artesanía que fue el legado principal que le quedó a sus aborígenes, produciendo estos los tejidos típicos, productos de madera y cuero; siendo una de las artesanías más representativas la fabricación de piedras de moler y los muebles de madera que trabajan los indígenas de Nahuallá, que son muy usados en todo el altiplano central y occidental, es de este mismo municipio que se conocen los artículos y adornos que elaboran de la paja del trigo.

El centro turístico de mayor atracción para este departamento son: las playas a la orilla del Lago de Atitlán, ubicadas en los siguientes poblados: Panajachel, Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán, San Antonio Palopó, y otros pueblos situados en la ribera del lago así como el centro recreativo y ecológico de Chuirachamoló, ubicado en el municipio de Santa Clara La Laguna, ruta que conduce hacia Quetzaltenango; el cual es visitado constantemente por turistas nacionales y extranjeros. Este departamento cuenta con muchos centros históricos y arqueológicos que son un atractivo para los turistas.

El departamento de Sololá se encuentra dividido en 19 municipios que son:

- Sololá
- Concepción
- Nahualá
- Panajachel
- San Andrés Semetabaj
- San Antonio Palopó
- San José Chacayá
- San Juan La Laguna
- San Lucas Tolimán
- San Marcos La Laguna
- San Pablo La Laguna
- San Pedro La Laguna
- Santa Catarina Ixtahuacán
- Santa Catarina Palopó
- Santa Clara La Laguna
- Santa Cruz La Laguna
- Santa Lucía Utatlán

- Santa María Visitación
- Santiago Atitlán

1.2.4. Retalhuleu

Su etimología parece provenir de las voces quichés *retal* que significa Señal, *hul* que significa hoyo y *uleu* que significa tierra, lo que quiere decir hoyo en la tierra, con los elementos del idioma quiché, se dice que esto se traduce en Señal de la Tierra. Este departamento fue creado por decreto No. 194 del 16 de octubre de 1877, cuando se segregó de Suchitepéquez.

Entre las carreteras principales, además de las rutas nacionales, está la Internacional del Pacífico CA-2, que partiendo de la frontera con El Salvador continúa hasta la frontera con México. De esta carretera a la altura de San Sebastián se desprende un ramal que lo comunica con Quetzaltenango. Cuenta también con carreteras a nivel departamental, caminos roderas, y veredas que unen a la cabecera con sus poblados y comunidades rurales, de los cuales 128 kilómetros son de asfalto y 63 de terracería. En este departamento aún existen las estaciones del ferrocarril, y posee varias pistas de aterrizaje.

La feria principal de este departamento es la que se celebra en la cabecera, y es del 2 al 12 de diciembre, siendo el día principal el 7, fecha en que la iglesia católica conmemora la inmaculada concepción de la Virgen María, Santa Copatrona del lugar. Las celebraciones en el departamento dan inicio el 20 de enero con el día de San Sebastián Apóstol. El 19 de marzo se celebra el día de San José en Champerico y El Asintal. En el mes de mayo se celebra el día de la Santa Cruz el día 3, y el 13 el día de San Felipe Apóstol. En noviembre también hay dos celebraciones; una el día 11 con el día de San Martín Obispo y el 30 con el día de San Andrés Apóstol.

El idioma oficial es el español. Ancestralmente sus habitantes se han comunicado en k'iché, idioma que persiste a la fecha en el habla de los nativos mayas, sobre todo en municipios como San Andrés Villa Seca, San Felipe Retalhuleu, San Martín Zapotitlán, San Sebastián y Santa Cruz Muluá.

Este departamento es uno de los más importantes de la república por su riqueza natural, su agricultura, industria, comercio y magnificas vías de comunicación. Por ser un departamento eminentemente agrícola e industrial, concurren temporalmente trabajadores migratorios que provienen del altiplano. La topografía del departamento es bastante quebrada, pues sus alturas varían entre los 614 metros sobre el nivel del mar en San Felipe, descendiendo paulatinamente hasta los 5 metros en Champerico a la orilla del mar, por lo que su clima en general es más cálido que templado. Por esta razón, es una zona fuerte de producción agrícola y ganadera.

Entre los cultivos de la región se encuentra el maíz, frijol, café, caña de azúcar, arroz, algodón, hule, palma africana y bosques diversos.

Existen además varias haciendas ganaderas, así como de explotación y aprovechamientos de los recursos marítimos en el puerto de Champerico, con las salinas y la pesca. En este lugar también se encuentran diversos tipos de industrias, entre las que sobresalen las fabricas de aceites esenciales, las desmotadoras de algodón, fabricas de hilados, ingenios azucareros, beneficios de café, fabricas de papel y fabricas procesadoras de mariscos; y entre sus producciones artesanales se encuentra la producción de panela, instrumentos musicales, tejidos típicos de algodón y otros.

Dentro de sus atractivos naturales, este departamento posee varios lugares como Playa Grande, Playa La Verde, Lago Ocosito, Playa Río Samalá,

Playas de Champerico y la Laguna El Tigre. Además en este departamento se localizan Las Ruinas de San Juan Noj, vestigio de la existencia de un pasado glorioso en esta región. También el sitio arqueológico de Takalik Abaj en el municipio del Asintal, en donde existió esta ciudad maya del preclásico. En este departamento se encuentra el Instituto Recreativo de los Trabajadores (IRTRA), una zona de parques recreacionales y hoteles. También cabe mencionar que dentro de los centros turísticos se encuentra el Centro Histórico de Retalhuleu, el cual abarca toda la zona 1 del casco urbano.

Dentro de los edificios históricos se encuentra el palacio departamental de Retalhuleu, el edificio de Correos y Telégrafos, el Museo, el edificio de la Policía Nacional Civil, la Iglesia Católica San Antonio de Padua y edificaciones públicas y privadas.

El departamento de Retalhuleu se encuentra dividido en 9 municipios y éstos son:

- Champerico
- El Asintal
- Nuevo San Carlos
- Retalhuleu
- San Andrés Villa Seca
- San Martín Zapotitlán
- San Felipe
- San Sebastián
- Santa Cruz Muluá

1.3. Estaciones climáticas

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

1.3.1. Estación climática San Marcos

Es una estación climática tipo B, ubicada en el municipio de San Marcos, en la cuenca del río Naranjo, a 14,96 grados norte y 91,80 grados oeste, a 2 358 metros sobre el nivel del mar.

Figura 1. Estación climática San Marcos



Fuente: San Marcos, San Marcos.

1.3.2. Estación climática Labor Ovalle

Estación climática tipo A, automática satelital. Ubicada en el municipio de Olinstepeque, departamento de Quetzaltenango, en la cuenca del río Samalá, a una latitud de 14,57 grados norte y una longitud de 91,52 grados oeste. Su altitud es de 2 400 metros sobre el nivel del mar.

Figura 2. **Estación climática Labor Ovalle**



Fuente: Olinstepeque, Quetzaltenango.

1.3.3. Estación climática Santa María El Tablón

Es una estación climática tipo A, ubicada en el municipio de Sololá, en la cuenca del lago Atitlán. Su latitud es 14,79 grados norte y su longitud es 91,18 grados oeste. Su elevación es de 2 397 metros sobre el nivel del mar.

Figura 3. Estación climática El Tablón



Fuente: Sololá, Sololá.

1.3.4. Estación climática Santiago Atitlán

Es una estación rehabilitada. Está ubicada en la cuenca del lago Atitlán, en el municipio de Atitlán. Su latitud es 14,63 grados norte y su longitud es 91,23 grados oeste. Su altitud es de 1 580 metros sobre el nivel del mar.

Figura 4. **Estación climática Santiago Atitlán**



Fuente: Santiago Atitlán, Sololá.

1.3.5. Estación climática Retalhuleu

Es una estación rehabilitada. Está ubicada en la cuenca del río Ocosito, en el municipio de Retalhuleu. Situada a una latitud de 14,53 grados norte y una longitud de 91,68 grados oeste. Su elevación es de 239 metros sobre el nivel del mar.

Figura 5. **Estación climática Retalhuleu**



Fuente: Retalhuleu, Retalhueu.

1.4. Cuencas

Las características de las cuencas hidrográficas son aspectos fundamentales que determinan la disponibilidad espacial del recurso hídrico en los departamentos elegidos para este trabajo. La información contenida en este inciso fue obtenida del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

1.4.1. San Marcos

La mayoría de las cuencas en el departamento de San Marcos pertenecen a la vertiente del Pacífico, exceptuando la del río Cuilco, la cual pertenece a la vertiente de Golfo de México.

- Cuenca del río Coatán: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 27 261 hectáreas. En San Marcos, abarca los municipios de Ixchiguán, San José Ojetenam, Sibinal y Tacaná.
- Cuenca del río Suchiate: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 105 712 hectáreas. En San Marcos, abarca los municipios de Ayutla, Catarina, El Rodeo, El Tumbador, Esquipulas Palo Gordo, Ixchiguán, La Reforma, Malacatán, Nuevo Progreso, Ocos, San Marcos, San Pablo, San Rafael Pie de la Cuesta, Sibinal, Tacaná y Tajumulco.
- Cuenca del río Naranjo: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 127 069 hectáreas. En San Marcos, abarca los municipios de Ayutla, Catarina, El Quetzal, El Rodeo, El Tumbador, Esquipulas Palo Gordo, La Reforma, Nuevo Progreso, Ocos, Pajapita, San Antonio Sacatepéquez, San Cristóbal Cucho, San Lorenzo, San Marcos y San Pedro Sacatepéquez.
- Cuenca del río Ocosito: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 207 303 hectáreas. En San Marcos, abarca el municipio de Ocos.
- Cuenca del río Cuilco: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 227 400 hectáreas. En San Marcos, abarca los

municipios de Comitancillo, Concepción Tutuapa, Ixchiguán, Río Blanco, San Antonio Sacatepéquez, San José Ojetenam, San Lorenzo, San Marcos, San Miguel Ixtahuacán, San Pedro Sacatepéquez, Sipacapa, Tacaná, Tajumulco, y Tejutla.

1.4.2. Quetzaltenango

La mayoría de las cuencas en este departamento también pertenecen a la vertiente del Pacífico y en su territorio tiene en común algunas cuencas con los departamentos de San Marcos y Sololá.

- Cuenca del río Naranjo: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 127 069 hectáreas. En Quetzaltenango, abarca los municipios de Colomba, Concepción Chiquirichapa, Palestina de los Altos y San Juan Ostuncalco.
- Cuenca del río Ocosito: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 207 303 hectáreas. En Quetzaltenango, abarca los municipios de Coatepeque, Colomba, Concepción Chiquirichapa, El Palmar, Flores Costa Cuca, Génova, Quetzaltenango, San Martín Sacatepéquez y San Mateo.
- Cuenca del río Samalá: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 147 911 hectáreas. En Quetzaltenango, abarca los municipios de Almolonga, Cajolá, Cantel, Concepción Chiquirichapa, El Palmar, Huitán, La Esperanza, Olintepeque, Palestina de los Altos, Salcajá, San Carlos Sija, San Francisco La Unión, San Juan Ostuncalco, San Martín Sacatepéquez, San Mateo, San Miguel Sigüila y Sibilia.

- Cuenca del río Nahualate: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 194 100 hectáreas. En Quetzaltenango, abarca los municipios de Cantel y Zunil.
- Cuenca del río Cuilco: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 227 400 hectáreas. En Quetzaltenango, abarca los municipios de Cabricán, Cajolá, Huitán, Palestina de los Altos, San Carlos Sija y Sibilia.

1.4.3. Sololá

La principal cuenca de este departamento es la cuenca del lago de Atitlán. Es uno de los departamentos que abarca la cuenca del Motagua, que es la más grande de Guatemala.

- Cuenca del río Samalá: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 147 911 hectáreas. En Sololá, abarca el municipio de Nahualá.
- Cuenca del río Sis-Ican: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 91 900 hectáreas. En Sololá, abarca los municipios de Nahualá y Santa Catarina Ixtahuacán.
- Cuenca del río Nahualate: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 194 100 hectáreas. En Sololá, abarca los municipios de Nahualá, San Juan La Laguna, San Pedro La Laguna, Santa Catalina Ixtahuacán, Santa Clara La Laguna, Santa Lucía Utatlán, Santa María Visitación y Santiago Atitlán.

- Cuenca de Atitlán: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 54 110 hectáreas. En Sololá, abarca los municipios de Nahualá, Concepción, Lago de Atitlán, Panajachel, San Andrés Semetabaj, San Antonio Palopó, San José Chacayá, San Juan La Laguna, San Lucas Tolimán, San Marcos La Laguna, San Pablo La Laguna, San Pedro La Laguna, Santa Catarina Palopó, Santa Clara La Laguna, Santa Cruz La Laguna, Santa Lucía Utatlán, Santiago Atitlán y Sololá.
- Cuenca del río Madre Vieja: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 87 800 hectáreas. En Sololá, abarca los municipios de San Andrés Semetabaj, San Antonio Palopó, San Lucas Tolimán y Santiago Atitlán.
- Cuenca del río Motagua: pertenece a la vertiente del mar de Las Antillas y posee un área total de 1 267 000 hectáreas. En Sololá, abarca los municipios de San Andrés Semetabaj y Sololá.

