

Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería Y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**PROPUESTA DE CURVAS INTENSIDAD, DURACIÓN
Y FRECUENCIA (IDF) ANUALMENTE DEL
ESTADO ANZOÁTEGUI, DURANTE
EL PERÍODO (1968-2018).**

Autores:

Yoviletzy Caicuto Medina

Noraymar Castillo Natera

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito
para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Cantaura, diciembre de 2019.

Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería Y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**PROPUESTA DE CURVAS INTENSIDAD, DURACIÓN
Y FRECUENCIA (IDF) ANUALMENTE DEL
ESTADO ANZOÁTEGUI, DURANTE
EL PERÍODO (1968-2018).**

Asesor:

Prof. Jhonatan A. Martínez G.

Tutor Académico

Cantaura, diciembre de 2019.

Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**PROPUESTA DE CURVAS INTENSIDAD, DURACIÓN
Y FRECUENCIA (IDF) ANUALMENTE DEL
ESTADO ANZOÁTEGUI, DURANTE
EL PERÍODO (1968-2018).**

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de

APROBADO

Jurados

Prof. González, Anabel

Jurado principal

Prof. Velásquez, Gabriel

Jurado principal

Prof. Jhonatan A. Martínez G.

Tutor Académico

Cantaura, diciembre de 2019

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente.

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”



DEDICATORIA

A La Divina Providencia, a mi Amada Madre La Virgen de La Candelaria y a mi hermosa familia.

A todos aquellos que formaron parte de este camino: mi tutor, profesores y amigos.

Noraymar de J. Castillo Natera

Mi logro va dedicado principalmente a Dios por ser mi fortaleza en momentos que pensé que no superaría y a la Virgen Maria de la Candelaria por acompañarme siempre y ayudarme a culminar mi meta más importante.

A mis padres Yanitza y Geovanny, los seres más importantes en mi vida, el mejor ejemplo a seguir, las personas que me formaron y me enseñaron que nunca hay que rendirse hasta lograr lo que parecía inalcanzable. A ustedes siempre dedicaré mis metas, logros y cada paso que doy.

Yoviletzy de los A. Caicuto Medina

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Divina Providencia por la vida, la salud y el don de la fe y la sabiduría, a mi Amada Madre Virgen de La Candelaria por guiarme con su luz en este camino llamado vida.

A mis padres, abuelos, tía, tío, padrino, hermano, primas y primo, a toda mi familia. Gracias por todas sus enseñanzas, confianza, motivación y apoyo incondicional.

Agradecimiento eterno a mi profesor Delio Ramos y a mi tutor Jhonatan Martínez por transmitir todos sus conocimientos profesionales haciendo de este mundo un lugar mejor. A todos mis amigos de carrera por cada momento vivido y obstáculo que superamos, especialmente a mi amiga y hermana María Perez por siempre estar incondicionalmente.

Noraymar de J. Castillo Natera

Agradecida eternamente con Dios por acompañarme en los momentos más difíciles y por cada petición concedida. A mi Virgencita querida María de la Candelaria por iluminar mi camino continuamente. A mis padres Yanitza y Geovanny por todo el apoyo, el amor y entrega en tantos momentos de frustración, no me alcanzará la vida para agradecerles todo lo que han hecho por mí. A mi tía, mi segunda mamá Margarita Medina por brindarme su apoyo, por sus consejos y todo su amor.

A mi tutor académico, Ing. Jhonatan Martínez por su ayuda incondicional, por compartir todos sus conocimientos, por su entrega, dedicación y paciencia durante toda la carrera y en especial la realización de este trabajo de grado.

A la Universidad de Oriente Extensión Cantaura, por ser mi casa de estudio. A todos los profesores por compartir sus conocimientos, logrando formar grandes profesionales. Al personal administrativo y obrero por su ayuda en cada solicitud o inconveniente presentado.

A toda mi familia por sus hermosos mensajes de apoyo y por darme fuerzas de seguir luchando. A mis amigos, que siempre estuvieron pendientes y presentes en los momentos malos y buenos, dándome consejos e impulso para continuar.

Yoviletzy de los A. Caicuto Medina

Universidad de Oriente
Núcleo Anzoátegui
Extensión Cantaura
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas
Departamento de Ingeniería Civil



**PROPUESTA DE CURVAS INTENSIDAD, DURACIÓN
Y FRECUENCIA (IDF) ANUALMENTE DEL
ESTADO ANZOÁTEGUI, DURANTE
EL PERÍODO (1968-2018).**

Autores: Caicuto Medina, Yoviletzy
Castillo Natera, Noraymar

Tutor académico: Prof. Martínez, Jhonatan.

Fecha: Diciembre del 2019.

RESUMEN

Actualmente en el área civil, los parámetros de diseño en las obras hidráulicas se ven afectados por los diversos cambios climáticos, los cuales, ocasionan daños en las estructuras por las condiciones extremas de precipitación. En Venezuela se encuentra el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), el cual, cuenta con registros de las intensidades de lluvia ocurridas durante todo el año. Sin embargo, no dispone de un estudio de curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) del estado Anzoátegui, durante un período de 50 años que resulta indispensable para lograr prevenir las variaciones climatológicas. Esta problemática ha conducido a realizar una propuesta que permita actualizar de manera general los años faltantes, en base a dichas intensidades, con el objetivo de prevenir los daños en las infraestructuras. Se recopiló información de las estaciones meteorológicas del estado Anzoátegui, aplicando una clasificación por zonas correspondiente a cada año, por medio del método de Valores Extremos Generalizado (GEV).

Palabras claves: Máxima precipitación, Curvas IDF, Valores Extremos Generalizado; Cuencas del Estado Anzoátegui.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
RESUMEN	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	16
EL PROBLEMA	16
1.1 Planteamiento del problema	16
1.2 Objetivos de la investigación	19
1.2.1 Objetivo general	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 Generalidades	19
1.3.1 Ubicación geográfica	19
1.3.2 Límites	19
1.3.3 Geología	19
1.3.4 Clima	20
1.3.5 Hidrografía	20
1.3.6 Relieve	20
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes de la investigación	21
2.2 Bases teóricas referenciales	23
2.2.1 Aplicación de las Curvas IDF	23
2.2.2 Distribuciones de Valores Extremos	23
2.2.3 Estimación de parámetros de ajuste a una distribución de probabilidad	24
2.2.4 Duración	25
2.2.5 Período de Retorno	25
2.2.6 La media aritmética	26
2.2.7 Variable Reducida	27
2.2.8 La desviación estándar	28
2.2.9 Precipitación	29
2.2.10 Distribución de Valor Extremo Tipo I	30

2.2.11 Precipitación con valor de Corrección de Intervalo Fijo	30
2.2.12 Precipitación máximas para diferentes tiempos de duración	31
2.2.13 Intensidad	31
2.2.14 Regresión curva IDT	32
2.2.15 Regresión curva ajuste potencial	33
2.2.16 Curvas Intensidad Duración y Frecuencia	33
CAPÍTULO III	35
MARCO METODOLÓGICO	35
3.1 Tipo de investigación.....	35
3.2 Nivel de investigación.....	35
3.3 Técnicas y herramientas a utilizar	36
3.3.1 Técnicas.....	36
3.3.1.1 Revisión documental o bibliográfica	36
3.3.1.2 Observación directa.....	36
3.3.1.3 Análisis comparativo de resultados	36
3.3.2 Instrumento	37
CAPÍTULO IV.....	39
DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	39
4.1 Precipitaciones máximas alcanzadas en los últimos 50 años, de las estaciones meteorológicas ubicadas en el estado Anzoátegui.	39
4.2 Método de Valores Extremos Generalizado (GEV) aplicado a los registros pluviográficos.....	46
4.3 Realizar las curvas IDF, para diferentes Períodos de Retorno con los resultados obtenidos para el cálculo de Intensidades Máximas.....	55
4.4 Comparar los resultados conseguidos en la construcción de las curvas IDF para cada Período de Retorno.	58
CAPÍTULO V.....	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1 CONCLUSIONES.....	63
5.2 RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA.....	66
HOJAS DE METADATOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precipitaciones máximas (mm) anuales por zona 1968-2018.....	42
Continuación Tabla 1: Precipitaciones Máximas (mm) Anuales Por Zona 1968-2018.....	43
Tabla 2: Distribución de probabilidades entre los años 1968-2018.....	46
Continuación Tabla 2: Distribución de probabilidades entre los años 1968-2018.....	47
Tabla 3: Cálculo de precipitaciones diarias máximas probables Zona Norte.	49
Tabla 4: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvia (mm) Zona Norte.....	49
Continuación Tabla 4: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvia (mm) Zona Norte.....	50
Tabla 5: Intensidades de lluvia a partir de Pd (mm/hr) Zona Norte.....	50
Tabla 6: Regresiones de las IDT para 2 años de período de retorno Zona Norte.....	51
Tabla 7: Resumen de regresiones potencial para la Zona Norte.....	52
Tabla 8: Regresiones curva ajuste potencial de la cuenca para la Zona Norte.....	53
Tabla 9: Intensidades de las cuencas del estado Anzoátegui (mm/hr).....	54
Continuación Tabla 9. Intensidades de las cuencas de estado Anzoátegui (mm/hr).....	55
Tabla 10: Comparación de Regiones Generalizadas y su Zona De Estudio.	58
Tabla 11: Comparación de resultados entre Región Generalizada y Zona Norte.....	58
Tabla 12: Diferencias de intensidades entre Región Generalizada y Zona Norte.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas ubicadas en el estado Anzoátegui, Venezuela. Fuente: Rodríguez Et Al. (2011).	40
Figura 2: Subregionalización del estado Anzoátegui. Fuente: DPDANZ (2007).....	41
Figura 3: Precipitación máxima anual (mm) Zona Norte. Fuente: Autores....	44
Figura 4: Precipitación máxima anual (mm) Zona Oeste. Fuente: Autores..	44
Figura 5: Precipitación máxima anual (mm) Zona Centro. Fuente: Autores..	45
Figura 6: Precipitación máxima anual (mm) Zona Sur. Fuente: Autores.....	45
Figura 7: Regresión curva IDT Zona Norte para período de retorno 2 años. Fuente: Autores.	52
Figura 8: Regresiones curva ajuste potencial de la cuenca para la Zona Norte. Fuente: Autores.....	53
Figura 9: Curva IDF Zona Norte del estado Anzoátegui. Fuente: Autores....	56
Figura 10: Curva IDF Zona Oeste del estado Anzoátegui. Fuente: Autores.	56
Figura 11: Curva IDF Zona Centro del estado Anzoátegui. Fuente: Autores.	57
Figura 12: Curva IDF Zona Sur del estado Anzoátegui. Fuente: Autores.	57
Figura 13: Diferencias de Curvas Intensidades Zona Norte. Fuente: Autores.	60
Figura 14: Diferencias de Curvas Intensidades Región Generalizada. Fuente: Autores.....	60

INTRODUCCIÓN

En el territorio venezolano se ha experimentado diversos cambios climáticos, haciendo énfasis en los diferentes registros de precipitaciones alcanzadas en los últimos 50 años en el estado Anzoátegui, como se describe en el Capítulo I, donde surge la necesidad de realizar un estudio general de las condiciones de precipitación extrema ocurridas durante el período 1968 hasta diciembre del 2018, iniciando con una investigación cuyo objetivo fue conseguir los registros ubicados en las estaciones meteorológicas del estado Anzoátegui.

De la misma forma, el presente proyecto tiene como objetivo fundamental, proponer Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), para evaluar las crecidas de precipitación que se presentaron en el estado Anzoátegui, cuyos basamientos están plasmados en el Capítulo II, generando la actualización de las curvas, por medio de un análisis de frecuencia ejecutado con los registros pluviográficos seleccionados y correspondientes a cada año, donde se ubicaron los valores máximos, utilizando el método de Valor Extremo Generalizado (GEV)

Hay que mencionar, además, que para ejecutar el análisis estadístico se empleó el Manual de Drenaje (1967), elaborado por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP), siguiendo estos requerimientos y con los resultados conseguidos en el cálculo de intensidades máximas, se elaboraron las curvas (IDF) para cada período de retorno.

De igual manera, dicha investigación en el Capítulo III amplía la metodología utilizada en la propuesta de actualización de las curvas (IDF), el Capítulo IV contiene los resultados de los objetivos específicos planteados y posteriormente el Capítulo V, describe las conclusiones y recomendaciones, arrojadas luego del desarrollo del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En el aspecto más general, los proyectos de ingeniería civil, están íntimamente relacionados al uso que el hombre hace del agua, pudiendo ser éstos con fines de aprovechamiento o en la mayoría de los casos la protección contra los posibles efectos dañinos que pudiera causar el agua; en cualquiera de los casos, se acude a la información pluviométrica para estimar las crecidas asociadas a una cierta frecuencia de ocurrencia. La forma más común de hacerlo es utilizar métodos que analicen los regímenes de caudales medios y extremos (máximos) de las precipitaciones.

Del mismo modo, el contar con estos datos de caudales máximos resulta imprescindible, debido a que, en muchas situaciones prácticas, no se dispone de registros actualizados de caudales extremos de una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y la frecuencia o período de retorno, como para realizar los análisis estadísticos requeridos. Esta relación múltiple de la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones intensas mediante períodos de retorno, obtenidos a partir de la frecuencia acumulada, nos conduce a las llamadas curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).

Bajo este contexto, Venezuela ha experimentado diversos cambios o variaciones en las condiciones climatológicas, estos cambios son conocidos como El Niño y La Niña, siendo estos, los ejemplos más evidentes de los cambios climáticos a nivel global, ya que forman parte fundamental de un vasto y complejo sistema de fluctuaciones climáticas. Estos cambios abruptos en las variables climáticas, con respecto a los datos históricos, se conocen como condiciones meteorológicas extremas, las cuales, rebasan los parámetros de diseño usados para las diversas obras de ingeniería, es decir,

velocidades de viento, mayores a los de uno o varios diseños, así como también intensidades de lluvia que exceden a valores empleados en el desarrollo de obras hidráulicas.

