

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**MODELAMIENTO HIDROLÓGICO MEDIANTE EL USO DE  
REGISTROS SATELITALES DE PLUVIOSIDAD PARA LA  
GENERACIÓN DE LAS CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN  
Y FRECUENCIA DE LLUVIAS PARA LA POBLACIÓN DE EL  
TIGRE EN EL MUNICIPIO SIMÓN RODRÍGUEZ, ESTADO  
ANZOÁTEGUI, VENEZUELA**

**TRABAJO FINAL DE  
GRADO PRESENTADO POR  
LOS BACHILLERES  
HERNÁNDEZ B., NATACHA  
R. Y MARCANO G.,  
MICHAEL J. PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO**

**CIUDAD BOLÍVAR, FEBRERO DE 2024**



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

**ACTA DE APROBACIÓN**

Este Trabajo de Grado, titulado: **“MODELAMIENTO HIDROLÓGICO MEDIANTE EL USO DE REGISTROS SATELITALES DE PLUVIOSIDAD PARA LA GENERACIÓN DE LAS CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA DE LLUVIAS PARA LA POBLACIÓN DE EL TIGRE EN EL MUNICIPIO SIMÓN RODRÍGUEZ, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA”**, presentado por los bachilleres, **HERNÁNDEZ BOLÍVAR, NATACHA ROSMARY** de cédula de identidad No **28.240.681** y **MARCANO GUTIÉRREZ, MICHAEL JOSÉ** de cédula de identidad No **28.111.393**; como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO GEÓLOGO** ha sido **APROBADO** por el jurado integrado por los profesores de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente.

Nombre:

Firma:

Prof. Francisco Monteverde

\_\_\_\_\_  
(Asesor)

Prof. Juan España

\_\_\_\_\_  
(Jurado)

Prof. Karla Padilla

\_\_\_\_\_  
(Jurado)

\_\_\_\_\_  
Prof. Francisco Monteverde  
Jefe de Dpto. de Ing. Geológica

\_\_\_\_\_  
Prof. Francisco Monteverde  
Director de Escuela de Ciencias de la Tierra

En Ciudad Bolívar, a los 07 días del mes de febrero de 2024

## DEDICATORIA

En primer lugar, a **Dios** por darme la vida, por ser mi guía a lo largo de este camino y darme fortaleza para continuar en aquellos momentos de debilidad y dificultad.

A mis padres, **Natalia Bolívar** y **Romel Hernández** por su amor, su apoyo incondicional y por ser esa razón el más grande aliciente para el cumplimiento de mis objetivos, que significan alegría y orgullo para ellos y para mí.

A mi familia, mi hermano **Ronald Hernández**, mis abuelos **Natanael Bolívar** y **Amanda Martínez** y a mi tía **Josefina de Bolívar** por siempre estar para mí.

A mi pareja, **Alejandro Jiménez** por brindarme su apoyo desde el inicio de la carrera.

A mi grupo de estudio, mis compañeros **Aguirre Fraviana**, **Ortega Arellis**, **Bellorin Oriana**, **Luna Edymar**, **Ornoz Yamileths**, **Alvelaez Bermaris** y especialmente a mi colega y amigo **Marcano Michael** por ser mi apoyo incondicional a lo largo de la carrera.

A todas las personas que me apoyaron durante estos 5 años de estudio, es para mí una gran satisfacción poder dedicarles a ustedes, lo que con mucho esfuerzo, esmero y dedicación me he ganado.

*Natacha Rosmary Hernández Bolívar*

## DEDICATORIA

Primeramente, a **Dios** por otorgarme vida, salud, sabiduría y haberme guiado a lo largo de mi carrera.

A mi familia, **Crispin Marcano (QEPD), Ceila Gutiérrez, Yezenia Marcano, y Criseila Marcano**, por creer en mí en todo momento, por su amor, comprensión y apoyo durante mi etapa de estudio.

