



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

**COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE
CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA PARA CUATRO ESTACIONES DE
HUEHUETENANGO Y UNA ESTACIÓN DE PETÉN, GUATEMALA**

Gabriella Mishelle López Castillo

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañón Contreras

Guatemala, abril de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA PARA CUATRO ESTACIONES DE HUEHUETENANGO Y UNA ESTACIÓN DE PETÉN, GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GABRIELLA MISHALLE LÓPEZ CASTILLO

ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Manuel López Juárez |
| EXAMINADOR | Ing. José Mauricio Arriola Donis |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA PARA CUATRO ESTACIONES DE HUEHUETENANGO Y UNA ESTACIÓN DE PETÉN, GUATEMALA

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

Gabriella Mishelle López Castillo



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,
08 de marzo de 2016

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA PARA CUATRO ESTACIONES DE HUEHUETENANGO Y UNA ESTACIÓN DE PETÉN, GUTEMALA, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Gabriella Mishelle López Castillo, quien contó con la asesoría del Ing. Claudio César Castañón Contreras.

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

Atentamente,

Y ENSEÑAR A TODOS

Ing. Claudio César Castañón Contreras
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

/bbdeb.





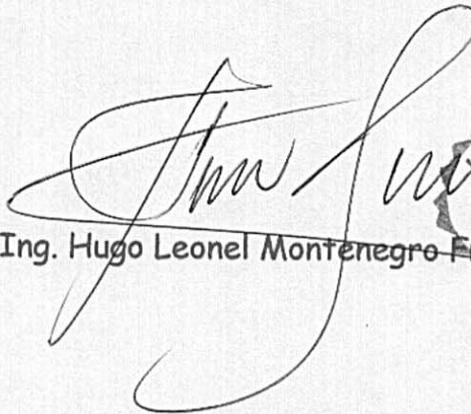
USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



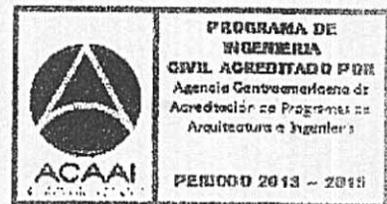
El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación de la estudiante Gabriella Mishelle López Castillo, titulado **COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA PARA CUATRO ESTACIONES DE HUEHUETENANGO Y UNA ESTACIÓN DE PETÉN, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2016
 /mrrm.

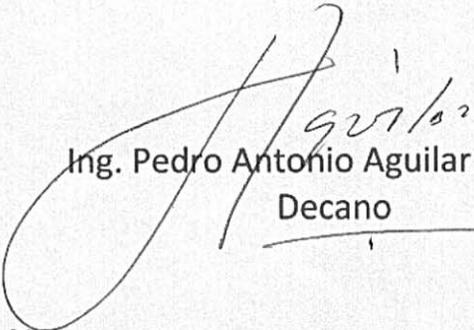
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **COMPARACIÓN DE LOS MODELOS INSIVUMEH Y WENZEL PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA PARA CUATRO ESTACIONES DE HUEHUETENANGO Y UNA ESTACIÓN DE PETÉN, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Gabriela Mishelle López Castillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2016

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Byron López (q .e. p. d.) y Rosa Castillo, por su amor, apoyo y esfuerzo. Este logro es de ustedes.
- Mi hermano** Byron Emanuel López Castillo, por su amor, por ser motivo de felicidad y mi incentivo para una mejor persona.
- Mis tíos** Rudy, Esvin, Marco y Jaqueline Castillo, Silvia Calderón, Isabel Morales, María Hernández, Ana Morales y Carmen López, por su amor y apoyo.
- Mis abuelos** Joaquín Castillo (q. p. e. d.) María Marroquín y Marina Chin, por su amor y apoyo.
- Mis primos** Rudy, Débora, Sandra, Sofía, Emilio, María y Joaquín Castillo, Alejandra y María José Colop y Leslie Calderón.
- Mis amigos** Por su apoyo y confianza.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|--|
| Dios | Por iluminarme y permitirme culminar mis estudios universitarios. |
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por permitirme realizar mis estudios y formarme profesionalmente. |
| Insivumeh | Por su ayuda y guía, en especial al Ing. Manuel Sales. |
| Ing. Claudio Castañón | Por su guía y apoyo. |
| Ing. James Philips | Por su ayuda desinteresada. |
| Ing. Julio Hernandez | Por su apoyo y confianza. |
| Mi familia | Por ser mi motivación, por creer en mí y acompañarme en esta aventura. |
| Héctor Alvarado | Por su apoyo, compañía, cariño y alegrarme mis días universitarios. |
| Mis amigos | Por los buenos momentos y apoyo incondicional. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN | XVII |
| | |
| 1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO..... | 1 |
| 1.1. Ubicación..... | 1 |
| 1.1.1. Huehuetenango | 1 |
| 1.1.2. Petén | 2 |
| 1.2. Monografía | 2 |
| 1.2.1. Huehuetenango | 3 |
| 1.2.2. Petén | 6 |
| 1.3. Estaciones..... | 7 |
| 1.3.1. Estación climática Huehuetenango..... | 8 |
| 1.3.2. Estación climática Todos Santos | 9 |
| 1.3.3. Estación climática San Pedro Necta..... | 9 |
| 1.3.4. Estación climática Soloma | 9 |
| 1.3.5. Estación climática Flores | 9 |
| 1.4. Cuencas | 10 |
| 1.4.1. Huehuetenango | 10 |
| 1.4.2. Petén | 12 |
| 1.5. Ríos | 13 |
| 1.5.1. Huehuetenango | 13 |

| | | |
|----------|--|----|
| 1.5.2. | Petén..... | 15 |
| 1.6. | Climatología..... | 16 |
| 1.6.1. | Huehuetenango..... | 16 |
| 1.6.2. | Petén..... | 17 |
| 2. | PARÁMETROS ESTADÍSTICOS..... | 19 |
| 2.1. | Medidas de tendencia central..... | 19 |
| 2.1.1. | Media..... | 19 |
| 2.1.2. | Mediana..... | 20 |
| 2.1.3. | Moda..... | 20 |
| 2.2. | Medidas de dispersión..... | 20 |
| 2.2.1. | Rango..... | 20 |
| 2.2.2. | Desviación media..... | 21 |
| 2.2.3. | Varianza..... | 21 |
| 2.2.4. | Desviación estándar..... | 21 |
| 2.3. | Probabilidad..... | 22 |
| 2.4. | Períodos de retorno..... | 22 |
| 2.5. | Distribución normal..... | 22 |
| 2.6. | Distribución de Gumbel..... | 23 |
| 3. | CURVAS IDF..... | 25 |
| 3.1. | Definición..... | 25 |
| 3.2. | Metodología para la construcción de curvas intensidad- duración-frecuencia..... | 26 |
| 3.2.1. | Medición de precipitación..... | 27 |
| 3.2.1.1. | Pluviógrafo..... | 27 |
| 3.2.1.2. | Pluviómetro..... | 29 |
| 3.2.2. | Descripción del procedimiento..... | 30 |
| 3.2.2.1. | Recopilación de datos..... | 30 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.2.2.2. | Selección de valores máximos | 31 |
| 3.2.2.3. | Modelos matemáticos | 31 |
| 3.2.2.4. | Tipos de errores..... | 33 |
| 3.2.3. | Aplicación de metodología para la construcción de curvas IDF | 34 |
| 4. | CÁLCULO Y PRESENTACIÓN DE CURVAS IDF | 39 |
| 5. | AJUSTE DE INTENSIDADES DE LLUVIA A MODELOS ESTÁNDAR Y WENZEL | 51 |
| 5.1. | Tablas de coeficientes de los modelos de ajuste | 52 |
| 5.2. | Tablas comparativas de errores relativos | 57 |
| 5.3. | Resumen de errores relativos..... | 59 |
| | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 61 |
| | CONCLUSIONES | 63 |
| | RECOMENDACIONES..... | 65 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 67 |
| | APÉNDICE..... | 69 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Ubicación del departamento de Huehuetenango | 1 |
| 2. | Ubicación del departamento de Petén | 2 |
| 3. | Localización de estaciones meteorológicas | 8 |
| 4. | Familia de curvas IDF para distintos períodos de retorno..... | 26 |
| 5. | Pluviógrafo de flotador con sifón | 28 |
| 6. | Pluviómetro ordinario | 29 |
| 7. | Banda pluviográfica..... | 30 |
| 8. | Resultado del ajuste de un conjunto de datos a una función Linear..... | 34 |
| 9. | Curvas IDF de la estación climática Huehuetenango utilizando la distribución normal..... | 40 |
| 10. | Curvas IDF de la estación climática Huehuetenango utilizando la distribución de Gumbel..... | 41 |
| 11. | Curvas IDF de la estación climática Todos Santos utilizando la distribución normal | 42 |
| 12. | Curvas IDF de la estación climática Todos Santos utilizando la distribución de Gumbel..... | 43 |
| 13. | Curvas IDF de la estación climática San Pedro Necta utilizando la distribución normal | 44 |
| 14. | Curvas IDF de la estación climática San Pedro Necta utilizando la distribución de Gumbel | 45 |

| | | |
|-----|---|----|
| 15. | Curvas IDF de la estación climática Soloma utilizando la distribución normal..... | 46 |
| 16. | Curvas IDF de la estación climática Soloma utilizando la distribución de Gumbel | 47 |
| 17. | Curvas IDF de la estación climática Flores utilizando la distribución normal..... | 48 |
| 18. | Curvas IDF de la estación climática Flores utilizando la distribución de Gumbel | 49 |
| 19. | Grafica de comparación de errores relativos obtenidos al utilizar la distribución normal | 60 |
| 20. | Grafica de comparación de errores relativos obtenidos al utilizar la distribución de Gumbel..... | 60 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Normales climáticas del departamento de Huehuetenango | 17 |
| II. | Normales climáticas para el departamento de Petén | 18 |
| III. | Resumen de recopilación de datos..... | 31 |
| IV. | Discretización de banda pluviográfica de la estación Huehuetenango 23-05-1986 a 10-20-30- 40-50-60-180 | 35 |
| V. | Resumen de intensidades anuales de la estación Huehuetenango 1986 | 36 |
| VI. | Resumen multianual estación Huehuetenango | 37 |
| VII. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Huehuetenango utilizando la distribución normal..... | 40 |

| | | |
|--------|---|----|
| VIII. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Huehuetenango utilizando la distribución de Gumbel..... | 41 |
| IX. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Todos Santos utilizando la distribución normal | 42 |
| X. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Todos Santos utilizando la distribución de Gumbel..... | 43 |
| XI. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Pedro Necta utilizando la distribución normal | 44 |
| XII. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Pedro Necta utilizando la distribución de Gumbel..... | 45 |
| XIII. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Soloma utilizando la distribución normal | 46 |
| XIV. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Soloma utilizando la distribución de Gumbel..... | 47 |
| XV. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Flores utilizando la distribución normal | 48 |
| XVI. | Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Flores utilizando la distribución de Gumbel..... | 49 |
| XVII. | Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Huehuetenango..... | 52 |
| XVIII. | Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Huehuetenango..... | 52 |

| | | |
|---------|--|----|
| XIX. | Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Todos Santos..... | 53 |
| XX. | Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Todos Santos..... | 53 |
| XXI. | Coeficientes del modelo estándar para la estación climática San Pedro Necta..... | 54 |
| XXII. | Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática San Pedro Necta..... | 54 |
| XXIII. | Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Soloma..... | 55 |
| XXIV. | Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Soloma..... | 55 |
| XXV. | Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Flores..... | 56 |
| XXVI. | Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Flores..... | 56 |
| XXVII. | Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación Huehuetenango | 57 |
| XXVIII. | Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación Todos Santos | 57 |
| XXIX. | Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación San Pedro Necta | 58 |
| XXX. | Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación Soloma | 58 |
| XXXI. | Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación Flores..... | 59 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------|--|
| a_i | Amplitud de clases |
| x_i | Conjunto de valores de la variable |
| σ | Desviación estándar |
| $D_{\bar{x}}$ | Desviación media |
| D | Duración |
| ϵ_a | Error absoluto |
| ϵ_r | Error relativo |
| $F_i - 1$ | Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana |
| I | Intensidad |
| l_i | Límite inferior de la clase donde se encuentra la mediana. |
| \bar{x} | Media aritmética |
| M_e | Mediana |
| N | Número total de valores |
| A | Parámetro numerador de ajuste a modelo matemático. |
| B | Parámetro denominador de ajuste a modelo matemático. |
| N | Parámetro exponencial de ajuste a modelo matemático. |
| T | Período de retorno |
| $n/2$ | Semisuma de las frecuencias absolutas |

x_0

Valor exacto

X

Valor medido

σ^2

Varianza

GLOSARIO

| | |
|--------------------------------------|---|
| Afluente | Corriente de agua que desemboca en un curso mayor. |
| Cuenca | Accidente de carácter geográfico que supone una depresión en la superficie de la Tierra, un valle en medio de alturas o un terreno cuyas aguas se dirigen hacia el mismo mar, río o lago. |
| Discretización | La discretización es un proceso matemático mediante el cual se obtienen resultados aproximados de la ecuación diferencial del problema. |
| Estación hidrométrica | Estación en la cual se obtienen datos sobre el agua de ríos, lagos o embalses, referidos a uno o más de los elementos siguientes: nivel, caudal, transporte y depósito de los sedimentos, temperatura del agua y otras propiedades físicas del agua, características de la capa de hielo y propiedades químicas del agua. |
| Estación climatológica Tipo A | Los elementos meteorológicos que se observan en total son once: temperatura, precipitación, humedad relativa del aire, presión atmosférica, brillo solar, radiación solar, evaporación, nubosidad, viento en superficie, temperatura del subsuelo y visibilidad. |

| | |
|--------------------------------------|---|
| Estación climatológica Tipo B | Los elementos meteorológicos que se observan en total son cuatro: temperatura, precipitación, humedad relativa del aire y velocidad del viento. |
| Intensidad de lluvia | Tasa de lluvia expresada en unidades de altura por unidad de tiempo. |
| Microclima | Es un conjunto de patrones y procesos atmosféricos que caracterizan un entorno o ámbito reducido. |
| Vertiente | Declive o lugar por donde corre el agua. Suele tratarse de una superficie topográfica inclinada, que se encuentra entre puntos altos (como cimas, picos o crestas) y bajos. |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como fin construir curvas de intensidad-duración-frecuencia en los departamentos de Huehuetenango y Petén, utilizando dos modelos matemáticos para comprobar cual se ajusta más a los datos.

En los primeros tres capítulos se encuentra el marco teórico. El primer capítulo describe la caracterización del área de estudio; incluye ubicación, monografía, estaciones climatológicas, cuencas, ríos, y climatología. El siguiente describe los parámetros estadísticos utilizados para la modelación de procesos hidrológicos estocásticos; incluye medidas de tendencia central; medidas de dispersión; probabilidad; período de retorno y las distribuciones a utilizar. Por último se definen las curvas de intensidad-duración-frecuencia, método de construcción e instrumentos a utilizar.

La parte práctica del trabajo inicia en el cuarto capítulo, donde se pueden encontrar tablas de los cálculos realizados a partir de la información pluviográfica obtenida por el Insivumeh, con sus respectivas curvas de intensidad-duración-frecuencia. El quinto capítulo muestra los coeficientes de los modelos de ajustes, así como la sumatoria de errores relativos. El último capítulo, muestra el análisis de los resultados obtenidos del capítulo anterior.

Para finalizar 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

Realizar la comparación entre el modelo Insivumeh y el modelo Wenzel para la obtención de las curvas de intensidad-duración-frecuencia en el departamento de Huehuetenango y municipio de Flores, Petén.

Específicos

1. Calcular intensidades de lluvia para diferentes períodos de retorno con los métodos de distribución normal y la distribución Gumbel.
2. Proporcionar curvas de intensidad-duración-frecuencia con datos actualizados.
3. Obtener un modelo matemático que se ajuste a resultados reales para poder caracterizar resultados futuros.

INTRODUCCIÓN

Guatemala al poseer una variedad de microclimas, obtiene una variación en la cantidad de precipitación por región. Para el cálculo de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) se utilizará el método propuesto por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) llamada método Insivumeh, por ser la referencia oficial. Se propone utilizar de forma simultánea el modelo Wenzel.

Las curvas IDF brindan información de la intensidad, duración y frecuencia de una región en específico. Estas son utilizadas para el diseño de distintas obras civiles tales como redes de drenaje pluvial, presas, puentes, sistemas de riego, entre otros. Una vez construidas las curvas IDF por ambos métodos, se realizará una comparación de la sumatoria del error relativo al cuadrado que produce cada modelo, y cuál de los métodos se ajusta mejor a los puntos obtenidos del análisis de intensidades. Con base en los resultados, se propondrán nuevas gráficas y el modelo matemático que se ajusta y modela curvas IDF para la región de Huehuetenango y el municipio de Flores, Petén.

1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1. Ubicación

Es importante conocer la elevación medida a partir del nivel del mar, la ubicación exacta y los límites geográficos del departamento a estudiar.

1.1.1. Huehuetenango

El departamento de Huehuetenango se encuentra en la región Noroccidental de Guatemala. Limita al norte y oeste con México, al sur con San Marcos, Quetzaltenango y Totonicapán, y al este con Quiché. La ciudad de Huehuetenango se encuentra a una distancia aproximada de 264 km de la ciudad capital. Sus coordenadas son 15°19'18" latitud y 91°28'14" longitud. Su altura media es de 1 901,64 metros sobre el nivel del mar.

Figura 1. **Ubicación del departamento de Huehuetenango**



Fuente: *Huehuetenango*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Huehuetenango>. Consulta: marzo de 2016.

1.1.2. Petén

El departamento de Petén se encuentra en la región Norte de Guatemala. Limita al norte y oeste con México, al sur con Izabal y Alta Verapaz, y al este con Belice. La ciudad de Flores se encuentra a una distancia aproximada de 488 km de la ciudad capital. Sus coordenadas son 16°55'59" latitud y 89°52'59" longitud. Su altura media es de 127 metros sobre el nivel del mar.