1.4.4. Retalhuleu

Todas las cuencas de este departamento pertenecen a la vertiente del Pacífico y en su territorio se extiende la cuenca del río Samalá, que también abarca los departamentos de Quetzaltenango y Sololá.

- Cuenca del río Naranjo: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 127 069 hectáreas. En Retalhuleu, abarca el municipio de Retalhuleu.
- Cuenca del río Ocosito: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 207 303 hectáreas. En Retalhuleu, abarca los municipios de

Champerico, El Asintal, Nuevo San Carlos, Retalhuleu, San Felipe y San Sebastián.

- Cuenca del río Sis-Ican: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 91 900 hectáreas. En Retalhuleu, abarca los municipios de San Andrés Villa Seca y San Felipe.
- Cuenca del río Samalá: pertenece a la vertiente del Pacífico y posee un área total de 147 911 hectáreas. En Retalhuleu, abarca los municipios de Retalhuleu, San Andrés Villa Seca, San Felipe Retalhuleu, San Martín Zapotitlán, San Sebastián y Santa Cruz Muluá.

1.5. Ríos

La región del país a la cual pertenecen los departamentos analizados se encuentra irrigada por diversos ríos. A continuación se listan los ríos principales de cada departamento, los cuales en su mayoría pertenecen a la vertiente del Pacífico, a excepción de los ríos Cuilco y Motagua que pertenecen a la vertiente del Golfo de México y a la vertiente del mar de Las Antillas, respectivamente.

1.5.1. San Marcos

En el departamento de San Marcos nacen los ríos Suchiate, Cabuz y Naranjo. Los dos primeros nacen en las faldas del volcán Tacaná y Tajumulco, respectivamente. El río Naranjo nace en la Sierra Madre.

- Cuilco: recorre los departamentos de Huehuetenango y San Marcos. Nace en la Sierra Madre, donde se conoce como río Blanco. Desemboca en el embalse de la presa de La Angostura.

- Suchiate: nace en una altitud de 3 000 metros sobre el nivel del mar en las faldas surorientales del volcán Tacaná y desemboca en el océano Pacífico. Tiene una longitud total de 161 kilómetros. Los últimos 75 kilómetros de este río marcan la frontera occidental entre México y Guatemala.
- Naranjo: nace en la Sierra Madre, en San Marcos, pasa por Coatepeque y la planicie costera de Retalhuleu para desembocar en el océano Pacífico. Su longitud es de 105 kilómetros.
- Cabuz: nace en las faldas del volcán Tajumulco. Su extensión es de 60,8 kilómetros y recorre los municipios de San Rafael Pie de la Cuesta, Catarina y Ayutla. Desemboca en el río Suchiate.

1.5.2. Quetzaltenango

La región quetzalteca es atravesada por varios ríos de importancia. En los cerros de la Sierra Madre de su territorio y el de Totonicapán nace el río Samalá.

- Samalá: nace en los cerros de la Sierra Madre en los departamentos de Quetzaltenango y Totonicapán. Desemboca en el océano Pacífico y su longitud es de 145 kilómetros.
- Ocosito: nace en la Sierra Madre, atraviesa el departamento de Retalhuleu y desemboca en el océano Pacífico. Su extensión es de 107 kilómetros.

1.5.3. Sololá

Además del lago de Atitlán, el departamento de Sololá cuenta con otros recursos hídricos importantes debido a que es atravesado por varios ríos, entre estos el río Motagua. Además, en su territorio, en la Sierra Madre, nace el río Nahualate.

- Madre Vieja: nace en la Sierra Madre en los límites de los departamentos de Quiché, Sololá y Chimaltenango y desemboca en el océano Pacífico. Tiene una longitud de 126 kilómetros.
- Nahualate: nace en la Sierra Madre, cerca de Santa Catarina Ixtahuacán y Nahualá en el departamento de Sololá. Atraviesa los departamentos de Sololá, Suchitepéquez y Escuintla para desembocar en el océano Pacífico. Su extensión es de 130 kilómetros.
- Motagua: nace en el altiplano occidental y es el río más largo de Guatemala debido a sus amplios 486 kilómetros de longitud hasta desembocar en el mar Caribe. En sus últimos kilómetros marca la frontera con Honduras.

1.5.4. Retalhuleu

Retalhuleu es un departamento fuertemente irrigado por varios ríos. El río Ocosito marca la frontera entre este departamento y Quetzaltenango; y también el río Sis le sirve de línea divisoria, en este caso, con el departamento de Suchitepéquez.

- Ocosito: nace en la Sierra Madre, atraviesa el departamento de Retalhuleu y desemboca en el océano Pacífico. Su extensión es de 107 kilómetros.
- Sis: es el principal afluente del río Icán. Nace al sur de las faldas del volcán Santa María dentro de la finca Altamira y sirve de límite entre los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu. Desemboca en el océano Pacífico.
- Icán: nace en la Sierra Madre, en las laderas del volcán Santo Tomás en el departamento de Suchitepéquez. El río corre de un modo más o menos paralelo a su principal afluente, el río Sis. Tiene una longitud de 53 kilómetros y desemboca en el océano Pacífico.
- Samalá: nace en los cerros de la Sierra Madre en los departamentos de Quetzaltenango y Totonicapán. Desemboca en el océano Pacífico y su longitud es de 145 kilómetros.

1.6. Climatología

La climatología permite conocer los registros de temperatura y precipitación y su variación a lo largo del tiempo en las áreas de interés. Posibilita inferir qué eventos pueden considerarse inusuales para las zonas bajo análisis.

1.6.1. San Marcos

En este departamento se distinguen tres zonas climáticas: la meseta y altiplanos, que comprende la mayor parte del territorio, la bocacosta y la

planicie costera del Pacífico. Por ello, San Marcos presenta un clima variado en todo su territorio. La variabilidad de elevaciones mayores o iguales a los 1 400 metros sobre el nivel del mar, debido a la zona montañosa característica de la meseta y altiplanos, genera una diversidad de microclimas.

En esta región no se presentan eventos de lluvias de gran intensidad, los registros más altos se presentan de mayo a octubre y en los meses restantes éstas pueden ser deficitarias. En cuanto a la temperatura, existen climas que varían de templados y semifríos con invierno benigno a semicálidos con invierno benigno, de carácter húmedo y semiseco con invierno seco; en algunos puntos de esta región es donde se registran los valores más bajos de temperatura del país. En la zona de la bocacosta los niveles de lluvia son los más altos del país junto con los de la franja transversal del norte, con máximos de junio a septiembre.

En esta región existe un clima generalizado de género semicálido y sin estación fría bien definida, con carácter de muy húmedo, sin estación seca bien definida; en el extremo oriental varía a húmedo y sin estación seca bien definida. La zona de la planicie costera del Pacífico presenta elevaciones de 0 a 300 metros sobre el nivel del mar. Aquí existen climas de género cálido sin estación fría bien definida; con carácter húmedo con invierno seco, variando a semiseco; y con invierno seco.

La estación climática San Marcos ha registrado una temperatura media desde 1990 a 2010 que varía entre los 13 y los 15 grados Celsius; la mínima absoluta registrada ha sido de -6,5 grados Celsius y la máxima de 30 grados Celsius.

El registro de normales climáticas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) brinda una mejor perspectiva del clima de este departamento a partir de los registros de las estaciones (ver tabla I).

Tabla I. **Normales climáticas del departamento de San Marcos**

Localidad	Elevación (msnm)	Temperaturas °C	Absolutas	Precipitación	Brillo Solar	Humedad relativa	Vel. viento	Evaporación
		Máx - Mín	Máx - Mín	Milímetros	Total/hrs/Promedio Mes	En %	Kms/hr	En milímetros
Departamento de San Marcos:								
San Marcos	2 420	20,0 - 6,0	28,0 - - 8,0	1 026,50	-99	85	-99	-99
Catarina	233	32,9 - 19,1	38,4 - 9,5	3 565,40	-99	76	-99	-99

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

1.6.2. Quetzaltenango

La mayor parte de su territorio la comprende la zona climática de la meseta y altiplanos, por lo que presenta diversidad de microclimas provocados por la variabilidad de elevaciones de la franja montañosa. Pertenece a la región del país donde tienen lugar los descensos de temperatura más extremos. La temperatura media anual del departamento según los registros de la estación Labor Ovalle varía entre los 13 y 15 grados Celsius desde 1991, descendiendo hasta 1,5 grados Celsius en noviembre de 2010 y llegando a 17 grados Celsius en algunos meses de mayo y junio. En enero de 2002 se registró una temperatura mínima absoluta de -10,5 grados Celsius y la máxima absoluta ha sido de 29,8 grados Celsius en enero de 1991.

La acción humana se convierte en un factor de variación apreciable debido a que es una región densamente poblada. En varias zonas del departamento no

se presentan registros de precipitación de alta intensidad, generalmente alcanzan sus máximos de mayo a octubre y sequía en los meses restantes.

Los climas oscilan entre templados y semifríos con invierno benigno, y semicálidos con invierno benigno; húmedos y semisecos con invierno seco. El registro de normales climáticas del INSIVUMEH brinda una mejor perspectiva del clima de este departamento a partir de los registros de las estaciones (ver tabla II).

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

Localidad	Elevación (msnm)	Temperaturas °C		Absolutas	Precipitación	Brillo Solar	Humedad relativa	Vel. viento	Evaporación
		Máx - Mín	Máx - Mín	Milímetros	Total/hrs/Promedio Mes	En %	Kms/hr	En milímetros	
Departamento de Quetzaltenango:									
Olintepeque	2 390	21,7 - 5,8	29,6 - -11,5	842,5	201,5	75	7	125,2	

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

1.6.3. Sololá

El clima de Sololá viene determinado por tres de las zonas climáticas definidas por el INSIVUMEH: la meseta y altiplanos, que es la que cubre la mayor parte de su territorio, la planicie costera del Pacífico y la bocacosta. Debido a que es uno de los departamentos que atraviesa la Sierra Madre, presenta el clima frío, propio de las grandes altitudes y los microclimas que se generan en estas zonas; y los climas cálidos característicos de las zonas más cercanas al nivel del mar.

La estación climática El Tablón ubicada en el municipio de Sololá registra una temperatura media anual que varía entre los 14 y 15 grados Celsius en el

período comprendido entre 1994 y 2002. Mientras que la estación Santiago Atitlán, ubicada en el municipio de Atitlán, registra temperaturas medias anuales más altas, que varían entre los 16 y 19 grados Celsius. Esto demuestra la variabilidad del clima de este departamento de una zona a otra.

La temperatura mínima absoluta registrada en ambas estaciones es de 0 grados Celsius, aunque en Santiago Atitlán éstas son significativamente superiores a las de El Tablón, llegando incluso a registrar un mínimo absoluto de 15 grados Celsius en una ocasión. La temperatura máxima absoluta varía también en ambas estaciones, llegando a los 33,5 grados Celsius en Santiago Atitlán y a 26,5 grados Celsius en El Tablón.

El registro de normales climáticas del INSIVUMEH brinda una mejor perspectiva del clima de este departamento a partir de los registros de las estaciones (ver tabla III).

Tabla III. Normales climáticas del departamento de Sololá

Localidad	Elevación (msnm)	Temperaturas °C		Precipitación Milímetros	Brillo Solar Total/hrs/Promedio Mes	Humedad relativa En %	Vel. viento Kms/hr	Evaporación En milímetros
		Máx - Mín	Máx - Mín					
Departamento de Sololá:								
San Lucas Tolimán	1 562	26,2 - 13,5	36,3 - 3,0	1 011,70	179,2	79	-99	-99
Santiago Atitlán	1 580	24,4 - 12,3	31,5 - 2,9	1 010,00	-99	81	-99	127,9

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

1.6.4. Retalhuleu

El departamento de Retalhuleu es uno de los preferidos por los turistas puesto que presenta en general un clima cálido por su cercanía al nivel del mar, con presencia de humedad debido a la influencia de la zona climática de la

bocacosta. La zona que mayormente determina su clima es la de la planicie costera del Pacífico.

De acuerdo a los registros de la estación climática Retalhuleu, ubicada en la base militar del municipio de Retalhuleu, la temperatura media medida desde 1991 a 2010 se ha mantenido entre los 26 y 27 grados Celsius. En la misma estación, la temperatura mínima absoluta ronda los 17 grados Celsius y la máxima absoluta, los 37 grados Celsius.

El registro de normales climáticas del INSIVUMEH brinda una mejor perspectiva del clima de este departamento a partir de los registros de las estaciones (ver tabla IV).

Tabla IV. Normales climáticas del departamento de Retalhuleu

Localidad	Elevación (msnm)	Temperaturas °C	Absolutas	Precipitación	Brillo Solar	Humedad relativa	Vel. viento	Evaporación
		Máx - Mín	Máx - Mín	Milímetros	Total/hrs/Promedio Mes	En %	Kms/hr	En milímetros
Departamento de Retalhuleu:								
Retalhuleu	205	33,6 - 21,1	37,6 - 17,7	2 890,70	-99	71	-99	-99
El Asintal	355	32,2 - 18,8	38,6 - 10,3	3 010,60	-99	75	-99	-99

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

2. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

La información hidrológica de procesos aleatorios es descrita por medio de parámetros estadísticos. Los parámetros estadísticos son característicos de una población o muestra y cada uno de ellos es el valor esperado de alguna función de una variable aleatoria. Se basan en principios matemáticos que describen la variación aleatoria centrándose en las observaciones de los eventos y no en los procesos físicos que los producen.