A mi colega **Natacha Hernández** por ser una excelente compañera de estudio y mi apoyo a lo largo de toda la carrera.

A mis compañeros de la Universidad, en especial, **Josmarys Cornieles, Arelsis Ortega, Fraviana Aguirre, Edymar Luna, Fabiangely Franco y Oriana Bellorín**, por acompañarme en esta etapa, por los momentos buenos y malos, por las noches de desvelos, y por el apoyo brindado a lo largo de la carrera.

A mis amigos fuera de la universidad, en especial, **Hermógenes Pérez, Astrid Ríos, Ederlis Calojero**, por siempre estar ahí apoyándome en todo momento.

*Michael José Marcano Gutiérrez*

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a la Universidad de Oriente por habernos aceptado ser parte de ella y brindarnos todas las herramientas para formarnos como profesionales.

A nuestros profesores por impartir sus conocimientos durante los 5 años de la carrera, siendo una pieza clave en nuestra formación como Ingenieros Geólogos.

Al **Ing. Dafnis Echeverría** por la tutoría y la paciencia que nos brindó para llevar a cabo este proyecto con mucho éxito.

Por último y no menos importante, le damos las gracias a las instituciones empresas y personas que de alguna u otra forma contribuyeron a la realización del presente trabajo de grado.

*Natacha Rosmary Hernández Bolívar*

*Michael José Marcano Gutiérrez*

## RESUMEN

Las necesidades de diseñar obras hidráulicas de drenaje que satisfagan los requerimientos de los nuevos urbanismos que se construirán en la población de El Tigre ameritan la actualización de las herramientas, tecnologías y métodos para el cálculo adecuado de tales infraestructuras u obras civiles. Tal es el caso, de las curvas de Intensidad, duración y frecuencia de lluvias de la zona de estudio, la cual es indispensable para el cálculo de los caudales que se drenarán, factor este, que influye significativamente en el dimensionamiento de las obras de drenaje. En ese sentido, se requiere la recopilación de los datos pluviométricos de la zona de estudio que abarquen una ventana temporal de al menos 10 años de datos de lluvias máximas diarias; sin embargo, las empresas e institutos estatales que administran las estaciones climatológicas del norte de la región Guayana han considerado que esta no es una información disponible al público y ha sido declarada de carácter estratégico manteniéndola literalmente “secuestrada” Por otra parte, las bases de datos hidrometeorológicas administradas por el INAMEH no están actualizadas por lo que no se dispone de los registros vigentes y adecuados de todos los parámetros climáticos de las estaciones cercanas al área de estudio, con especial énfasis en la información pluviométrica. En virtud de ello, se recabó información de precipitación proveniente de satélites artificiales que se encuentra disponible en servidores de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Este trabajo se enmarca en un tipo de investigación analítica en la cual se aplica una estrategia de campo y documental. En primer lugar, se efectuó un reconocimiento de la zona para validar las condiciones bióticas, de la hidrografía y de los suelos. Se construyeron las curvas IDF para la zona, utilizando el criterio de Gumbel, con los datos de las precipitaciones máximas diarias extraídas del servidor. Una vez construidas las curvas IDF estas se cotejarían contra las publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967). De la aplicación antes descrita se produjeron como resultados relevantes que en primer lugar el clima de la zona según Holdridge es Bosque seco tropical (Bst) y según Köppen se clasifica como clima Cálido tropical de sabana isotérmica (Awgi). La pluviosidad de la zona alcanza unos 576 mm anuales. Las curvas IDF se construyeron basándose en 22 años (1998– 2019) de mediciones de la pluviosidad bajo el criterio de los valores extremos de Gumbel y los modelos de Cheng-Lung Chen(1983) y de F.C. Bell (1969). La comparación de las curvas IDF construidas muestran para los períodos de retorno 5, 10, 25, 50 y 100 años, estimaciones de intensidades de lluvia moderadamente inferiores a las contenidas en las curvas IDF publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967).