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



Fuente: *Petén*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Pet%C3%A9n>. Consulta: marzo de 2016.

1.2. Monografía

La monografía permite caracterizar el lugar sujeto a estudio. Esta vincula rasgos propios de cada departamento con las medidas necesarias para propiciar su desarrollo, como la elaboración de obras civiles que podrían necesitar información proporcionada por las curvas de intensidad-duración-frecuencia.

1.2.1. Huehuetenango

El departamento de Huehuetenango cuenta con una extensión territorial de 7 403 kilómetros cuadrados. El monumento de elevación se encuentra en la cabecera departamental, a una altura de 1 901,64 metros sobre el nivel del mar, pero su topografía es en extremo variada, con montañas y cimas que exceden los 3 000 metros de elevación y tierras bajas que descienden hasta 300 metros.

Huehuetenango es uno de los departamentos de Guatemala que presenta mayor variación lingüística. Se hablan los idiomas; mam, aguacateco, acateco, teco, chuj, el popiti' o jacalteco, q'anjob'al y español, que es la lengua predominante.

En este departamento se encuentra el sitio arqueológico de Zaculeu, a una distancia aproximada de 3 km de la ciudad. Dicho sitio pertenecía a la cultura Mam. Zaculeu fue declarado monumento nacional precolombino, por el acuerdo del Ministerio de Educación el 12 de junio de 1970. Asimismo, se encuentra en sitio arqueológico de Chalchitán o Aguacatán, que fue declarado monumento nacional precolombino, por Acuerdo Gubernativo del 24 de abril de 1931. En el municipio de San Mateo Ixtatán, se encuentra la zona arqueológica de San Mateo.

Una de fuentes económicas, es la explotación de los grandes depósitos de minerales que posee. Antes de la conquista existían explotaciones auríferas que fueron agotadas. También se cultiva café, maíz, frutas y verduras de temporada.

Según las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística, su población es de 1 173 977 personas. Esto representa 7,8 % de la población total del país. La población creció 2,63 % entre 2011-2012.

En el departamento se encuentra la carretera Interamericana CA-1, que se comunica con la capital. Esta parte de La Mesilla en la frontera con México se une con San Cristóbal, Totonicapán y con el sistema vial del país en Cuatro Caminos. Para comunicar con el departamento de Quiché, cuenta con dos carreteras nuevas y asfaltadas; una parte de Buenos Aires, Chiantla, pasa por la cabecera de Aguacatán llegando hasta el municipio de Sacapulas y de allí hacia la cabecera departamental de Quiché. La segunda, sale por la aldea Piedras Negras y Chiquiliabaj, pasa por aldea Río Negro, llega al municipio de San Pedro Jocopilas y de allí se dirige a la cabecera de Quiché.

Posee sus propios grupos de danza tradicional, en que los bailarines representan escenas de la vida diaria, ritos alusivos a la fecha o acontecimientos especiales que van acompañados la mayoría de las veces, de bandas musicales y de su instrumento de batalla: la marimba, de la cual son especialistas y la que en las fiestas no puede faltar. Los numerosos y variados destinos de turismo natural y cultural se resumen en el sitio de la Red de Turismo Natural y Cultural de Huehuetenango.

El departamento de Huehuetenango cuenta con 32 municipios:

- Aguacatán
- Chiantla
- Colotenango
- Concepción Huista
- Cuilco
- Huehuetenango

- Jacaltenango
- La Democracia
- La Libertad
- Malacatancito
- Nentón
- San Antonio Huista
- San Gaspar Ixchil
- San Ildefonso Ixtahuacán
- San Juan Atitán
- San Juan Ixcoy
- San Mateo Ixtatán
- San Miguel Acatán
- San Pedro Necta
- San Pedro Soloma
- San Rafael La Independencia
- San Rafael Petzal
- San Sebastián Coatán
- San Sebastián Huehuetenango
- Santa Ana Huista
- Santa Bárbara
- Santa Cruz Barillas
- Santa Eulalia
- Santiago Chimaltenango
- Tectitán
- Todos Santos Cuchumatán
- Unión Cantinil

1.2.2. Petén

Petén cuenta con una extensión territorial de 35 854 kilómetros cuadrados, es el departamento más extenso de Guatemala. El monumento de elevación se encuentra en Flores, su cabecera departamental, a una altura de 127 metros sobre el nivel del mar, pero esta varía debido a la topografía del departamento, por lo que se puede dividir en tres zonas: región baja (llanuras y lagos), región media (colinas) y región alta (montañas mayas).

El departamento ha sido colonizado en diferentes fases y por distintos grupos étnicos, lo que incide en una población heterogénea y a un panorama multicultural. Sus principales idiomas son el castellano, itzá' lacandón, mopán, q'eqchi' e ixil.

Petén es considerado como la cuna de la gran cultura Maya y en la actualidad se encuentran grandes centros arqueológicos como Tikal, Río Azul, Mundo Perdido, Uaxactún, Piedras Negras, Yaxchilán, El Naranjo, Ceibal y muchos más. Además, posee bellezas naturales como las grutas de Jobtzinaj, el lago Petén Itzá, la laguna Yaxja y otros. Debido a su riqueza de flora y fauna se declaró a la Reserva de la Biosfera Maya como área protegida en 1989.

Este departamento tiene como fuente económica varias actividades como lo son las agrícolas y sus cultivos de maíz, frijol, arroz, caña de azúcar, tabaco, henequén, maguey, café, hule, frutas, maderas finas y preciosas, chicozapote, entre otras; las pecuarias con la crianza de ganado vacuno de doble propósito, la producción de lácteos, su fauna variada y abundante de vida silvestre; y sin faltar las artesanías del lugar, siendo notoria la producción de tejidos típicos de algodón, cestería, muebles de madera, escobas y sombreros de palma, azúcar, panela, jarcia, hamacas de henequén, artículos en cuero, entre otros.

Su población es de 687 192 personas según las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística. La cual representa el 4,5 % de la población total del país. La población creció 3,68 % entre 2012-2013.

La feria titular se celebra del 2 al 15 de enero, siendo este último el día principal, fecha en que la iglesia católica conmemora al Cristo Negro de Esquipulas. Entre sus tradiciones se encuentran: la chatona, el caballito, las mesitas, la procesión de la santa calavera, los huastecos, los faroles, el baile del venado, la enhiladera de flores, la quema del diablo, el muerto, el día de los difuntos.

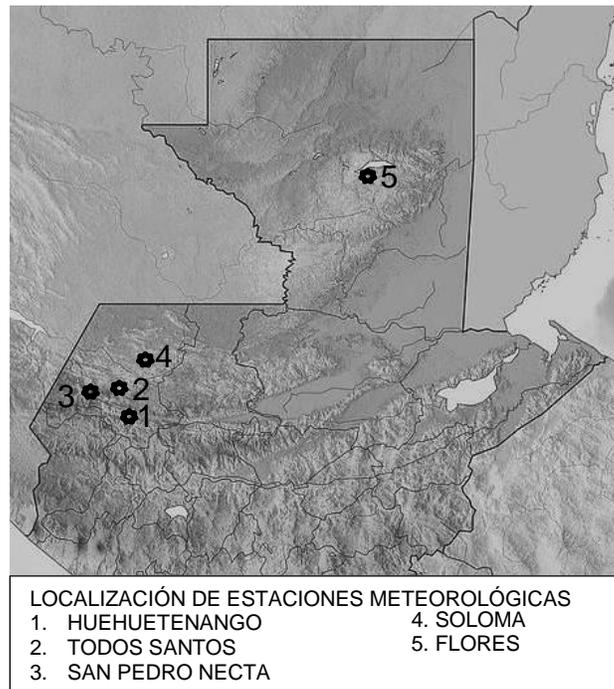
El departamento de Petén cuenta con 14 municipios que son:

- Flores
- San José
- San Benito
- San Andrés
- La Libertad
- San Francisco
- Santa Ana
- Dolores
- San Luis
- Sayaxché
- Melchor de Mencos
- Poptún
- El Chal
- Las Cruces

1.3. Estaciones

Las estaciones meteorológicas brindarán los datos pluviográficos según el área en la que estas se encuentran localizadas, las cuales pueden ser de tipo A y B.

Figura 3. **Localización de estaciones meteorológicas**



Fuente: *Mapa físico de Guatemala*. <http://www.zonu.com/America-del-Norte/Guatemala/Fisicos.html>. Fecha: marzo de 2016.

1.3.1. **Estación climática Huehuetenango**

Es una estación climática tipo A, ubicada en la cuenca del río Selegua, en el municipio de Huehuetenango. Situada en la latitud de 15,19 grados norte y longitud de 91,30 oeste. Su elevación es de 1 870 metros sobre el nivel del mar.

1.3.2. Estación climática Todos Santos

Es una estación climática tipo B, ubicada en la cuenca del río Selegua, en el municipio de Todos Santos Cuchumatán. Situada en la latitud 15,30 grados norte y longitud 91,36 grados oeste. Su elevación es de 2 460 metros sobre el nivel del mar.

1.3.3. Estación climática San Pedro Necta

Es una estación climática tipo B, ubicada en la cuenca río Selegua, en el municipio de San Pedro Necta. Situada en la latitud 15,29 grados norte y longitud 91,45 grados oeste. Su elevación es de 1 700 metros sobre el nivel del mar.

1.3.4. Estación climática Soloma

Es una estación climática tipo B, ubicada en la cuenca del río Ixcán, en el municipio de San Pedro Soloma. Situada en la latitud 15,39 grados norte y longitud 91,25 grados oeste. Su elevación es de 2 260 metros sobre el nivel del mar.

1.3.5. Estación climática Flores

Es una estación climática tipo A, ubicada en la cuenca de San Pedro, en el municipio de Flores. Situada en la latitud 16,55 grados norte y longitud 89,51 grados oeste. Su elevación es de 1 230 metros sobre el nivel del mar.

1.4. Cuencas

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

1.4.1. Huehuetenango

Las cuencas pertenecientes al departamento de Huehuetenango pertenecen a la vertiente del Golfo de México.

- Cuenca del río Cuilco: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 2 274 kilómetros cuadrados. En el departamento de Huehuetenango abarca los municipios: Cuilco, Colotenango, San Gaspar Ixhil y San Ildefonso Ixtahuacán.
- Cuenca del río Selegua: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 1 535 kilómetros cuadrados. En el departamento de Huehuetenango abarca los municipios: Huehuetenango, Chiantla, Malacatancito, Cuilco, San Pedro Necta, San Ildefonso Ixtahuacán, Santa Bárbara, La Libertad, La Democracia, Todos Santos Cuchumatpan, San Juan Atitán, Colotenango, San Sebastian Huehuetenango, Concepción Huista, San Antonio Huista, San Rafael Pétzal, San Gaspar Ixchil, Santiago Chimaltenango, Santa Ana Huista.
- Cuenca del río Nentón: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 1 451 kilómetros cuadrados. En el departamento de Huehuetenango abarca los municipios: Chiantla, Nentón, Jacaltenango, Soloma, San Rafael Acatán, San Rafael La

Independencia, Todos Santos Cuchumatán, Santa Eulalia, San Mateo Ixtatán, Concepción Huista, San Juan Ixcoy, San Antonio Huista, San Sebastián Coatán y Santa Ana Huista.

- Cuenca del río Pojón: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 813 kilómetros cuadrados. En el departamento de Huehuetenango abarca los municipios: Nentón, San Mateo Ixtatán y Barrillas.
- Cuenca del río Ixcán: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 2 085 kilómetros cuadrados. En el departamento de Huehuetenango abarca los municipios: Chiantla, Soloma, San Rafael La Independencia, Todos Santos Cuchumatán, Santa Eulalia, San Mateo Ixtatán, San Juan Ixcoy, San Sebastián Coatán, Barrillas y Aguacatán.
- Cuenca del río Xaclbal: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 1 366 kilómetros cuadrados. En el departamento de Huehuetenango abarca los municipios: Barrillas y Aguacatán.
- Cuenca del río Salinas: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 12 150 kilómetros cuadrados. En el departamento de Huehuetenango abarca los municipios: Huehuetenango, Chiantla, Malacatancito, Todos Santos Cuchumatán, San Sebastián Huehuetenango y Aguacatán.

1.4.2. Petén

La mayoría de las cuencas en el departamento de Petén pertenece a la vertiente del Caribe, y seguidamente las demás pertenecen a la vertiente del Golfo de México.

- Cuenca río La Pasión: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 11 795 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca los municipios: San Benito, La Libertad, San Francisco, Santa Ana, Dolores, San Luis, Sayaxché y Poptún.
- Cuenca río Hondo: pertenece a la vertiente del Caribe y posee un área total de 2 917 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca los municipios: Flores, San José y Melchor de Mencos.
- Cuenca río Usumacinta: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 2 980 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca los municipios: La Libertad y Sayaxché.
- Cuenca río San Pedro: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 14 246 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca los municipios: Flores, San José, San Benito, San Andrés, La Libertad, San Francisco y Santa Ana.
- Cuenca río Moho: pertenece a la vertiente del Caribe y posee un área total de 640 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca los municipios: San Luis y Poptún.

- Cuenca Temash: pertenece a la vertiente del Caribe y posee un área total de 68 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca el municipio de: San Luis.
- Cuenca Mopán Belice: pertenece a la vertiente del Caribe y posee un área total de 4 888 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca el municipio de: Flores, San José, Santa Ana, Dolores y Melchor de Mencos.
- Cuenca río Sarstún: pertenece a la vertiente Caribe y posee un área total de 1 991 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca el municipio de: San Luis.
- Cuenca río Salinas: pertenece a la vertiente del Golfo de México y posee un área total de 12 044 kilómetros cuadrados. En el departamento de Petén abarca el municipio de: Sayaxché.

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 las cuales pertenecen a la vertiente del Golfo de México y del Caribe.

1.5.1. Huehuetenango

En Huehuetenango la extensa sierra de los Cuchumatanes separa las vertientes del departamento en dos ramas: suroeste y noroeste, que corren en curso tortuoso. De las tres corrientes que pueden considerarse principales que forman el Usumacinta, dos nacen en Huehuetenango que son: el río Chixoy o

Negro y el río Lacantún. El sistema hidrográfico de esta región comprende, por consiguiente tres grupos: el río Chixoy o Negro, el río Lacantún, así como los afluentes y orígenes del río de Chiapas, los ríos Cuilco y Selegua.

- Cuilco: recorre los departamentos de Huehuetenango y San Marcos. Nace en la Sierra Madre, desemboca en el embalse de la presa de La Angostura, su longitud es de 72 km.
- Río Ixcán: nace en la sierra de los Cuchumatanes y fluye hacia el norte, cruzando la frontera con México para desembocar en el río Lacantún, un afluente del río Usumacinta, su longitud es de 60 km.
- Amelco: tiene sus orígenes en la unión de los ríos Dulce y Canbalám. Su curso es de rumbo hacia el sureste, donde desemboca en el río Yulá San Juan.
- Nentón: es un río que se encuentra ubicado en el área de los municipios de San Sebastián Coatán, San Mateo Ixtatán y Nentón, departamento de Huehuetenango, Guatemala. Se origina al este del paraje y del sitio arqueológico Mojá. Constituye con las fluencias de los siguientes ríos Nupxuptenam y Jajaniguán, asimismo con la sierra Los Cuchumatanes.
- Seleguá: una afluente del río Grijalva que discurre en su mayor parte por Guatemala y una parte más pequeña en México. Nace en la sierra de los Cuchumatanes y recorre el departamento de Huehuetenango en dirección del noroeste hasta cruzar la frontera con México. La longitud del río Selegua en Guatemala es 102 km.

1.5.2. Petén

Este departamento es atravesado por numerosos ríos, cuyas desembocaduras se encuentran en el mar de las Antillas y en el Golfo de México. Además, el departamento cuenta con numerosos lagos y lagunas. Los ríos que desembocan en el Golfo de México poseen grandes longitudes. Aquí se encuentran los ríos más caudalosos del país, como lo son el río Usumacinta, el río Chixoy y el río La Pasión.

- La Pasión: nace en las montañas en el norte de Alta Verapaz bajo el nombre de río Chajmaic, para luego cambiar al Sebol y finalmente al de La Pasión. El río torna al oeste para confluir el río Salinas. Finalmente desemboca en el golfo de México. Tiene una longitud de 353,90 km.
- Usumacinta: se forma en las partes altas de la sierra de los Cuchumatanes y desemboca en el golfo de México. Es el río más largo de Centroamérica. Esta sirve como límite entre Guatemala y México. tiene una longitud de 198,25 km.
- San Pedro: también conocido como río San Pedro Mártir, esta es fuente del río Usumacinta. Tiene una longitud de 186 km.
- Mopan: se descarga en el río Belice, el cual a su vez desemboca en el mar Caribe. Esta es una fuente de agua potable.
- Chixoy: también llamado río Negro, es el tercer río más caudaloso de Guatemala. En su recorrido está construido la Hidroeléctrica de Chixoy. Esta es fuente del río Salinas, para luego formar parte del río Usumacinta. Tiene una longitud de 417,90 km.

- Sarstún: las fuentes del río se encuentran en la sierra de Santa Cruz. Esta marca frontera entre Guatemala y Belice. Esta desemboca en el golfo de Honduras. Tiene una longitud de 111 km.

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 la zona bajo análisis.

1.6.1. Huehuetenango

Según Duarte, el clima en el departamento de Huehuetenango está clasificado como de maseta y altiplanos, debido a que el departamento se encuentre entre montañas esta define la variabilidad, con elevaciones aproximadas de 1 550 a 2 000 metros sobre el nivel del mar, lo cual genera diversidad de microclimas. El departamento se puede distinguir tres zonas climáticas: las planicies del norte, franja transversal del norte, y meseta y altiplanos.