2.1. Medidas de tendencia central

Son indicadores estadísticos que muestran hacia qué valor o serie de valores se agrupan los datos. Sirven para caracterizar los datos en torno a un centro.

2.1.1. Media

Es el valor resultante que se obtiene al dividir la sumatoria de un conjunto de datos entre el número total de los mismos. A pesar de ser muy sensible a los valores extremos, es una forma de encontrar un valor representativo en una serie de números.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

Donde:

μ = media aritmética

X_i = conjunto de valores de la variable

N = número total de valores

2.1.1.1. Media aritmética de una distribución de frecuencias de valores sin agrupar

Se conoce también por el nombre de promedio ponderado, ya que cada término se repite al menos dos veces. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot X_i}{N}$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n f_i \cdot X_i$ = suma de los productos de los valores por su frecuencia correspondiente.

2.1.1.2. Media aritmética de una distribución de frecuencias de valores agrupados en intervalos de amplitud constante o variable

Para este caso es necesario encontrar la marca de clase de cada intervalo de amplitud constante o variable y multiplicarla por la frecuencia correspondiente. Se aplica la misma fórmula del caso anterior:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot X_i}{N}$$

2.1.2. Mediana

Es el valor que divide una serie de datos en dos partes iguales. La cantidad de datos que queda por debajo y por encima de la mediana son iguales. Al contrario de la media aritmética, la mediana es un promedio de posición; por lo tanto, para encontrarla, en su forma más sencilla, se localiza el valor que ocupe el lugar central de una serie ordenada de casos.

2.1.3. Moda

Es otro de los promedios más usuales, indica el valor que más se repite, o la clase que posee mayor frecuencia. Puede darse el caso de encontrar 2 o hasta 3 modas en una serie de datos. Si todas las variables tienen la misma frecuencia, se dice que no hay moda.

2.2. Medidas de dispersión

Tienen por objetivo cuantificar la medida del grado que los datos se separan o varían del valor central, es decir, el grado de variación o dispersión de dichos valores.

2.2.1. Rango

También conocido como el recorrido o amplitud total de la distribución, es el valor absoluto de la diferencia más uno entre el mayor y el menor de los datos de una distribución estadística. Es la medida de variabilidad más fácil de obtener y la menos estable, ya que varía considerablemente con un ligero cambio en los datos.

2.2.2. Desviación media

Se define como el valor absoluto de la media aritmética de las desviaciones de los valores de la variable respecto a su promedio. Es la medida de las desviaciones absolutas.

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^n f_i / X_i - \mu}{N}$$

2.2.3. Varianza

Es la suma de los cuadrados de las desviaciones dividida entre el total de las frecuencias o casos.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}$$

2.2.4. Desviación estándar

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}}$$

2.3. Probabilidad

En un conjunto de experimentos en serie, repetidos bajo condiciones idénticas, la probabilidad es la razón de los resultados favorables respecto del número total de casos considerados expresada en porcentaje. Para explicar de mejor manera los fenómenos probabilísticos, se han creado modelos matemáticos. De esta forma es posible afirmar la existencia de un número p , definido como la probabilidad matemática del suceso que se estudia, siendo la frecuencia relativa f/n una medida experimental de la misma.

2.4. Períodos de retorno

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

2.5. Distribución normal

Es una distribución de variable continua, con campo de variación $[-\infty, \infty]$, que queda especificada por dos parámetros de los que depende su función de densidad: la media y la desviación estándar de la distribución. Permite realizar modelos de un gran número de fenómenos reales. Generalmente tiene la forma de una campana simétrica con respecto al origen y puntos de inflexión en -1 y $+1$, por lo que la media, mediana y moda coinciden, siendo nulos. La función de distribución normal queda expresada de la siguiente forma:

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

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

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Donde:

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

X = valores de la variable

μ = media aritmética

σ = desviación estándar

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

2.6. Distribución de Gumbel

También conocida como la distribución general de valores extremos, es una de las más utilizadas para representar comportamientos máximos y

mínimos de precipitaciones. Es una herramienta de cálculo de probabilidades que modela la distribución de máximos y mínimos de una serie. Entre sus características principales se encuentra la aplicación de la ley de valores extremos tipo I (Gumbel) si la función de distribución inicial converge hacia una exponencial, para x tendiendo al infinito. Además, el campo de variación de x se extiende desde $-\infty$ hasta $+\infty$. El valor medio y la desviación estándar de la variable reducida son fijos e independientes de la muestra.

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

Donde:

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

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

$$u = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

\bar{x} = media aritmética de la muestra

S_x = desviación típica

σ_{y, μ_y} = media y desviación típica, respectivamente, de una serie de valores y_i

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

2.7. Regresión no lineal

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

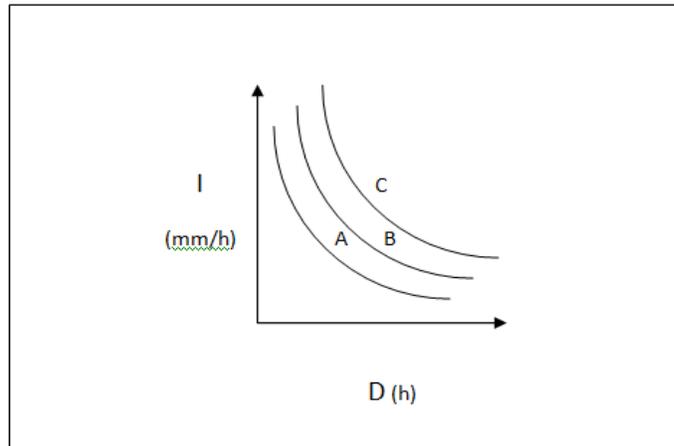
3. CURVAS IDF

3.1. Definición

En un diseño hidrológico es fundamental determinar los eventos de lluvia que van a utilizarse. Por lo general se utilizan eventos que involucren la relación entre la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias o períodos de retorno adecuados para determinado sitio y obra. Las curvas estándar de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) se determinan para cada lugar, presentando los datos en forma gráfica, ubicando la intensidad en el eje vertical y la duración en el eje horizontal, y conteniendo una serie de curvas para cada período de retorno de diseño (ver figura 6).

La intensidad se define como la altura de lluvia por unidad de tiempo (milímetros por hora). La frecuencia es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o sobrepasan la magnitud de diseño, se expresa en años. La duración generalmente se expresa en horas o minutos.

Figura 6. **Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Metodología para la construcción de curvas IDF

De forma general, la metodología tradicional para construir curvas IDF consiste en analizar la frecuencia de los valores máximos de precipitación, de una serie de datos, para cada duración. Para realizar este análisis se utilizan distribuciones estadísticas, las más utilizadas son la normal y la de Gumbel.

3.2.1. Medición de la precipitación

La precipitación incluye todos los procesos mediante los cuales el agua desciende a la superficie terrestre, es decir, la lluvia, la nieve y el granizo. La precipitación se forma cuando una masa de agua se eleva a la atmósfera donde se enfría y parte de su humedad se condensa.

La medición de la precipitación se expresa en milímetros y representa el espesor de una lámina de agua que se acumularía en una superficie horizontal

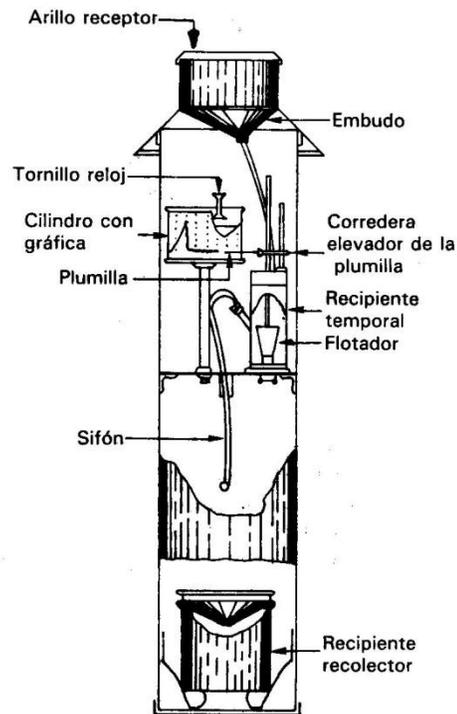
e impermeable, tomando en cuenta que 1 milímetro equivale a 1 litro de agua por metro cuadrado. Los instrumentos más comúnmente utilizados para esta práctica son el pluviógrafo y el pluviómetro.

3.2.1.1. Pluviógrafo

El pluviógrafo se caracteriza por registrar la cantidad de precipitación en forma continua, a diferencia del pluviómetro que únicamente permite obtener la cantidad de agua precipitada durante un período determinado. Por tanto, el pluviógrafo permite obtener tres parámetros de lluvia: intensidad, cantidad y duración.

En el país, generalmente se utiliza de flotador con sifón, aunque también los hay de balanza, oscilación y la combinación de ambos. El pluviógrafo de flotador con sifón consta de un receptor igual al del pluviómetro con un área de 200 centímetros cuadrados, unido a una caja cilíndrica de 110 centímetros de diámetro, en la que se aloja el sistema colector del aparato y una jarra colector. El agua colectada pasa por un embudo y un tubo al mecanismo regulador, constituido por un cilindro en cuyo interior se encuentra un flotador que se desplaza verticalmente, 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.

Figura 7. **Pluviógrafo**



Fuente: ALBENTOSA, Luis Miguel. Climatología y medio ambiente, p. 33.

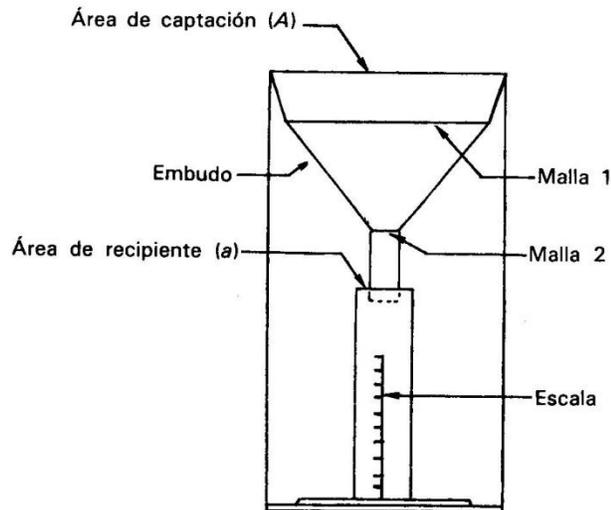
3.2.1.2. **Pluviómetro**

El pluviómetro está compuesto por dos partes cilíndricas: el receptor y el colector. El receptor se ubica en la parte superior, unido al anillo de bronce y tiene un fondo con forma de embudo. El agua recolectada por el receptor pasa a una vasija de boca estrecha, que es lo que se conoce como colector, este se encuentra aislado del cilindro exterior para evitar la evaporación del agua. La medición del agua que recolecta el pluviómetro se lleva a cabo con la ayuda de una probeta especial graduada en milímetros y en décimas de milímetros; la altura que alcanza el agua en la probeta representa la capa de agua sobre el

terreno, suponiendo que sea horizontal y no existieran pérdidas ni movimiento del agua.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda utilizar el pluviómetro estándar con un área de recepción de 200 centímetros cuadrados, delimitada por un anillo de bronce con borde bicelado.

Figura 8. **Pluviómetro**



Fuente: ALBENTOSA, Luis Miguel. Climatología y medio ambiente, p. 29.

3.2.2. Descripción del procedimiento para la elaboración de curvas IDF

Este inciso comprende la explicación de la metodología utilizada para la construcción de curvas IDF en este trabajo, para los departamentos elegidos para analizar.

3.2.2.1. Recopilación de datos

La información utilizada para la elaboración de curvas IDF en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Sololá y Retalhuleu fue proporcionada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

Las estaciones analizadas cuentan con equipos pluviográficos que registran los eventos de precipitación que ocurren durante el año por medio de bandas milimetradas. Los eventos quedan registrados de manera constante utilizando bandas diarias. Se utilizó 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.

3.2.2.2. Selección de valores máximos

El método de mayor validez para la elaboración de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia es el propuesto por José Ramón Témex en 1978, 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 para obtener las cantidades máximas de lluvia en un lapso de veinticuatro horas. En este caso, dichos registros son tomados desde las 7:00 horas de un día hasta las 7:00 horas del día siguiente.

3.2.2.3. Modelos matemáticos

Diversos autores han planteado distintas expresiones matemáticas con el fin de modelar las curvas IDF, entre éstos cabe mencionar:

Modelo propuesto por Wenzel:

$$I = \frac{c}{(Td^e + f)}$$

Donde I es la intensidad, Td la duración y c , e y f son parámetros que varían según el lugar y período de retorno.