Sumado a esto, Venezuela cuenta con un estudio de las diferentes regiones de generación de datos de frecuencia e intensidad de lluvia, realizada por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y presentado como Manual de Drenaje en el año 1967, en la cual, las reseñas del estado Anzoátegui fueron dadas como Región XVII, teniendo hasta la presente fecha un desfase de más de cincuenta años, por lo que representa una cantidad considerable de datos estadísticos de precipitación no considerados en el cálculo de las tormentas de diseño, necesarios en la elaboración de curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).

Ante la problemática detectada, surgió la necesidad de realizar una propuesta de curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) para el estado Anzoátegui, donde se consideró las variables de precipitación ocurridas en el estado desde 1968 hasta datos de precipitación de diciembre del 2018 mediante un análisis de frecuencia por el método de Valor Extremo Generalizado (GEV).

En efecto, desde el punto de vista técnico, la investigación se ubicó principalmente en la recolección de datos, de los diferentes registros de precipitaciones alcanzadas en los últimos 50 años, en las estaciones meteorológicas ubicadas en el estado Anzoátegui, aplicando los requerimientos que dicta el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

Una vez obtenida la información, se ajustarán los datos de los registros anuales de las precipitaciones mediante el método de Valores Extremos Generalizado (GEV), y así desarrollar las curvas IDF, siendo las mismas, las que permitieron conocer y presentar información de las diferentes precipitaciones ocurridas en el estado, logrando establecer un parámetro

actualizado que vaya acorde con las exigencias y requerimientos actuales de la construcción de obras hidráulicas en el estado Anzoátegui.

En cuanto a la originalidad de la investigación, podemos mencionar a Torres (2016), quien realizó un trabajo de grado donde determinó las curvas IDF en la región de Antofagasta de Chile, donde actualizó las isoyetas de las precipitaciones máximas diarias asociadas al período de retorno 10 años, con coeficientes de duración para 2 y 3 días y frecuencia para 2 hasta 100 años. Otra investigación relevante es la de Bastidas (2010), quien estimó las intensidades y duraciones para diferentes períodos de retorno de la precipitación en el área de influencia de la estación meteorológica del departamento de ingeniería hidrometeorológica de la Universidad Central de Venezuela.

Con todo lo mencionado, la investigación es de gran importancia debido a que tener un estudio y un análisis actualizado del comportamiento de las precipitaciones de la región, así como también la estimación de intensidad de las mismas, permitirá el planteamiento de diseño de infraestructuras, obras hidráulicas y la planificación de proyectos de pequeña y gran envergadura, ya que se podrá contar con indicadores efectivos y eficientes para el diseño hidrológico.

De igual manera, es un gran aporte a la Universidad De Oriente y al INAMEH, ya que ayuda de forma general a futuras investigaciones, sirviendo como antecedente educativo y guía para estudios estadísticos que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y la frecuencia de las precipitaciones de una zona o región.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Proponer Curvas Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) anualmente del estado Anzoátegui, durante el período (1968-2018).

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar las precipitaciones máximas alcanzadas en los últimos 50 años, de las estaciones meteorológicas ubicadas en el estado Anzoátegui.
- Aplicar el método de Valores Extremos Generalizado (GEV) a los registros pluviográficos extraídos de las estaciones objeto de estudio.
- Realizar las curvas IDF, para diferentes períodos de retorno con los resultados obtenidos para el cálculo de intensidades máximas.
- Comparar los resultados conseguidos en la construcción de las curvas IDF para cada período de retorno.

1.3 Generalidades

1.3.1 Ubicación geográfica

Las coordenadas $07^{\circ}40'16''$, $10^{\circ}15'36''$ de latitud Norte y $62^{\circ}41'05''$, $65^{\circ}43'09''$ de longitud Oeste.

1.3.2 Límites

Anzoátegui está ubicado en el noreste de Venezuela, limita al norte con el Mar Caribe, al sur con el estado Bolívar, al oeste con los estados Miranda y Guárico y al este con los estados Sucre y Monagas.

1.3.3 Geología

El conjunto de los basamentos de Anzoátegui es de origen reciente, de las eras terciaria y cuaternaria en montañas y colinas se observan areniscas, arcillas, margas, lutitas, calizas y limolitas, además de concreciones de hierro, grava y cuarcita. En la formación mesa, la conformación es

mayoritariamente de arenas no consolidadas, provenientes del cuaternario, y aún más jóvenes son los depósitos sedimentarios originados por las inundaciones periódicas generadas por las crecientes de los ríos.

1.3.4 Clima

Posee una alta temperatura, entre los 25 y 28 °C en sus sectores más bajos. La franja del norte es semi-árida, con excepción de la serranía de Bergantín, colindante con el estado Sucre, cuyo clima presenta un período de lluvias prolongado y un corto período de sequía, en el sur sobrepasando un área de transición. El clima dominante es de sabana, con dos períodos bien marcados, el nivel de las precipitaciones fluctúa entre los 530 y 1400 mms al año.

1.3.5 Hidrografía

Está conformada por diversidad de ríos entre los cuales se pueden mencionar: Amaná, Cariz, Guanipa, Guere, Morichal Largo, Neverí, Pao, Tigre, Unare, Zuata y un sector del bajo Orinoco al sur del estado.

1.3.6 Relieve

Ocupada en su mayor parte por los llanos orientales del Orinoco. Donde se pueden distinguir dos secciones bien definidas en la depresión del río Unare, que se ocupa una superficie de 2321Km², una parte de ellas corresponde a Anzoátegui. Esta depresión forma parte de la región de los Llanos, pues, aunque geológicamente se considera que tiene un origen distinto, ha tomado esta forma de erosión.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Para el desarrollo de este proyecto, se llevará a cabo una revisión bibliográfica que comprenderá la selección de investigaciones previamente realizadas, relacionadas con la temática planteada, las cuales servirán como material referencial de apoyo para el desarrollo del presente estudio en base a su metodología y contenido.

Torres (2016), realizó una propuesta metodológica determinó las curvas IDF en la región de Antofagasta, ubicada en el extremo norte de Chile, en donde la información hidrológica de la zona es escasa, debido a la baja cantidad de estaciones de medición disponible, con un extenso período continuo de tiempo. Su estudio contribuyó a incorporar los últimos 25 años de la historia climática de la zona, actualizando los coeficientes de duración y frecuencia (Curvas IDF).

Su investigación se basó principalmente, en la obtención de datos, la cual se realizó a partir de la información de precipitaciones diarias máximas disponible en el Banco Nacional de Aguas y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), donde se encontraron las distribuciones que mejor representaban las precipitaciones máximas durante ese período de tiempo; se obtuvieron los coeficientes de duración y frecuencia para cada estación, y así se generaron las isoyetas correspondientes a la precipitación de período de retorno de 10 años y duración de 1 día, en conjunto con las curvas IDF para cada localidad. Se tomará en cuenta como referencia esta investigación, debido al parecido con los objetivos planteados, la metodología y el uso de técnicas y herramientas, que sirven como ejemplo para la solución de cada una de las etapas planteadas en el proyecto.

De igual forma, López (2011), propuso una metodología para analizar la hidrología de una cuenca que solo cuenta con registros de altura de precipitación, teniendo como características fisiográficas una cuenca que influye de manera importante en el comportamiento del escurrimiento del área, elevación y pendiente de la cuenca, así como longitud y pendiente del cauce principal de la red de drenaje. Los estudios hidrológicos implicaron recopilación de la mayor cantidad de información posible para simular las condiciones reales de la zona, y aun cuando es posible contar con la mayoría, la calidad de esta no permitía que pudiera ser totalmente considerada para el análisis. En base a este proyecto se tomará en cuenta el cálculo de las características que permiten definir varios criterios con el fin de seleccionar lo mejor posible la relación entre el escurrimiento, longitud y pendiente.

Por otra parte, Guevara y Carballo (2008), narran que los patrones de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) de las lluvias extremas, se usan en el diseño de obras hidráulicas menores. En el Estado Cojedes, esa información era escasa, por lo que fue necesario realizar investigaciones para generar modelos matemáticos y así estimar los parámetros, en registros históricos de 48 estaciones pluviométricas distribuidas en el Estado y sus adyacencias, se determinó la intensidad de las lluvias extremas para duraciones entre 5 minutos y 24 horas. Los valores históricos de duración, intensidad y período de retorno, se ajustaron por estación, y para todo el Estado, mediante el método de los mínimos cuadrados, al modelo de Bernard.

Del mismo modo, para el ajuste utilizaron el coeficiente de determinación y el error estándar de los estimados. En el Modelo regional $R^2 = 0,995$ y los modelos puntuales de 0,99; dándose un buen ajuste del modelo con los datos observados. Considerando que para el presente trabajo de grado es necesaria la realización de las curvas de Intensidad, Duración y

Frecuencia (IDF) y el conocimiento de la relación existente entre curvas o mapas para cada período de retorno.

2.2 Bases teóricas referenciales

2.2.1 Aplicación de las Curvas IDF

Chow (1994), explica que el uso de las curvas IDF se enmarcan en la estimación de crecidas de cuencas hidrográficas que tienen tiempos de concentración pequeños o de pequeña duración. Su utilidad principal es poder estimar la intensidad, duración y frecuencia de la precipitación en un lugar que no posee pluviógrafo, solamente pluviómetros totalizadores que entregan precipitaciones diarias, o en lugares donde no existe información pluviométrica.

Además, es importante señalar que uno de los primeros pasos que deben seguirse en muchos proyectos de diseño hidrológico, como es el caso del diseño de un drenaje urbano, el aprovechamiento de recursos hídricos en la generación de energía eléctrica, o el diseño de obras de ingeniería, es la determinación de los eventos de lluvia que deben usarse. La forma más común de hacerlo es utilizando una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias o períodos de retorno. Esta relación se denomina curvas IDF, que son determinadas para cada sitio en particular.

Esta definición aportará una mejor visualización de la aglomeración de información con respecto a las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), permitiendo identificar la relación de la intensidad de la lluvia con su duración, mediante la cantidad de datos observados, para así alcanzar la confiabilidad y exactitud en sus resultados.

2.2.2 Distribuciones de Valores Extremos

Del mismo modo, Chow (1994), continúa explicando que en el análisis de frecuencia hidrológico es utilizado ampliamente una familia de distribución

de Valores Extremos, que permiten representar el comportamiento de los máximos y mínimos de conjuntos de datos. Donde “la Distribución General de Valores Extremos (GEV), se pueden derivar tres formas, conocidas como Tipo I (EVI), Tipo II (EVII) y Tipo III (EVIII), las cuales difieren entre sí por el valor del parámetro de forma.” (Pág.396).

En contraste con lo anterior, al realizar la representación gráfica, se tiene para la distribución (EVI), una línea recta, para la distribución (EVII), una curva con pendiente mayor y para la distribución (EVIII), una curva con pendiente menor, siendo acotada por arriba. En conclusión, las tormentas de lluvia son comúnmente modeladas utilizando la distribución de Valor Extremo Tipo I.

Hay que mencionar, además que la Teoría de Valores Extremos (EVT) es la rama de la estadística que centra su estudio en los eventos asociados a las colas de la distribución, las cuales son los valores más altos o más bajos de la variable sometida al estudio. El análisis de los valores extremos se aplica en multitud de campos, como son la hidrología, inundaciones o precipitación máxima esperada en los próximos 100 años.

Tomando en cuenta el alcance de este proyecto investigativo, la Distribución General de Valores Extremos (GEV), permitirá identificar las diferenciaciones más significativas que se presenten en los valores máximos y mínimos, así como obtener una idea aproximada de las posibles curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), que se puedan generar.

2.2.3 Estimación de parámetros de ajuste a una distribución de probabilidad

Una distribución, independientemente del tipo que sea, tiene diferentes parámetros; cada uno de ellos con características propias y dependientes de la distribución a la que se relacionen, explica Chow (1994), que existen diferentes métodos o estimadores para el cálculo de los parámetros de una función de distribución; es necesario que los estimadores cumplan con las

propiedades de ser no sesgados, regulares, eficientes, suficientes y consistentes. Una estimación es puntual cuando se obtiene un sólo valor para el parámetro. Los estimadores más probables en este caso son los estadísticos obtenidos en la muestra, aunque es necesario cuantificar el riesgo que se asume al considerarlos.

La presente investigación permitirá buscar mediante la estimación de parámetros, la constante que informa de manera sintética una propiedad relevante o característica de una población, así como el valor de la media o varianza.

2.2.4 Duración

La duración de la lluvia de diseño es igual al tiempo de concentración, el cual, según el manual de drenajes del MOP (1967) lo define como el tiempo que dura el viaje de una gota de agua desde el punto más remoto de la cuenca, hasta el sitio en consideración. Es evidente ya que la intensidad media de la tormenta decrece con la duración y el área de aporte de la cuenca crece al aumentar la duración de la tormenta.

No obstante, Bastidas (2010), define que la selección de la duración de la tormenta de diseño, está influenciada por aspectos propios del área de aporte, tales como su tamaño, pendiente y rugosidad superficial frente al escurrimiento. En relación a la presente investigación, la duración de las precipitaciones se suscita durante un período de tiempo dentro de un área determinada. Teniendo como finalidad conocer el tiempo de desarrollo de este evento climatológico que puede oscilar entre unos minutos a varios días.

2.2.5 Período de Retorno

Según Chow (1994), el período de retorno puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que iguallen o excedan una magnitud especificada. Es decir, es la cantidad de tiempo para la cual corresponde una probabilidad de ocurrencia, distribuyéndose uniformemente en los períodos que componen dicha cantidad de tiempo. En un período de

retorno de 50 años, corresponde a una probabilidad de excedencia de $\frac{1}{50} = 0,02$ o 2% para un año cualquiera. Teniendo en cuenta eventos como una inundación con períodos de retorno “T”, ocurra una vez cada “T” años, es decir, que durante ese período de “T” años ocurra una o más veces durante cualquier período.

De igual manera, es llamado período de recurrencia de retorno como un concepto estadístico que intenta proporcionar una idea de hasta qué punto un suceso puede considerarse raro. Suele calcularse mediante distribuciones de variables extremas, sobre la base de series de valores extremos registrados dentro de etapas iguales y consecutivas, Castillo (2009). El período de retorno sería de gran utilidad para la presente investigación ya que permitirá establecer cierto nivel de confianza en los valores extremos de diferentes variables y su probabilidad de excedencia.