Las lluvias presentadas en esta región son pocas intensas, los registros más altos se obtienen de mayo a octubre, en los meses restantes esas pueden ser deficitarias. Tiene una precipitación pluvial anual de 1 000 a 2 000 milímetros. En Huehuetenango se registran las temperaturas más bajas del país. Existen climas que varían de templados y semifríos con invierno benigno a semicálidos con invierno benigno, de carácter húmedo y semiseco con invierno seco. Su temperatura varía de 10,4 a 23,7 °, con una media anual de 14 °.

Para brindar una mejor perspectiva del clima en el departamento se tiene el registro de normales climáticas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh). Los datos que no se encuentran disponibles están representados con el valor de -99.

Tabla I. **Normales climáticas del departamento de Huehuetenango**

| Localidad | Elevación (Msnm). | Temperaturas Max - Min (C°) | Absolutas Max - Min | Precipitación (Milímetros) | Brillo Solar Total/Hrs/ Promedio mes | Humedad Relativa (%) | Velocidad de Viento (Kms/hr.) | Evaporación (Milímetros) |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Departamento de Huehuetenango | | | | | | | | |
| Huehuetenango | 1 870 | 25,4 – 9,9 | 34,0 - -5,5 | 974,9 | 219 | 72 | 7.5 | 146,6 |
| Cuilco | 1 120 | 30,7 – 14,8 | 40,6 – 3,5 | 985,2 | -99 | 71 | -99 | -99 |
| San Pedro Necta | 1 700 | 24,8 – 13,2 | 33,5 – 0,4 | 1 475,3 | -99 | 71 | -99 | -99 |
| San Pedro Soloma | 2 260 | 19,3 – 7,4 | 29,0 - -3,0 | 2 138,8 | -99 | 86 | -99 | -99 |
| Todos Santos | 2 480 | 18,6 – 6,8 | 27,0 - -3,0 | 1 256,3 | 99 | 85 | -99 | -99 |

Fuente: elaboración propia.

1.6.2. Petén

Según Rodas, la topografía del departamento es variada, la cual trae también consigo la diversidad de climas, los que se dividen en tres zonas: Región Baja, Región Media y Región Alta. A la primera corresponden las llanuras y los lagos, donde se encuentra la mayoría de los poblados del departamento, así como sus grandes praderas o sabanas, a la segunda, corresponden las primeras alturas, incluyendo las pequeñas colinas de los valles de los ríos San Pedro, Azul u Hondo y San Juan. A la Región Alta corresponden las montañas Mayas en la parte oeste del departamento, la de mayor elevación en el mismo, siendo las condiciones climáticas más favorables para el establecimiento de la ganadería y colonias agrícolas.

La temperatura media mensual en el departamento varía entre 22 a 29 °. Las temperaturas máximas no obstante variar entre 27 a 37 ° y las mínimas entre 17 a 23°.

Sánchez describe que en la mayor parte del departamento de Petén las lluvias son de origen ciclónico. La fuente de humedad más importante la constituye el mar Caribe. La relativa cercanía del mar produce flujos de humedad asociados con ciclones y tormentas tropicales. La humedad relativa del aire, es elevada.

Para brindar una mejor perspectiva del clima en el departamento de Petén se tiene el registro de normales climáticas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh). Los datos que no se encuentran disponibles están representados con el valor de -99.

Tabla II. **Normales climáticas para el departamento de Petén**

| Localidad | Elevación (Msnm) | Temperaturas Max - Min (C°) | Absolutas Max - Min | Precipitación (Milímetros) | Brillo Solar Total/Hrs/ Promedio mes | Humedad Relativa (%) | Velocidad de Viento (Kms/hr.) | Evaporación (Milímetros) |
|------------------------------|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Departamento de Petén | | | | | | | | |
| Flores | 123 | 31,4 – 20,0 | 42,0 – 9,0 | 1 553,1 | -99 | 78 | -99 | -99 |
| Libertad | 125 | 31,3 – 19,7 | 41,7 – 7,8 | 1 843,8 | 170,6 | 85 | 3 | 103,9 |
| San Andrés | 60 | 32,8 – 19,7 | 44,0 – -99,0 | 1 633,2 | 194,6 | 82 | -99 | 115,8 |
| San Luis | 10 | 31,2 – 20,2 | 42,5 – 2,0 | 4 125,8 | -99 | 81 | -99 | -99 |
| Poptún | 500 | 28,6 – 18,2 | 39,8 – 6,0 | 1 849,1 | -99 | 82 | -99 | -99 |

Fuente: elaboración propia.

2. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Por medio de parámetros estadísticos es descrita la información hidrológica de procesos aleatorios. 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, centrándose en las observaciones de los eventos y no en 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

También llamado promedio, es el valor que se obtiene a partir de la sumatoria de un conjunto de datos dividido entre el número total de sumandos. Una de las limitaciones de la media es su sensibilidad a los valores extremos.

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

2.1.2. Mediana

Es el valor de una variable de posición central en un conjunto de datos ordenados. Esta divide el conjunto de datos en dos porciones exactamente iguales. La mediana es un promedio de posición, para encontrarla se localiza el valor que ocupe el lugar central de una serie ordenada de casos.

$$M_e = l_i + \frac{\frac{N}{2} - F_i - 1}{f_i} * a_i$$

2.1.3. Moda

Es el valor que tiene mayor frecuencia absoluta. 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

También llamado medidas de variabilidad, 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.

$$rango = \frac{(valor\ máximo + valor\ mínimo)}{2}$$

2.2.2. Desviación media

La desviación media es la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones respecto a la media.

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

2.2.3. Varianza

La varianza es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a media de una distribución estadística.

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

2.2.4. Desviación estándar

También llamada desviación típica es a raíz cuadrada de la varianza. Es la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación. Este es un indicador de variabilidad.

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

2.3. Probabilidad

Es un método por el cual se obtiene la frecuencia de un acontecimiento determinado mediante la realización de experimentos aleatorios, del que se conocen los resultados posibles, 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

También llamada distribución de Gauss, es una distribución de variable continua y una aproximación de la distribución binomial, con campo de variación $[-\infty, \infty]$. Se considera una serie grande de repeticiones del experimento aleatorio in imponer restricciones al valor de probabilidad. La función de distribución normal se representa con al siguiente expresión:

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

Gráficamente tiene la forma de una campana simétrica con respecto al origen y puntos de inflexión en ± 1 , por lo que la media, mediana y moda coinciden, siendo nulos. El área debajo de la curva de frecuencia normal en un intervalo simétrico con respecto al origen crece rápidamente hacia la unidad al incrementarse dicho intervalo.

Las variables hidrológicas, como la precipitación anual tienden a seguir la distribución normal. Las principales limitaciones de la distribución normal 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 llamada distribución extrema tipo I, es utilizada para modelar la distribución del máximo o mínimo, por lo que se utiliza para calcular valores extremos. Por lo que es una de las distribuciones más utilizadas en el campo de la hidrología. Entre sus características principales se encuentra la aplicación de la ley de valores extremos tipo I si la función de distribución inicial converge hacia una exponencial, para x tendiendo al infinito. Además, el campo de variación de x se extiende $[-\infty, \infty]$. El valor medio y la desviación estándar de la variable reducida son fijos e independientes de la muestra.

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

Otro aspecto importante es la tendencia asintótica de la función de distribución cuando el T tiende al infinito, dado que el objetivo primordial del

análisis estadístico es predecir el comportamiento de la variable aleatoria en estudio para grandes períodos de retorno.

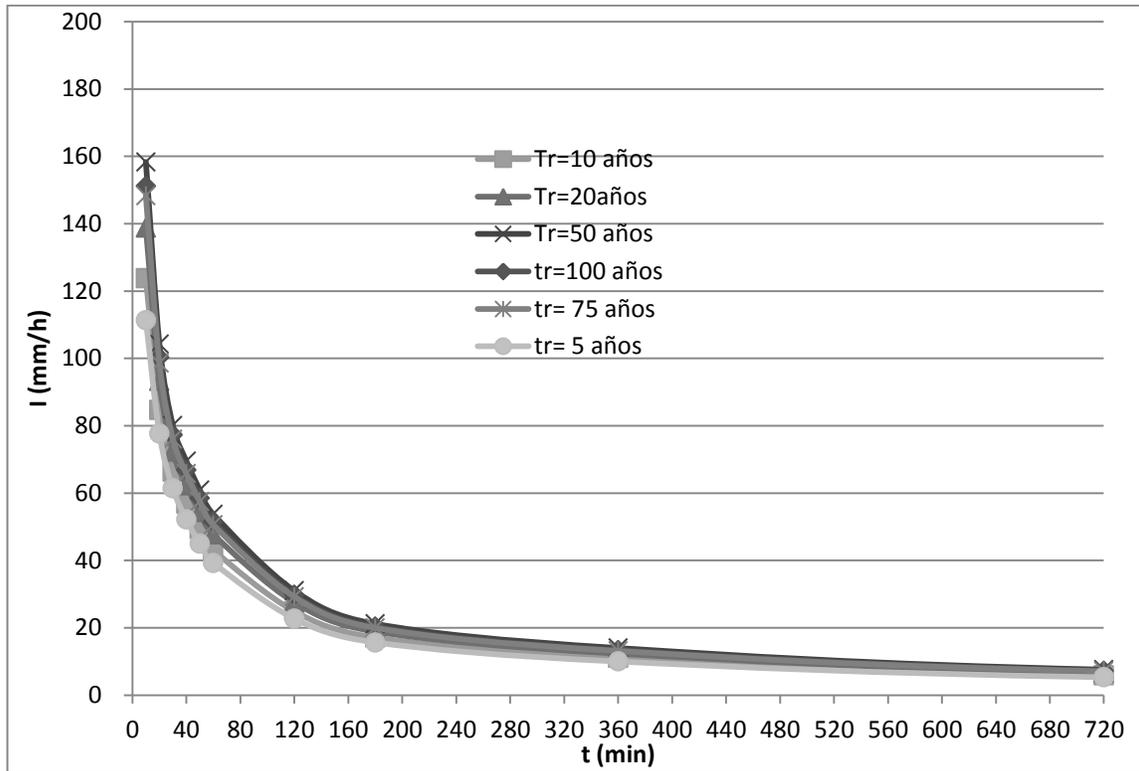
3. CURVAS IDF

3.1. Definición

Las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) corresponden al resultado de unir puntos representativos de la intensidad de lluvia media, en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno, en una representación gráfica.

Es fundamental conocer la relación entre la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias (o períodos de retorno), para un diseño hidrológico. Las curvas de intensidad- duración-frecuencia (IDF) se determina para cada lugar, presentando los datos en forma gráfica, ubicando la intensidad en el eje de ordenadas y la duración en el eje de abscisas, y conteniendo una serie de curvas para cada período de retorno de diseño (ver figura 4).

Figura 4. Familia de curvas IDF para distintos períodos de retorno



Fuente: elaboración propia.

3.2. Metodología para la construcción de curvas intensidad-duración-frecuencia

La metodología a utilizar para la elaboración de las curvas IDF consiste en realizar el análisis de frecuencias de lluvias intensas. Para realizar este análisis se utilizan distribuciones estadísticas, las más utilizadas son la distribución normal y la de valores extremos tipo I (o de Gumbel). Esta última distribución ha sido utilizada para el estudio de eventos de valores máximos diarios y anuales, para la obtención de ajustes precisos.

3.2.1. Medición de precipitación

Se entiende por precipitación la caída de partículas líquidas o sólidas a la superficie terrestre. Por lo tanto comprende lluvia, rocío, escarcha, nieve, granizo y precipitación de la neblina. La precipitación ocurre cuando una masa de agua se eleva a la atmósfera donde se enfría y parte de su humedad se condensa.

El volumen de la precipitación se mide como una altura en milímetros, la cual expresa el nivel que alcanzaría sobre una proyección horizontal de la superficie de la tierra. Se toma en cuenta que 1 milímetro equivale a 1 litro de agua por metro cuadrado. Los instrumentos más comúnmente utilizados para la medición de la precipitación son: el pluviómetro, el pluviógrafo y pluviómetro totalizador.

3.2.1.1. Pluviógrafo

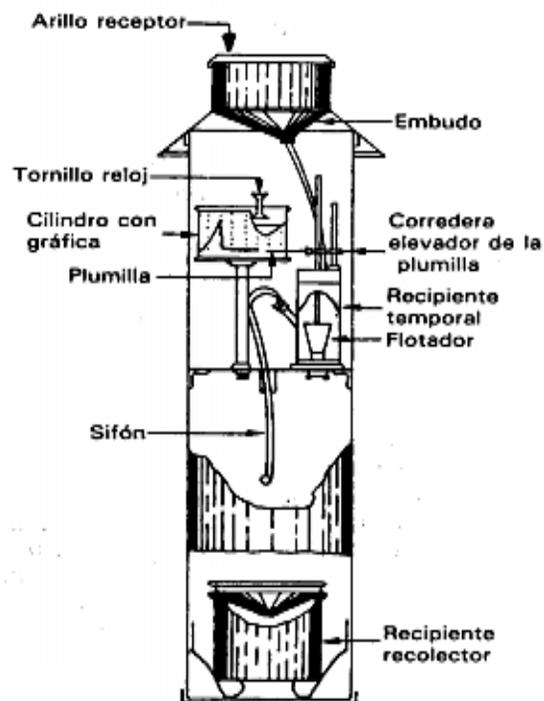
La información registrada a través del pluviógrafo es empleado en el estudio y análisis de las precipitaciones. Este tiene la función de registrar de forma continua la precipitación en un período de tiempo determinado. Por lo que es capaz de registrar la intensidad y su variación en el tiempo.

Existen varios tipos de pluviógrafos, como: de flotador con sifón, de balanza de oscilación y combinación de balanza y oscilación. Para este estudio se utilizó el pluviógrafo de flotador de sifón. El pluviógrafo de flotador con sifón consta de depósito donde se recoge la precipitación 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 unido a una varilla terminada en una plumilla que va registrando la precipitación en una banda de papel milimetrado, con una altura que va entre 0 y 10 mm, colocado en un tambor.

A medida que el depósito se llena, el flotador asciende y hace que la plumilla se mueva hacia arriba. Al alcanzar su nivel máximo, el agua sale por el sifón, produciendo un descenso automático de nivel y se inicia el proceso de llenado nuevamente. De esta forma se logra registrar la precipitación en función del tiempo.

Figura 5. **Pluviógrafo de flotador con sifón**

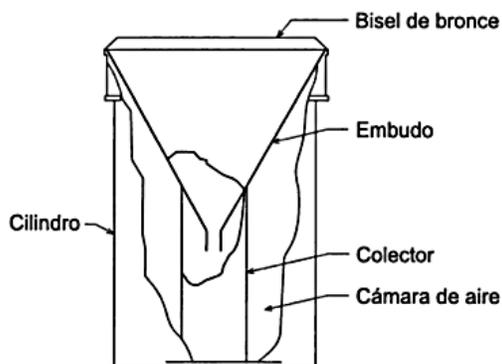


Fuente: ARTAJO, Xabier. *Pluviómetro de cazoletas*. p. 5.

3.2.1.2. Pluviómetro

El pluviómetro consiste en un cilindro recto, con sección de 200 centímetros cuadrados normalmente, con un borde agudo horizontal (receptor o boca) y un dispositivo para recolectar el agua (colector). Entre estos suele existir un embudo. El receptor se ubica en la parte superior, unido al anillo de bronce o latón biselado y tiene un fondo con forma de embudo. Su finalidad es de evitar salpicaduras. El agua recolectada por el receptor pasa a una vasija de boca estrecha, que es lo que se conoce como colector, este debe tener poco contacto con el aire exterior para disminuir 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.

Figura 6. **Pluviómetro ordinario**



Fuente: MADEREY, Laura Elena. *Principios de hidrogeografía*. p. 25.

3.2.2. Descripción del procedimiento

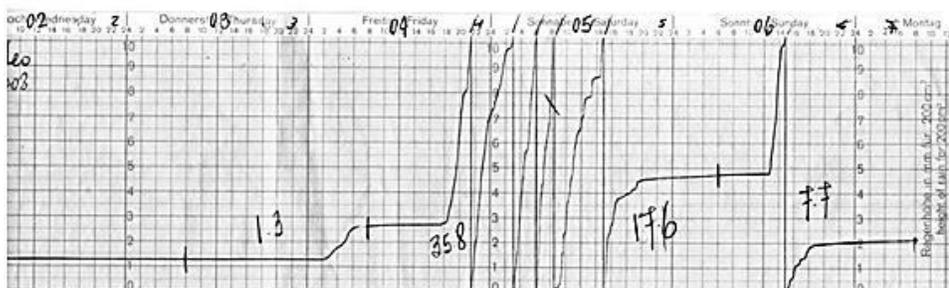
A continuación se encontrará la metodología utilizada para la elaboración de curvas de intensidad-duración-frecuencia en este trabajo, en las estaciones climatológicas bajo análisis.

3.2.2.1. Recopilación de datos

La información utilizada para la elaboración de las curvas IDF de las estaciones climáticas localizado en los departamentos de Huehuetenango y Petén, fue proporcionada por el Departamento de Investigación y Servicios Climatológicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh).

Las estaciones climáticas analizadas cuentan con equipos pluviográficos tipo Hellman, que registran los eventos de precipitación que ocurren durante el año utilizando bandas milimetradas (ver figura 7). Se utilizó todos los años disponibles de datos de cada estación. Sin embargo, hay estaciones con años incompletos o bandas con defectos.

Figura 7. Banda pluviográfica



Fuente: *Insivumeh*, marzo de 2016.