Modelo propuesto por Aparicio:

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

Donde k , m , n y c son constantes que se obtienen mediante un análisis de correlación múltiple.

Modelo propuesto por Chow:

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

Modelo propuesto por Linsley (para duraciones mayores a 60 minutos):

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

Modelo estándar:

$$I = \frac{c}{(T_d + f)^e}$$

3.2.2.4. Tipos de errores

Conocer la magnitud del error estadístico sirve para determinar qué modelo genera el menor error y, por tanto, se ajusta mejor a las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. A continuación se describen los tipos de error de interés para este estudio.

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

4. CÁLCULO Y PRESENTACIÓN DE CURVAS IDF

4.1. Curvas IDF

Las tablas que se presentan en este inciso corresponden a los resultados de las distribuciones estadísticas, generados para los datos de precipitación, y las figuras son las curvas IDF obtenidas a partir de esos resultados.

4.1.1. Estación San Marcos

La tabla V, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática San Marcos, utilizando la distribución normal.

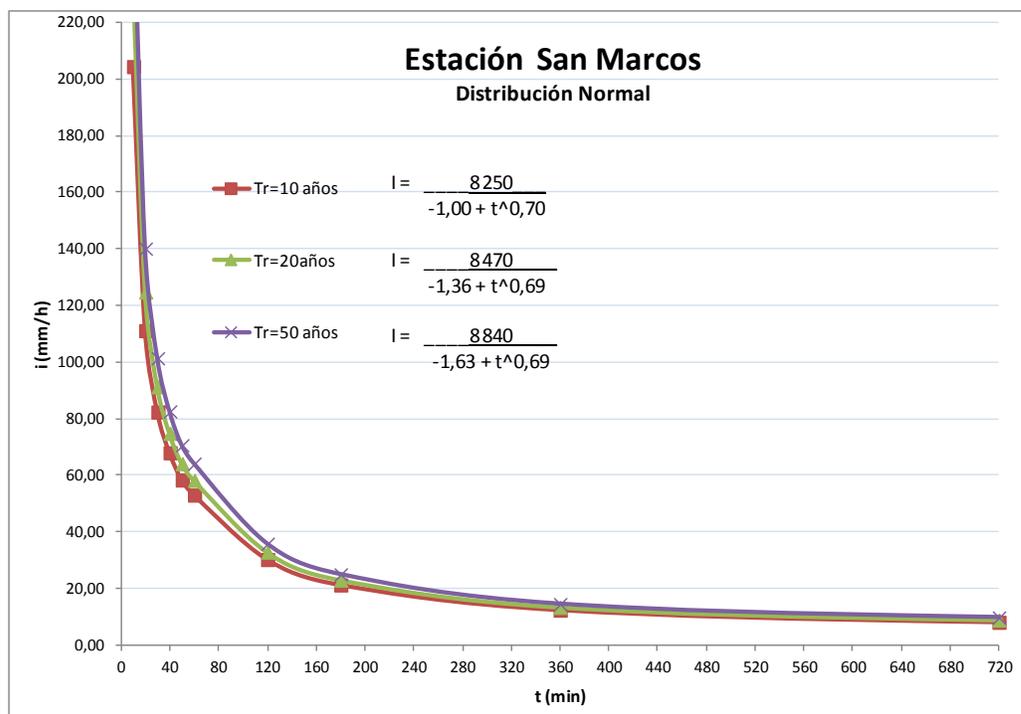
Tabla V. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Marcos utilizando la distribución normal**

Período de retorno/Duración	Distribución normal										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	92,27	63,00	50,78	43,67	37,93	34,58	20,98	15,04	8,80	5,26	3,21
5	165,93	94,59	71,50	59,61	51,33	46,68	27,05	19,10	11,12	7,08	4,67
10	204,43	111,11	82,34	67,94	58,33	53,00	30,22	21,22	12,33	8,04	5,43
15	223,65	119,35	87,74	72,10	61,82	56,15	31,80	22,28	12,94	8,51	5,81
20	236,23	124,75	91,28	74,82	64,11	58,22	32,84	22,98	13,33	8,83	6,06
25	245,49	128,72	93,89	76,82	65,79	59,74	33,60	23,49	13,62	9,06	6,24
30	252,78	131,84	95,94	78,40	67,12	60,94	34,21	23,89	13,85	9,24	6,38
50	272,02	140,10	101,35	82,56	70,62	64,10	35,79	24,95	14,46	9,71	6,76
75	286,25	146,20	105,36	85,64	73,20	66,44	36,96	25,73	14,91	10,07	7,05
100	295,87	150,33	108,07	87,73	74,95	68,02	37,76	26,26	15,21	10,31	7,24

Fuente: elaboración propia.

En la figura 9, se presentan las curvas IDF para la estación climática San Marcos para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años, generadas a partir de la aplicación de la distribución normal.

Figura 9. **Curvas IDF de la estación climática San Marcos utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla VI, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática San Marcos, utilizando la distribución de Gumbel.

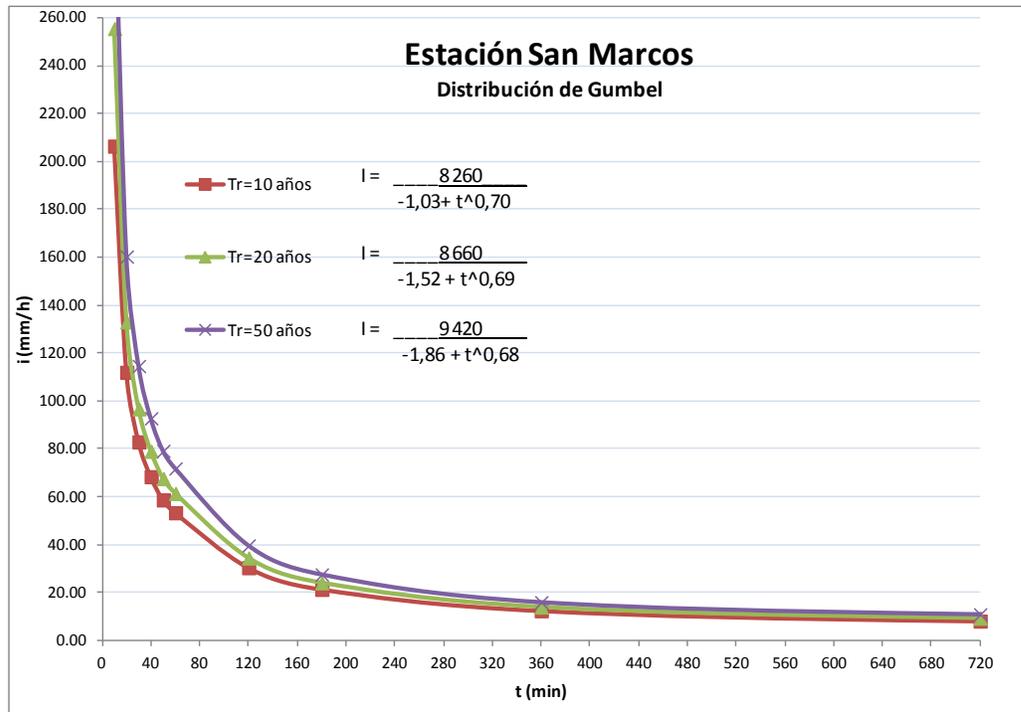
Tabla VI. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Marcos utilizando la distribución de Gumbel**

Período de retorno/Duración	Distribución de Gumbel										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	77,89	56,83	46,73	40,56	35,32	32,22	19,79	14,24	8,35	4,90	2,93
5	155,24	90,01	68,50	57,29	49,38	44,92	26,17	18,51	10,78	6,82	4,46
10	206,45	111,97	82,91	68,38	58,69	53,33	30,39	21,33	12,39	8,09	5,47
15	235,34	124,37	91,03	74,63	63,95	58,08	32,77	22,93	13,30	8,80	6,04
20	255,57	133,04	96,73	79,01	67,63	61,40	34,44	24,04	13,94	9,31	6,44
25	271,15	139,73	101,11	82,38	70,46	63,96	35,72	24,90	14,43	9,69	6,75
30	283,83	145,16	104,68	85,12	72,76	66,04	36,76	25,60	14,83	10,01	7,00
50	319,15	160,31	114,62	92,76	79,19	71,84	39,68	27,55	15,94	10,88	7,70
75	347,05	172,28	122,47	98,80	84,26	76,42	41,97	29,09	16,82	11,57	8,25
100	366,80	180,75	128,02	103,07	87,85	79,67	43,60	30,18	17,44	12,06	8,64

Fuente: elaboración propia.

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

Figura 10. **Curvas IDF de la estación climática San Marcos utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Estación Retalhuleu

La tabla VII, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Retalhuleu, utilizando la distribución normal.

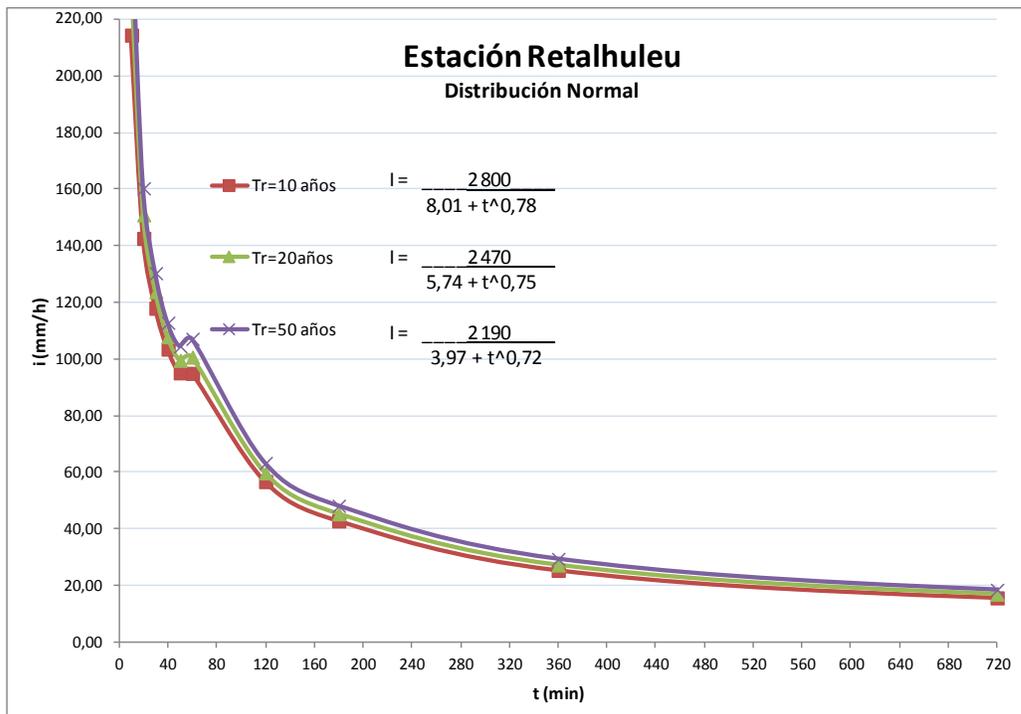
Tabla VII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Retalhuleu utilizando la distribución normal**

Período de retorno/Duración	Distribución normal										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	139,63	113,22	97,42	88,05	79,58	74,69	45,78	33,93	18,68	10,91	5,91
5	188,77	132,53	110,91	98,20	89,79	87,99	52,94	39,75	23,04	13,99	7,92
10	214,46	142,63	117,96	103,51	95,13	94,94	56,68	42,79	25,32	15,59	8,97
15	227,27	147,66	121,48	106,16	97,79	98,40	58,55	44,31	26,46	16,39	9,50
20	235,67	150,96	123,78	107,90	99,54	100,67	59,77	45,30	27,21	16,92	9,84
25	241,85	153,39	125,47	109,17	100,82	102,35	60,67	46,04	27,76	17,30	10,09
30	246,70	155,30	126,81	110,18	101,83	103,66	61,38	46,61	28,19	17,61	10,29
50	259,54	160,35	130,33	112,83	104,50	107,13	63,25	48,13	29,33	18,41	10,82
75	269,03	164,08	132,94	114,79	106,47	109,70	64,63	49,26	30,17	19,00	11,21
100	275,45	166,60	134,70	116,12	107,81	111,44	65,57	50,02	30,74	19,41	11,47

Fuente: elaboración propia.

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

Figura 11. **Curvas IDF de la estación climática Retalhuleu utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla VIII, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Retalhuleu, utilizando la distribución de Gumbel.