Esta definición permite estudiar y analizar mediante el factor de frecuencia antes mencionado, acerca de las posibilidades de ocurrencia de las lluvias basándose en el tiempo medio entre sucesos de baja probabilidad, ya que el diseño y planificación de obras hidráulicas están siempre relacionados.

2.2.6 La media aritmética

Considerada por Ruiz (2004) como el número obtenido al dividir la suma de todos los valores de la variable entre el número total de observaciones, siendo esta la más común, pues, se presta para mayor manipulación e interpretación, además de poder ser empleada en distribuciones de tipo unitario, para estos casos se le denomina media ponderada.

Sin embargo, según Rodas (2002), para determinar el grado de variabilidad o de dispersión con respecto a la misma, se aplican las medidas de variación. Estas son fundamentales en los análisis estadísticos, pues,

poseen propiedades algebraicas que les permiten intervenir en relaciones matemáticas y se consideran parte de las medidas de tendencia central. Las medidas de variación fueron de gran utilidad para la presente investigación debido a que permitieron un mejor análisis de los resultados obtenidos con respecto a la media aritmética, encontrándose entre ellas: la desviación estándar.

Cabe destacar que Webster (2000), menciona que en numerosos casos la media se ve influenciada por valores extremos o valores atípicos y a diferencia de la mediana, esta puede ser afectada por las observaciones que están muy por encima o muy por debajo de ella, lo que perjudica el grado exactitud de los resultados que se desean obtener con el estudio estadístico. El cálculo de la misma se realiza a través de la siguiente formula:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

- $\sum x_i$ = sumatoria del valor x_1, x_2, x_3, \dots
- n = número de observaciones.

2.2.7 Variable Reducida

Benzécri (1976), la variable reducida, también conocida como unidad tipificada o variable estandarizada o normalizada, es la base de los logaritmos naturales utilizada para estimar parámetros mediante el período de retorno, y aplicada en estadística para comparar datos procedentes de diferentes muestras o poblaciones. Así mismo, Acosta y Sierra (2013), describen que una variable reducida puede definirse como la relación entre la probabilidad y el período de retorno; se utiliza en conjunto con los parámetros de ajuste de la distribución de probabilidad y el período de retorno, a fin de determinar las curvas intensidad, duración y frecuencia (IDF).

$$YT = \ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right) \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

- YT = variable reducida.
- \ln = logaritmo natural.
- T = período de retorno.

2.2.8 La desviación estándar

Para Rodas (2002) la desviación típica o estándar no es más que la raíz cuadrada de la varianza, es decir, representa la variabilidad promedio de una distribución, pues, viene dada por la mayor o menor dispersión en relación a la media aritmética, obtenida a través de la raíz cuadrada de las desviaciones de los datos de la serie elevados al cuadrado en relación a su media aritmética, determinando el promedio de las desviaciones referentes a la misma.

Así mismo Anderson, Sweeney y Williams (1999) plantean que la desviación estándar referente a la media aritmética es evaluada por una medida relativa de variabilidad denominada coeficiente de variación, que indica la relación existente entre la desviación típica de una muestra y su media, siendo este el valor de la dispersión en varios conjuntos de observaciones comparados entre sí, representando a la desviación estándar, de tal manera, esta última permitirá conocer la desviación que representan los datos en su distribución, siendo su fórmula la siguiente:

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1} \text{ Ec. 3}$$

Donde:

- \sum = sumatoria de...
- X_i = término del conjunto de datos.
- n = número de elementos de la muestra.
- \bar{X} = media aritmética.

- $\sqrt{\quad}$ = raíz cuadrada.

La presente definición permitió identificar y comprender cualquier desviación generada entre los valores máximos de precipitación recolectados y los realmente ejecutados, por ende, fue de gran utilidad para tener una visión más acorde con la realidad de los mismos, a la hora de describirlos e interpretarlos a través del análisis llevado a cabo en el presente trabajo de investigación.

2.2.9 Precipitación

Según Pérez (2016), la precipitación es un componente principal del ciclo hidrológico, y es responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta. La precipitación comienza a formarse cuando asciende el aire cálido y húmedo. Al enfriarse el aire, el vapor de agua comienza a condensarse en núcleos de condensación, formando nubes. Para el cálculo de la precipitación es necesario evaluar las variables probabilísticas de precipitación por medio de las siguientes fórmulas:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \quad \text{(Ec. 4)}$$

$$u = x - 0,5772 * \alpha \quad \text{(Ec. 5)}$$

Donde:

- u y α son los parámetros de la función y se estiman de acuerdo a lo siguiente:
 - x = media de la distribución.
 - s = desviación estándar.

Una vez determinadas las variables probabilísticas es aplicada la formula real de precipitación como se muestra a continuación:

$$XT' = u + (\alpha * YT) \quad \text{(Ec. 6)}$$

Donde:

- XT' = precipitación.
- YT = variable reducida.

- u, α = variables probabilísticas de precipitación.

2.2.10 Distribución de Valor Extremo Tipo I

Chow (1994), establece que la función de distribución de probabilidad de Valor Extremo Tipo I (EVI) también determinada probabilidad de ocurrencia $F(x, t)$ consiste en mejorar la precisión de los valores de precipitación correspondientes a distintas duraciones y frecuencias mediante los datos de precipitación y variables probabilísticas, mostradas en párrafos anteriores y surgiendo en base a ellas dicha función:

$$F(x, t) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{xT^{\alpha} - u}{\alpha} \right) \right] \quad - \infty \leq x \leq \infty \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

- u y α son los parámetros de la función y se estiman de acuerdo a lo siguiente:
 - x = media de la distribución.
 - s = desviación estándar.

La distribución de Valor Extremo Tipo I expresada en la ecuación antes mencionada, se ha demostrado que se ajusta bien al fenómeno de las crecidas de los ríos y será utilizada en la presente investigación para analizar las frecuencias de datos extremos, considerando que cada máximo anual es el valor extremo observado en una muestra de un año, tomando en cuenta dos parámetros: de ubicación y escala, siendo el coeficiente de asimetría fijo.

2.2.11 Precipitación con valor de Corrección de Intervalo Fijo

Hershfield (1961), plantea necesario el ajuste de las cantidades de precipitación medida con intervalos fijos, normalmente haciendo uso de un factor multiplicativo. Con el fin de obtener aproximadamente las cantidades que resultarían de un análisis de máximos reales. Por ello, se propuso multiplicar por el factor 1,13 los resultados de los análisis de frecuencias de series de máximos anuales obtenidos utilizando un único intervalo fijo de cualquier duración entre 1 y 24hr.

$$XT = XT' * 1,13 \text{ (Ec. 8)}$$

Donde:

- XT' = precipitación.
- 1,13 = valor de corrección de intervalo fijo.

2.2.12 Precipitación máxima para diferentes tiempos de duración

WMO (1986), define la precipitación máxima como la mayor cantidad de precipitación meteorológicamente posible correspondiente a una determinada duración, sobre un área de tormenta dada, en una ubicación geográfica particular y en determinada época del año, sin tener en cuenta las tendencias climáticas a largo plazo. Esta magnitud es utilizada y sus distribuciones espacial y temporal para calcular la avenida máxima probable, siendo una de las situaciones de inundación conceptuales utilizada en el diseño de estructuras hidrológicas para la máxima fiabilidad y seguridad.

$$Pd = XT * t \text{ (Ec. 9)}$$

Donde:

- XT = precipitación con valor de corrección de intervalo fijo.
- t = coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.

2.2.13 Intensidad

Carciente (1970), describe que la intensidad es la mayor o menor cantidad de agua que cae en un lapso determinado sobre una zona. De igual manera, Chow (1994), describe la intensidad como la tasa temporal de precipitación, la profundidad o altura de agua por unidad de tiempo (mm/h o pulg/h). Es decir, es la cantidad de agua que se precipita por unidad de tiempo, logrando presentarse la intensidad instantánea o la intensidad promedio de la duración de la lluvia. Destacando que generalmente es utilizada como intensidad promedio, descrita de la siguiente forma:

$$I = \frac{P \text{ mm}}{t_{\text{duración}} \text{ hr}} \text{ (Ec. 10)}$$

Donde:

- P = profundidad de lluvia (mm o pulg).
- t_d = duración (hr).

Del mismo modo, Bastidas (2010), concluye que el efecto de la magnitud de la precipitación, se ve influenciada por la variación temporal y espacial que presenta la intensidad de la lluvia. Por lo que es difícil el definir lo que se entiende por intensidad representativa, ya que se puede hablar de intensidades máximas, medias u otros valores que la representen. A tal efecto, el presente trabajo de investigación tiene como característica principal el análisis de la intensidad de la lluvia en su variación de tiempo, es decir, la medición expresada en mm de agua equivalente al agua que se acumula en una superficie horizontal e impermeable durante el tiempo que dure la precipitación o solo en una parte del período de la misma.

2.2.14 Regresión curva IDT

Para cuantificar la regresión Intensidad, Duración y Frecuencia, Aparicio (1997), describe que se procede a realizar el cálculo de variables probabilísticas para diferentes períodos de retorno, tomando en cuenta la constante de regresión (d) y el coeficiente de regresión (n) obteniéndose la función de estimación.

$$\ln(d) = \frac{\ln x * \ln y * \ln x - ((\ln x)^2 * \ln y)}{\ln x^2 - ((\ln x)^2 * N^e)} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

- $\ln x$ = logaritmo natural de x, duración en minutos.
- $\ln y$ = logaritmo natural de y, intensidad de lluvia para duración x en un período de retorno determinado.
- N^e = número de datos estudiados.

$$d = EXP(\ln d) \quad (\text{Ec. 12})$$

$$n = \frac{\ln y - (N^e * \ln(d))}{\ln x} \quad (\text{Ec. 13})$$

2.2.15 Regresión curva ajuste potencial

Aparicio (1997), establece que el análisis de regresión potencial se desarrolla a través de una ecuación de estimación, relacionando variables conocidas con variables desconocidas y, a su vez, calculando en base a la constante de regresión (k) y el coeficiente de regresión (m) las variables probabilísticas.

$$\ln(k) = \frac{\ln x * \ln y * \ln x - ((\ln x)^2 * \ln y)}{\ln x^2 - ((\ln x)^2 * N^o)} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

- $\ln x$ = logaritmo natural de x , período de retorno en años.
- $\ln y$ = logaritmo natural de y , término de constante de regresión (d) para cada período de retorno.
- N^o = número de datos estudiados.

$$K = EXP(\ln k) \quad (\text{Ec. 15})$$

$$m = \frac{\ln y - (N^o * \ln(k))}{\ln x} \quad (\text{Ec. 16})$$

2.2.16 Curvas Intensidad Duración y Frecuencia

Temez (1978) con respecto a las curvas Intensidad, Duración, y Frecuencia (IDF), señala que estas son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno. Así mismo, Benítez (2002), describe que las curvas IDF son la representación gráfica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia o período de retorno de la precipitación.

Para la elaboración de las ecuaciones matemáticas, que representaran la relación entre la intensidad, la duración y la frecuencia de las precipitaciones, en cada una de las subcuencas se optó por la expresión propuesta por Bernard (1932) y validada por Aparicio (1997), independiente de que se puedan observar varios modelos explicados por otros autores:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \text{ (Ec. 17)}$$

Donde:

- I = intensidad (mm/hr).
- T = período de retorno (años).
- t = duración de la lluvia (min).
- K, m, n = parámetros a estimar a través de un análisis de regresión lineal múltiple.

Se debe mencionar que para efectos de esta investigación será de suma importancia la representación gráfica de las curvas (IDF), ya que son el principal objetivo de análisis y mediante ellas se concentran las características de las tormentas en el lugar de estudio con respecto a sus variables de magnitud, duración y frecuencia.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La investigación se ubicará en el marco de una investigación de campo, ya que los autores recopilarán datos directamente de la realidad de forma clara, objetiva y completa, con el fin de aplicarlos y compararlos en las etapas de ejecución del proyecto sin alterar las condiciones existentes, en donde se describirá el comportamiento de las precipitaciones máximas en el estado Anzoátegui durante los últimos 50 años. Según Arias, F. (2012), expresa:

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (p.31)

Del mismo modo, el proyecto atenderá a un tipo de investigación documental, donde Arias, F. (2012), explica que “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales” (p.27), debido a que la misma estará fundamentada en la obtención de datos y parámetros estipulados en las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), registros, entre otros ya existentes del estado Anzoátegui.

3.2 Nivel de investigación

El proyecto atenderá a un tipo de investigación descriptiva, donde Arias, F. (2012), explica que “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de

establecer su estructura o comportamiento.” (p. 24). Puesto que la investigación no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables, como lo son la intensidad, frecuencia y duración de los parámetros hidrológicos del estado Anzoátegui, durante los últimos 50 años, obtenidos de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Esto con el propósito de demostrar las variaciones de las condiciones climatológicas que ha sufrido el estado Anzoátegui, así como también, actualizar las curvas IDF de la región.

3.3 Técnicas y herramientas a utilizar

3.3.1 Técnicas

3.3.1.1 Revisión documental o bibliográfica

Se obtendrá información de importancia centrada en registros de precipitaciones máximas ocurridas en el estado Anzoátegui durante los últimos 50 años. Se consultarán distintas referencias bibliográficas, la cual incluye textos académicos, guías, documentación electrónica (Internet) y revisión técnica de proyectos ya realizados.

3.3.1.2 Observación directa

La observación directa se realizará mediante una serie de visitas a las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), ubicadas en el estado Anzoátegui, que cuenten con los registros de precipitaciones producidas en los últimos 50 años. Por medio de ellas, se observarán cuáles son los cambios abruptos que tienen mensualmente las variables climáticas, cuándo se producen condiciones meteorológicas extremas, velocidades de viento, intensidades de lluvia que excedan los valores empleados en el desarrollo de obras hidráulicas.