Tabla III. **Resumen de recopilación de datos**

| Estación | Años de registro | Años faltantes | Bandas analizadas |
|------------------------|-------------------------|---|--------------------------|
| Huehuetenango | 1986 - 2010 | 1994 - 1997 - 2003 | 84 |
| Todos Santos | 1984 - 2013 | 1987 - 1991 - 1992 - 1993 - 1994 - 2009 - 2010 - 2011 - 2012 | 63 |
| San Pedro Necta | 1995 - 2010 | 1996 | 103 |
| Soloma | 1995 - 2003 | ----- | 57 |
| Flores | 2000 - 2013 | ----- | 73 |

Fuente: elaboración propia.

3.2.2.2. Selección de valores máximos

El método utilizado para la construcción de curvas de intensidad-duración-frecuencia es el propuesto por Temez, en la que se analiza las bandas de registro pluviográfico y se selecciona los eventos máximos de precipitación para determinado tiempo y lugar. Posteriormente las bandas seleccionadas que representan los eventos extremos son discretizados, obteniendo así las cantidades máximas de precipitación con duración de 24 horas, que inicia a las 7:00 horas.

3.2.2.3. Modelos matemáticos

Para la realización de curvas de intensidad-duración-frecuencia existen diversas expresiones matemáticas para la modelación de la misma, entre estos cabe mencionar:

Modelo propuesto por Wenzel

$$I = \frac{A}{(D^N + B)}$$

Donde c, e y f son parámetros que varían según el lugar y período de retorno.

Modelo propuesto por Aparicio

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

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

Modelo propuesto por Chow

$$I = \frac{k * T^m}{D^n + B}$$

Modelo estándar

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

3.2.2.4. Tipos de errores

Es necesario que los valores de intensidad de lluvia obtenida del análisis de distribución de frecuencias se ajusten a una ecuación en particular, en el proceso de ajuste se generan errores estadísticos, por lo que es necesario determinar cuál modelo genera el menor error. A continuación se describen los tipos de error de interés:

- Error absoluto: se obtiene a partir de la diferencia entre el valor de la medida y el valor tomado como exacto o valor real de la magnitud. El error absoluto es igual a la imprecisión que acompaña a la medida, indica el grado de aproximación. Puede ser positivo o negativo dependiendo de si la medida es superior o inferior al valor real. La ecuación que representa lo anterior expuesto es la siguiente:

$$\varepsilon_a = x - x_o$$

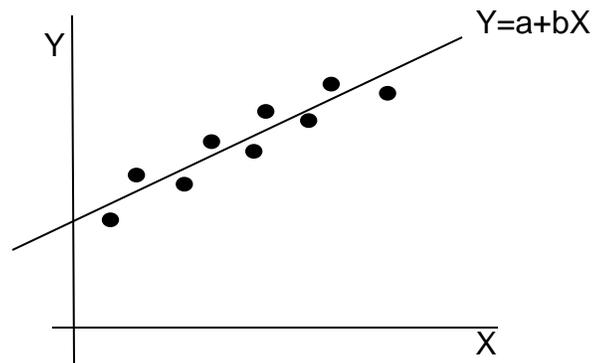
- Error relativo: se obtiene a partir de la división del error absoluto entre el valor esperado. Esta es adimensional y se expresa generalmente como un porcentaje. Además, el error relativo ofrece un valor que mientras más cercano a cero indica que tiene menos error, la ecuación que representa lo anteriormente expuesto es la siguiente:

$$E_r = \frac{x - x_o}{x}$$

- Mínimos cuadrados: se define como la diferencia entre el error observado y el error predicho, elevada al cuadrado. Es una técnica de análisis numérico utilizada para el ajuste de curvas. Esta intenta minimizar la

suma de cuadrados de las diferencias ordenadas o residuos entre los puntos generados por la función y los que corresponden a los datos.

Figura 8. **Resultado del ajuste de un conjunto de datos a una función Linear**



Fuente: elaboración propia, empleando Word.

3.2.3. **Aplicación de metodología para la construcción de curvas IDF**

A continuación se construirá para la estación Huehuetenango la curva IDF con la distribución normal para el modelo estándar aplicando la metodología explicada anteriormente.

De las bandas pluviográficas, solo se tomarán en cuenta los eventos de precipitación considerable. Se debe anotar la altura en milímetros por cada 10 minutos ocurrido del evento. Luego se procederá a discretizar los datos a 10-20-30-40-50-60-120-180-360-720-1 440 minutos.

Tabla IV. **Discretización de banda pluviográfica de la estación Huehuetenango 23-05-1986 a 10-20-30-40-50-60-180**

| Intensidad (mm/hr) | | | 83,4 | 64,2 | 48,6 | 37,95 | 31,2 | 26,7 | 15,4 | 11,4 |
|----------------------|--------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| Valores máximos (mm) | | | 13,9 | 21,4 | 24,3 | 25,3 | 26 | 26,7 | 30,8 | 34,2 |
| t (min) | h (mm) | Σa | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 |
| 10 | 7,5 | 7,5 | 7,5 | | | | | | | |
| 20 | 13,9 | 21,4 | 13,9 | 21,4 | | | | | | |
| 30 | 2,9 | 24,3 | 2,9 | 16,8 | 24,3 | | | | | |
| 40 | 1 | 25,3 | 1 | 3,9 | 17,8 | 25,3 | | | | |
| 50 | 0,7 | 26 | 0,7 | 1,7 | 4,6 | 18,5 | 26 | | | |
| 60 | 0,7 | 26,7 | 0,7 | 1,4 | 2,4 | 5,3 | 19,2 | 26,7 | | |
| 70 | 0,5 | 27,2 | 0,5 | 1,2 | 1,9 | 2,9 | 5,8 | 19,7 | | |
| 80 | 0,6 | 27,8 | 0,6 | 1,1 | 1,8 | 2,5 | 3,5 | 6,4 | | |
| 90 | 0,8 | 28,6 | 0,8 | 1,4 | 1,9 | 2,6 | 3,3 | 4,3 | | |
| 100 | 0,8 | 29,4 | 0,8 | 1,6 | 2,2 | 2,7 | 3,4 | 4,1 | | |
| 110 | 0,5 | 29,9 | 0,5 | 1,3 | 2,1 | 2,7 | 3,2 | 3,9 | | |
| 120 | 0,9 | 30,8 | 0,9 | 1,4 | 2,2 | 3 | 3,6 | 4,1 | 30,8 | |
| 130 | 0,7 | 31,5 | 0,7 | 1,6 | 2,1 | 2,9 | 3,7 | 4,3 | 24 | |
| 140 | 0,7 | 32,2 | 0,7 | 1,4 | 2,3 | 2,8 | 3,6 | 4,4 | 10,8 | |
| 150 | 0,8 | 33 | 0,8 | 1,5 | 2,2 | 3,1 | 3,6 | 4,4 | 8,7 | |
| 160 | 0,4 | 33,4 | 0,4 | 1,2 | 1,9 | 2,6 | 3,5 | 4 | 8,1 | |
| 170 | 0,6 | 34 | 0,6 | 1 | 1,8 | 2,5 | 3,2 | 4,1 | 8 | |
| 180 | 0,2 | 34,2 | 0,2 | 0,8 | 1,2 | 2 | 2,7 | 3,4 | 7,5 | 34,2 |
| 190 | 0,2 | 34,4 | 0,2 | 0,4 | 1 | 1,4 | 2,2 | 2,9 | 7,2 | 26,9 |
| 200 | 0,1 | 34,5 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 1,1 | 1,5 | 2,3 | 6,7 | 13,1 |
| 210 | 0 | 0 | | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 1,1 | 1,5 | 5,9 | 10,2 |
| 220 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 1,1 | 5,1 | 9,2 |
| 230 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 4,6 | 8,5 |
| 240 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 0,3 | 3,7 | 7,8 |
| 250 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 3 | 7,3 |
| 260 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,3 | 6,7 |
| 270 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 5,9 |
| 280 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,1 | 5,1 |
| 290 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 4,6 |
| 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3 | 3,7 |
| 310 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 | 3 |
| 320 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,3 |
| 330 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5 |
| 340 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,1 |
| 350 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 |
| 360 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,3 |
| 370 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,1 |

Fuente: elaboración propia.

El procedimiento se realizará para cada banda pluviográfica. Para el cálculo de intensidades se utiliza la siguiente fórmula.

$$I = \frac{\text{valor máximo} * 60}{d}$$

Donde d tomar el valor de 10-20-30-40-50-60-120-180-360-720-1 440 minutos respectivamente.

Se deberá realizar una tabla resumen de las intensidades obtenidas de las bandas por cada año de análisis de la estación, con el objetivo de encontrar la intensidad máxima en el año para cada discretización.

Tabla V. **Resumen de intensidades anuales de la estación Huehuetenango 1986**

| Estación Huehuetenango 1986 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Fecha | Hora Inicio | Intensidades (mm/hr) | | | | | | | | | | |
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 23/05/1986 | 03:00:00 p.m. | 83,40 | 64,20 | 48,60 | 37,95 | 31,20 | 26,70 | 15,40 | 11,40 | 5,75 | 2,88 | 1,44 |
| 26/10/1986 | 03:00:00 p.m. | 59,40 | 59,10 | 49,20 | 41,70 | 35,28 | 29,70 | 15,95 | 11,37 | 5,90 | 2,95 | 1,48 |
| 01/09/1986 | 04:04:00 p.m. | 60,00 | 60,00 | 55,00 | 44,25 | 45,00 | 40,60 | 22,95 | 14,73 | 10,95 | 6,42 | 3,21 |
| Máximo | | 83,40 | 64,20 | 55,00 | 44,25 | 45,00 | 40,60 | 22,95 | 14,73 | 10,95 | 6,42 | 3,21 |

Fuente: elaboración propia.

Ya obtenido las intensidades máximas por año se realiza un resumen de las mismas, con el fin de obtener los parámetros estadísticos como su valor medio, desviación estándar y las constantes α y μ . Dichas constantes están dadas como:

$$\alpha = \frac{D_{\bar{x}}}{\pi} \sqrt{6}$$

$$\mu = \bar{x} - 0,45D_{\bar{x}}$$

Tabla VI. Resumen multianual estación Huehuetenango

| Estación Flores Resumen Multianual | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Año/ Duración | Intensidad (mm/hr) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 1986 | 83,40 | 64,20 | 55,00 | 44,25 | 45,00 | 40,60 | 22,95 | 14,73 | 10,95 | 6,42 | 3,21 |
| 1987 | 85,20 | 67,50 | 56,00 | 42,00 | 33,60 | 28,00 | 16,25 | 11,70 | 5,85 | 2,93 | 1,46 |
| 1988 | 60,60 | 48,00 | 48,00 | 40,50 | 33,48 | 27,90 | 17,80 | 12,73 | 7,00 | 3,50 | 1,75 |
| 1989 | 90,00 | 52,50 | 36,00 | 27,00 | 21,60 | 18,00 | 11,90 | 9,87 | 6,77 | 4,38 | 2,19 |
| 1990 | 109,20 | 82,20 | 67,00 | 57,75 | 48,24 | 40,60 | 21,50 | 15,23 | 9,88 | 5,70 | 2,85 |
| 1991 | 60,60 | 42,60 | 29,00 | 28,05 | 23,76 | 20,20 | 10,75 | 7,23 | 3,67 | 1,83 | 0,92 |
| 1992 | 93,00 | 68,40 | 54,20 | 41,70 | 33,48 | 27,90 | 14,00 | 10,40 | 5,25 | 2,63 | 1,31 |
| 1993 | 64,80 | 47,40 | 42,20 | 47,10 | 42,24 | 36,30 | 18,45 | 12,37 | 6,18 | 3,09 | 1,55 |
| 1995 | 44,40 | 32,40 | 31,80 | 25,65 | 22,32 | 19,50 | 11,70 | 8,87 | 4,52 | 2,26 | 1,13 |
| 1996 | 85,20 | 55,20 | 55,20 | 49,80 | 44,28 | 40,90 | 27,10 | 8,60 | 9,55 | 5,02 | 2,51 |
| 1998 | 99,60 | 66,90 | 57,60 | 49,20 | 41,76 | 35,40 | 17,80 | 11,87 | 7,98 | 3,29 | 1,65 |
| 1999 | 132,60 | 81,30 | 57,60 | 53,55 | 47,40 | 40,60 | 20,60 | 13,80 | 8,70 | 4,48 | 2,24 |
| 2000 | 60,00 | 56,70 | 56,80 | 50,10 | 41,88 | 37,00 | 23,05 | 17,80 | 10,10 | 5,07 | 2,53 |
| 2001 | 64,80 | 60,60 | 43,40 | 30,00 | 25,80 | 24,00 | 20,55 | 15,87 | 9,95 | 5,26 | 2,63 |
| 2002 | 61,20 | 60,60 | 50,00 | 40,20 | 33,00 | 28,40 | 21,00 | 15,00 | 7,73 | 3,99 | 2,03 |
| 2004 | 120,00 | 69,90 | 61,00 | 48,75 | 40,32 | 34,60 | 19,20 | 14,17 | 11,48 | 5,85 | 2,93 |
| 2005 | 130,20 | 82,80 | 64,20 | 51,90 | 43,92 | 38,90 | 24,45 | 17,30 | 11,97 | 6,12 | 3,18 |
| 2006 | 120,60 | 89,70 | 45,60 | 36,00 | 29,04 | 24,30 | 13,30 | 10,10 | 6,22 | 3,12 | 1,56 |
| 2007 | 89,40 | 72,00 | 66,80 | 63,00 | 55,80 | 50,00 | 27,80 | 19,80 | 9,98 | 4,99 | 2,50 |
| 2008 | 126,00 | 89,70 | 61,60 | 49,80 | 41,64 | 35,30 | 18,50 | 12,97 | 7,30 | 4,12 | 2,06 |
| 2009 | 110,40 | 75,60 | 55,80 | 43,35 | 36,60 | 31,70 | 17,65 | 12,30 | 7,37 | 4,14 | 2,19 |
| 2010 | 61,80 | 61,20 | 58,80 | 45,60 | 37,44 | 31,30 | 15,80 | 13,03 | 9,08 | 4,88 | 2,89 |
| \bar{x} | 88,77 | 64,88 | 52,44 | 43,88 | 37,39 | 32,34 | 18,73 | 12,99 | 8,07 | 4,23 | 2,15 |
| $D_{\bar{x}}$ | 26,82 | 15,19 | 10,63 | 9,87 | 9,06 | 8,23 | 4,73 | 3,15 | 2,28 | 1,28 | 0,67 |
| α | 20,91 | 11,84 | 8,29 | 7,70 | 7,07 | 6,41 | 3,69 | 2,46 | 1,78 | 1,00 | 0,52 |
| μ | 76,70 | 58,05 | 47,65 | 39,43 | 33,31 | 28,63 | 16,60 | 11,57 | 7,04 | 3,65 | 1,85 |

Fuente: elaboración propia.

Se prosigue con la realización de cálculos para la obtención de las probabilidades de retorno, utilizando las distribuciones Normal y de Gumbel. Para encontrar las probabilidades se utilizan las siguientes expresiones:

Distribución Normal

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

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

Distribución de Gumbel

$$u = \mu_o + \frac{1}{\alpha_o} \ln T$$

Para finalizar se procede a graficar las curvas IDF para cada distribución. Dichas curvas se encuentran en el capítulo 4, con sus respectivas tablas de períodos de retorno.

4. CÁLCULO Y PRESENTACIÓN DE CURVAS IDF

Las tablas que se presentan en este inciso corresponden a los resultados de las distribuciones utilizadas, distribución normal y distribución de Gumbel. Se obtuvieron los valores de probabilidad de intensidad lluvia máxima, para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75 y 100 años. Y para cada período de retorno duraciones de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 180, 360, 720 y 1 440 minutos.

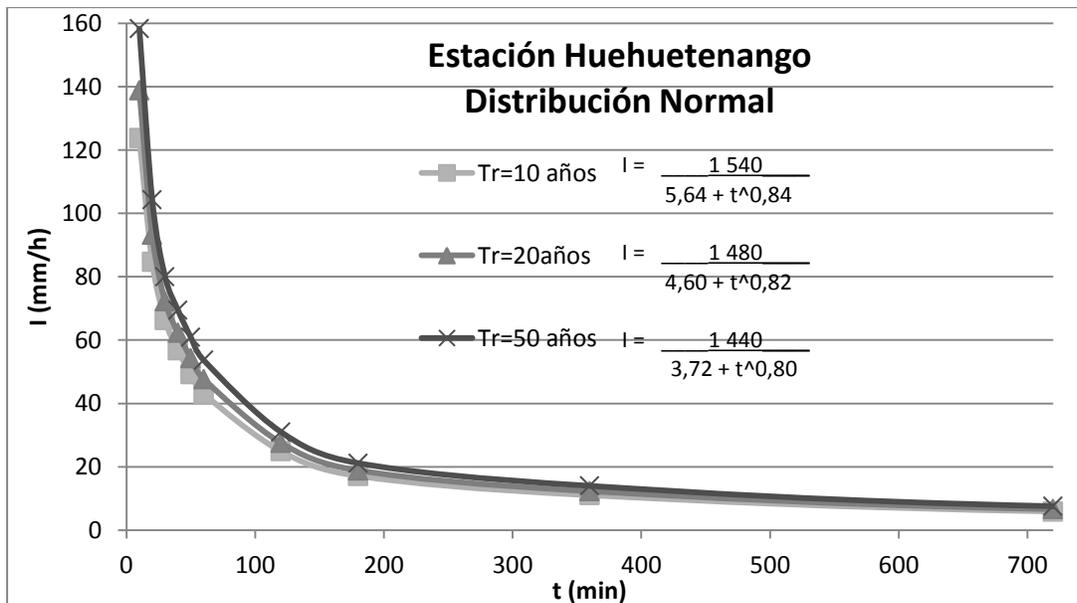
Las figuras son las representaciones gráficas de las familias de curvas de intensidad-duración-frecuencia, obtenidas a partir de los resultados de las tablas, para los períodos de retorno de 10, 20 y 50 años.