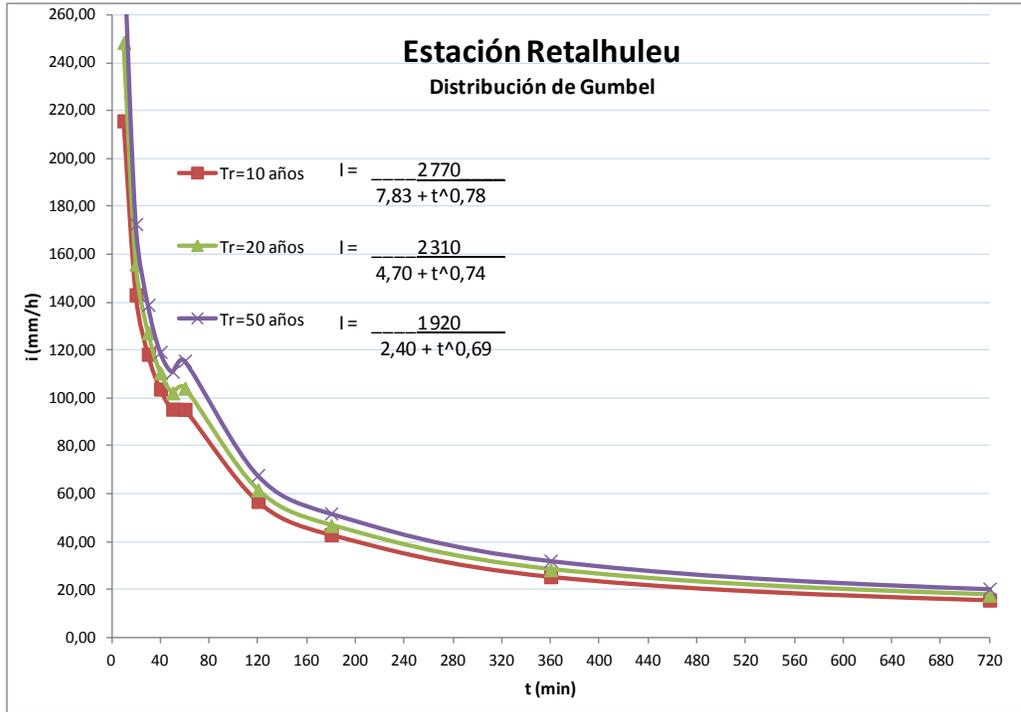
Tabla VIII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Retalhuleu utilizando la distribución de Gumbel**

Período de retorno/Duración	Distribución de Gumbel										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	130,04	109,45	94,79	86,07	77,59	72,10	44,39	32,79	17,83	10,31	5,51
5	181,64	129,73	108,95	96,73	88,31	86,06	51,90	38,91	22,41	13,54	7,63
10	215,80	143,15	118,33	103,79	95,41	95,30	56,88	42,95	25,44	15,68	9,03
15	235,07	150,73	123,62	107,77	99,42	100,51	59,69	45,23	27,15	16,88	9,82
20	248,57	156,03	127,32	110,56	102,22	104,16	61,65	46,83	28,35	17,72	10,37
25	258,96	160,12	130,17	112,71	104,38	106,98	63,17	48,06	29,28	18,37	10,79
30	267,42	163,44	132,49	114,46	106,14	109,26	64,40	49,07	30,03	18,90	11,14
50	290,98	172,71	138,96	119,33	111,04	115,64	67,83	51,86	32,12	20,38	12,10
75	309,60	180,02	144,07	123,17	114,90	120,67	70,54	54,06	33,77	21,54	12,87
100	322,77	185,20	147,68	125,90	117,64	124,24	72,46	55,62	34,94	22,36	13,41

Fuente: elaboración propia.

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

Figura 12. **Curvas IDF de la estación climática Retalhuleu utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Estación Labor Ovalle

La tabla IX, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Labor Ovalle, utilizando la distribución normal.

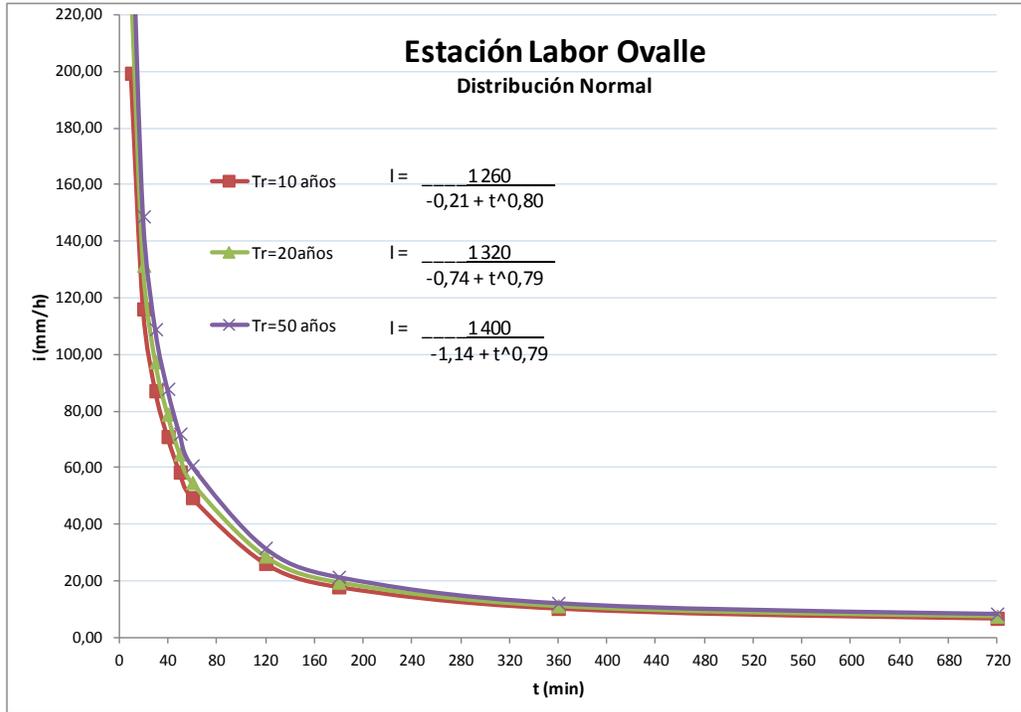
Tabla IX. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Labor Ovalle utilizando la distribución normal**

Período de retorno/Duración	Distribución normal										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	82,05	61,88	51,08	43,01	35,95	30,68	17,07	12,05	7,10	4,08	2,29
5	159,13	97,52	74,81	61,41	50,74	43,02	23,07	15,90	9,20	5,86	3,42
10	199,43	116,15	87,21	71,02	58,48	49,47	26,21	17,92	10,30	6,80	4,01
15	219,54	125,45	93,40	75,82	62,34	52,68	27,78	18,92	10,85	7,26	4,31
20	232,70	131,54	97,45	78,96	64,86	54,79	28,81	19,58	11,21	7,57	4,50
25	242,40	136,02	100,43	81,28	66,72	56,34	29,56	20,07	11,47	7,79	4,64
30	250,02	139,54	102,78	83,10	68,19	57,56	30,15	20,45	11,68	7,97	4,76
50	270,16	148,85	108,97	87,90	72,05	60,78	31,72	21,46	12,23	8,44	5,05
75	285,05	155,74	113,56	91,46	74,91	63,17	32,88	22,20	12,64	8,78	5,27
100	295,12	160,40	116,66	93,86	76,84	64,78	33,67	22,70	12,91	9,01	5,42

Fuente: elaboración propia.

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

Figura 13. **Curvas IDF de la estación climática Labor Ovalle utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla X, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Labor Ovalle, utilizando la distribución de Gumbel.

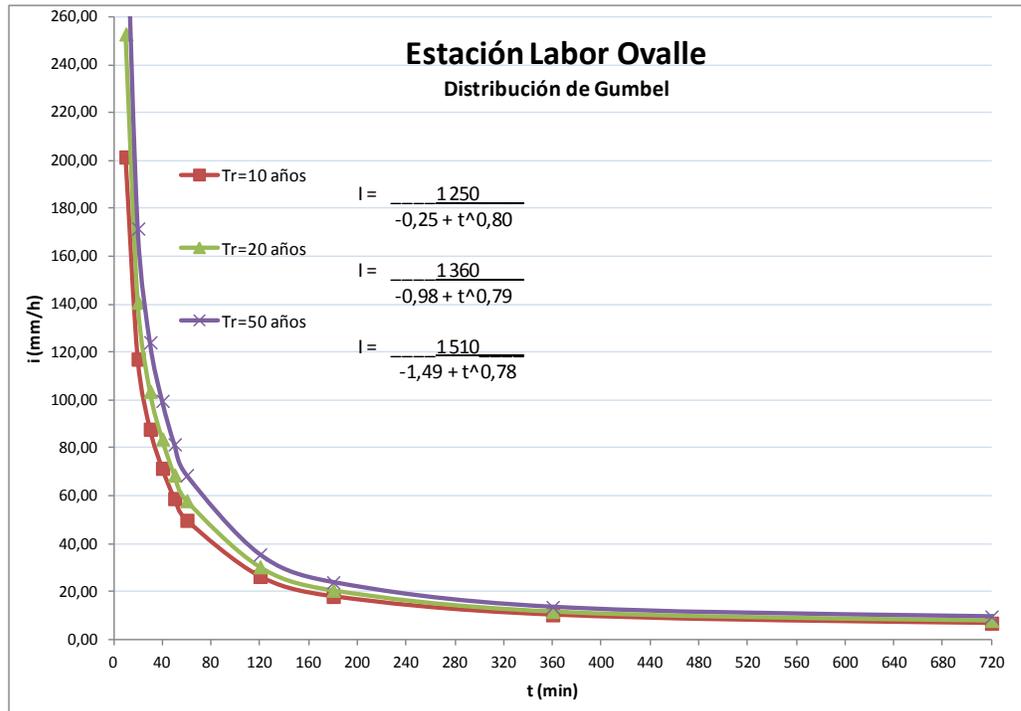
Tabla X. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Labor Ovalle utilizando la distribución de Gumbel**

Período de retorno/Duración	Distribución de Gumbel										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	67,01	54,92	46,45	39,42	33,06	28,28	15,89	11,29	6,69	3,73	2,07
5	147,95	92,35	71,36	58,74	48,60	41,23	22,20	15,34	8,89	5,61	3,26
10	201,54	117,13	87,86	71,53	58,88	49,80	26,38	18,02	10,36	6,85	4,04
15	231,78	131,11	97,16	78,74	64,69	54,64	28,73	19,54	11,18	7,55	4,49
20	252,95	140,89	103,68	83,80	68,75	58,03	30,38	20,60	11,76	8,04	4,80
25	269,25	148,43	108,70	87,69	71,88	60,64	31,65	21,41	12,20	8,41	5,04
30	282,52	154,57	112,78	90,85	74,42	62,76	32,69	22,07	12,57	8,72	5,23
50	319,48	171,66	124,15	99,67	81,52	68,68	35,57	23,92	13,58	9,58	5,78
75	348,68	185,16	133,14	106,64	87,12	73,35	37,84	25,38	14,37	10,25	6,20
100	369,35	194,72	139,50	111,57	91,09	76,66	39,45	26,42	14,94	10,73	6,51

Fuente: elaboración propia

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

Figura 14. **Curvas IDF de la estación climática Labor Ovalle utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Estación Santiago Atitlán

La tabla XI, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Santiago Atitlán, utilizando la distribución normal.

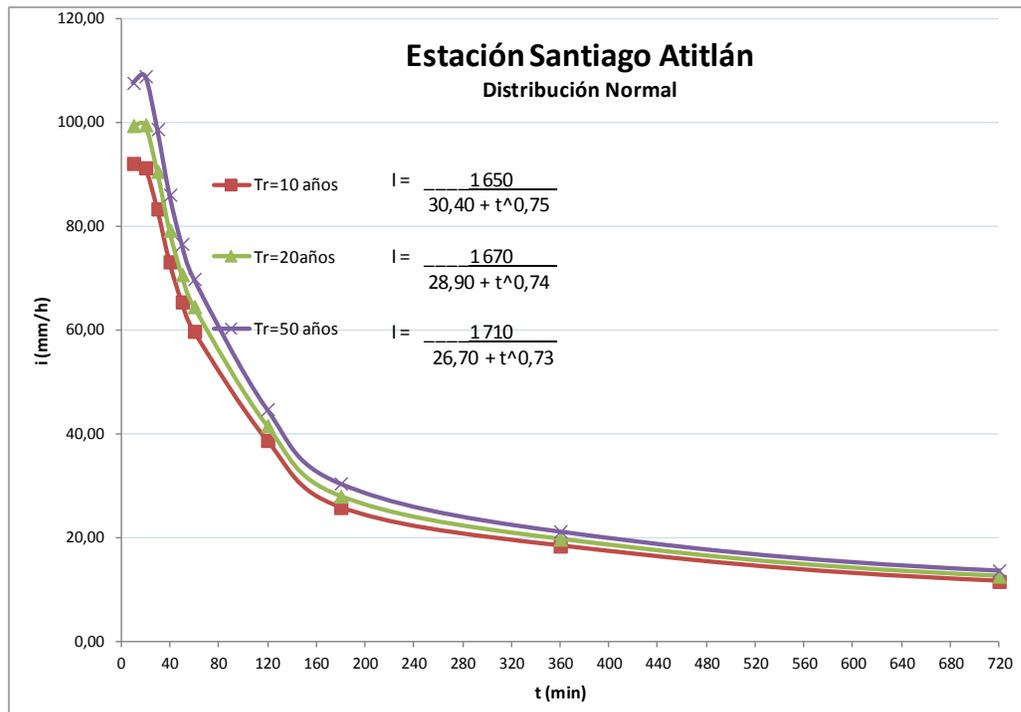
Tabla XI. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Santiago Atitlán utilizando la distribución normal**

Período de retorno/Duración	Distribución normal										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	66,35	61,99	57,86	51,70	46,87	42,99	28,69	18,14	13,71	8,05	4,43
5	83,28	81,23	74,61	65,79	59,06	54,01	35,28	23,18	16,78	10,36	6,44
10	92,13	91,29	83,36	73,16	65,44	59,77	38,73	25,81	18,39	11,56	7,48
15	96,55	96,31	87,73	76,84	68,62	62,64	40,45	27,13	19,19	12,16	8,01
20	99,44	99,60	90,59	79,25	70,70	64,52	41,58	27,99	19,71	12,56	8,35
25	101,57	102,02	92,70	81,02	72,24	65,91	42,41	28,62	20,10	12,85	8,60
30	103,24	103,92	94,36	82,42	73,44	66,99	43,06	29,12	20,40	13,08	8,80
50	107,66	108,94	98,73	86,10	76,63	69,87	44,78	30,44	21,20	13,68	9,32
75	110,93	112,66	101,97	88,82	78,98	72,00	46,06	31,41	21,80	14,13	9,71
100	113,14	115,18	104,16	90,67	80,58	73,44	46,92	32,07	22,20	14,43	9,97

Fuente: elaboración propia.