3.3.1.3 Análisis comparativo de resultados

Mediante ésta técnica, se podrá analizar, comparar y explicar los resultados cualitativos y cuantitativos de la investigación. Análizando los

incidentes contenidos en los datos, comparando donde están las similitudes y las diferencias de las curvas IDF creadas con las curvas IDF existentes en el MOP de 1967.

3.3.2 Instrumento

La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material, de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente, a dicho soporte se le denomina instrumento.

- **Materiales de oficina:** permitirá obtener, registrar y almacenar aspectos relevantes de la investigación, recabados de las fuentes bibliográficas indagadas, igualmente se utilizó la computadora Laptop HP Pavilion y sus unidades de almacenaje, lapiz y libreta.
- **Memoria USB (Pendrive):** Se utilizará para el resguardo de la información suministrada, y así como los diferentes referencias bibliográficas relacionadas con el proyecto en estudio.
- **Software:** Permitirá transcribir, guardar, corregir y presentar en digital toda la información recolectada, así como también permitirá la utilización de programas como Microsoft WORD para el análisis de los datos y resultados de la investigación; y el Microsoft Excel 2016, como herramienta que permitirá analizar el conjunto de datos de precipitación y visualizar de manera detallada las curvas generadas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF).

CAPÍTULO IV

DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de los objetivos específicos planteados para la actualización de los datos recolectados. Se analizaron todas las etapas significativas que integraron las curvas de las zonas norte, oeste, centro y sur.

4.1 Precipitaciones máximas alcanzadas en los últimos 50 años, de las estaciones meteorológicas ubicadas en el estado Anzoátegui.

Para el inicio de esta investigación, su etapa inicial se llevó a cabo en dos fases, la primera una investigación documental en línea donde se ingresó a la página web del INAMEH, dependiente del Ministerio Popular para el Ambiente, encargado de regular y coordinar la actividad hidrometeorológica nacional, siendo, a su vez el ente oficial de divulgación de información hidrológica y meteorológica de manera confiable y oportuna de todo el territorio nacional obteniendo, para ser estudiados los registros pluviográficos mensuales anuales de hace 50 años del estado Anzoátegui, los cuales están comprendidos entre los años 1968-2018. Se eligió este período de estudio, debido a que el último estudio realizado fue hasta el año 1968 y a su vez porque presenta una densidad considerable de datos dentro de los registros consultados hasta la presente fecha.

Continuando con nuestro razonamiento, la siguiente fase, en esta etapa, se realizaron las visitas a cada una de las estaciones meteorológicas del estado Anzoátegui, para recabar los registros faltantes y cotejarlos con la información obtenida en la fase anterior. En el siguiente mapa se muestran la ubicación geográfica de todas las estaciones meteorológicas comprendidas en el estado Anzoátegui.

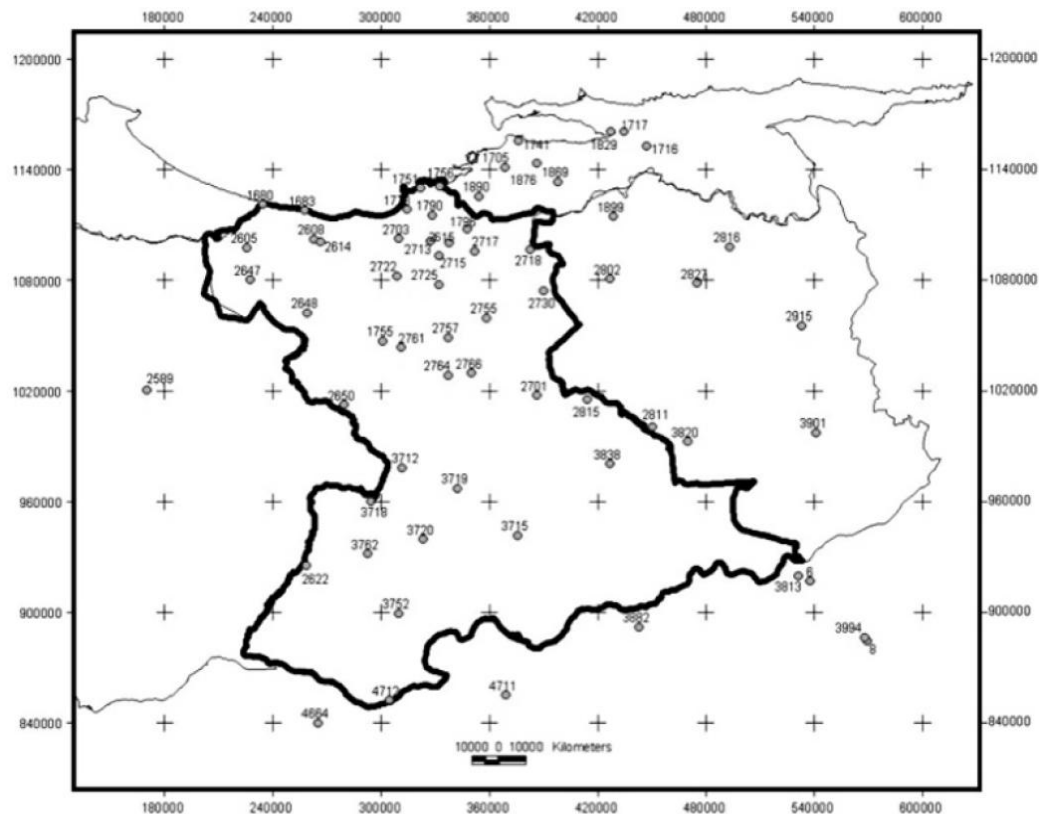


Figura 1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas ubicadas en el estado Anzoátegui, Venezuela. Fuente: Rodríguez et al. (2011).

En el mismo orden de ideas, es importante hacer mención que el estado se encuentra dividido en cuatro subregiones: norte, oeste, centro y sur, según lo establece la Oficina de Planificación y Desarrollo de la Gobernación del Estado Anzoátegui (DPDANZ), de igual manera, se debe destacar que la agrupación de los registros anteriormente mencionados se agruparon (ver figura 2), a través de la división de las subcuencas principales del estado Anzoátegui correspondiendo: Neverí con la zona norte, Unare con la zona oeste, Morichal Largo con la zona centro y Orinoco con la zona sur, facilitando y certificando el manejo de información de datos pertenecientes a cada subcuenca.



Figura 2: Subregionalización del estado Anzoátegui. Fuente: DPDANZ (2007).

Seguidamente, con cada agrupación de los datos de cada cuenca o región, se procedió a la determinación de los valores correspondientes de precipitación mensual anual de cada zona para posteriormente seleccionar el valor máximo de cada una de ellas. En promedio, el número de datos suministrados de las estaciones meteorológicas no son constantes en todos los años del estudio. Asimismo, se tuvo la presencia de datos erróneos, los cuales no se tomaron en cuenta por diferir de un valor real de precipitación, por lo que estos datos fueron estimados a partir de los datos de eventos pasados, en la tabla 1, se indica las precipitaciones máximas anuales por zonas.

Tabla 1: Precipitaciones máximas (mm) anuales por zona 1968-2018.

Nº	AÑOS	NORTE	OESTE	CENTRO	SUR
1	1968	299,50	319,90	315,20	315,90
2	1969	347,30	301,50	344,20	421,50
3	1970	479,20	379,60	401,80	525,10
4	1971	323,10	276,40	329,80	262,40
5	1972	290,70	307,40	366,80	281,50
6	1973	369,00	322,10	277,10	273,60
7	1974	296,40	322,10	277,10	332,80
8	1975	306,10	354,90	400,10	251,80
9	1976	319,20	367,10	296,30	377,90
10	1977	269,80	279,22	290,23	278,32
11	1978	364,60	351,30	366,80	358,40
12	1979	320,20	654,20	652,20	699,00
13	1980	386,10	385,20	421,30	347,50
14	1981	476,20	535,90	499,60	499,20
15	1982	260,90	326,90	295,60	398,40
16	1983	312,40	260,30	252,40	288,40
17	1984	275,40	245,30	354,10	416,40
18	1985	310,50	363,00	355,30	414,40
19	1986	308,50	241,20	264,20	276,50
20	1987	328,20	404,00	253,40	452,00
21	1988	488,00	422,10	415,40	420,90
22	1989	246,10	224,90	298,50	315,80
23	1990	296,50	286,90	274,50	377,40
24	1991	281,20	362,20	301,70	462,40
25	1992	296,20	233,90	347,30	374,00
26	1993	251,90	229,20	258,80	573,10
27	1994	297,30	239,00	248,20	357,50
28	1995	402,60	322,70	344,60	369,50
29	1996	396,90	303,30	334,60	455,10
30	1997	235,40	173,90	281,80	342,90
31	1998	275,14	229,99	279,32	340,68
32	1999	313,70	284,30	455,40	377,10
33	2000	227,10	249,40	318,70	448,40
34	2001	218,40	191,60	463,70	259,00
35	2002	210,10	190,00	257,80	184,30
36	2003	274,70	327,60	180,00	240,00
37	2004	240,07	206,87	275,24	319,37

Fuente: Autores.

Continuación Tabla 1: Precipitaciones máximas (mm) anuales por zona 1968-2018.

38	2005	240,25	204,25	244,52	319,40
39	2006	239,55	252,71	238,55	320,54
40	2007	239,76	204,25	236,71	321,69
41	2008	238,76	201,82	234,87	322,84
42	2009	239,12	199,40	228,82	316,53
43	2010	238,21	196,98	228,28	324,12
44	2011	237,20	194,55	231,23	331,79
45	2012	237,96	192,13	231,27	330,58
46	2013	203,64	187,60	222,50	208,40
47	2014	167,60	195,80	202,21	299,40
48	2015	224,00	170,40	249,94	331,20
49	2016	271,20	297,80	250,53	358,60
50	2017	413,80	425,20	576,40	568,60
51	2018	257,71	237,39	253,17	837,64
MÁXIMO		488,000	654,200	652,200	837,644

Fuente: Autores.

De lo anterior, en la tabla 1 se observa los valores máximos de precipitación (mm) en cada uno de los años de registro, de las zonas estudiadas y que han sido descritos anteriormente, tienen la misma tendencia en su comportamiento, con una diferencia máxima, entre un veinticinco por cien (25%) entre valores máximos por zonas en algunos años, así como también el valor máximo predominante en ellas, caracterizándose por ser el más importante. Las figuras 3 a la 6, nos permiten comprender de una mejor manera el comportamiento de las precipitaciones máximas con el paso del tiempo en cada zona.

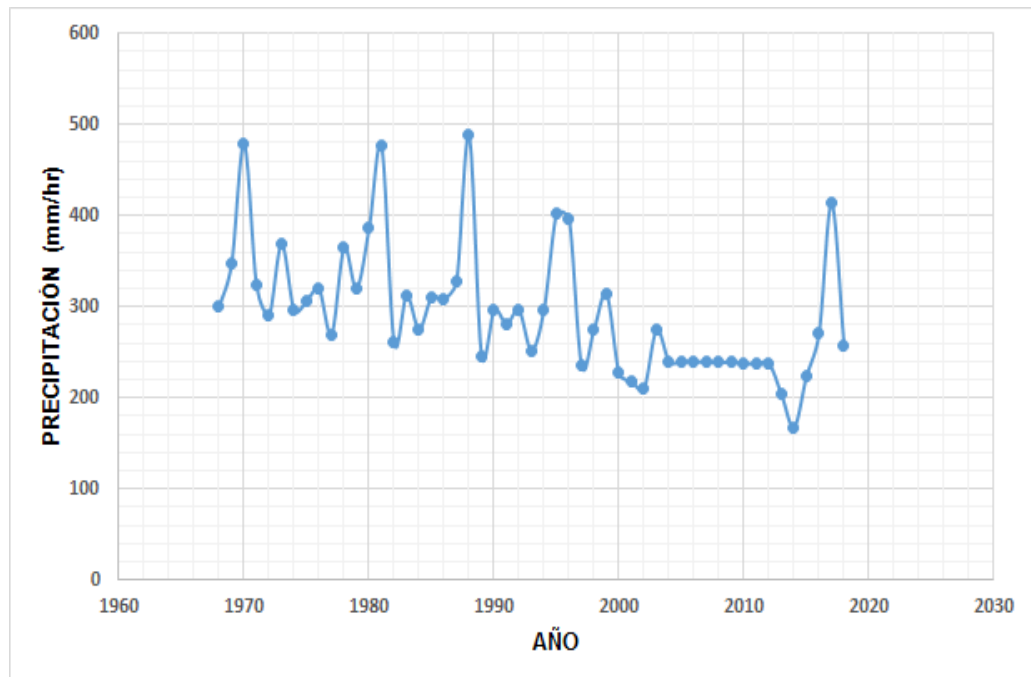


Figura 3: Precipitación máxima anual (mm) Zona Norte. Fuente: Autores.

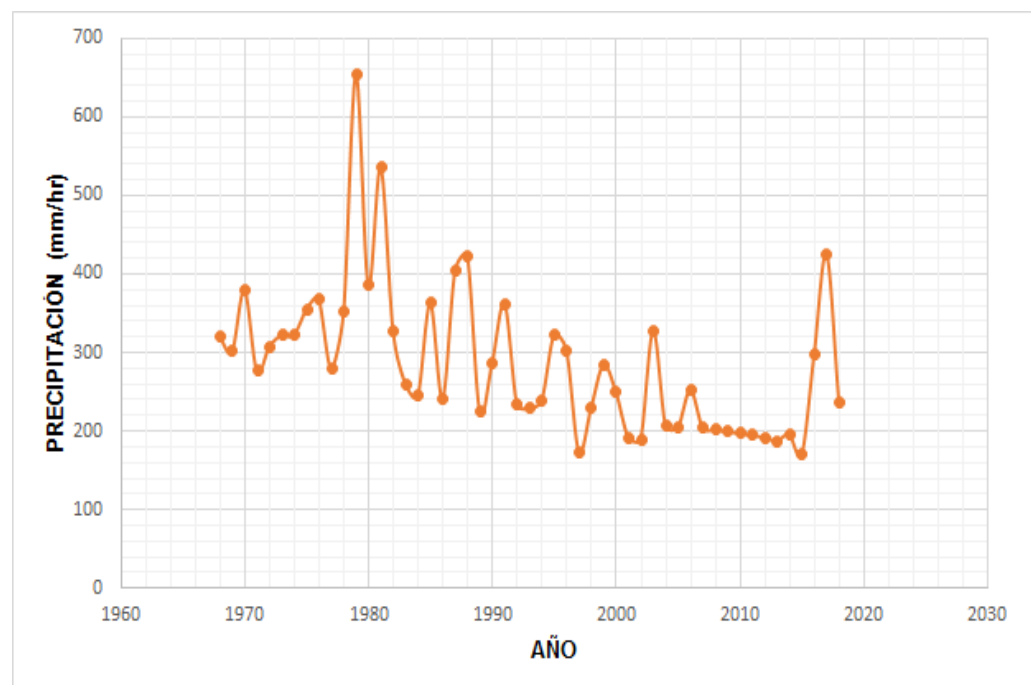


Figura 4: Precipitación máxima anual (mm) Zona Oeste. Fuente: Autores.