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

| Período de retorno/ Duración | Distribución Normal | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 88,77 | 64,88 | 52,44 | 43,88 | 37,39 | 32,34 | 18,73 | 12,99 | 8,07 | 4,23 | 2,15 |
| 5 | 111,35 | 77,66 | 61,38 | 52,18 | 45,02 | 39,26 | 22,72 | 15,64 | 9,99 | 5,31 | 2,71 |
| 10 | 123,15 | 84,34 | 66,06 | 56,53 | 49,01 | 42,88 | 24,80 | 17,03 | 10,99 | 5,87 | 3,00 |
| 15 | 129,04 | 87,68 | 68,39 | 58,69 | 51,00 | 44,68 | 25,84 | 17,72 | 11,49 | 6,15 | 3,15 |
| 20 | 132,89 | 89,86 | 69,92 | 60,11 | 52,30 | 45,87 | 26,52 | 18,17 | 11,82 | 6,34 | 3,24 |
| 25 | 135,73 | 91,47 | 71,04 | 61,16 | 53,26 | 46,74 | 27,02 | 18,51 | 12,06 | 6,47 | 3,31 |
| 30 | 137,96 | 92,73 | 71,93 | 61,98 | 54,01 | 47,42 | 27,41 | 18,77 | 12,25 | 6,58 | 3,37 |
| 50 | 143,86 | 96,07 | 74,27 | 64,15 | 56,01 | 49,23 | 28,46 | 19,46 | 12,75 | 6,86 | 3,52 |
| 75 | 148,22 | 98,54 | 75,99 | 65,75 | 57,48 | 50,57 | 29,23 | 19,97 | 13,12 | 7,07 | 3,63 |
| 100 | 151,17 | 100,21 | 77,16 | 66,84 | 58,48 | 51,47 | 29,75 | 20,32 | 13,37 | 7,21 | 3,70 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Curvas IDF de la estación climática Huehuetenango utilizando la distribución normal



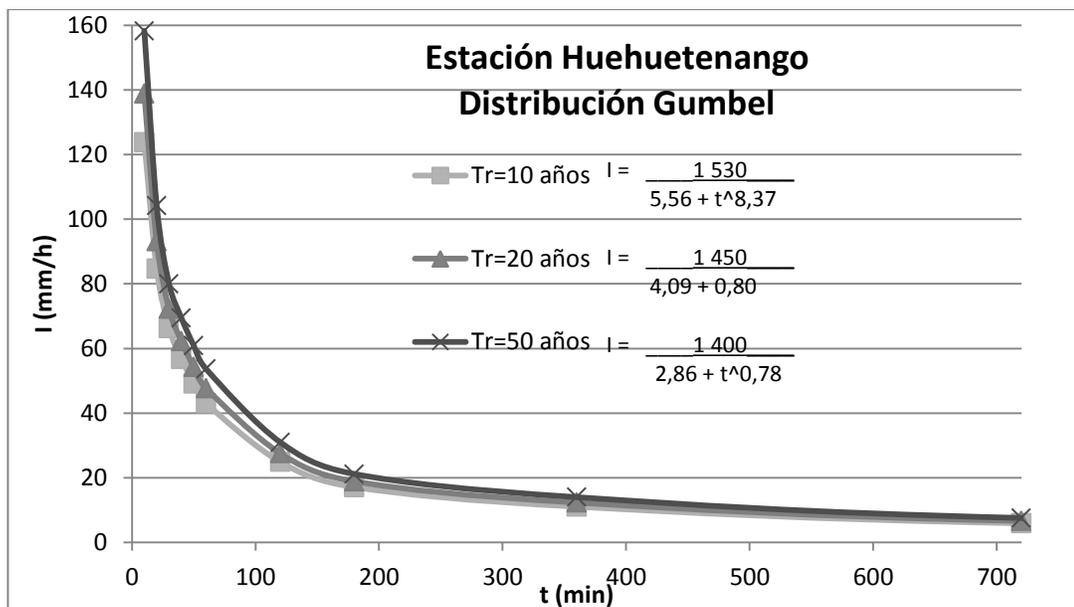
Fuente: elaboración propia.

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

| Distribución de Gumbel | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Período de retorno /Duración | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 84,37 | 62,39 | 50,69 | 42,25 | 35,90 | 30,99 | 17,95 | 12,47 | 7,69 | 4,02 | 2,04 |
| 5 | 108,07 | 75,81 | 60,08 | 50,98 | 43,91 | 38,25 | 22,14 | 15,26 | 9,71 | 5,15 | 2,63 |
| 10 | 123,77 | 84,69 | 66,30 | 56,75 | 49,22 | 43,07 | 24,91 | 17,10 | 11,04 | 5,90 | 3,02 |
| 15 | 132,62 | 89,71 | 69,81 | 60,01 | 52,21 | 45,78 | 26,47 | 18,14 | 11,80 | 6,33 | 3,24 |
| 20 | 138,82 | 93,22 | 72,27 | 62,29 | 54,30 | 47,68 | 27,57 | 18,87 | 12,32 | 6,62 | 3,39 |
| 25 | 143,60 | 95,92 | 74,16 | 64,05 | 55,92 | 49,15 | 28,41 | 19,43 | 12,73 | 6,85 | 3,51 |
| 30 | 147,48 | 98,12 | 75,70 | 65,48 | 57,23 | 50,34 | 29,09 | 19,89 | 13,06 | 7,04 | 3,61 |
| 50 | 158,31 | 104,25 | 79,99 | 69,46 | 60,89 | 53,66 | 31,01 | 21,16 | 13,98 | 7,55 | 3,88 |
| 75 | 166,86 | 109,09 | 83,38 | 72,61 | 63,78 | 56,28 | 32,51 | 22,16 | 14,71 | 7,96 | 4,09 |
| 100 | 172,91 | 112,52 | 85,78 | 74,84 | 65,82 | 58,14 | 33,58 | 22,87 | 15,22 | 8,25 | 4,24 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Curvas IDF de la estación climática Huehuetenango utilizando la distribución de Gumbel



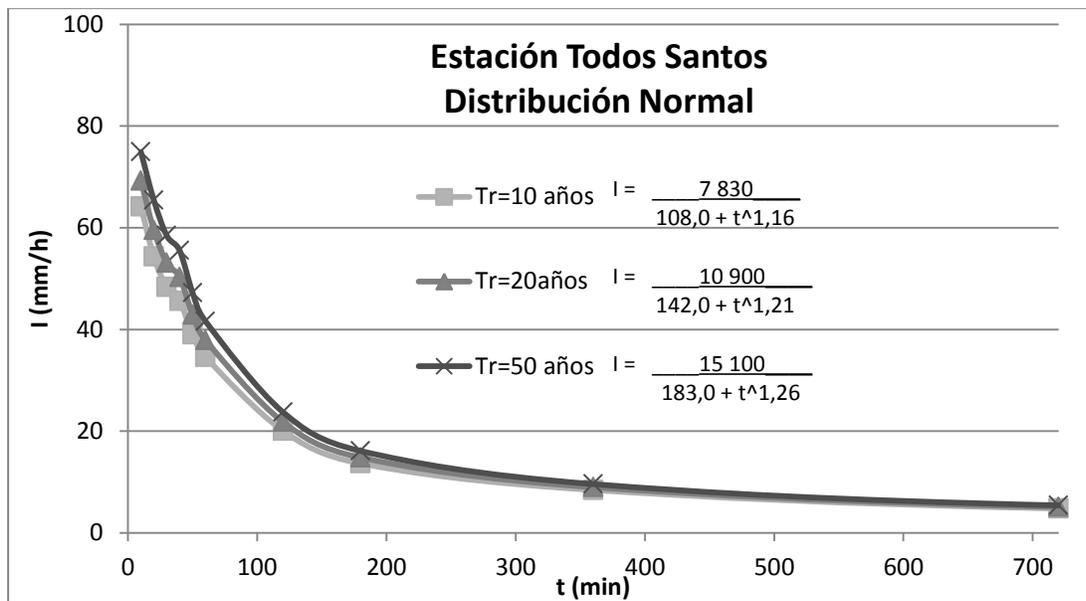
Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Todos Santos utilizando la distribución normal**

| Período de retorno /Duración | Distribución Normal | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 46,37 | 35,87 | 31,60 | 29,12 | 25,41 | 22,90 | 13,99 | 9,55 | 6,49 | 3,74 | 1,97 |
| 5 | 58,07 | 47,98 | 42,60 | 39,94 | 34,35 | 30,56 | 17,98 | 12,23 | 7,75 | 4,41 | 2,37 |
| 10 | 64,18 | 54,32 | 48,35 | 45,59 | 39,02 | 34,56 | 20,06 | 13,63 | 8,41 | 4,76 | 2,57 |
| 15 | 67,23 | 57,48 | 51,22 | 48,41 | 41,35 | 36,56 | 21,10 | 14,33 | 8,74 | 4,94 | 2,68 |
| 20 | 69,23 | 59,55 | 53,10 | 50,26 | 42,88 | 37,87 | 21,78 | 14,79 | 8,96 | 5,05 | 2,75 |
| 25 | 70,70 | 61,07 | 54,48 | 51,62 | 44,00 | 38,83 | 22,28 | 15,12 | 9,12 | 5,14 | 2,80 |
| 30 | 71,85 | 62,27 | 55,57 | 52,69 | 44,89 | 39,59 | 22,68 | 15,39 | 9,24 | 5,20 | 2,83 |
| 50 | 74,91 | 65,43 | 58,44 | 55,51 | 47,22 | 41,59 | 23,72 | 16,09 | 9,57 | 5,38 | 2,94 |
| 75 | 77,17 | 67,77 | 60,57 | 57,60 | 48,95 | 43,07 | 24,49 | 16,61 | 9,82 | 5,51 | 3,02 |
| 100 | 78,70 | 69,35 | 62,00 | 59,01 | 50,12 | 44,07 | 25,01 | 16,96 | 9,98 | 5,60 | 3,07 |

Fuente: elaboración propia.

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



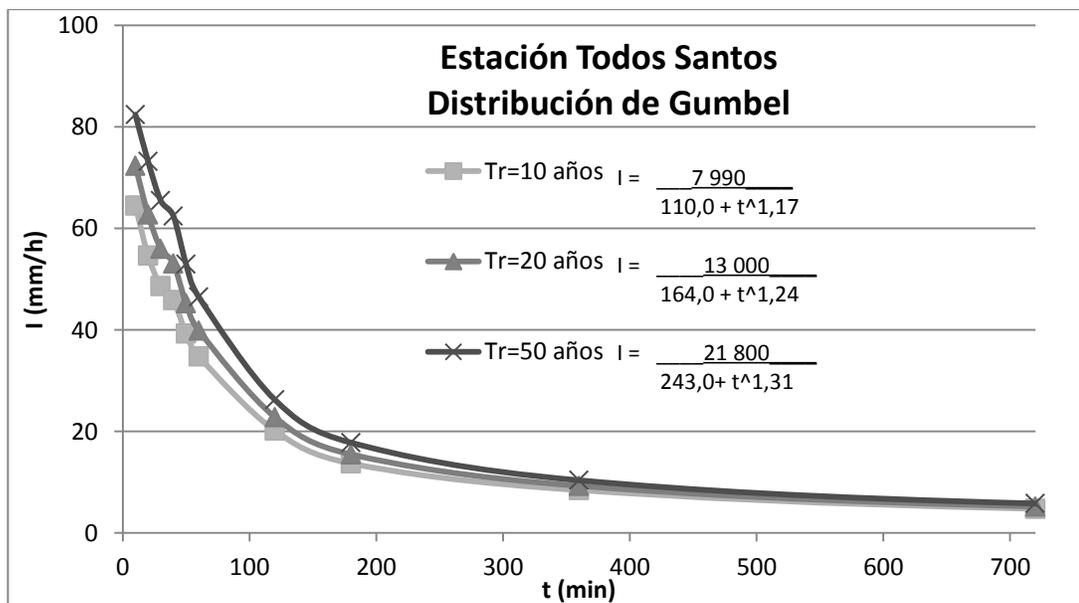
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Todos Santos utilizando la distribución de Gumbel**

| Distribución de Gumbel | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Período de retorno /Duración | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 44,09 | 33,51 | 29,45 | 27,01 | 23,66 | 21,41 | 13,22 | 9,02 | 6,24 | 3,61 | 1,89 |
| 5 | 56,37 | 46,23 | 41,00 | 38,37 | 33,05 | 29,45 | 17,40 | 11,84 | 7,57 | 4,31 | 2,31 |
| 10 | 64,50 | 54,65 | 48,65 | 45,88 | 39,26 | 34,77 | 20,17 | 13,70 | 8,45 | 4,78 | 2,59 |
| 15 | 69,09 | 59,40 | 52,96 | 50,13 | 42,77 | 37,78 | 21,73 | 14,75 | 8,94 | 5,04 | 2,74 |
| 20 | 72,30 | 62,73 | 55,99 | 53,10 | 45,22 | 39,88 | 22,83 | 15,49 | 9,29 | 5,23 | 2,85 |
| 25 | 74,77 | 65,29 | 58,31 | 55,38 | 47,12 | 41,50 | 23,67 | 16,06 | 9,56 | 5,37 | 2,93 |
| 30 | 76,78 | 67,37 | 60,20 | 57,24 | 48,65 | 42,82 | 24,35 | 16,52 | 9,77 | 5,49 | 3,00 |
| 50 | 82,39 | 73,18 | 65,48 | 62,43 | 52,94 | 46,49 | 26,27 | 17,81 | 10,38 | 5,81 | 3,19 |
| 75 | 86,82 | 77,77 | 69,65 | 66,53 | 56,33 | 49,39 | 27,77 | 18,82 | 10,86 | 6,06 | 3,34 |
| 100 | 89,96 | 81,02 | 72,59 | 69,42 | 58,72 | 51,44 | 28,84 | 19,54 | 11,20 | 6,24 | 3,45 |

Fuente: elaboración propia.

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



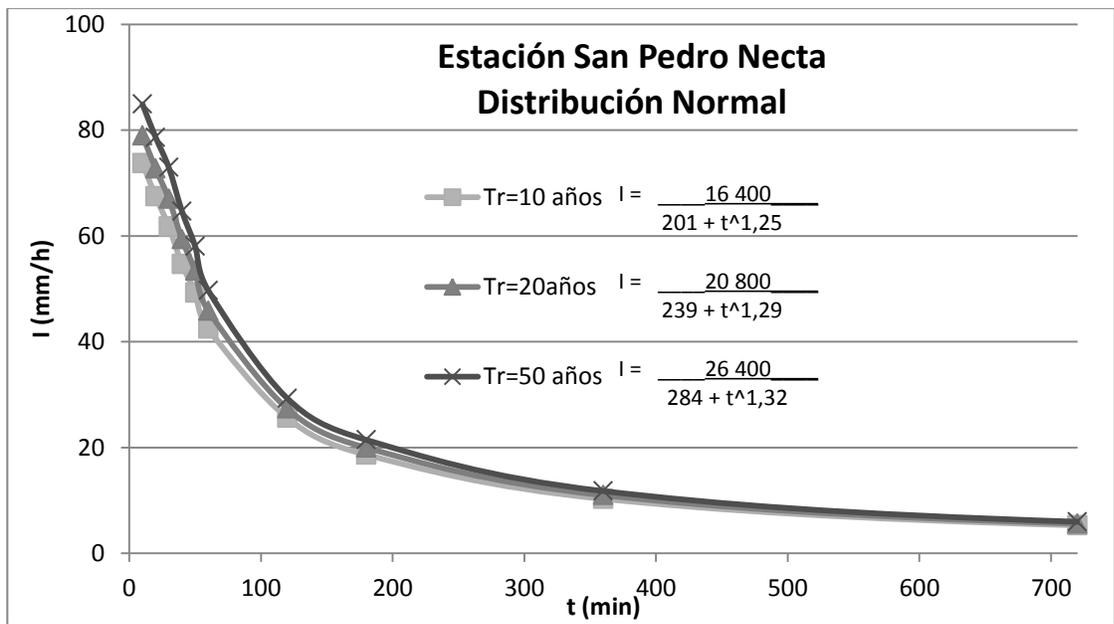
Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Pedro Necta utilizando la distribución normal

| Período de retorno /Duración | Distribución Normal | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 55,16 | 48,92 | 43,20 | 38,04 | 34,61 | 30,40 | 19,47 | 13,99 | 7,86 | 4,15 | 2,10 |
| 5 | 67,34 | 61,10 | 55,38 | 48,95 | 44,22 | 38,30 | 23,50 | 17,05 | 9,46 | 4,89 | 2,44 |
| 10 | 73,71 | 67,46 | 61,75 | 54,65 | 49,24 | 42,42 | 25,60 | 18,64 | 10,30 | 5,28 | 2,61 |
| 15 | 76,89 | 70,64 | 64,92 | 57,50 | 51,75 | 44,48 | 26,65 | 19,44 | 10,71 | 5,48 | 2,70 |
| 20 | 78,97 | 72,72 | 67,01 | 59,36 | 53,39 | 45,83 | 27,34 | 19,96 | 10,99 | 5,61 | 2,76 |
| 25 | 80,51 | 74,25 | 68,54 | 60,73 | 54,60 | 46,83 | 27,84 | 20,34 | 11,19 | 5,70 | 2,80 |
| 30 | 81,71 | 75,45 | 69,74 | 61,81 | 55,55 | 47,61 | 28,24 | 20,65 | 11,35 | 5,77 | 2,84 |
| 50 | 84,89 | 78,63 | 72,92 | 64,66 | 58,06 | 49,67 | 29,29 | 21,44 | 11,77 | 5,97 | 2,92 |
| 75 | 87,25 | 80,98 | 75,28 | 66,77 | 59,92 | 51,19 | 30,07 | 22,03 | 12,08 | 6,11 | 2,99 |
| 100 | 88,84 | 82,57 | 76,87 | 68,19 | 61,17 | 52,23 | 30,60 | 22,43 | 12,29 | 6,21 | 3,03 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Curvas IDF de la estación climática San Pedro Necta utilizando la distribución normal