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

Figura 15. **Curvas IDF de la estación climática Santiago Atitlán utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla XII, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática Santiago Atitlán, utilizando la distribución de Gumbel.

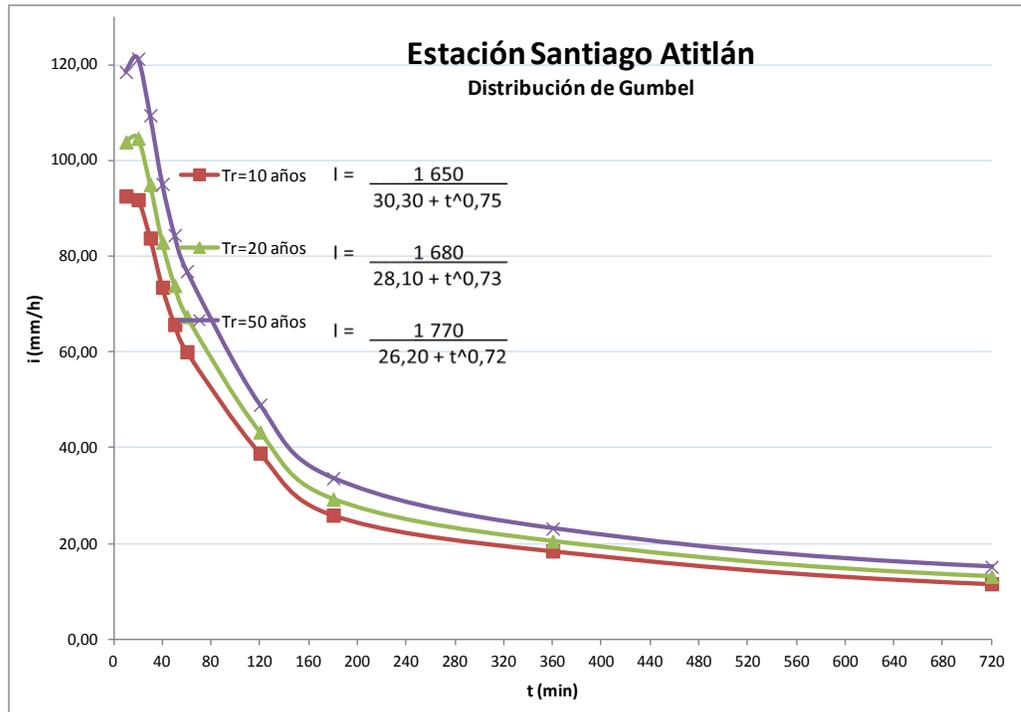
Tabla XII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Santiago Atitlán utilizando la distribución de Gumbel**

Período de retorno/Duración	Distribución de Gumbel										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	63,05	58,24	54,59	48,95	44,49	40,84	27,40	17,15	13,12	7,59	4,04
5	80,82	78,44	72,18	63,75	57,29	52,41	34,32	22,45	16,34	10,02	6,14
10	92,59	91,82	83,82	73,55	65,77	60,07	38,91	25,95	18,47	11,63	7,54
15	99,23	99,37	90,39	79,08	70,55	64,39	41,50	27,93	19,68	12,53	8,33
20	103,88	104,65	94,99	82,95	73,90	67,41	43,31	29,31	20,52	13,17	8,88
25	107,46	108,72	98,54	85,93	76,48	69,74	44,70	30,38	21,17	13,65	9,30
30	110,38	112,03	101,42	88,36	78,58	71,64	45,84	31,25	21,70	14,05	9,65
50	118,49	121,26	109,45	95,12	84,43	76,92	49,00	33,66	23,17	15,16	10,61
75	124,91	128,54	115,79	100,46	89,05	81,09	51,50	35,57	24,33	16,03	11,37
100	129,44	133,70	120,29	104,24	92,32	84,04	53,27	36,93	25,15	16,65	11,90

Fuente: elaboración propia.

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

Figura 16 **Curvas IDF de la estación climática Santiago Atitlán utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

4.1.5. Estación El Tablón

La tabla XIII, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática El Tablón, utilizando la distribución normal.

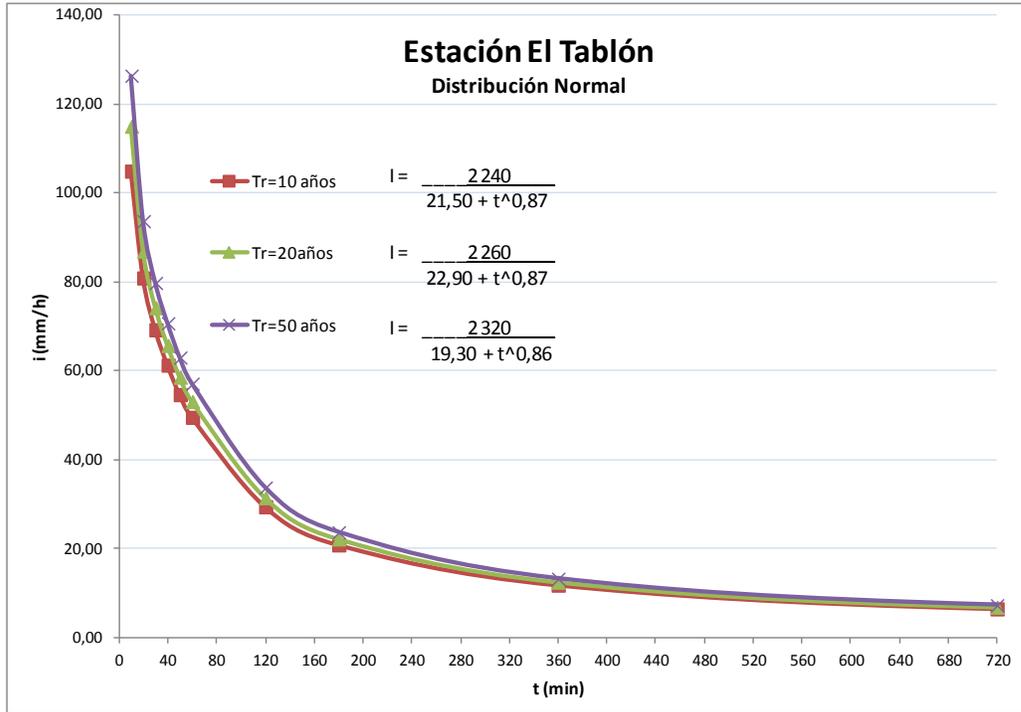
Tabla XIII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática El Tablón utilizando la distribución normal**

Período de retorno/Duración	Distribución normal										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	69,30	59,64	51,70	45,65	40,79	36,95	22,25	16,12	9,42	5,12	2,92
5	92,68	73,57	63,19	55,90	49,87	45,20	26,95	19,21	10,97	5,99	3,73
10	104,90	80,86	69,20	61,26	54,62	49,52	29,41	20,83	11,78	6,45	4,15
15	110,99	84,49	72,20	63,93	56,99	51,67	30,64	21,64	12,19	6,68	4,37
20	114,99	86,87	74,16	65,69	58,55	53,08	31,44	22,17	12,45	6,83	4,50
25	117,93	88,63	75,61	66,98	59,69	54,11	32,03	22,56	12,65	6,94	4,61
30	120,24	90,00	76,74	67,99	60,59	54,93	32,50	22,86	12,80	7,02	4,69
50	126,34	93,64	79,75	70,67	62,96	57,09	33,73	23,67	13,21	7,25	4,90
75	130,86	96,34	81,97	72,65	64,72	58,68	34,64	24,27	13,51	7,42	5,05
100	133,91	98,16	83,47	73,99	65,90	59,76	35,25	24,67	13,71	7,53	5,16

Fuente: elaboración propia.

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

Figura 17. **Curvas IDF de la estación climática El Tablón utilizando la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

La tabla XIV, muestra los valores de precipitación para los períodos de retorno comprendidos entre los 2 y 100 años en la estación climática El Tablón, utilizando la distribución de Gumbel.

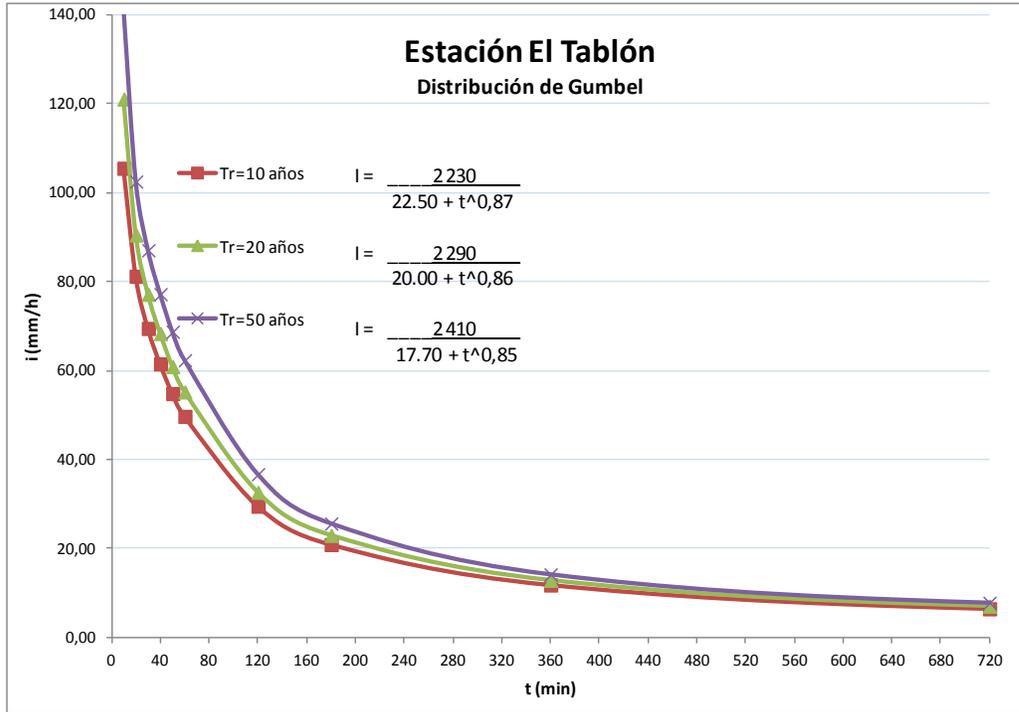
Tabla XIV. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática El Tablón utilizando la distribución de Gumbel**

Período de retorno/Duración	Distribución de Gumbel										
	Precipitación (mm)										
	10	20	30	40	50	60	120	180	360	720	1440
2	64,74	56,92	49,46	43,64	39,01	35,34	21,33	15,52	9,12	4,95	2,76
5	89,28	71,55	61,53	54,41	48,56	44,00	26,27	18,77	10,75	5,86	3,61
10	105,54	81,24	69,52	61,54	54,87	49,74	29,54	20,92	11,83	6,47	4,18
15	114,70	86,71	74,02	65,56	58,44	52,98	31,38	22,13	12,44	6,82	4,49
20	121,12	90,53	77,18	68,38	60,93	55,24	32,68	22,98	12,86	7,06	4,72
25	126,07	93,48	79,61	70,55	62,86	56,99	33,67	23,63	13,19	7,24	4,89
30	130,09	95,88	81,59	72,31	64,42	58,41	34,48	24,17	13,46	7,39	5,03
50	141,30	102,56	87,10	77,23	68,78	62,37	36,74	25,65	14,20	7,81	5,42
75	150,16	107,84	91,45	81,11	72,22	65,49	38,52	26,82	14,79	8,14	5,72
100	156,42	111,57	94,53	83,86	74,65	67,70	39,78	27,65	15,21	8,38	5,94

Fuente: elaboración propia.