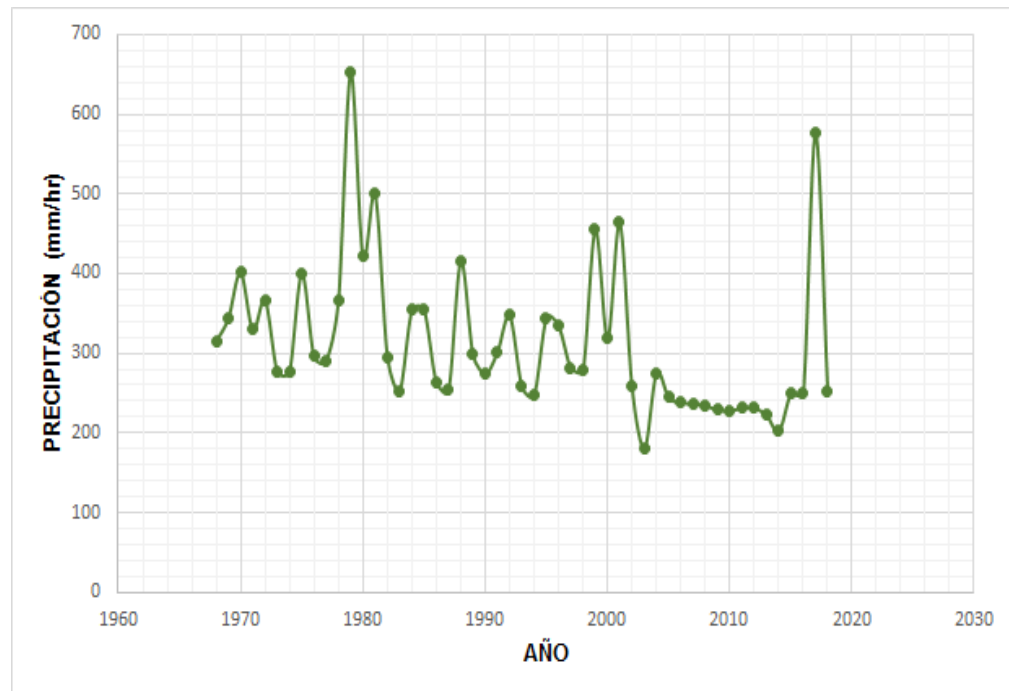


Figura 5: Precipitación máxima anual (mm). Zona CentroFuente: Autores.

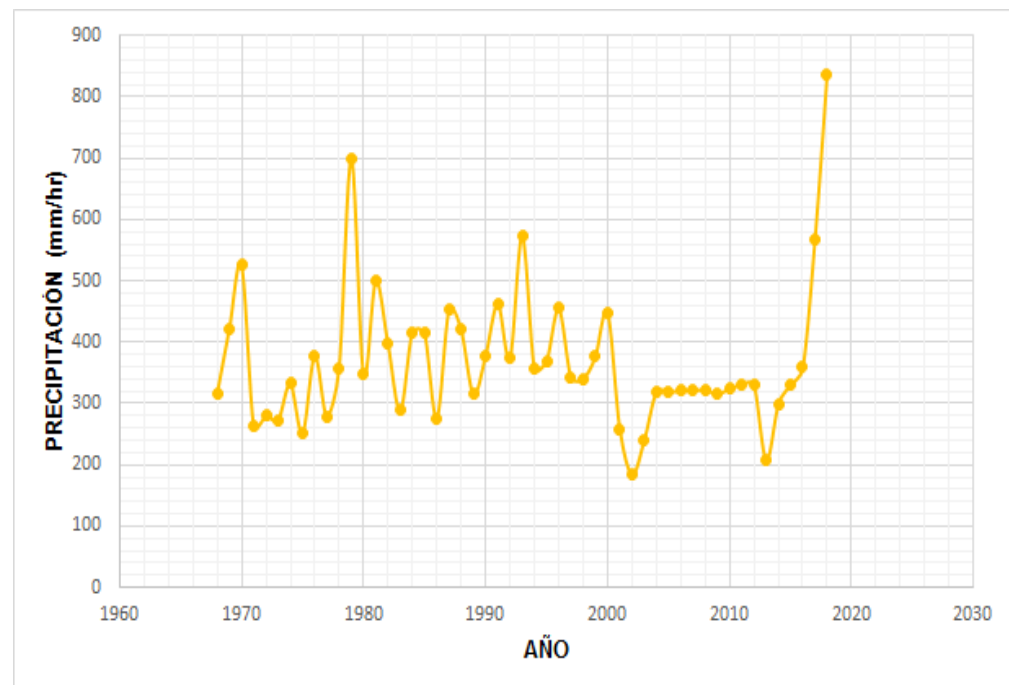


Figura 6: Precipitación máxima anual (mm). Zona Sur. Fuente: Autores.

4.2 Método de Valores Extremos Generalizado (GEV) aplicado a los registros pluviográficos.

En esta etapa se procedió a realizar el cálculo de los valores máximos de precipitación alcanzados en los años comprendidos desde 1968 hasta 2018, mediante el método de (GEV), agrupados en las cuatro subcuencas ya descritas en los párrafos anteriores. Aplicando Distribución de probabilidades mostrados en la tabla 2, las mismas fueron calculadas a partir de las máximas precipitaciones. Los promedios de cada cuenca fueron obtenidos utilizando la ecuación 1, como ejemplo de cálculo usaremos los datos o registros de la zona norte, por lo que el promedio de las precipitaciones para la zona norte es de 294,97 mm, como se desarrolla a continuación:

$$X = \frac{15.043,36}{51} = 294,97 \text{ mm}$$

Tabla 2: Distribución de probabilidades entre los años 1968-2018.

Año	NORTE		OESTE		CENTRO		SUR	
	xi	(xi - x)^2	Xi	(xi - x)^2	xi	(xi - x)^2	xi	(xi - x)^2
1968	299,50	20,54	319,90	1084,14	315,20	3,63	315,90	2947,63
1969	347,30	2738,65	301,50	211,01	344,20	955,06	421,50	2632,49
1970	479,20	33941,47	379,60	8579,64	401,80	7832,96	525,10	23996,45
1971	323,10	791,42	276,40	111,80	329,80	272,38	262,40	11619,14
1972	290,70	18,21	307,40	417,24	366,80	2862,68	281,50	7866,29
1973	369,00	5480,75	322,10	1233,86	277,10	1310,15	273,60	9330,04
1974	296,40	2,05	322,10	1233,86	277,10	1310,15	332,80	1398,17
1975	306,10	123,92	354,90	4613,99	400,10	7534,93	251,80	14016,69
1976	319,20	587,20	367,10	6420,23	296,30	288,86	377,90	59,41
1977	269,80	633,42	279,22	60,13	290,23	531,89	278,32	8440,08
1978	364,60	4848,63	351,30	4137,88	366,80	2862,68	358,40	139,05
1979	320,20	636,66	654,20	134855,19	652,20	114855,91	699,00	108114,62
1980	386,10	8305,06	385,20	9648,42	421,30	11664,86	347,50	514,93
1981	476,20	32845,08	535,90	61964,33	499,60	34709,17	499,20	16643,03
1982	260,90	1160,62	326,90	1594,11	295,60	313,15	398,40	795,68
1983	312,40	303,88	260,30	711,48	252,40	3708,32	288,40	6689,95
1984	275,40	382,90	245,30	1736,69	354,10	1664,96	416,40	2135,17
1985	310,50	241,25	363,00	5780,01	355,30	1764,33	414,40	1954,34
1986	308,50	183,12	241,20	2095,23	264,20	2410,42	276,50	8778,22

Fuente: Autores.

Continuación Tabla 2: Distribución de probabilidades entre los años 1968-2018.

Año	NORTE		OESTE		CENTRO		SUR	
	xi	(xi - x)^2	Xi	(xi - x)^2	xi	(xi - x)^2	xi	(xi - x)^2
1987	328,20	1104,37	404,00	13695,17	253,40	3587,53	452,00	6692,53
1988	488,00	37261,40	422,10	18259,13	415,40	10425,22	420,90	2571,29
1989	246,10	2388,07	224,90	3853,14	298,50	218,92	315,80	2958,50
1990	296,50	2,35	286,90	0,01	274,50	1505,13	377,40	51,95
1991	281,20	189,55	362,20	5659,00	301,70	134,47	462,40	8502,29
1992	296,20	1,52	233,90	2816,81	347,30	1156,27	374,00	14,50
1993	251,90	1854,84	229,20	3337,79	258,80	2969,815	573,10	41171,61
1994	297,30	5,44	239,00	2301,47	248,20	4237,49	357,50	161,09
1995	402,60	11584,67	322,70	1276,37	344,60	979,94	369,50	0,48
1996	396,90	10390,16	303,30	266,55	334,60	453,86	455,10	7209,35
1997	235,40	3548,33	173,90	12785,65	281,80	991,99	342,90	744,86
1998	275,14	393,14	229,98	3247,68	279,32	1154,52	340,68	871,09
1999	313,70	350,89	284,30	7,15	455,40	20193,54	377,10	47,72
2000	227,10	4606,05	249,40	1411,78	318,70	29,20	448,40	6116,47
2001	218,40	5862,64	191,60	9096,13	463,70	22621,36	259,00	12363,69
2002	210,10	7202,56	190,00	9403,89	257,80	3079,81	184,30	34555,88
2003	274,70	410,79	327,60	1650,50	180,00	17767,83	240,00	16949,99
2004	240,07	3013,64	206,87	6417,10	275,24	1448,02	319,37	2582,92
2005	240,25	2994,33	204,24	6843,66	244,52	4730,59	319,39	2580,31
2006	239,54	3071,67	252,71	1174,02	238,55	5586,98	320,54	2465,02
2007	239,76	3047,99	204,24	6843,66	236,71	5865,46	321,69	2352,34
2008	238,76	3159,54	201,82	7250,44	234,87	6150,72	322,84	2242,34
2009	239,13	3119,40	199,40	7668,97	228,82	7136,26	316,53	2879,89
2010	238,21	3221,85	196,98	8099,24	228,28	7227,68	324,12	2122,68
2011	237,20	3337,13	194,55	8541,25	231,23	6734,46	331,79	1474,96
2012	237,96	3249,60	192,13	8995,01	231,27	6728,27	330,58	1569,29
2013	203,64	8340,45	187,60	9874,39	222,50	8243,24	208,40	26176,69
2014	167,60	16222,58	195,80	8312,64	202,21	12339,23	299,40	5010,93
2015	224,00	5036,44	170,40	13589,42	249,94	4014,45	331,20	1520,39
2016	271,20	564,91	297,80	117,21	250,53	3939,69	358,60	134,38
2017	413,80	14121,07	425,20	19106,52	576,40	69223,71	568,60	39365,68
2018	257,71	1387,91	237,39	2458,78	253,17	3614,96	837,64	218511,69

Fuente: Autores.

Seguidamente se determinaron los valores máximos de precipitaciones diarias, así como también, el cálculo de variable reducida, precipitación, probabilidad de ocurrencia y corrección de intervalo fijo para diferentes períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años (ver tabla 3). Como

ejemplo de cálculo los datos o registros de la zona norte, del período de retorno de 2 años, se determinó la variable reducida (YT) aplicando la ecuación 2, teniendo como resultado:

$$YT = \ln \ln \frac{2}{2-1} = 0,37$$

Continuando en nuestro razonamiento, para poder realizar el cálculo de la precipitación (XT) es necesario determinar las variables probabilísticas de precipitación, como lo son la desviación estándar (S), la variable alfa (α) y la variable (u), teniendo como resultado para las condiciones antes descritas un valor de 283,25 mm para la precipitación, aplicando las ecuaciones 3, 4, 5 y 6, expresamos la determinación de las variables como se muestra a continuación:

$$S = \frac{\sqrt{254290,12}}{51 - 1} = 71,31 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\bar{6}}{\pi} 71,31 = 55,60 \text{ mm}$$

$$u = 294,97 - 0,58 \times 55,60 = 262,87 \text{ mm}$$

$$XT' = 262,87 + 55,60 \times 0,37 = 283,25 \text{ mm}$$

Consideremos ahora, el cálculo de la probabilidad de ocurrencia $F(xT)$ y la determinación de la precipitación con valor de corrección de intervalo fijo (XT), a partir de las condiciones ya descritas (zona o cuenca norte, y período de retorno de 2 años), así como también, las variables probabilísticas de precipitación calculadas, para la que se obtuvo un valor de 0,50 de probabilidad de ocurrencia y de 320,08 mm para la precipitación con valor de corrección de intervalo fijo, los cuales fueron determinados aplicando las ecuaciones 7 y 8 como se muestra a continuación:

$$F \ xT = \exp -\exp - \frac{283,25 - 262,87}{55,60} = 0,50$$

$$XT = 283,25 \times 1,13 = 320,08 \text{ mm}$$

Tabla 3: Cálculo de Precipitaciones Diarias Máximas Probables Zona Norte.