# CONTENIDO

	Página
<b>ACTA DE APROBACIÓN</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>CONTENIDO</b> .....	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	xii
<b>TABLA DE APÉNDICES</b> .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR</b> .....	4
1.1 Planteamiento del problema .....	4
1.2 Objetivos de la investigación .....	8
1.2.1 Objetivo general.....	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 Justificación de la investigación.....	9
1.4 Alcance de la investigación.....	9
<b>CAPÍTULO II. GENERALIDADES</b> .....	10
2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio.....	10
2.2 Características generales del medio físico y biótico del área.....	13
2.2.1 Geología.....	13
2.2.2 Geomorfología y suelos.....	14
2.2.3 Vegetación .....	18
2.2.4 Aspectos hidrográficos .....	20
<b>CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO</b> .....	22
<b>BASES TEORICAS</b> .....	22
3.1 Antecedentes de la investigación .....	22
3.2.1 Precipitación .....	24
3.2.2 Evaporación .....	26
3.2.3 Temperatura.....	27
3.2.4 Medidas pluviométricas.....	28
3.2.5 Medición de la precipitación .....	30
3.2.6 Hidrología.....	30
3.2.7 Series de información hidrológica.....	31

3.2.8 Ciclo hidrológico .....	32
3.2.3 Sistema hidrológico .....	33
3.2.9 Esgurrimiento.....	35
3.2.10 Atmósfera .....	35
3.2.11 El clima.....	35
3.2.12 Clasificación del clima .....	36
3.2.13 Elementos y factores del clima.....	37
3.2.14 El clima en Venezuela .....	38
3.2.15 Análisis de frecuencia.....	43
3.2.16 Variación de la intensidad con la duración.....	45
3.2.17 Curvas de intensidad-duración-frecuencia .....	45
3.2.18 Intensidad.....	48
3.2.19 Duración .....	49
3.2.20 Aplicación de las curvas IDF.....	50
3.2.21 Construcción de las curvas IDF.....	51
3.2.22 Distribución de probabilidad de Log Pearson tipo III .....	53
3.2.23 Distribución de probabilidad de valores máximos .....	55
3.2.24 Distribución de probabilidad de Gumbel.....	55
3.2.25 Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) .....	56
3.3 Bases legales.....	60
3.3.1 Leyes de meteorología e hidrología nacional .....	60
<b>CAPÍTULO IV. METODOLOGIA DE TRABAJO .....</b>	<b>63</b>
4.1 Tipo de investigación .....	63
4.2 Diseño de la investigación.....	64
4.2.1 Investigación documental .....	64
4.3 Población y muestra de la investigación .....	65
4.3.1 Población de la investigación .....	65
4.3.2 Muestra de la investigación .....	65
4.4.1 Técnicas de investigación.....	66
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos .....	67
4.5 Flujograma de la investigación.....	68
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos .....	68
4.6.1 Caracterización climática de la zona de estudio .....	69
4.6.2 Determinación de intensidades máximas.....	69
4.6.3 Construcción las curvas intensidad – duración – frecuencia para la zona de estudio .....	70
4.6.4 Comparación de las curvas IDF generadas con las reportadas por el MOP, (1967) en Arocha, (2009).....	70
<b>CAPÍTULO V. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
5.1 Caracterización pluviométrica del área de estudio.....	71