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

Figura 18. **Curvas IDF de la estación climática El Tablón utilizando la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

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

Las tablas que se presentan a continuación contienen los coeficientes de las ecuaciones matemáticas a las que fueron ajustadas las gráficas utilizando los modelos de ajuste. Para ello se utilizó el portal <http://www.zunzun.com>, donde los datos fueron importados para generar los coeficientes de los modelos *Wenzel* y estándar.

4.2.1. Estación San Marcos

La tabla XV, abarca los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática San Marcos.

Tabla XV. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática San Marcos**

Período de retorno	Estación San Marcos					
	Modelo estándar					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	Z	A	B	z
2	8,89E+02	8,99E+00	7,76E-01	9,91E+02	1,41E+01	8,03E-01
5	8,97E+02	-2,06E+00	7,14E-01	8,26E+02	1,37E-01	7,26E-01
10	8,38E+02	-4,90E-01	7,23E-01	9,01E+02	-2,12E+00	7,14E-01
15	9,33E+02	-2,58E+00	7,12E-01	9,57E+02	-2,83E+00	7,11E-01
20	9,58E+02	-2,86E+00	7,10E-01	9,98E+02	-3,22E+00	7,09E-01
25	9,77E+02	-3,04E+00	7,10E-01	1,03E+03	-3,46E+00	7,08E-01
30	9,93E+02	-3,16E+00	7,09E-01	1,06E+03	-3,63E+00	7,08E-01
50	1,03E+03	-3,47E+00	7,08E-01	1,14E+03	-4,02E+00	7,07E-01
75	1,06E+03	-3,67E+00	7,07E-01	1,21E+03	-4,26E+00	7,06E-01
100	1,09E+03	-3,78E+00	7,07E-01	1,25E+03	-4,40E+00	7,06E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XVI, abarca los coeficientes del modelo *Wenzel* de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática San Marcos.

Tabla XVI. **Coefficientes del modelo *Wenzel* para la estación climática San Marcos**

Período de retorno	Estación San Marcos					
	Modelo <i>Wenzel</i>					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	z	A	B	Z
2	1,04E+03	5,09E+00	7,96E-01	1,19E+03	8,66E+00	8,28E-01
5	8,20E+02	-2,68E-01	7,19E-01	8,24E+02	3,79E-02	7,26E-01
10	8,25E+02	-1,00E+00	7,02E-01	8,26E+02	-1,03E+00	7,02E-01
15	8,37E+02	-1,24E+00	6,96E-01	8,47E+02	-1,35E+00	6,94E-01
20	8,47E+02	-1,36E+00	6,93E-01	8,66E+02	-1,52E+00	6,89E-01
25	8,56E+02	-1,44E+00	6,91E-01	8,83E+02	-1,62E+00	6,86E-01
30	8,64E+02	-1,50E+00	6,90E-01	8,97E+02	-1,70E+00	6,84E-01
50	8,84E+02	-1,63E+00	6,86E-01	9,42E+02	-1,86E+00	6,79E-01
75	8,99E+02	-1,71E+00	6,83E-01	9,80E+02	-1,96E+00	6,76E-01
100	9,11E+02	-1,76E+00	6,82E-01	1,01E+03	-2,02E+00	6,75E-01

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Estación Retalhuleu

La tabla XVII, abarca los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Retalhuleu.

Tabla XVII. **Coefficientes del modelo estándar para la estación climática Retalhuleu**

Período de retorno	Estación Retalhuleu					
	Modelo estándar					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	z	A	B	z
2	4,72E+03	3,70E+01	9,17E-01	5,58E+03	4,18E+01	9,50E-01
5	2,67E+03	2,04E+01	7,97E-01	2,84E+03	2,23E+01	8,11E-01
10	2,21E+03	1,49E+01	7,52E-01	2,18E+03	1,47E+01	7,50E-01
15	2,04E+03	1,27E+01	7,33E-01	1,96E+03	1,14E+01	7,23E-01
20	1,95E+03	1,13E+01	7,22E-01	1,83E+03	9,49E+00	7,06E-01
25	1,89E+03	1,04E+01	7,14E-01	1,76E+03	8,18E+00	6,94E-01
30	1,85E+03	9,75E+00	7,08E-01	1,70E+03	7,18E+00	6,85E-01
50	1,75E+03	8,09E+00	6,93E-01	1,58E+03	4,82E+00	6,62E-01
75	1,69E+03	6,99E+00	6,83E-01	1,50E+03	3,28E+00	6,47E-01
100	1,65E+03	6,31E+00	6,77E-01	1,46E+03	2,34E+00	6,37E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XVIII, abarca los coeficientes del modelo *Wenzel* de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Retalhuleu.

Tabla XVIII. **Coefficientes del modelo *Wenzel* para la estación climática Retalhuleu**

Período de retorno	Estación Retalhuleu					
	Modelo <i>Wenzel</i>					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	Z	A	B	z
2	5,46E+03	3,07E+01	9,37E-01	6,21E+03	3,80E+01	9,65E-01
5	3,23E+03	1,15E+01	8,20E-01	3,56E+03	1,38E+01	8,40E-01
10	2,80E+03	8,01E+00	7,84E-01	2,77E+03	7,83E+00	7,81E-01
15	2,59E+03	6,54E+00	7,65E-01	2,47E+03	5,79E+00	7,54E-01
20	2,47E+03	5,74E+00	7,53E-01	2,31E+03	4,70E+00	7,36E-01
25	2,39E+03	5,23E+00	7,45E-01	2,20E+03	4,01E+00	7,24E-01
30	2,33E+03	4,85E+00	7,39E-01	2,11E+03	3,51E+00	7,14E-01
50	2,19E+03	3,97E+00	7,23E-01	1,92E+03	2,40E+00	6,89E-01
75	2,09E+03	3,42E+00	7,12E-01	1,79E+03	1,73E+00	6,71E-01
100	2,04E+03	3,09E+00	7,05E-01	1,72E+03	1,34E+00	6,59E-01

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Estación Labor Ovalle

La tabla XIX, abarca los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Labor Ovalle.

Tabla XIX. **Coefficientes del modelo estándar para la estación climática Labor Ovalle**

Período de retorno	Estación Labor Ovalle					
	Modelo estándar					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	z	A	B	z
2	1,42E+03	8,76E+00	8,88E-01	1,62E+03	1,43E+01	9,20E-01
5	1,22E+03	8,68E-01	8,17E-01	1,21E+03	1,31E+00	8,22E-01
10	1,26E+03	-2,10E-01	8,02E-01	1,27E+03	-2,50E-01	8,01E-01
15	1,29E+03	-5,58E-01	7,96E-01	1,32E+03	-7,31E-01	7,94E-01
20	1,32E+03	-7,40E-01	7,94E-01	1,36E+03	-9,76E-01	7,90E-01
25	1,34E+03	-8,56E-01	7,92E-01	1,40E+03	-1,13E+00	7,87E-01
30	1,35E+03	-9,47E-01	7,90E-01	1,43E+03	-1,24E+00	7,86E-01
50	1,40E+03	-1,14E+00	7,87E-01	1,51E+03	-1,49E+00	7,82E-01
75	1,46E+03	-1,34E+00	7,84E-01	1,59E+03	-1,64E+00	7,80E-01
100	1,46E+03	-1,34E+00	7,84E-01	1,64E+03	-1,73E+00	7,78E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XX, abarca los coeficientes del modelo *Wenzel* de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Labor Ovalle.

Tabla XX. **Coefficientes del modelo *Wenzel* para la estación climática Labor Ovalle**

Período de retorno	Estación Labor Ovalle					
	Modelo <i>Wenzel</i>					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	z	A	B	z
2	5,46E+03	3,07E+01	9,37E-01	6,21E+03	3,80E+01	9,65E-01
5	3,23E+03	1,15E+01	8,20E-01	3,56E+03	1,38E+01	8,40E-01
10	2,80E+03	8,01E+00	7,84E-01	2,77E+03	7,83E+00	7,81E-01
15	2,59E+03	6,54E+00	7,65E-01	2,47E+03	5,79E+00	7,54E-01
20	2,47E+03	5,74E+00	7,53E-01	2,31E+03	4,70E+00	7,36E-01
25	2,39E+03	5,23E+00	7,45E-01	2,20E+03	4,01E+00	7,24E-01
30	2,33E+03	4,85E+00	7,39E-01	2,11E+03	3,51E+00	7,14E-01
50	2,19E+03	3,97E+00	7,23E-01	1,92E+03	2,40E+00	6,89E-01
75	2,09E+03	3,42E+00	7,12E-01	1,79E+03	1,73E+00	6,71E-01
100	2,04E+03	3,09E+00	7,05E-01	1,72E+03	1,34E+00	6,59E-01

Fuente: elaboración propia.

4.2.4. Estación Santiago Atitlán

La tabla XXI, abarca los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Santiago Atitlán.

Tabla XXI. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Santiago Atitlán**

Período de retorno	Estación Santiago Atitlán					
	Modelo estándar					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	Z	A	B	z
2	1,90E+03	4,19E+01	8,30E-01	2,03E+03	4,49E+01	8,50E-01
5	1,65E+03	3,29E+01	7,67E-01	1,67E+03	3,38E+01	7,74E-01
10	1,65E+03	3,04E+01	7,49E-01	1,65E+03	3,03E+01	7,48E-01
15	1,66E+03	2,94E+01	7,42E-01	1,66E+03	2,89E+01	7,38E-01
20	1,67E+03	2,89E+01	7,37E-01	1,68E+03	2,81E+01	7,31E-01
25	1,67E+03	2,85E+01	7,35E-01	1,70E+03	2,76E+01	7,28E-01
30	1,68E+03	2,82E+01	7,32E-01	1,72E+03	2,72E+01	7,24E-01
50	1,71E+03	2,76E+01	7,28E-01	1,77E+03	2,62E+01	7,17E-01
75	1,72E+03	2,71E+01	7,24E-01	1,82E+03	2,56E+01	7,12E-01
100	1,74E+03	2,68E+01	7,22E-01	1,85E+03	2,52E+01	7,10E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXII, abarca los coeficientes del modelo *Wenzel* de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Santiago Atitlán.

Tabla XXII. **Coeficientes del modelo *Wenzel* para la estación climática Santiago Atitlán**

Período de retorno	Estación Santiago Atitlán					
	Modelo <i>Wenzel</i>					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	z	A	B	z
2	2,71E+03	3,00E+01	8,77E-01	2,81E+03	3,36E+01	8,93E-01
5	2,52E+03	2,04E+01	8,23E-01	2,54E+03	2,14E+01	8,30E-01
10	2,55E+03	1,81E+01	8,07E-01	2,55E+03	1,79E+01	8,06E-01
15	2,57E+03	1,72E+01	8,00E-01	2,59E+03	1,67E+01	7,96E-01
20	2,59E+03	1,67E+01	7,96E-01	2,62E+03	1,59E+01	7,91E-01
25	2,61E+03	1,63E+01	7,94E-01	2,66E+03	1,55E+01	7,87E-01
30	2,62E+03	1,61E+01	7,91E-01	2,68E+03	1,51E+01	7,84E-01
50	2,66E+03	1,55E+01	7,87E-01	2,76E+03	1,43E+01	7,76E-01
75	2,69E+03	1,51E+01	7,83E-01	2,83E+03	1,38E+01	7,72E-01
100	2,71E+03	1,48E+01	7,81E-01	2,89E+03	1,35E+01	7,69E-01

Fuente: elaboración propia.

4.2.5. Estación El Tablón

La tabla XXIII, abarca los coeficientes del modelo estándar de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática El Tablón.

Tabla XXIII. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática El Tablón**

Período de retorno	Estación El Tablón					
	Modelo estándar					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	Z	A	B	z
2	2,37E+03	3,41E+01	9,23E-01	2,46E+03	3,68E+01	9,34E-01
5	2,21E+03	2,53E+01	8,86E-01	2,22E+03	2,63E+01	8,90E-01
10	2,24E+03	2,15E+01	8,69E-01	2,23E+03	2,25E+01	8,74E-01
15	2,23E+03	2,26E+01	8,75E-01	2,26E+03	2,10E+01	8,67E-01
20	2,26E+03	2,09E+01	8,67E-01	2,29E+03	2,00E+01	8,63E-01
25	2,27E+03	2,04E+01	8,65E-01	2,31E+03	1,94E+01	8,61E-01
30	2,28E+03	2,01E+01	8,64E-01	2,11E+03	3,51E+00	7,14E-01
50	2,32E+03	1,93E+01	8,61E-01	1,92E+03	2,40E+00	6,89E-01
75	2,35E+03	1,88E+01	8,59E-01	1,79E+03	1,73E+00	6,71E-01
100	2,36E+03	1,85E+01	8,58E-01	1,72E+03	1,34E+00	6,59E-01

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXIV, abarca los coeficientes del modelo *Wenzel* de ajuste de curvas IDF para ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática El Tablón.