	Variable Reducida	Precipitación	Prob. De Ocurrencia	Corrección Intervalo Fijo
2	0,37	283,25	0,50	320,08
5	1,50	346,28	0,80	391,29
10	2,25	388,00	0,90	438,44
25	3,20	440,72	0,96	498,02
50	3,90	479,84	0,98	542,22
100	4,60	518,66	0,99	586,09
500	6,21	608,37	1,00	687,46

Fuente: Autores.

Consideremos ahora, la determinación de las precipitaciones máximas (P_d), para diferentes tiempos de duración de lluvias de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 18 y 24 horas y para diferentes períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años (ver tabla 4) las cuales se obtienen a partir de los datos de precipitación con valor de corrección de intervalo fijo (X_T) afectados por los coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas. A partir de las condiciones ya descritas (zona o cuenca norte, y período de retorno de 2 años), así como también, una precipitación máxima de duración de lluvias de una hora es de 96,02 mm, la cual fue determinada aplicando la ecuación 9 como se muestra a continuación:

$$P_d = 320,08 \cdot 0,30 = 96,02 \text{ mm}$$

Tabla 4: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvia (mm) Zona Norte.

Duración	2	5	10	25	50	100	500
24	320,08	391,29	438,44	498,02	542,22	586,09	687,46
18	291,27	356,08	398,98	398,41	493,42	533,34	625,59
12	256,06	313,03	350,75	398,41	433,77	468,87	549,97
8	217,65	266,08	298,14	338,65	368,71	398,54	467,47
6	195,25	238,69	267,45	303,79	330,75	357,51	419,35
5	182,44	223,04	249,91	283,87	309,06	334,07	391,85
4	166,44	203,47	227,99	258,97	281,95	304,76	357,48

Fuente: Autores.

Continuación Tabla 5: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvia (mm) Zona Norte.

3	147,23	179,99	201,68	229,09	249,42	269,60	316,23
2	124,83	152,60	170,99	194,23	211,46	228,57	268,11
1	96,02	117,39	131,53	149,41	162,66	175,83	206,24

Fuente: Autores.

Se cuantificaron los valores Intensidades de lluvia (I) a partir de de las precipitaciones máximas (Pd), según duración de precipitación y frecuencia mencionada en los párrafos que anteceden (ver tabla 5). Para las condiciones ya descritas (zona o cuenca norte, y período de retorno de 2 años), así como también, una precipitación máxima de duración de lluvias de una hora es de 96,02 mm/hora, determinada aplicando la ecuación 10 como se muestra a continuación:

$$I = \frac{96,02}{1,00} = 96,02 \frac{mm}{hora} \approx 1,60 \frac{mm}{min}$$

Tabla 5: Intensidades de lluvia a partir de Pd (mm/hr) Zona Norte.

		Tiempo de duración (años)						
Hr	min	2	5	10	25	50	100	500
24	1440	13,34	16,30	18,27	20,75	22,59	24,42	28,64
18	1080	16,18	19,78	22,17	22,13	27,41	29,63	34,76
12	720	21,34	26,09	29,23	33,20	36,15	39,07	45,83
8	480	27,21	33,26	37,27	42,33	46,09	49,82	58,43
6	360	32,54	39,78	44,58	50,63	55,13	59,59	69,89
5	300	36,49	44,61	49,98	56,77	61,81	66,81	78,37
4	240	41,61	50,87	57,00	64,74	70,49	76,19	89,37
3	180	49,08	60,00	67,23	76,36	83,14	89,87	105,41
2	120	62,41	76,30	85,50	97,11	105,73	114,29	134,06
1	60	96,02	117,39	131,53	149,41	162,66	175,83	206,24

Fuente: Autores.

Por otra parte, fue necesario determinar la regresión potencial de cada curva IDF en función de cada período de retorno y duraciones estudiadas en los párrafos anteriores, a partir del cálculo del término de constante de regresión (d) y el coeficiente de regresión (n), para el cálculo de cada serie fueron utilizados diez puntos. En la tabla 6, se muestra los datos usados para la cuantificación de “ d ” y “ n ” para un período de retorno de 2 años, de igual manera en la figura 7 se muestra la curva IDT para los valores de la tabla 5 (I Vs. t) y los datos de regresión en la curva de ajuste potencial (Potencial I Vs. t). Aplicando las ecuaciones 11, 12 y 13 para un período de retorno de 2 años, tenemos:

$$\ln d = \frac{198,96 \quad 58,15 - 346,94 \quad 35,14}{58,15^2 - (346,94)(10)} = 7,09$$

$$d = \text{EXP } 7,09 = 1.210,05$$

$$n = \frac{35,14 - (10)(7,09)}{58,15} = -0,62$$

Tabla 6: Regresiones de las IDT para 2 años de período de retorno Zona Norte.

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	13,34	7,27	2,59	18,84	52,89
2	1080	16,18	6,98	2,78	19,44	48,79
3	720	21,34	6,58	3,06	20,14	43,29
4	480	27,21	6,17	3,30	20,39	38,12
5	360	32,54	5,89	3,48	20,50	34,65
6	300	36,49	5,70	3,60	20,52	32,53
7	240	41,61	5,48	3,73	20,43	30,04
8	180	49,08	5,19	3,89	20,22	26,97
9	120	62,41	4,79	4,13	19,79	22,92
10	60	96,02	4,09	4,56	18,69	16,76
Suma	4980	396,22	58,16	35,14	198,96	346,94

Fuente: Autores.

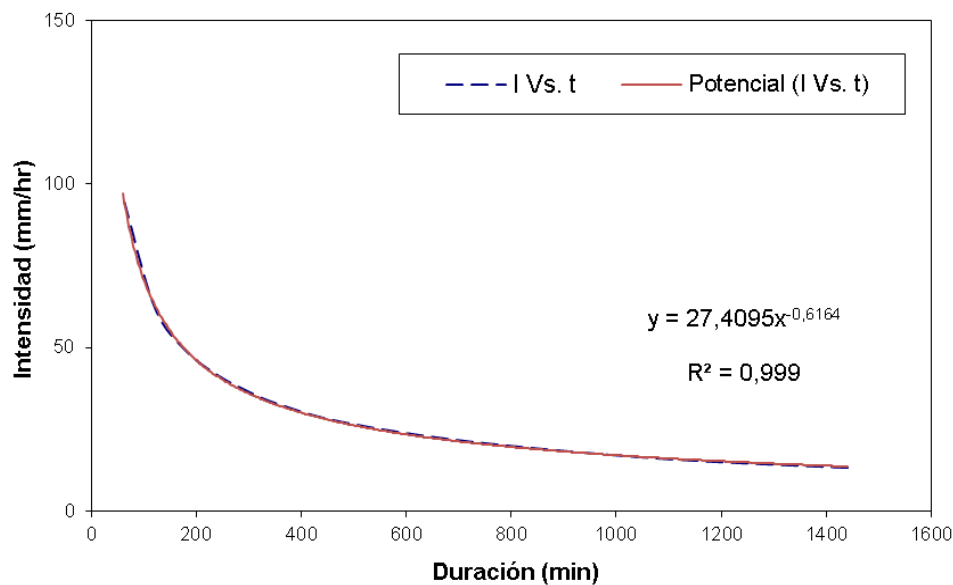


Figura 7: Regresión curva IDT Zona Norte para período de retorno 2 años. Fuente: Autores.

Como resultado, para cada período de retorno estudiado, se obtuvieron valores promedios de 1.895,16 para el término de constante de regresión (d) y de -0,62 para el coeficiente de regresión (n), en la tabla 7 se muestra un resumen de los valores de " d " y " n " alcanzados para cada período de retorno analizado.

Tabla 7: Resumen de regresiones potencial para la Zona Norte.

Periodo de Retorno (años)	Término ccte. de regresión (d)	Coef. De regresión (n)
2	1210,05	-0,62
5	1479,29	-0,62
10	1657,54	-0,62
25	2054,67	-0,63
50	2049,86	-0,62
100	2215,71	-0,62
500	2598,97	-0,62
Promedio =	1895,16	-0,62

Fuente: Autores.

Ahora bien, se realiza otra regresión de potencia entre el período de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de

terminos de constante de regresion K y coeficiente de regresión (m) en general para todas las cuencas y los períodos de retorno antes estudiados (ver tabla 8). En la figura 8 se muestra la curva constante de regresión para la cuenca norte, para los valores de la tabla 7 (d Vs. t) y los datos de regresión en la curva de ajuste potencial (Potencial d Vs. t). Aplicando las ecuaciones 14, 15 y 16, tenemos:

$$\ln K = \frac{172,46 \cdot 22,56 - 93,87 \cdot 52,63}{22,56^2 - 93,87 \cdot 7} = 7,08$$

$$K = \text{EXP } 7,082 = 1.190,05$$

$$m = \frac{52,630 - (7)(7,08)}{22,56} = 0,14$$

Tabla 8: Regresiones curva ajuste potencial de la cuenca para la Zona Norte.

Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	1210,05	0,69	7,10	4,92	0,48
2	5	1479,29	1,61	7,30	11,75	2,59
3	10	1657,54	2,30	7,41	17,07	5,30
4	25	2054,67	3,22	7,63	24,55	10,36
5	50	2049,86	3,91	7,63	29,83	15,30
6	100	2215,71	4,61	7,70	35,48	21,21
7	500	2598,97	6,21	7,86	48,86	38,62
Suma	692	13266,10	22,56	52,63	172,46	93,87

Fuente: Autores.

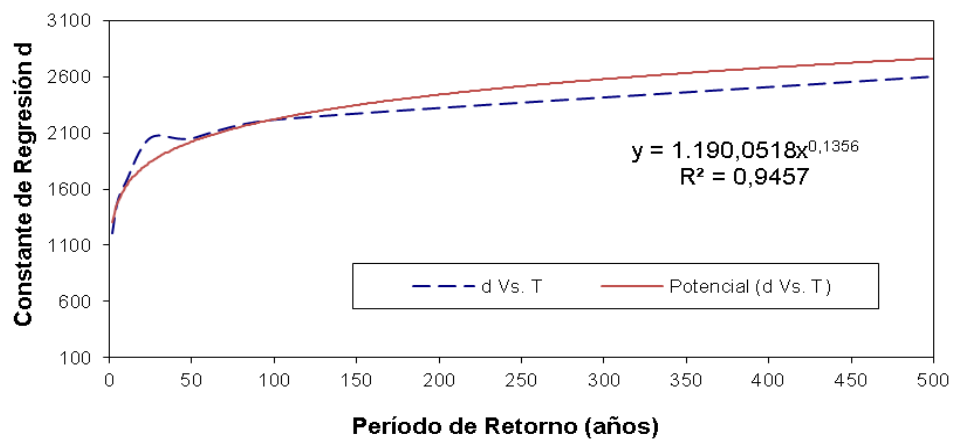


Figura 8: Regresiones curva ajuste potencial de la cuenca para la Zona Norte. Fuente: Autores.

Como resultado final, de realizar las regresiones potencial a los datos o registros de las cuencas, se obtuvieron las ecuaciones de Intensidad específica de las cuencas mediante el método de Aparicio (1997), en general para todas las cuencas o zonas de estudio, se computaron los valores de intensidad para las duraciones de lluvias de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 minutos y para diferentes períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, las cuales se muestran en la tabla 9 para cada zona. Como ejemplo de cálculo demostrativo y a partir de las condiciones ya descritas que nos anteceden (zona o cuenca norte, duración de 5 minutos y período de retorno de 2 años), se alcanzó un valor de intensidad máxima de lluvia de 482,86 mm/hora, la cual fue posible determinar aplicando la ecuación 17 como puede ser mostrado continuación:

$$I = \frac{(1.190,05)(2)^{(0,14)}}{5^{-(-0,62)}} = 482,86 \text{ mm/hora}$$

Tabla 9: Intensidades de las cuencas del estado Anzoátegui (mm/hr).

Zona Norte												
Frec.	Duración en minutos											
años	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	482,86	314,44	244,66	204,76	178,35	159,32	144,82	133,34	123,96	116,14	109,49	103,75
5	546,73	356,03	277,02	231,84	201,94	180,39	163,98	150,97	140,36	131,50	123,97	117,47
10	600,61	391,11	304,32	254,69	221,84	198,17	180,14	165,85	154,19	144,46	136,18	129,04
25	680,06	442,85	344,57	288,38	251,18	224,38	203,97	187,79	174,59	163,57	154,20	146,11
50	747,06	486,48	378,52	316,79	275,93	246,49	224,06	206,29	191,79	179,68	169,39	160,51
100	820,68	534,42	415,82	348,01	303,12	270,78	246,14	226,62	210,69	197,39	186,08	176,33
500	1020,80	664,73	517,22	432,87	377,04	336,81	306,16	281,88	262,06	245,52	231,46	219,33
Zona Oeste												
2	477,53	310,96	241,95	202,50	176,38	157,56	143,22	131,86	122,59	114,85	108,28	102,60
5	557,09	362,77	282,27	236,23	205,76	183,81	167,09	153,83	143,02	133,99	126,32	119,69
10	625,97	407,63	317,17	265,44	231,21	206,54	187,74	172,85	160,70	150,56	141,94	134,49
25	730,27	475,54	370,01	309,67	269,73	240,95	219,03	201,65	187,48	175,64	165,58	156,90
50	820,56	534,34	415,76	347,96	303,08	270,74	246,11	226,59	210,66	197,36	186,06	176,30

Fuente: Autores.

Continuación Tabla 10. Intensidades de las cuencas de estado Anzoátegui (mm/hr).

100	922,02	600,41	467,17	390,98	340,55	304,22	276,54	254,60	236,70	221,76	209,06	198,10
500	1208,63	787,05	612,39	512,52	446,41	398,78	362,50	333,75	310,29	290,70	274,05	259,68
Zona Sur												
2	614,17	399,94	311,19	260,44	226,85	202,64	184,20	169,59	157,67	147,72	139,26	131,96
5	712,96	464,27	361,24	302,33	263,34	235,24	213,83	196,87	183,03	171,48	161,66	153,18
10	798,12	519,73	404,39	338,44	294,79	263,34	239,38	220,39	204,90	191,96	180,97	171,48
25	926,50	603,33	469,44	392,88	342,21	305,70	277,88	255,84	237,86	222,84	210,08	199,07
50	1037,17	675,39	525,51	439,81	383,08	342,21	311,07	286,40	266,27	249,46	235,17	222,84
100	1161,05	756,07	588,28	492,34	428,84	383,08	348,23	320,61	298,07	279,26	263,26	249,46
500	1508,81	982,52	764,48	639,81	557,28	497,82	452,53	416,64	387,35	362,90	342,11	324,18

Fuente: Autores.