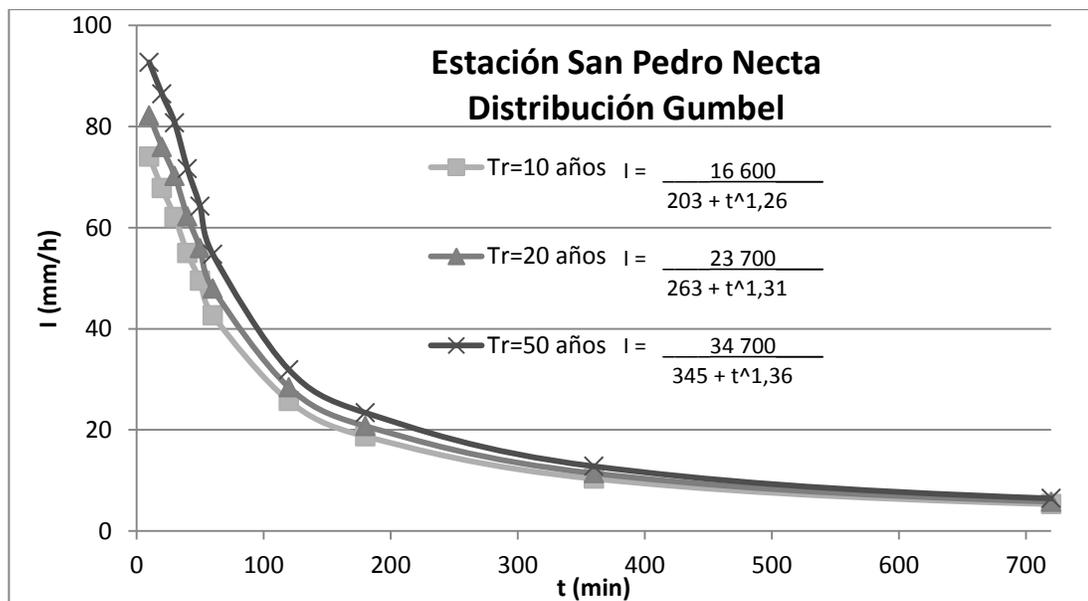
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática San Pedro Necta utilizando la distribución de Gumbel**

| Distribución de Gumbel | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Período de retorno /Duración | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 52,78 | 46,55 | 40,82 | 35,91 | 32,73 | 28,86 | 18,69 | 13,40 | 7,54 | 4,00 | 2,04 |
| 5 | 65,58 | 59,33 | 53,61 | 47,37 | 42,82 | 37,15 | 22,91 | 16,60 | 9,23 | 4,79 | 2,39 |
| 10 | 74,05 | 67,79 | 62,08 | 54,95 | 49,51 | 42,64 | 25,71 | 18,73 | 10,34 | 5,30 | 2,62 |
| 15 | 78,83 | 72,57 | 66,86 | 59,23 | 53,28 | 45,74 | 27,29 | 19,92 | 10,97 | 5,60 | 2,76 |
| 20 | 82,17 | 75,91 | 70,20 | 62,22 | 55,91 | 47,91 | 28,39 | 20,76 | 11,41 | 5,80 | 2,85 |
| 25 | 84,75 | 78,49 | 72,78 | 64,53 | 57,95 | 49,58 | 29,25 | 21,41 | 11,75 | 5,96 | 2,92 |
| 30 | 86,85 | 80,58 | 74,88 | 66,41 | 59,60 | 50,93 | 29,94 | 21,93 | 12,02 | 6,09 | 2,98 |
| 50 | 92,69 | 86,42 | 80,72 | 71,64 | 64,21 | 54,72 | 31,87 | 23,40 | 12,79 | 6,44 | 3,14 |
| 75 | 97,31 | 91,03 | 85,33 | 75,77 | 67,85 | 57,71 | 33,39 | 24,55 | 13,40 | 6,73 | 3,27 |
| 100 | 100,57 | 94,29 | 88,60 | 78,70 | 70,43 | 59,83 | 34,47 | 25,37 | 13,83 | 6,93 | 3,36 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Curvas IDF de la estación climática San Pedro Necta utilizando la distribución de Gumbel**



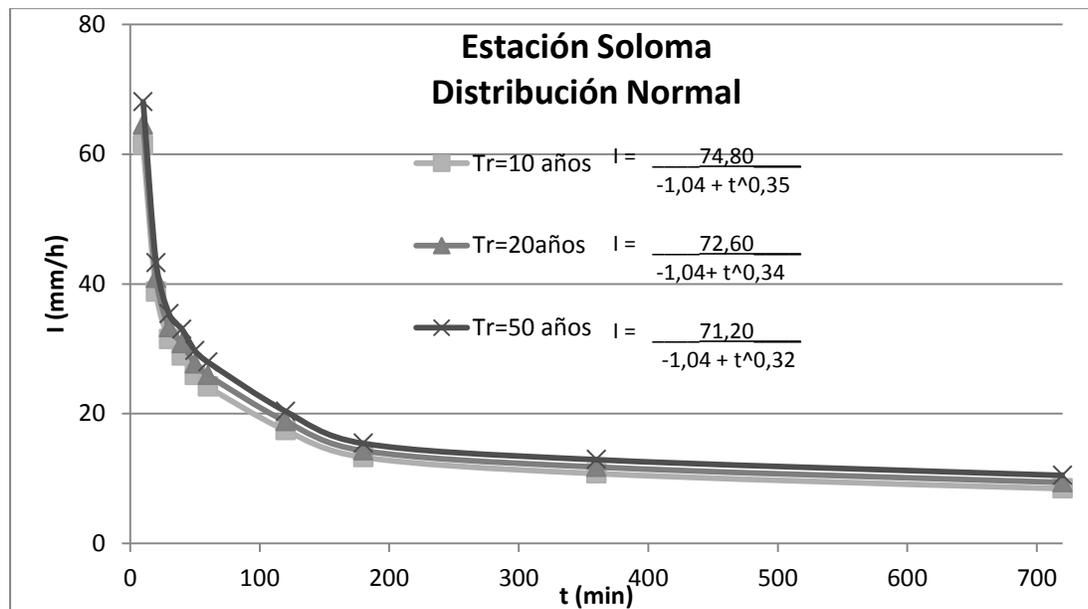
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Soloma utilizando la distribución normal

| Distribución Normal | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Período de retorno /Duración | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 50,33 | 31,37 | 24,96 | 22,18 | 19,65 | 17,83 | 12,56 | 9,76 | 7,24 | 5,08 | 2,79 |
| 5 | 57,60 | 36,23 | 29,23 | 26,62 | 23,76 | 21,98 | 15,75 | 12,07 | 9,56 | 7,29 | 4,09 |
| 10 | 61,39 | 38,77 | 31,46 | 28,94 | 25,91 | 24,14 | 17,42 | 13,28 | 10,77 | 8,45 | 4,76 |
| 15 | 63,29 | 40,04 | 32,57 | 30,10 | 26,98 | 25,22 | 18,26 | 13,89 | 11,38 | 9,03 | 5,10 |
| 20 | 64,53 | 40,87 | 33,30 | 30,85 | 27,69 | 25,93 | 18,80 | 14,28 | 11,78 | 9,41 | 5,32 |
| 25 | 65,44 | 41,49 | 33,84 | 31,41 | 28,20 | 26,45 | 19,20 | 14,58 | 12,07 | 9,68 | 5,49 |
| 30 | 66,16 | 41,97 | 34,26 | 31,85 | 28,61 | 26,86 | 19,52 | 14,80 | 12,30 | 9,90 | 5,61 |
| 50 | 68,06 | 43,24 | 35,38 | 33,01 | 29,68 | 27,94 | 20,35 | 15,41 | 12,91 | 10,48 | 5,95 |
| 75 | 69,46 | 44,18 | 36,20 | 33,87 | 30,48 | 28,74 | 20,97 | 15,86 | 13,35 | 10,91 | 6,20 |
| 100 | 70,41 | 44,81 | 36,76 | 34,45 | 31,01 | 29,29 | 21,39 | 16,16 | 13,66 | 11,20 | 6,37 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Curvas IDF de la estación climática Soloma utilizando la distribución normal



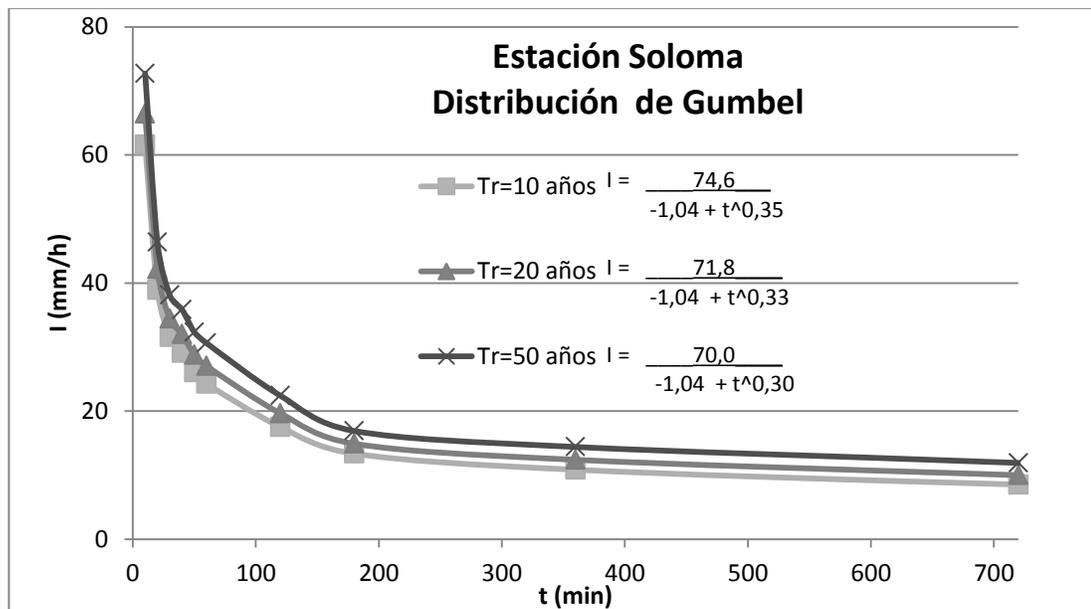
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Soloma utilizando la distribución de Gumbel

| Distribución de Gumbel | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Período de retorno /Duración | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 48,92 | 30,42 | 24,12 | 21,32 | 18,85 | 17,02 | 11,94 | 9,31 | 6,78 | 4,65 | 2,54 |
| 5 | 56,54 | 35,53 | 28,61 | 25,98 | 23,17 | 21,38 | 15,29 | 11,74 | 9,22 | 6,97 | 3,90 |
| 10 | 61,59 | 38,91 | 31,58 | 29,06 | 26,02 | 24,26 | 17,51 | 13,35 | 10,84 | 8,51 | 4,80 |
| 15 | 64,44 | 40,82 | 33,25 | 30,80 | 27,64 | 25,88 | 18,76 | 14,26 | 11,75 | 9,38 | 5,31 |
| 20 | 66,43 | 42,15 | 34,43 | 32,02 | 28,76 | 27,02 | 19,64 | 14,89 | 12,39 | 9,99 | 5,66 |
| 25 | 67,97 | 43,18 | 35,33 | 32,96 | 29,63 | 27,90 | 20,31 | 15,38 | 12,88 | 10,46 | 5,94 |
| 30 | 69,22 | 44,02 | 36,06 | 33,72 | 30,34 | 28,61 | 20,86 | 15,78 | 13,28 | 10,84 | 6,16 |
| 50 | 72,70 | 46,35 | 38,11 | 35,85 | 32,31 | 30,60 | 22,40 | 16,89 | 14,39 | 11,90 | 6,78 |
| 75 | 75,46 | 48,19 | 39,73 | 37,53 | 33,87 | 32,16 | 23,60 | 17,77 | 15,27 | 12,74 | 7,27 |
| 100 | 77,40 | 49,50 | 40,88 | 38,72 | 34,97 | 33,28 | 24,46 | 18,39 | 15,90 | 13,33 | 7,62 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Curvas IDF de la estación climática Soloma utilizando la distribución de Gumbel



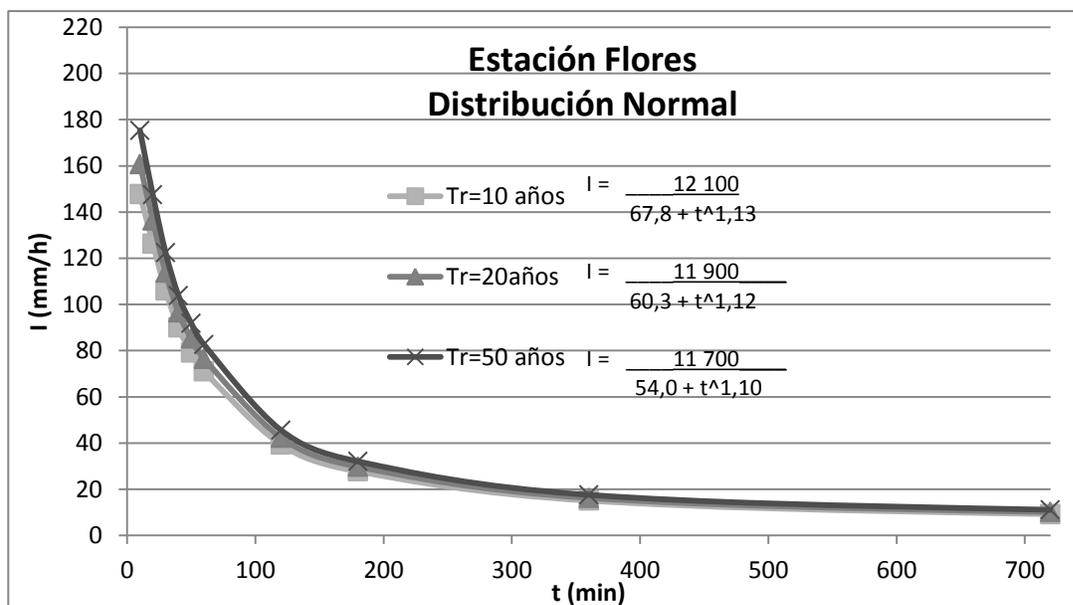
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Flores utilizando la distribución normal

| Distribución Normal | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Período de retorno /Duración | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 101,79 | 91,18 | 78,77 | 67,02 | 58,05 | 52,02 | 29,15 | 20,56 | 10,95 | 6,10 | 3,20 |
| 5 | 131,93 | 114,25 | 96,66 | 82,11 | 71,92 | 64,53 | 35,88 | 25,27 | 13,67 | 8,16 | 4,34 |
| 10 | 147,69 | 126,30 | 106,02 | 90,00 | 79,17 | 71,07 | 39,40 | 27,73 | 15,10 | 9,24 | 4,94 |
| 15 | 155,55 | 132,32 | 110,68 | 93,94 | 82,79 | 74,34 | 41,16 | 28,96 | 15,81 | 9,78 | 5,24 |
| 20 | 160,70 | 136,26 | 113,74 | 96,52 | 85,15 | 76,48 | 42,31 | 29,77 | 16,27 | 10,13 | 5,44 |
| 25 | 164,49 | 139,16 | 115,99 | 98,42 | 86,90 | 78,05 | 43,15 | 30,36 | 16,61 | 10,39 | 5,58 |
| 30 | 167,47 | 141,44 | 117,76 | 99,91 | 88,27 | 79,29 | 43,82 | 30,83 | 16,88 | 10,59 | 5,69 |
| 50 | 175,34 | 147,47 | 122,43 | 103,86 | 91,89 | 82,55 | 45,58 | 32,06 | 17,59 | 11,13 | 5,99 |
| 75 | 181,17 | 151,93 | 125,89 | 106,77 | 94,57 | 84,97 | 46,88 | 32,97 | 18,12 | 11,53 | 6,21 |
| 100 | 185,11 | 154,94 | 128,23 | 108,75 | 96,38 | 86,61 | 47,75 | 33,59 | 18,47 | 11,80 | 6,36 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Curvas IDF de la estación climática Flores utilizando la distribución normal



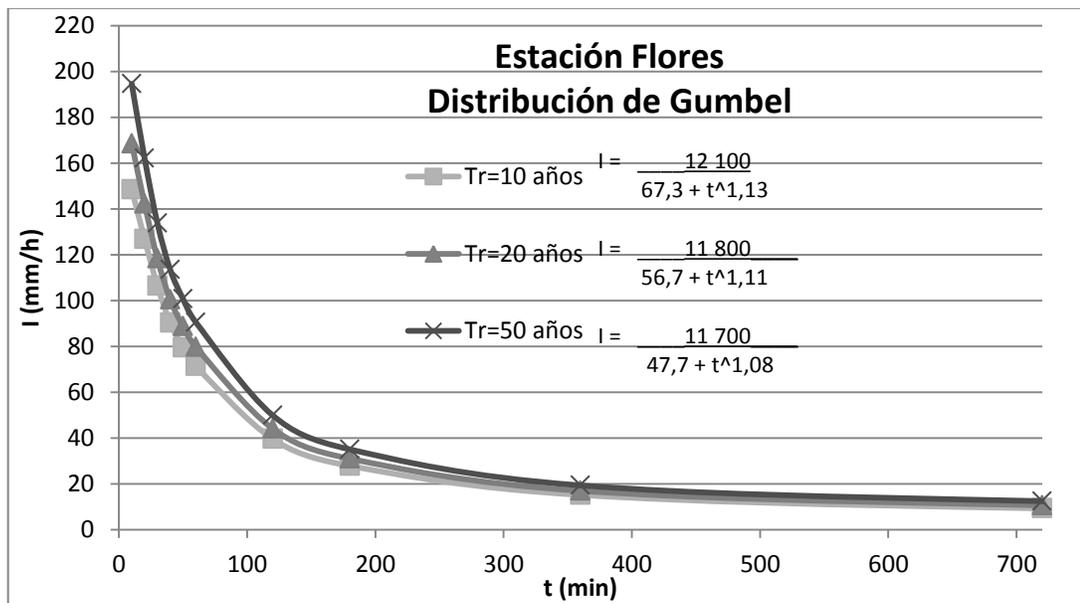
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI: **Probabilidad de intensidad de lluvia en la estación climática Flores utilizando la distribución de Gumbel**

| Distribución de Gumbel | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Período de retorno /Duración | Precipitación (mm) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 120 | 180 | 360 | 720 | 1 440 |
| 2 | 95,90 | 86,68 | 75,28 | 64,07 | 55,35 | 49,58 | 27,84 | 19,64 | 10,42 | 5,70 | 2,97 |
| 5 | 127,56 | 110,90 | 94,07 | 79,92 | 69,91 | 62,72 | 34,91 | 24,59 | 13,28 | 7,86 | 4,18 |
| 10 | 148,51 | 126,94 | 106,51 | 90,42 | 79,55 | 71,42 | 39,59 | 27,86 | 15,17 | 9,30 | 4,97 |
| 15 | 160,33 | 135,98 | 113,53 | 96,34 | 84,99 | 76,32 | 42,22 | 29,71 | 16,24 | 10,11 | 5,42 |
| 20 | 168,61 | 142,32 | 118,44 | 100,49 | 88,80 | 79,76 | 44,07 | 31,01 | 16,98 | 10,67 | 5,74 |
| 25 | 174,99 | 147,20 | 122,22 | 103,68 | 91,73 | 82,41 | 45,50 | 32,00 | 17,56 | 11,11 | 5,98 |
| 30 | 180,18 | 151,17 | 125,30 | 106,28 | 94,11 | 84,56 | 46,65 | 32,81 | 18,03 | 11,46 | 6,18 |
| 50 | 194,63 | 162,23 | 133,88 | 113,52 | 100,76 | 90,56 | 49,88 | 35,08 | 19,33 | 12,45 | 6,73 |
| 75 | 206,05 | 170,97 | 140,66 | 119,23 | 106,02 | 95,30 | 52,43 | 36,86 | 20,36 | 13,23 | 7,16 |
| 100 | 214,13 | 177,15 | 145,46 | 123,28 | 109,73 | 98,65 | 54,23 | 38,12 | 21,09 | 13,78 | 7,47 |

Fuente: elaboración propia.