Tabla XXIV. **Coeficientes del modelo *Wenzel* para la estación climática El Tablón**

Período de retorno	Estación El Tablón					
	Modelo <i>Wenzel</i>					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	A	B	Z	A	B	z
2	2,75E+03	2,93E+01	9,43E-01	2,82E+03	3,26E+01	9,53E-01
5	2,63E+03	1,97E+01	9,10E-01	2,64E+03	2,07E+01	9,14E-01
10	2,65E+03	1,70E+01	8,98E-01	2,65E+03	1,69E+01	8,98E-01
15	2,67E+03	1,59E+01	8,93E-01	2,69E+03	1,54E+01	8,91E-01
20	2,69E+03	1,54E+01	8,91E-01	2,72E+03	1,45E+01	8,87E-01
25	2,70E+03	1,49E+01	8,89E-01	2,75E+03	1,40E+01	8,85E-01
30	2,71E+03	1,47E+01	8,88E-01	2,77E+03	1,36E+01	8,83E-01
50	2,75E+03	1,40E+01	8,84E-01	2,85E+03	1,25E+01	8,78E-01
75	2,78E+03	1,35E+01	8,82E-01	2,92E+03	1,19E+01	8,75E-01
100	2,80E+03	1,32E+01	8,81E-01	2,96E+03	1,15E+01	8,72E-01

Fuente: elaboración propia.

4.3. Tablas comparativas de errores relativos

Las siguientes tablas tienen como objetivo servir como método de comparación de los errores generados por cada modelo matemático y cada distribución estadística.

4.3.1. Estación San Marcos

La tabla XXV, contiene los errores relativos generados por ambos modelos de ajuste de curvas y ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática San Marcos.

Tabla XXV. Errores relativos para la estación climática San Marcos

Período de retorno	Estación San Marcos					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (1)	Modelo <i>Wenzel</i> (2)	Diferencia (1-2)	Modelo estándar (1)	Modelo <i>Wenzel</i> (2)	Diferencia (1-2)
2	5,93E-03	6,15E-03	-2,21E-04	3,56E-03	4,20E-03	-6,36E-04
5	2,43E-02	1,74E-02	6,89E-03	1,58E-02	1,58E-02	-1,82E-05
10	1,75E-02	2,33E-02	-5,82E-03	2,47E-02	2,37E-02	1,01E-03
15	2,78E-02	2,63E-02	1,51E-03	3,01E-02	2,83E-02	1,88E-03
20	3,03E-02	2,84E-02	1,92E-03	3,39E-02	3,14E-02	2,56E-03
25	3,20E-02	2,98E-02	2,22E-03	3,70E-02	3,39E-02	3,09E-03
30	3,33E-02	3,08E-02	2,45E-03	3,93E-02	3,58E-02	3,54E-03
50	3,69E-02	3,38E-02	3,10E-03	4,59E-02	4,11E-02	4,74E-03
75	3,98E-02	3,61E-02	3,63E-03	5,07E-02	4,51E-02	5,65E-03
100	4,16E-02	3,77E-02	3,96E-03	5,41E-02	4,78E-02	6,28E-03

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. Estación Retalhuleu

La tabla XXVI, contiene los errores relativos generados por ambos modelos de ajuste de curvas y ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Retalhuleu.

Tabla XXVI. Errores relativos para la estación climática Retalhuleu

Período de retorno	Estación Retalhuleu					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (1)	Modelo <i>Wenzel</i> (2)	Diferencia (1-2)	Modelo estándar (1)	Modelo <i>Wenzel</i> (2)	Diferencia (1-2)
2	5,94E-03	6,52E-03	-5,79E-04	5,73E-03	6,38E-03	-6,42E-04
5	2,05E-02	1,77E-02	2,80E-03	1,78E-02	1,57E-02	2,12E-03
10	3,02E-02	2,60E-02	4,24E-03	3,07E-02	2,64E-02	4,30E-03
15	3,48E-02	3,00E-02	4,79E-03	3,75E-02	3,25E-02	5,03E-03
20	3,77E-02	3,27E-02	5,06E-03	4,19E-02	3,66E-02	5,31E-03
25	3,98E-02	3,46E-02	5,22E-03	4,51E-02	3,97E-02	5,39E-03
30	4,13E-02	3,61E-02	5,29E-03	4,75E-02	4,21E-02	5,35E-03
50	4,52E-02	3,98E-02	5,38E-03	5,35E-02	4,86E-02	4,91E-03
75	4,79E-02	4,25E-02	5,33E-03	5,75E-02	5,33E-02	4,19E-03
100	4,96E-02	4,44E-02	5,25E-03	6,00E-02	5,65E-02	3,56E-03

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Estación Labor Ovalle

La tabla XXVII, contiene los errores relativos generados por ambos modelos de ajuste de curvas y ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Labor Ovalle.

Tabla XXVII. Errores relativos para la estación climática Labor Ovalle

Período de retorno	Estación Labor Ovalle					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)	Modelo estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)
2	1,87E-02	2,18E-02	-3,02E-03	2,37E-02	2,68E-02	-3,11E-03
5	2,99E-02	3,09E-02	-9,99E-04	2,75E-02	2,88E-02	-1,33E-03
10	4,02E-02	4,00E-02	2,20E-04	4,07E-02	4,04E-02	2,84E-04
15	4,56E-02	4,47E-02	8,36E-04	4,88E-02	4,76E-02	1,20E-03
20	4,88E-02	4,76E-02	1,22E-03	5,41E-02	5,23E-02	1,82E-03
25	5,12E-02	4,97E-02	1,50E-03	5,82E-02	5,59E-02	2,27E-03
30	5,35E-02	5,18E-02	1,74E-03	6,11E-02	5,84E-02	2,62E-03
50	5,82E-02	5,59E-02	2,29E-03	6,98E-02	6,62E-02	3,59E-03
75	6,18E-02	6,13E-02	4,57E-04	7,58E-02	7,15E-02	4,25E-03
100	6,43E-02	6,13E-02	2,97E-03	8,00E-02	7,53E-02	4,72E-03

Fuente: elaboración propia.

4.3.4. Estación Santiago Atilán

La tabla XXVIII, contiene los errores relativos generados por ambos modelos de ajuste de curvas y ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática Santiago Atilán.

Tabla XXVIII. Errores relativos para la estación climática Santiago Atilán

Período de retorno	Estación Santiago Atilán					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)	Modelo estándar (1)	Modelo Wenzel (2)	Diferencia (1-2)
2	5,47E-02	6,03E-02	-5,62E-03	5,67E-02	6,10E-02	-4,27E-03
5	5,94E-02	7,07E-02	-1,13E-02	5,78E-02	6,83E-02	-1,06E-02
10	6,57E-02	7,90E-02	-1,33E-02	6,61E-02	7,96E-02	-1,35E-02
15	6,92E-02	8,34E-02	-1,42E-02	7,13E-02	8,61E-02	-1,47E-02
20	7,14E-02	8,62E-02	-1,47E-02	7,51E-02	9,05E-02	-1,55E-02
25	7,31E-02	8,82E-02	-1,51E-02	7,78E-02	9,38E-02	-1,60E-02
30	7,45E-02	8,99E-02	-1,54E-02	8,01E-02	9,65E-02	-1,64E-02
50	7,79E-02	9,39E-02	-1,60E-02	8,63E-02	1,04E-01	-1,74E-02
75	8,04E-02	9,69E-02	-1,65E-02	9,08E-02	1,09E-01	-1,81E-02
100	8,21E-02	9,89E-02	-1,68E-02	9,38E-02	1,12E-01	-1,85E-02

Fuente: elaboración propia.

4.3.5. Estación El Tablón

La tabla XXVIII, contiene los errores relativos generados por ambos modelos de ajuste de curvas y ambas distribuciones estadísticas, para los datos de precipitación de la estación climática El Tablón.

Tabla XIX. Errores relativos para la estación climática El Tablón

Período de retorno	Estación El Tablón					
	Distribución normal			Distribución de Gumbel		
	Modelo estándar (1)	Modelo <i>Wenzel</i> (2)	Diferencia (1-2)	Modelo estándar (1)	Modelo <i>Wenzel</i> (2)	Diferencia (1-2)
2	7,72E-03	9,42E-03	-1,70E-03	7,76E-03	9,19E-03	-1,44E-03
5	1,47E-02	1,71E-02	-2,45E-03	1,32E-02	1,55E-02	-2,36E-03
10	2,35E-02	2,29E-02	6,30E-04	2,09E-02	2,35E-02	-2,66E-03
15	2,03E-02	2,63E-02	-5,99E-03	2,50E-02	2,77E-02	-2,73E-03
20	2,53E-02	2,80E-02	-2,74E-03	2,86E-02	3,14E-02	-2,81E-03
25	2,70E-02	2,98E-02	-2,79E-03	3,11E-02	3,40E-02	-2,84E-03
30	2,84E-02	3,12E-02	-2,81E-03	3,31E-02	3,60E-02	-2,85E-03
50	3,13E-02	3,41E-02	-2,84E-03	3,87E-02	4,16E-02	-2,91E-03
75	3,32E-02	3,60E-02	-2,84E-03	4,25E-02	4,54E-02	-2,91E-03
100	3,50E-02	3,79E-02	-2,87E-03	4,53E-02	4,82E-02	-2,93E-03

Fuente: elaboración propia.

$\sum_{\text{e.r.m.E.}}$ = sumatoria total de errores relativos modelo estándar = 4.38

$\sum_{\text{e.r.m.W.}}$ = sumatoria total de errores relativos modelo *Wenzel* = 4.57

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir del análisis aplicado a los resultados obtenidos en el capítulo anterior se puede inferir lo siguiente:

En primera instancia, se observa que las curvas IDF de las estaciones con mayor cantidad de registros pluviográficos, Santiago Atitlán y Retalhuleu, presentan pequeños saltos al alcanzar determinado intervalo de tiempo, y a partir de los 20 años en el período de retorno, en ambas distribuciones. Esto se debe únicamente a las características de los eventos de precipitación analizados.

Al revisar la media y la desviación estándar en el intervalo entre 50 y 60 minutos para Retalhuleu, y 10 y 20 minutos para Santiago Atitlán, que son los intervalos en los que se dan dichos saltos, se comprueba que los valores obtenidos no descienden al aumentar los minutos, patrón que sí siguen el resto de los datos; y se sabe que ambos parámetros estadísticos son determinantes en las distribuciones estadísticas utilizadas, aunque no de un modo tan directo en la distribución de Gumbel.

Por otro lado, al verificar las tablas comparativas de los errores generados por ambos modelos de ajuste de curvas, se constata que el modelo estándar genera errores relativos mayores en tres de las cinco estaciones analizadas, siendo estas: Retalhuleu, San Marcos y Labor Ovalle. En las estaciones restantes, Santiago Atitlán y El Tablón, el modelo *Wenzel* genera mayores errores relativos.

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

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

Finalmente, a pesar que el modelo estándar es el que presenta los errores relativos mayores en la mayoría de las estaciones, la sumatoria total de los mismos indica un valor inferior al de la sumatoria total de los errores relativos generados por el modelo propuesto por Wenzel.

CONCLUSIONES

1. El modelo de ajuste de curvas IDF propuesto por Wenzel es el más fiable para las estaciones de Retalhuleu, San Marcos y Labor Ovalle.
2. El modelo estándar de ajuste de curvas IDF es el más fiable para las estaciones de Santiago Atitlán y Santa María El Tablón.
3. Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia deben actualizarse periódicamente debido al surgimiento de nuevos eventos extremos de precipitación.
4. La distribución de Gumbel es una de las más utilizadas en la representación de variables hidrológicas debido a su característica de modelar la distribución de eventos máximos y mínimos de una serie.
5. La precipitación anual tiende a seguir una distribución normal, pero las características de la distribución, por ejemplo su campo de variación, la limitan al momento de describir esta variable.
6. Los saltos en las gráficas para los departamentos de Retalhuleu y Santiago Atitlán son causa de la naturaleza de los eventos de precipitación analizados.

RECOMENDACIONES

1. Mantener actualizada la información pluviográfica del país con el fin de poseer datos precisos al momento de dimensionar obras hidráulicas.
2. Llevar a cabo más estudios de curvas IDF implementando otras distribuciones y otros modelos matemáticos.
3. Dar mantenimiento al equipo de las estaciones meteorológicas, ya que en ello radica la obtención de datos climatológicos confiables.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIOLA, Jorge Luis. *Diccionario enciclopédico de Guatemala*. Guatemala: Editorial Universitaria, 2009. 602 p.
2. ESPÍLDORA, B. *Estimación de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia mediante coeficientes generalizados*. Memorias. Coloquio Nacional Sociedad de Ingeniería Hidráulica. Chile, 1971. 274 p.
3. LINSLEY, Ray; KOHLER, Max; PAULUS, Joseph. *Hidrología para ingenieros*. 2a ed. Colombia: McGraw-Hill, 1977. 398 p.
4. LÓPEZ ARRIAGA, Víctor Hugo. *Análisis regional altura-precipitación de la vertiente del Pacífico*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1990. 68 p.
5. PIZARRO TAPIA, Roberto; ARAVENA GARRIGO, Dayanna; MACAYA PÉREZ, Karina. *Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia para la zona centro sur de Chile*. Programa hidrológico internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Documento técnico No. 7. 126 p.
6. TE CHOW, Ven; MAIDMENT, David; MAYS, Larry. *Hidrología aplicada*. Colombia: McGraw-Hill, 1994. 299 p.

7. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6a ed. México: Pearson Educación, 1999. 752 p.