Para concluir esta fase, en el anexo A, se encuentran los datos generados para los cálculos correspondientes a cada cuenca, para los datos meteorológicos propios de cada zona o cuenca, para los diferentes períodos de retorno y duraciones expuestas en los párrafos anteriores.

4.3 Realizar las curvas IDF, para diferentes Períodos de Retorno con los resultados obtenidos para el cálculo de Intensidades Máximas.

En esta etapa de la investigación procederemos a realizar el graficado o desarrollo de las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia, para cada cuenca estudiada en la fase anterior en la determinación de la Intensidad específica de las mismas. Se desarrollaron para cada zona, siete (07) curvas IDF, considerando las frecuencias estudiadas (2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años). En las figuras 9 a la 12 se muestran las intensidades para las zonas norte, oeste centro y sur del estado Anzoátegui, considerando las precipitaciones entre los años 1968 hasta 2018.

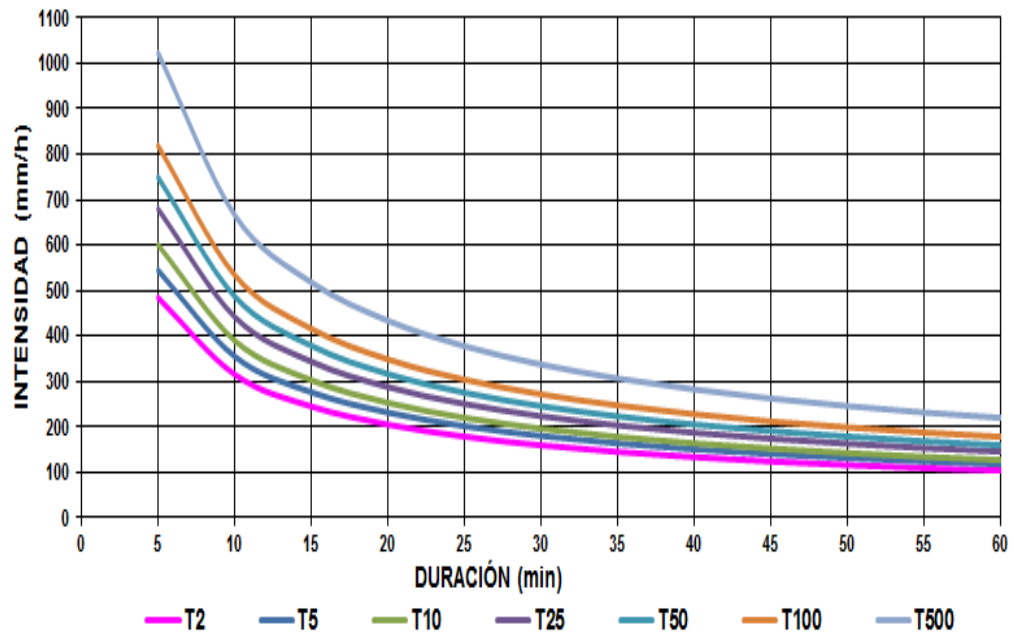


Figura 9: Curva IDF Zona Norte del estado Anzoátegui. Fuente: Autores.

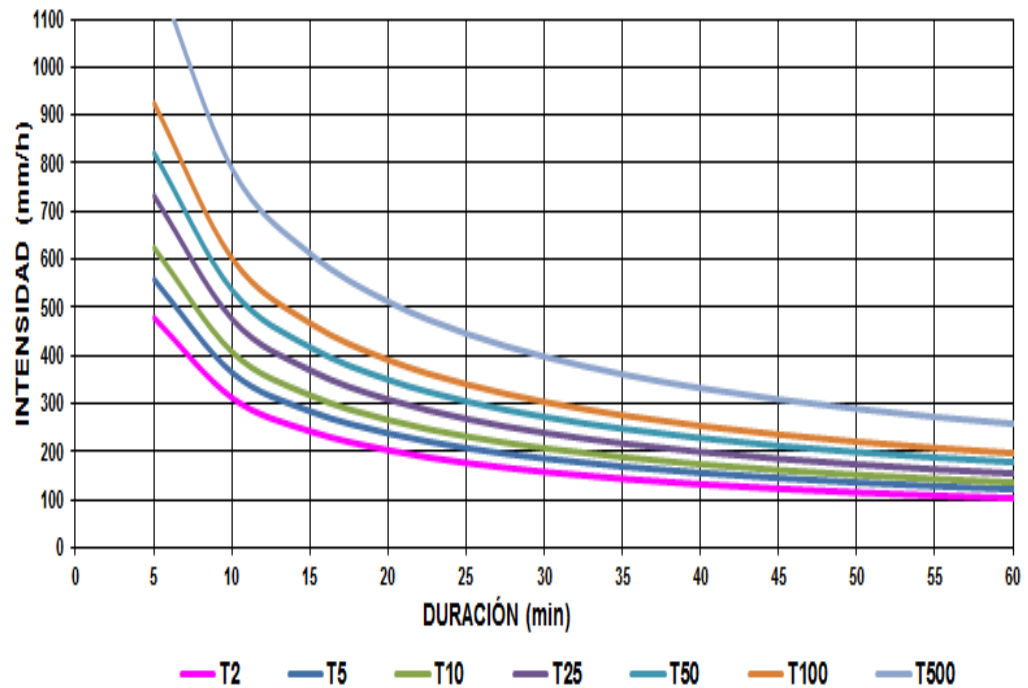


Figura 10: Curva IDF Zona Oeste del estado Anzoátegui. Fuente: Autores.

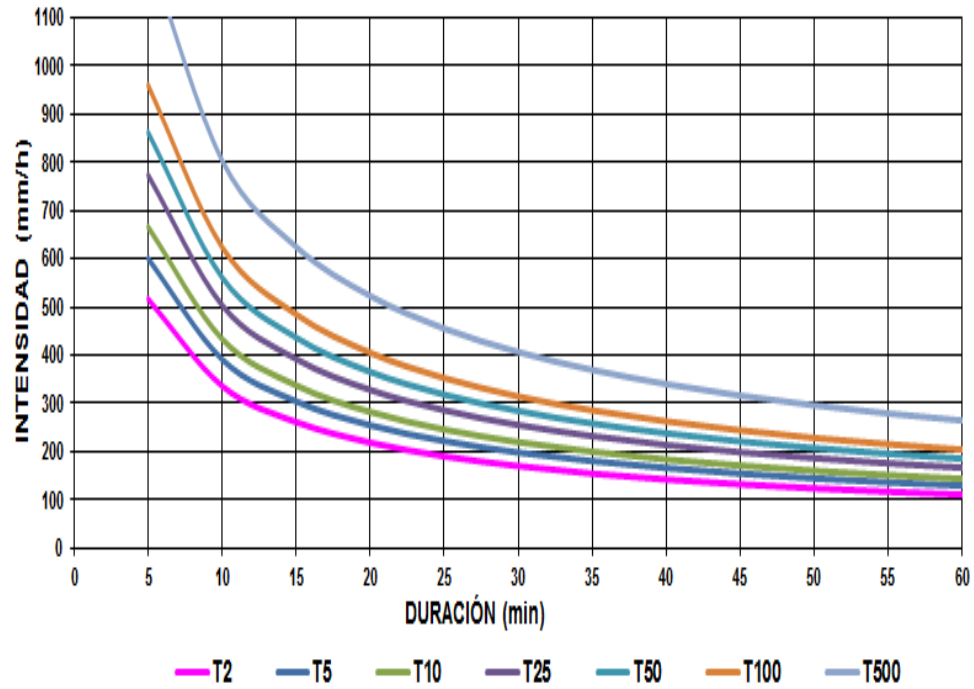


Figura 11: Curva IDF Zona Centro del estado Anzoátegui. Fuente: Autores.

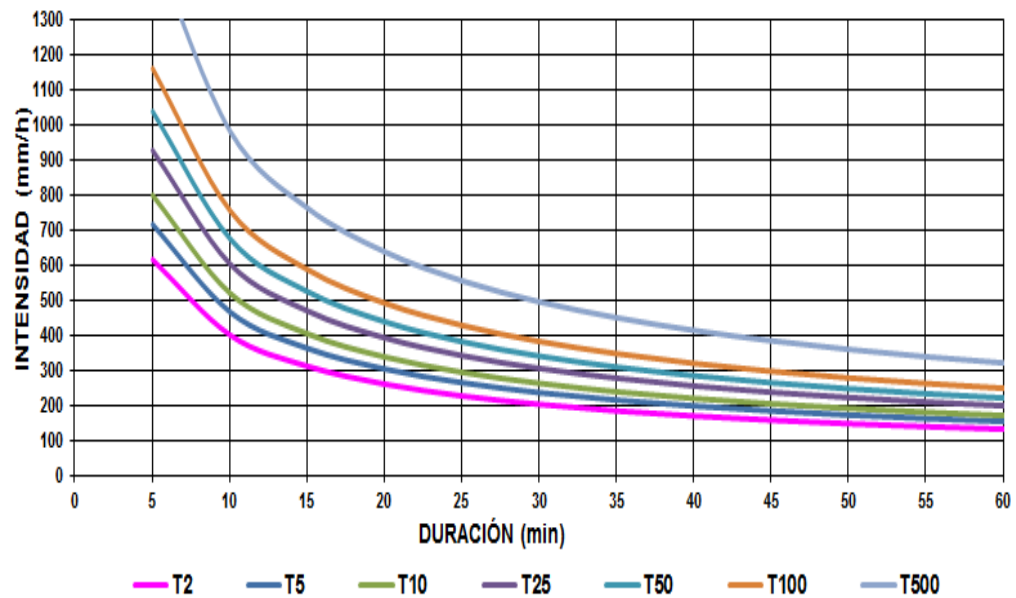


Figura 12: Curva IDF Zona Sur del estado Anzoátegui. Fuente: Autores

4.4 Comparar los resultados conseguidos en la construcción de las curvas IDF para cada Período de Retorno.

Se procedió a realizar la comparación de los resultados obtenidos, con los datos de intensidad, duración y frecuencia elaboradas por Fonseca (1967), a través de las regiones generalizadas en el estado Anzoátegui, así como también, con respecto a la división de zonas propuestas en las etapas anteriores, por lo que en cada división de las subcuencas principales del estado Anzoátegui correspondiendo a: Neverí con la zona Norte con la Región XVII, Unare con la zona Oeste con la Región XVI, Morichal Largo con la zona Centro con la Región III y Orinoco con la zona Sur con la Región II, como se indica en la tabla 10, la región correspondiente con respecto a su subcuenca o zona estudiada.

Tabla 11: Comparación de Regiones Generalizadas y su Zona de Estudio.

Zona de estudio	Región generalizada
Norte (ZN)	XVII
Oeste (ZO)	XVI
Centro (ZC)	III
Sur (ZS)	II

Fuente: Autores.

Tabla 12: Comparación de resultados entre Región Generalizada y Zona Norte.

Duración (min)	5		10		15		25		50	
	XVII	ZN	XVII	ZN	XVII	ZN	XVII	ZN	XVII	ZN
5	425,0 0	482,86	337,5 0	314,44	287,5 0	244,66	235,00	178,35	160,0 0	116,14
10	480,0 0	546,73	387,5 0	356,03	325,0 0	277,02	250,00	201,94	170,0 0	131,50
15	510,0 0	600,61	412,5 0	391,11	350,0 0	304,32	275,00	221,84	180,0 0	144,46
25	560,0 0	680,06	437,5 0	442,85	375,0 0	344,57	287,50	251,18	190,0 0	163,57
50	600,0 0	747,06	475,0 0	486,48	400,0 0	378,52	320,00	275,93	200,0 0	179,68

Fuente: Autores.

Tabla 13: Diferencias de intensidades entre Región Generalizada y Zona Norte.

		Duración (minutos)				
		Region XVII vs Zona Norte				
	0	5	10	15	25	50
5		13,61	-6,83	-14,90	-24,11	-27,41
10		13,90	-8,12	-14,76	-19,22	-22,65
15		17,77	-5,19	-13,05	-19,33	-19,74
25		21,44	1,22	-8,11	-12,63	-13,91
50		24,51	2,42	-5,37	-13,77	-10,16

Fuente: Autores.

En el mismo orden de ideas, realizando un análisis entre regiones y zonas se obtuvieron los datos descritos en las tablas 11 y 12, y por consiguiente una representación gráfica de las mismas teniendo como resultado la diferencia de altura entre las curvas de los dos estudios mencionados. En la Figura 13, se observa que para la zona Norte las intensidades de lluvias mayores a diez (10) minutos, valores menores de el doce por cien (12%) en promedio por debajo de los datos de intensidad determinados por Fonseca (1967) en la Figura 14, demostrando para duraciones menores o iguales a cinco por cien (5%) se tiene un promedio por encima de un dieciocho por cien (18%).