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



Fuente: elaboración propia.

5. AJUSTE DE INTENSIDADES DE LLUVIA A MODELOS ESTÁNDAR Y WENZEL

Las intensidades de lluvia fueron ajustados a ecuaciones matemáticas, para ello se utilizó un programa de resolución de ecuaciones proporcionado por el ingeniero James Phillips, donde los datos fueron importados para generar los coeficientes A, B, y n, que deben sustituirse en los siguientes modelos:

Modelo estándar

$$I = \frac{A}{(T + B)^n}$$

Modelo Wenzel

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

5.1. Tablas de coeficientes de los modelos de ajuste

A continuación se encontrarán los coeficientes A , B y n , para los modelos estándar y Wenzel, de cada estación.

Tabla XVII. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Huehuetenango**

| Modelo Estándar | | | | | | |
|--------------------|---------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 1,78E+03 | 1,57E+01 | 9,25E-01 | 1,95E+03 | 1,74E+01 | 9,49E-01 |
| 5 | 1,36E+03 | 9,89E+00 | 3,78E-02 | 1,39E+03 | 1,05E+01 | 8,48E-01 |
| 10 | 1,27E+03 | 8,01E+00 | 8,08E-01 | 1,27E+03 | 7,92E+00 | 8,07E-01 |
| 15 | 1,24E+03 | 7,25E+00 | 7,96E-01 | 1,23E+03 | 6,82E+00 | 7,89E-01 |
| 20 | 1,23E+03 | 6,80E+00 | 7,89E-01 | 1,21E+03 | 6,17E+00 | 7,79E-01 |
| 25 | 1,22E+03 | 6,49E+00 | 7,84E-01 | 1,20E+03 | 5,72E+00 | 7,71E-01 |
| 30 | 1,21E+03 | 6,26E+00 | 7,80E-01 | 1,19E+03 | 5,38E+00 | 7,66E-01 |
| 50 | 1,20E+03 | 5,70E+00 | 7,71E-01 | 1,18E+03 | 4,55E+00 | 7,52E-01 |
| 75 | 1,19E+03 | 5,32E+00 | 7,65E-01 | 1,18E+03 | 4,00E+00 | 7,42E-01 |
| 100 | 1,18E+03 | 5,08E+00 | 7,61E-01 | 1,18E+03 | 3,65E+00 | 7,36E-01 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Huehuetenango**

| Modelo Wenzel | | | | | | |
|--------------------|---------------------|----------|----------|------------------------|----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 2,03E+03 | 1,40E+01 | 9,45E-01 | 2,15E+03 | 1,63E+01 | 9,65E-01 |
| 5 | 1,64E+03 | 7,40E+00 | 8,67E-01 | 1,68E+03 | 8,04E+00 | 8,76E-01 |
| 10 | 1,54E+03 | 5,64E+00 | 8,38E-01 | 1,53E+03 | 5,56E+00 | 8,37E+00 |
| 15 | 1,50E+03 | 4,98E+00 | 8,26E-01 | 1,48E+03 | 4,62E+00 | 8,19E-01 |
| 20 | 1,48E+03 | 4,60E+00 | 8,19E-01 | 1,45E+03 | 4,09E+00 | 8,08E-01 |
| 25 | 1,47E+03 | 4,35E+00 | 8,13E-01 | 1,44E+03 | 3,73E+00 | 8,00E-01 |
| 30 | 1,46E+03 | 4,16E+00 | 8,10E-01 | 1,42E+03 | 3,47E+00 | 7,94E-01 |
| 50 | 1,44E+03 | 3,72E+00 | 8,00E-01 | 1,40E+03 | 2,86E+00 | 7,79E-01 |
| 75 | 1,42E+03 | 3,43E+00 | 7,93E-01 | 1,39E+03 | 2,48E+00 | 7,68E-01 |
| 100 | 1,41E+03 | 3,25E+00 | 7,89E-01 | 1,38E+03 | 2,24E+00 | 7,62E-01 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Coeficientes del modelo estándar para la estación climática Todos Santos**

| Modelo Estándar | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 1,20E+03 | 3,05E+01 | 8,84E-01 | 8,31E+02 | 2,52E+01 | 8,29E-01 |
| 5 | 7,51E+03 | 5,80E+01 | 1,15E+00 | 5,81E+03 | 5,40E+01 | 1,12E+00 |
| 10 | 1,87E+04 | 7,21E+01 | 1,29E+00 | 1,95E+04 | 7,28E+01 | 1,29E+00 |
| 15 | 2,91E+04 | 7,90E+01 | 1,35E+00 | 3,82E+04 | 8,33E+01 | 1,39E+00 |
| 20 | 3,87E+04 | 8,35E+01 | 1,39E+00 | 5,99E+04 | 9,04E+01 | 1,46E+00 |
| 25 | 4,76E+04 | 8,68E+01 | 1,42E+00 | 8,46E+04 | 9,58E+01 | 1,51E+00 |
| 30 | 5,66E+04 | 8,95E+01 | 1,45E+00 | 1,12E+05 | 1,00E+02 | 1,55E+00 |
| 50 | 8,62E+04 | 9,61E+01 | 1,51E+00 | 2,40E+05 | 1,12E+02 | 1,66E+00 |
| 75 | 1,17E+05 | 1,01E+02 | 1,55E+00 | 4,37E+05 | 1,22E+02 | 1,74E+00 |
| 100 | 1,45E+05 | 1,04E+02 | 1,58E+00 | 6,53E+05 | 1,28E+02 | 1,80E+00 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Coeficientes del modelo Wenzel para la estación climática Todos Santos**

| Modelo Wenzel | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 1,53E+03 | 2,51E+01 | 9,18E-01 | 1,15E+03 | 1,89E+01 | 8,76E-01 |
| 5 | 4,92E+03 | 7,31E+01 | 1,09E+00 | 4,26E+03 | 6,45E+01 | 1,07E+00 |
| 10 | 7,83E+03 | 1,08E+02 | 1,16E+00 | 7,99E+03 | 1,10E+02 | 1,17E+00 |
| 15 | 9,60E+03 | 1,28E+02 | 1,19E+00 | 1,08E+04 | 1,41E+02 | 1,21E+00 |
| 20 | 1,09E+04 | 1,42E+02 | 1,21E+00 | 1,30E+04 | 1,64E+02 | 1,24E+00 |
| 25 | 1,19E+04 | 1,52E+02 | 1,22E+00 | 1,50E+04 | 1,82E+02 | 1,26E+00 |
| 30 | 1,27E+04 | 1,61E+02 | 1,23E+00 | 1,66E+04 | 1,98E+02 | 1,27E+00 |
| 50 | 1,51E+04 | 1,83E+02 | 1,26E+00 | 2,18E+04 | 2,43E+02 | 1,31E+00 |
| 75 | 1,69E+04 | 2,01E+02 | 1,28E+00 | 2,65E+04 | 2,82E+02 | 1,34E+00 |
| 100 | 1,83E+04 | 2,13E+02 | 1,29E+00 | 2,99E+04 | 3,08E+02 | 1,36E+00 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Coefficientes del modelo estándar para la estación climática San Pedro Necta**

| Método Estándar | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 8,51E+03 | 6,64E+01 | 1,16E+00 | 6,05E+03 | 6,09E+01 | 1,11E+00 |
| 5 | 4,34E+04 | 9,28E+01 | 1,39E+00 | 3,45E+04 | 8,90E+01 | 1,36E+00 |
| 10 | 9,46E+04 | 1,05E+02 | 1,50E+00 | 9,85E+04 | 1,06E+02 | 1,51E+00 |
| 15 | 1,37E+05 | 1,11E+02 | 1,55E+00 | 1,71E+05 | 1,15E+02 | 1,58E+00 |
| 20 | 1,74E+05 | 1,15E+02 | 1,59E+00 | 2,49E+05 | 1,21E+02 | 1,64E+00 |
| 25 | 2,07E+05 | 1,18E+02 | 1,61E+00 | 3,30E+05 | 1,26E+02 | 1,68E+00 |
| 30 | 2,36E+05 | 1,20E+02 | 1,63E+00 | 4,13E+05 | 1,29E+02 | 1,71E+00 |
| 50 | 3,35E+05 | 1,26E+02 | 1,68E+00 | 7,61E+05 | 1,39E+02 | 1,79E+00 |
| 75 | 4,31E+05 | 1,30E+02 | 1,71E+00 | 1,20E+06 | 1,46E+02 | 1,86E+00 |
| 100 | 5,09E+05 | 1,33E+02 | 1,74E+00 | 1,65E+06 | 1,51E+02 | 1,90E+00 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Coefficientes del modelo Wenzel para la estación climática San Pedro Necta**

| Método Wenzel | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 5,39E+03 | 8,45E+01 | 1,10E+00 | 4,47E+03 | 7,24E+01 | 1,07E+00 |
| 5 | 1,18E+04 | 1,57E+02 | 1,21E+00 | 1,07E+04 | 1,46E+02 | 1,19E+00 |
| 10 | 1,64E+04 | 2,01E+02 | 1,25E+00 | 1,66E+04 | 2,03E+02 | 1,26E+00 |
| 15 | 1,90E+04 | 2,24E+02 | 1,28E+00 | 2,06E+04 | 2,38E+02 | 1,29E+00 |
| 20 | 2,08E+04 | 2,39E+02 | 1,29E+00 | 2,37E+04 | 2,63E+02 | 1,31E+00 |
| 25 | 2,22E+04 | 2,51E+02 | 1,30E+00 | 2,62E+04 | 2,83E+02 | 1,32E+00 |
| 30 | 2,33E+04 | 2,60E+02 | 1,30E+00 | 2,83E+04 | 2,99E+02 | 1,33E+00 |
| 50 | 2,64E+04 | 2,84E+02 | 1,32E+00 | 3,47E+04 | 3,45E+02 | 1,36E+00 |
| 75 | 2,88E+04 | 3,02E+02 | 1,33E+00 | 4,02E+04 | 3,81E+02 | 1,38E+00 |
| 100 | 3,04E+04 | 3,14E+02 | 1,34E+00 | 4,43E+04 | 4,07E+02 | 1,39E+00 |

Fuente: elaboración Propia.

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

| Método Estándar | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------|----------|-------------------------------|-----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 1,25E+02 | -3,51E+00 | 4,87E-01 | 1,26E+02 | -3,32E+00 | 4,99E-01 |
| 5 | 1,23E+02 | -4,25E+00 | 4,37E-01 | 1,23E+02 | -4,16E+00 | 4,43E-01 |
| 10 | 1,25E+02 | -4,51E+00 | 4,18E-01 | 1,25E+02 | -4,53E+00 | 4,17E-01 |
| 15 | 1,26E+02 | -4,63E+00 | 4,10E-01 | 1,27E+02 | -4,69E+00 | 4,06E-01 |
| 20 | 1,27E+02 | -4,70E+00 | 4,05E-01 | 1,28E+02 | -4,78E+00 | 3,99E-01 |
| 25 | 1,27E+02 | -4,74E+00 | 4,02E-01 | 1,29E+02 | -4,85E+00 | 3,94E-01 |
| 30 | 1,28E+02 | -4,77E+00 | 4,00E-01 | 1,30E+02 | -4,91E+00 | 3,90E-01 |
| 50 | 1,29E+02 | -4,86E+00 | 3,93E-01 | 1,33E+02 | -5,04E+00 | 3,80E-01 |
| 75 | 1,30E+02 | -4,91E+00 | 3,89E-01 | 1,36E+02 | -5,13E+00 | 3,73E-01 |
| 100 | 1,31E+02 | -4,96E+00 | 3,86E-01 | 1,38E+02 | -5,18E+00 | 3,68E-01 |

Fuente: elaboración propia.

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

| Método Wenzel | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------|----------|-------------------------------|-----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 9,07E+01 | -9,75E-01 | 4,45E-01 | 9,45E+01 | -9,53E-01 | 4,61E-01 |
| 5 | 7,82E+01 | -1,03E+00 | 3,79E-01 | 7,96E+01 | -1,02E+00 | 3,87E-01 |
| 10 | 7,48E+01 | -1,04E+00 | 3,55E-01 | 7,46E+01 | -1,04E+00 | 3,54E-01 |
| 15 | 7,33E+01 | -1,04E+00 | 3,44E-01 | 7,27E+01 | -1,04E+00 | 3,38E-01 |
| 20 | 7,26E+01 | -1,04E+00 | 3,38E-01 | 7,18E+01 | -1,04E+00 | 3,29E-01 |
| 25 | 7,22E+01 | -1,04E+00 | 3,33E-01 | 7,12E+01 | -1,04E+00 | 3,22E-01 |
| 30 | 7,20E+01 | -1,04E+00 | 3,30E-01 | 7,08E+01 | -1,04E+00 | 3,17E-01 |
| 50 | 7,12E+01 | -1,04E+00 | 3,22E-01 | 7,00E+01 | -1,04E+00 | 3,04E-01 |
| 75 | 7,08E+01 | -1,04E+00 | 3,16E-01 | 6,96E+01 | -1,04E+00 | 2,95E-01 |
| 100 | 7,05E+01 | -1,04E+00 | 3,12E-01 | 6,95E+01 | -1,04E+00 | 2,89E-01 |

Fuente: elaboración propia.

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

| Método Estándar | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 5,24E+04 | 7,12E+01 | 1,41E+00 | 6,70E+04 | 7,66E+01 | 1,46E+00 |
| 5 | 2,50E+04 | 5,38E+01 | 1,26E+00 | 2,68E+04 | 5,56E+01 | 1,27E+00 |
| 10 | 2,03E+04 | 4,83E+01 | 1,21E+00 | 2,01E+04 | 4,81E+01 | 1,21E+00 |
| 15 | 1,88E+04 | 4,62E+01 | 1,19E+00 | 1,81E+04 | 4,50E+01 | 1,18E+00 |
| 20 | 1,80E+04 | 4,49E+01 | 1,17E+00 | 1,70E+04 | 4,32E+01 | 1,16E+00 |
| 25 | 1,75E+04 | 4,40E+01 | 1,17E+00 | 1,63E+04 | 4,19E+01 | 1,15E+00 |
| 30 | 1,71E+04 | 4,34E+01 | 1,16E+00 | 1,59E+04 | 4,09E+01 | 1,14E+00 |
| 50 | 1,63E+04 | 4,18E+01 | 1,15E+00 | 1,49E+04 | 3,86E+01 | 1,11E+00 |
| 75 | 1,58E+04 | 4,08E+01 | 1,14E+00 | 1,44E+04 | 3,71E+01 | 1,10E+00 |
| 100 | 1,55E+04 | 4,01E+01 | 1,13E+00 | 1,41E+04 | 3,61E+01 | 1,09E+00 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Coefficientes del modelo Wenzel para la estación climática Flores**

| Método Wenzel | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|----------|----------|-------------------------------|----------|----------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | A | B | n | A | B | n |
| 2 | 1,49E+04 | 1,27E+02 | 1,23E+00 | 1,57E+04 | 1,43E+02 | 1,25E+00 |
| 5 | 1,26E+04 | 8,03E+01 | 1,16E+00 | 1,28E+04 | 8,47E+01 | 1,17E+00 |
| 10 | 1,21E+04 | 6,78E+01 | 1,13E+00 | 1,21E+04 | 6,73E+01 | 1,13E+00 |
| 15 | 1,20E+04 | 6,30E+01 | 1,12E+00 | 1,19E+04 | 6,05E+01 | 1,12E+00 |
| 20 | 1,19E+04 | 6,03E+01 | 1,12E+00 | 1,18E+04 | 5,67E+01 | 1,11E+00 |
| 25 | 1,18E+04 | 5,85E+01 | 1,11E+00 | 1,17E+04 | 5,41E+01 | 1,10E+00 |
| 30 | 1,18E+04 | 5,72E+01 | 1,11E+00 | 1,17E+04 | 5,22E+01 | 1,09E+00 |
| 50 | 1,17E+04 | 5,40E+01 | 1,10E+00 | 1,17E+04 | 4,77E+01 | 1,08E+00 |
| 75 | 1,17E+04 | 5,19E+01 | 1,09E+00 | 1,17E+04 | 4,49E+01 | 1,07E+00 |
| 100 | 1,17E+04 | 5,06E+01 | 1,09E+00 | 1,18E+04 | 4,31E+01 | 1,07E+00 |

Fuente: elaboración propia.