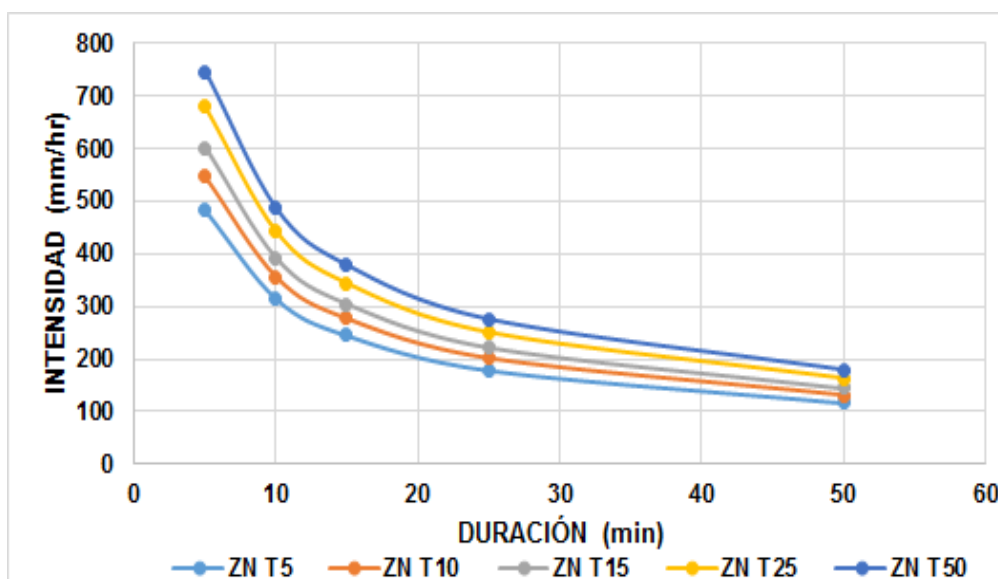


Figura 13: Diferencias de Curvas Intensidades Zona Norte. Fuente: Autores.

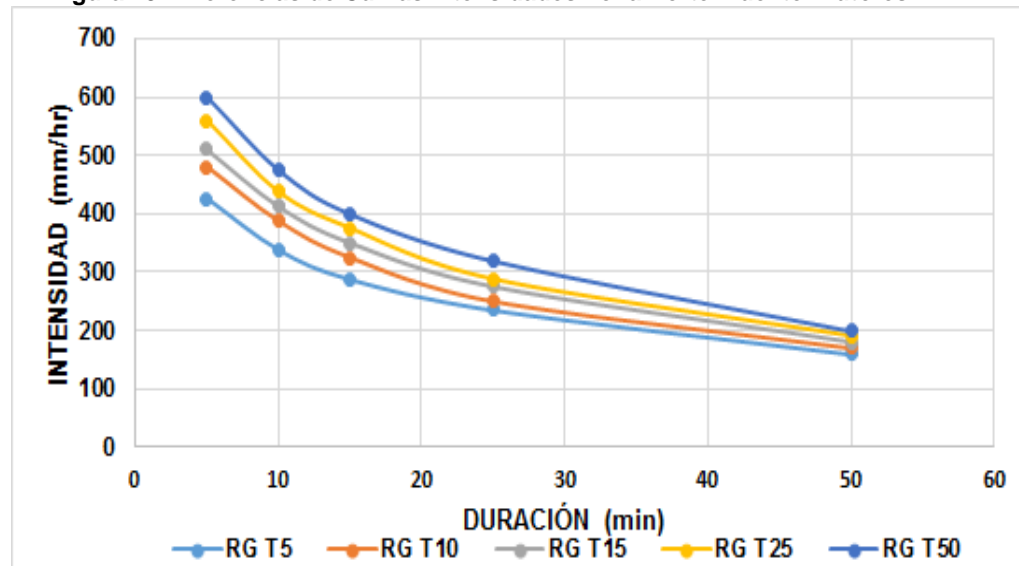


Figura 14: Diferencias de Curvas Intensidades Región Generalizada. Fuente: Autores.

De igual forma, para la zona Oeste para lluvias mayores a diez (10) minutos, el promedio se encuentra por debajo de un veinticinco por cien (25%), para duraciones menores o iguales a cinco (05) minutos, el promedio es de diez por cien (10%). Seguidamente, para la zona Centro con duraciones de diez (10) minutos, el promedio está por debajo de un veinte por cien (20%), para duraciones menores o iguales a cinco (05) minutos, el promedio se encuentra sobre las curvas con un siete por cien (7%). Por último, para la zona Sur para duraciones mayores a quince (15) minutos, el promedio se encuentra por debajo de un seis por cien (6%) y para duraciones menores o iguales a diez (10) minutos, el promedio en las intensidades se encuentra sobre los datos de la región analizada con un veinte por cien (20%).

En definitiva, para los valores de duración menores a cinco (05) minutos, las intensidades correspondientes a 5, 10, 15 25 y 50 años, están sobre los diecisiete por ciento (17%) en promedio para todas las regiones, por lo que para duraciones menores o iguales a los cinco (05) minutos, se

tiene valores sobre estimados de la intensidad, por los mostrados Fonseca (1967), en el Manual de Drenaje del MOP. En segunda instancia los valores de intensidad de lluvia para precipitaciones con duraciones mayores de diez (10) minutos están por debajo de un quince por cien (15%) en todas las zonas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como etapa definitiva en el desarrollo del presente proyecto de investigación, se realizaron y plantearon las conclusiones, y recomendaciones presentadas a continuación:

5.1 CONCLUSIONES

- En las inspecciones a las estaciones permitió tener un amplio conocimiento acerca de las precipitaciones máximas correspondientes a las zonas Norte, Oeste, Centro y Sur del estado Anzoátegui, con lo que se pudo constatar los diferentes valores de precipitación carentes y compararlos con los registros ya existentes.
- Algunos de los datos recopilados no se tomaron en cuenta por no establecer un valor real de precipitación, lo cual indica que los registros fueron evaluados a partir de eventos ocurridos anteriormente, observando la diferencia de valores máximos por zonas ocurridos en cada año.
- Se evidenció que en el cálculo de las precipitaciones máximas mediante el método de Valores Extremos Generalizado (GEV), aplicado en las subcuencas, el promedio obtenido en cada una de ellas varía dependiendo del período de retorno y del tiempo de duración de lluvias proporcionadas a las zonas o cuencas adyacentes.
- Durante la elaboración de las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), fue necesario recolectar los datos de las frecuencias estudiadas que se ampliaron para cada zona, graficando los valores de intensidad expresada en (mm/h) y tiempo de duración en (min).
- Al realizar la comparación entre los resultados obtenidos con los datos de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) elaboradas por Fonseca (1967), se observó la diferencia de intensidades entre regiones

generalizadas y zonas de estudio, correspondientes a las intensidades de lluvias para cada zona, las cuales varían en los porcentajes dependiendo del tiempo de duración en minutos.

5.2 RECOMENDACIONES

Una vez desarrolladas las conclusiones de la investigación, fundamentadas las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF), del estado Anzoátegui, se propusieron las siguientes recomendaciones para trabajos consecutivos:

- Para próximos estudios se sugiere incrementar las visitas a las estaciones correspondientes al estado Anzoátegui con la finalidad de lograr recolectar valores verdaderos de precipitación en cada una de las regiones seleccionadas.
- La actualización anual de los datos de precipitaciones ocurridas en el estado debido a los cambios climáticos presentados actualmente con la finalidad de obtener una menor dispersión de datos en el análisis de los registros pluviográficos proporcionados por el Ministerio Popular del Ambiente.
- Realizar mantenimiento continuo a las estaciones pluviométricas del estado y a todas las existentes en el territorio nacional, así como también a la pagina web del INAMEH, la cual permite el acceso a información pluviométrica, necesaria para su visualización y posibles estudios. Es importante tener un respaldo de esta información para así evitar la pérdida de datos.
- En caso de ser necesario realizar nuevas propuestas de Curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) que no estén contempladas en el Manual de Drenaje, se recomienda al Ministerio de Obras Públicas, Venezuela, que se estudie la propuesta realizada en el presente trabajo

para futuras actualizaciones del MOP (1967) y todas las zonas que comprende.

- Fomentar los estudios hidrográficos en todo el estado y territorio nacional, los cuales permiten el planteamiento de diseño de infraestructuras, obras hidráulicas y la planificación de otros proyectos de ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, P., y SIERRA, L. (2013). Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidad y parámetros de ajuste. *Revista Facultad de Ingeniería UPTC*, 22 (35), 25-33.
- ANDERSON, D. SWEENEY, D. y WILLIAMS, T. (1999). Estadística para administración y economía. Séptima Edición. México. Thompson.
- APARICIO, F. (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Balderas, México: Limusa.
- ARIAS, F. (2012). El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica. Sexta Edición. Caracas: Episteme.
- BASTIDAS, A (2010). Estimación de las Intensidades y Duraciones para diferentes Periodos de Retorno de la Precipitación en el Área de Influencia de la Estación Meteorológica del Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica de la UCV. Trabajo de grado en ingeniería meteorológica publicado. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- BENÍTEZ, A. (2002). Curvas de Intensidad, Frecuencia y Duración. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca, Chile.
- BENZÉCRI, J. (1976). L'analyse des données. Dunod, París. Recuperado el 24 de mayo de 2018.
- CASTILLO, D. A. (2009). Modelización estocástica de precipitaciones máximas para el cálculo de eventos extremos a partir de los periodos de retorno mediante R. Recuperado el 4 de mayo de 2018, <http://www4.ujaen.es/~ajsaez/informe.html.LyXconv/informe.html>
- CARCIENTE, J (1980). Carreteras, estudio y proyecto. Segunda edición. Caracas: Ediciones Vega.
- CHOW, V. MAIDMENT, D. y MAYS, L. (1994). Hidrología aplicada. Santa Fe de Bogotá: Mc. Graw- Hill.
- CAVIEDES, C. N. (2001). El niño en la historia: Storming Through the Ages. Universidad de Florida, Estados Unidos. Recuperado el 4 de mayo de 2018.
- DE SALAS, L. (2004). Regionalización de leyes IDF para el uso de modelos hidrometeorológicos de estimación de caudales. Trabajo de grado doctoral en ingeniería forestal publicado. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- DUARTE, A Y MARTÍNEZ, S. (2011). Manual práctico de control de costos en obras civiles, aplicado a construcción de edificaciones. Enfoque básico para el ingeniero. Trabajo de grado en ingeniería civil publicado. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- GUEVARA, E., y CARBALLO, N. (2008). Modelo IDF regional para el estado Cojedes, Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 15 (3), 53-63.

- HERSHFIELD, D. (1961). Rainfall frequency atlas of the United States for durations from 30 minutes to 24 hours and return periods from 1 to years. Technical Paper No. 40. Washington D.C: Weather Bureau, U.S.D Commerce.
- LOPEZ, C. (2011). Análisis Hidrológico en cuencas con información escasa. Trabajo de grado en ingeniería civil publicado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- MANZANO, L. Y RODRÍGUEZ, D. (2007). Determinación de las Ecuaciones de Intensidad – Duración – Frecuencia de Precipitaciones para el Estado Falcón. Trabajo de grado en ingeniería civil publicado. Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela.
- Ministerio de Obras Públicas. (1967). Manual de drenaje. Recuperado de <http://www.mppop.gob.ve/>
- MINTEGUI, J. Y LOPEZ, F. (1990). La ordenación agrohidrológica en la planificación. España: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno de Vasco.
- RODAS, I. (2002). Estadística. Cuarta Edición. México: Mc. Graw-Hill.
- RUIZ, D. (2004). Manual de estadística. Recuperado el 30 de julio del 2017 de, <http://www.eumed.net/cursecon/libreria/drm/drm-estad.pdf>
- TÉMEZ, J. (1978). Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Madrid, España 111p: Dirección General de Carreteras. BENÍTEZ, A. (2002). Curvas de intensidad frecuencia y duración. Trabajo de grado en ingeniería forestal publicado. Universidad de Talca, Chile.
- TORRES, E. (2016). Determinación de curvas IDF en la región de Antofagasta, Chile. Trabajo de grado en ingeniería civil publicado. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- WMO. (1986). Manual on estimation of probable maximum precipitation (PMP). *WMO*, 332, 269.
- WEBSTER, A. (2000). Estadística Aplicada a los Negocios y la Economía. Tercera Edición. México: Mc. Graw-Hill.

HOJAS DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	“Propuesta de Curvas Intensidad, Duración Y Frecuencia (IDF) anualmente del estado Anzoátegui, durante el período (1968-2018)”.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Caicuto Medina, Yoviletzy de los Angeles	CVLAC	25.994.463
	e-mail	yoviletzycaicuto11@gmail.com
	e-mail	
Castillo Natera, Noraymar de Jesús	CVLAC	24.983.168
	e-mail	ncn1102@gmail.com
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Máxima precipitación
Curvas IDF
Valores Extremos Generalizado
Cuencas del estado Anzoátegui

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Civil

Resumen (abstract):

Resumen

Actualmente en el área civil, los parámetros de diseño en las obras hidráulicas se ven afectados por los diversos cambios climáticos, los cuales, ocasionan daños en las estructuras por las condiciones extremas de precipitación. En Venezuela se encuentra el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), el cual, cuenta con registros de las intensidades de lluvia ocurridas durante todo el año. Sin embargo, no dispone de un estudio de curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) del estado Anzoátegui, durante un período de 50 años que resulta indispensable para lograr prevenir las variaciones climatológicas. Esta problemática ha conducido a realizar una propuesta que permita actualizar de manera general los años faltantes, en base a dichas intensidades, con el objetivo de prevenir los daños en las infraestructuras. Se recopiló información de las estaciones meteorológicas del estado Anzoátegui, aplicando una clasificación por zonas correspondiente a cada año, por medio del método de Valores Extremos Generalizado (GEV).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail										
Jhonatan A. Martínez G.	ROL	CA		AS		TU	X	JU			
	CVLAC	15.376.400									
	e-mail	Jhonatanmartinez@udo.edu.ve									
	e-mail										
Anabel González	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	CVLAC	16.573.233									
	e-mail	anabelyoedelin@hotmail.com									
	e-mail										
Gabriel Velásquez	ROL	CA		AS		TU		JU	X		
	CVLAC	20.741.728									
	e-mail	gvelasquezcenteno@gmail.com									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2019	12	12

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Noraymar de Jesús Castillo Natera	Application/word

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: INTEMPORAL

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniería Civil

Nivel Asociado con el Trabajo:

Pregrado

Área de Estudio:

Departamento de Ingeniería Civil

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad De Oriente / Núcleo de Anzoátegui/ Extensión Cantaura

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CUNPEL
Secretario

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR *[Firma]*
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SECRETARÍA
CONSEJO UNIVERSITARIO

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

Caicuto M. Yoviletzy de los A.

AUTOR

Castillo N. Noraymar de J.

AUTOR

Prof. Jhonatan Martínez

TUTOR