5.2. Tablas comparativas de errores relativos

Con el fin de encontrar el modelo de mejor ajuste se comparará el error relativo de ambos modelos.

Tabla XXVII. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación Huehuetenango**

| Estación Huehuetenango | | | | | | |
|------------------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) |
| 2 | 1,74E-02 | 1,79E-02 | -4,76E-04 | 1,80E-02 | 1,89E-02 | -8,71E-04 |
| 5 | 5,48E-02 | 4,72E-02 | 7,62E-03 | 4,53E-02 | 3,93E-02 | 6,06E-03 |
| 10 | 9,79E-02 | 8,44E-02 | 1,35E-02 | 1,01E-01 | 8,67E-02 | 1,38E-02 |
| 15 | 1,24E-01 | 1,08E-01 | 1,64E-02 | 1,42E-01 | 1,24E-01 | 1,82E-02 |
| 20 | 1,44E-01 | 1,25E-01 | 1,84E-02 | 1,76E-01 | 1,54E-01 | 2,12E-02 |
| 25 | 1,59E-02 | 1,39E-01 | -1,23E-01 | 2,05E-01 | 1,81E-01 | 2,34E-02 |
| 30 | 1,71E-02 | 1,50E-01 | -1,33E-01 | 2,29E-01 | 2,04E-01 | 2,51E-02 |
| 50 | 2,06E-02 | 1,83E-01 | -1,62E-01 | 3,05E-01 | 2,76E-01 | 2,96E-02 |
| 75 | 2,34E-01 | 2,09E-01 | 2,55E-02 | 3,73E-01 | 3,41E-01 | 3,26E-02 |
| 100 | 2,54E-01 | 2,28E-01 | 2,67E-02 | 4,25E-01 | 3,90E-01 | 3,44E-02 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación Todos Santos**

| Estación Todos Santos | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) |
| 2 | 6,86E-02 | 6,66E-02 | 2,00E-03 | 6,54E-02 | 6,15E-02 | 3,85E-03 |
| 5 | 1,12E-01 | 1,07E-01 | 5,66E-03 | 1,02E-01 | 9,90E-02 | 3,12E-03 |
| 10 | 1,60E-01 | 1,38E-01 | 2,22E-02 | 1,63E-01 | 1,40E-01 | 2,33E-02 |
| 15 | 1,92E-01 | 1,57E-01 | 3,49E-02 | 2,14E-01 | 1,70E-01 | 4,42E-02 |
| 20 | 2,16E-01 | 1,71E-01 | 4,50E-02 | 2,57E-01 | 1,94E-01 | 6,31E-02 |
| 25 | 2,35E-01 | 1,82E-01 | 5,33E-02 | 2,93E-01 | 2,13E-01 | 8,00E-02 |
| 30 | 2,50E-01 | 1,90E-01 | 6,03E-02 | 3,27E-01 | 2,31E-01 | 9,55E-02 |
| 50 | 2,96E-01 | 2,15E-01 | 8,10E-02 | 4,31E-01 | 2,85E-01 | 1,46E-01 |
| 75 | 3,33E-01 | 2,35E-01 | 9,86E-02 | 5,29E-01 | 3,35E-01 | 1,94E-01 |
| 100 | 3,60E-01 | 2,49E-01 | 1,11E-01 | 6,04E-01 | 3,72E-01 | 2,32E-01 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación San Pedro Necta**

| Estación San Pedro Necta | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) |
| 2 | 2,32E-02 | 1,58E-02 | 7,43E-03 | 1,42E-02 | 1,07E-02 | 3,59E-03 |
| 5 | 1,30E-01 | 7,69E-02 | 5,33E-02 | 1,08E-01 | 6,45E-02 | 4,37E-02 |
| 10 | 2,29E-01 | 1,33E-01 | 9,67E-02 | 2,35E-01 | 1,35E-01 | 9,92E-02 |
| 15 | 2,90E-01 | 1,66E-01 | 1,24E-01 | 3,30E-01 | 1,89E-01 | 1,42E-01 |
| 20 | 3,34E-01 | 1,91E-01 | 1,43E-01 | 4,07E-01 | 2,31E-01 | 1,76E-01 |
| 25 | 3,68E-01 | 2,09E-01 | 1,59E-01 | 4,71E-01 | 2,66E-01 | 2,05E-01 |
| 30 | 3,96E-01 | 2,25E-01 | 1,71E-01 | 5,28E-01 | 2,97E-01 | 2,31E-01 |
| 50 | 4,76E-01 | 2,69E-01 | 2,07E-01 | 7,03E-01 | 3,92E-01 | 3,11E-01 |
| 75 | 5,40E-01 | 3,04E-01 | 2,36E-01 | 8,60E-01 | 4,78E-01 | 3,82E-01 |
| 100 | 5,85E-01 | 3,28E-01 | 2,57E-01 | 9,82E-01 | 5,43E-01 | 4,38E-01 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación Soloma**

| Estación Soloma | | | | | | |
|--------------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) |
| 2 | 1,79E-02 | 2,65E-02 | -8,57E-03 | 1,51E-02 | 2,22E-02 | -7,09E-03 |
| 5 | 4,31E-02 | 6,19E-02 | -1,88E-02 | 3,84E-02 | 5,54E-02 | -1,71E-02 |
| 10 | 6,33E-02 | 8,91E-02 | -2,58E-02 | 6,41E-02 | 9,03E-02 | -2,62E-02 |
| 15 | 7,50E-02 | 1,05E-01 | -2,98E-02 | 8,23E-02 | 1,15E-01 | -3,22E-02 |
| 20 | 8,35E-02 | 1,16E-01 | -3,25E-02 | 9,70E-02 | 1,34E-01 | -3,68E-02 |
| 25 | 8,91E-02 | 1,24E-01 | -3,44E-02 | 1,09E-01 | 1,50E-01 | -4,05E-02 |
| 30 | 9,50E-02 | 1,31E-01 | -3,62E-02 | 1,19E-01 | 1,63E-01 | -4,37E-02 |
| 50 | 1,09E-01 | 1,50E-01 | -4,08E-02 | 1,51E-01 | 2,04E-01 | -5,33E-02 |
| 75 | 1,21E-01 | 1,66E-01 | -4,44E-02 | 1,79E-01 | 2,40E-01 | -6,14E-02 |
| 100 | 1,30E-01 | 1,77E-01 | -4,70E-02 | 2,00E-01 | 2,67E-01 | -6,74E-02 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Sumatoria de errores relativos al cuadrado en la estación Flores**

| Estación Flores | | | | | | |
|--------------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------|
| Período de retorno | Distribución Normal | | | Distribución de Gumbel | | |
| | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) | Modelo Estándar (1) | Modelo Wenzel (2) | Diferencia (1-2) |
| 2 | 3,26E-01 | 1,95E-01 | 1,30E-01 | 3,41E-01 | 2,03E-01 | 1,38E-01 |
| 5 | 2,95E-01 | 1,94E-01 | 1,01E-01 | 2,95E-01 | 1,91E-01 | 1,04E-01 |
| 10 | 3,04E-01 | 2,15E-01 | 8,88E-02 | 3,05E-01 | 2,17E-01 | 8,83E-02 |
| 15 | 3,14E-01 | 2,30E-01 | 8,35E-02 | 3,22E-01 | 2,41E-01 | 8,08E-02 |
| 20 | 3,22E-01 | 2,42E-01 | 8,03E-02 | 3,38E-01 | 2,62E-01 | 7,60E-02 |
| 25 | 3,29E-01 | 2,51E-01 | 7,82E-02 | 3,53E-01 | 2,81E-01 | 7,23E-02 |
| 30 | 3,35E-01 | 2,58E-01 | 7,64E-02 | 3,67E-01 | 2,97E-01 | 6,97E-02 |
| 50 | 3,53E-01 | 2,81E-01 | 7,22E-02 | 4,11E-01 | 3,49E-01 | 6,26E-02 |
| 75 | 3,69E-01 | 3,00E-01 | 6,91E-02 | 4,54E-01 | 3,97E-01 | 5,75E-02 |
| 100 | 3,80E-01 | 3,13E-01 | 6,72E-02 | 4,87E-01 | 4,33E-01 | 5,42E-02 |

Fuente: elaboración propia.

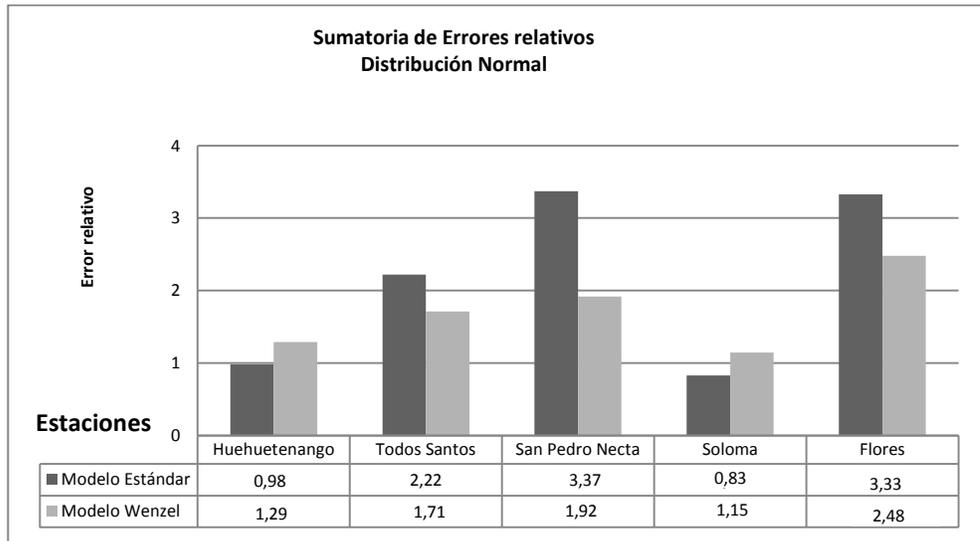
5.3. Resumen de errores relativos

Para la comparación de los errores relativos en cada estación, obtenidos a partir de la utilización de las distribuciones normal y Gumbel, a continuación se encuentra la sumatoria y la representación gráfica de la sumatoria de los errores para los modelos utilizados.

$$\sum_{e.r.m.E} = \text{sumatoria total de errores relativos modelos estándar} = 25,098$$

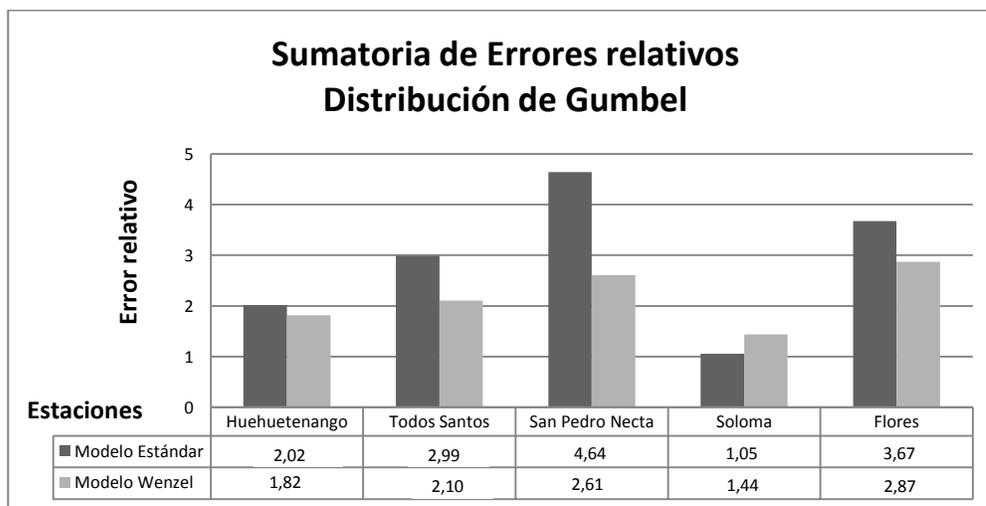
$$\sum_{e.r.m.E} = \text{sumatoria total de errores relativos modelos Wenzel} = 19,39$$

Figura 19. **Gráfica de comparación de errores relativos obtenidos al utilizar la distribución normal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Grafica de comparación de errores relativos obtenidos al utilizar la distribución de Gumbel**



Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al revisar las tablas comparativas de los errores relativos generados por el ajuste de curvas en ambos modelos, se determina que el modelo estándar genera errores relativos mayores en cuatro de las estaciones climáticas analizadas, siendo estas: Huehuetenango, Todos Santos, San Pedro Necta y Flores. En la estación restante, Soloma, el modelo Wenzel genera mayores errores relativos. Por lo que se recomienda utilizar en cada estación las ecuaciones que se encuentra en el apéndice.

Al analizar las distribuciones, la de Gumbel genera los errores relativos con mayor magnitud en ambos modelos. Indistintamente del régimen de lluvia registrado en las cinco estaciones climáticas analizadas, los modelos y distribuciones generan errores relativos en cada una de ellas.

Finalmente, al realizar una sumatoria total de errores relativos de ambos modelos, el modelo estándar presenta un mayor error relativo, lo cual indica que el modelo que se ajusta mejor a los datos de intensidades de lluvia fue el modelo Wenzel.

CONCLUSIONES

1. El modelo de ajuste de curvas de intensidad-duración-frecuencia propuesto por Wenzel es el más fiable para las estaciones Huehuetenango, Todos Santos, San Pedro Necta y Flores.
2. El modelo de ajuste de curvas de intensidad-duración-frecuencia estándar es el más fiable para la estación Soloma.
3. Debido al surgimiento de nuevos eventos extremos de precipitación las curvas de intensidad-duración-frecuencia se deben actualizar periódicamente.
4. La distribución normal es la que mejor se ajustó en todas las estaciones climáticas, ya que la distribución de Gumbel presentó mayores errores relativos.

RECOMENDACIONES

1. Dar mantenimiento al equipo de las estaciones meteorológicas para que de estas se obtenga datos confiables.
2. Utilizar el conocimiento obtenido de las curvas intensidad-duración-frecuencia propias de la región, para el diseño de obras hidráulicas adecuadas para las intensidades de lluvias.
3. Realizar más estudios de las curvas intensidad-duración-frecuencia implementando otras distribuciones y modelos que se puedan ajustar más a los datos de intensidades de lluvia.
4. Tener un registro actualizado de la precipitación en cada estación climática del país, para tener una mayor red de información hidrométrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. CANAVOS, G. *Probabilidad y estadística; aplicaciones y métodos*. España: McGraw-Hill, 1994. 56 p.
2. COJULÚN MARTÍNEZ, Ricardo Eliseo. *Comparación del modelo Insivumeh contra el modelo Wenzel, para la elaboración de curvas IDF en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Sololá y Retalhuleu*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 35 p.
3. ESPÍLDORA, B. *Estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia mediante coeficientes generalizados*. Memorias. Coloquio Nacional Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Chile 1971. 274 p.
4. GÁLVEZ GONZÁLEZ, Jorge Francisco. *Comparación del método Insivumeh con el método Wenzel, para la creación de curvas de intensidad duración y frecuencia (IDF) en la cuenca del río Salinas*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería 2013. 45 p.
5. MADEREY RASCÓN, Laura Elena; JIMÉNEZ ROMÁN, Arturo. *Principios de hidrogeografía estudio del ciclo hidrológico*. México: Instituto de Geografía; Universidad Nacional Autónoma de México, 2005. 89 p.

6. PIZARRO TAPIA, Roberto; ARAVENA GARRIDO, Dayanna; MACAYA PEREZ, Karina. *Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para la zona centro sur de Chile*. Chile: Programa Hidrológico Internacional de la Unesco para América Latina y el Caribe. 2 p.

APÉNDICE

Para la estación Huehuetenango se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I_{10} = \frac{1\ 530}{5,56 + t^{8,37}}$$

$$I_{20} = \frac{1\ 450}{4,09 + 0,80}$$

$$I_{50} = \frac{1\ 400}{2,86 + t^{0,78}}$$

Para la estación Todos Santos se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I_{10} = \frac{7\ 990}{10,0 + t^{1,17}}$$

$$I_{20} = \frac{13\ 000}{164,0 + t^{1,24}}$$

$$I_{50} = \frac{21\ 800}{243,0 + t^{1,31}}$$

Para la estación San Pedro Necta se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I_{10} = \frac{16\ 600}{203 + t^{1,26}}$$

$$I_{20} = \frac{23\ 700}{263 + t^{1,31}}$$

$$I_{50} = \frac{34\ 700}{345 + t^{1,36}}$$

Para la estación Soloma se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I_{10} = \frac{74,6}{-1,04 + t^{0,35}}$$

$$I_{20} = \frac{71,8}{-1,04 + t^{0,33}}$$

$$I_{50} = \frac{70,0}{-1,04 + t^{0,30}}$$

Para la estación Flores se recomienda utilizar las siguientes ecuaciones:

$$I_{10} = \frac{12\ 100}{67,3 + t^{1,13}}$$

$$I_{20} = \frac{11\ 800}{56,7 + t^{1,11}}$$

$$I_{50} = \frac{11\ 700}{47,7 + t^{1,08}}$$

Fuente: elaboración propia.