5.1.1 Precipitación .....	71
5.2 Jerarquizar la serie de datos pluviométricos del período seleccionado para la población de El Tigre.....	74
5.3 Construcción de las curvas IDF utilizando los principios de la distribución de Gumbel con base a las precipitaciones máximas anuales.....	76
5.3.1 Estimación del período de retorno empírico ( $T_r$ ) y las probabilidades de excedencia ( $P$ ) y de no excedencia $F(P)$ .....	77
5.3.2 Estimación de estadígrafos requeridos .....	78
5.3.3 Estimación de la prueba de error estándar de ajuste con datos de precipitaciones máximas .....	79
5.3.4 Relación entre la precipitación de diseño de 1 hr y de 24 hr .....	81
5.3.5 Determinación de las curvas IDF por los métodos de Cheng-Lung Chen (1983) y F.C. Bell.....	83
5.3.6 Construcción de las curvas IDF .....	84
5.4 Comparación de las curvas IDF construidas con las curvas IDF publicadas por Arocha (2009) para la región en estudio.....	86
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	89
Conclusiones .....	89
Recomendaciones.....	90
<b>REFERENCIAS</b> .....	91

## LISTA DE FIGURAS

		Página
1.1	Secuencia para derivar las curvas IDF. ....	6
2.1	Localización relativa de la población de El Tigre.....	10
2.2	Ubicación nacional de El Tigre.....	11
2.3	Ubicación relativa de El Tigre.....	11
2.4	Ubicación relativa del área de estudio en El Tigre, al norte del río Tigre.....	12
2.5	Coordenadas UTM de ubicación del área de estudio.....	12
2.6	Relieve de sabana arbustiva.....	15
2.7	Relieve típico de la mesa de Guanipa.....	15
2.8	Vegetación dominante del área de estudio.....	20
3.1	Representación del Ciclo Hidrológico. (Eoarth, 2012).....	33
3.2	Representación del sistema hidrológico. (Estrela, 1992).....	34
3.3	Curva IDF de la región III (Arocha, 1983).....	48
3.4	Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (NASA, 2022).....	56
3.5	Instrumentos del satélite TRMM (NASA, 2022).....	57
3.6	Imagen TRMM con la altura de las columnas de lluvia (huracán Irene el 15/08/2005). Las torres más altas producen la lluvia más intensa, mostradas en rojo.....	58
4.1	Flujograma de la investigación.....	68
5.1	Precipitación diaria (mm/día). Resolución 0.25x0,25 grados. Período 1998- 01-01 01 - 2005-01-01 (Servidor Giovanni NASA, 2023).....	72
5.2	Precipitación diaria (mm/día). Resolución 0.25x0,25 grados. Período 2005-01-01 01 - 2011-01-01 (Servidor Giovanni NASA, 2023).....	72
5.3	Precipitación diaria (mm/día). Resolución 0.25x0,25 grados. Período 2011-01-01 01 - 2017-01-01 (Servidor Giovanni NASA, 2023).....	73
5.4	Precipitación diaria (mm/día). Resolución 0.25x0,25 grados. Período 2017-01-01 - 2019-12-31 (Servidor Giovanni NASA, 2023).....	73
5.5	Formulación y criterio de aplicación de los métodos de Cheng y de Bell.....	84
5.6	Curvas IDF para El Tigre según criterio de Cheng(1983).....	86

5.7	Curvas IDF para El Tigre según criterio de F.C. Bell (1969)	86
5.8	Curvas IDF de Región Hidrológica III (MOP, 1967 en Arocha, S., 2009).....	87

## LISTA DE TABLAS

		Página
5.1	Pluviosidad máxima mensual (mm) para 24 horas para El Tigre, período 1998 – 2019.....	75
5.2	Registros máximos anuales de pluviosidad de El Tigre ordenados y corregidos.....	76
5.3	Estimación de Período de retorno y probabilidades de excedencia y de no excedencia.....	78
5.4	Resumen de la estimación de parámetros estadísticos.....	79
5.5	Estimación de la precipitación para el período de retorno empírico	80
5.6	Precipitaciones de diseño para 24 hr según el Tr determinado.....	81
5.7	Precipitaciones de diseño de 24 hr y de 1 hr.....	82
5.8	Valores conspicuos de precipitación.....	83
5.9	Ecuaciones de las Variables regionales de Cheng (1983).....	83
5.10	Valores de las Variables regionales de Cheng –Lung Chen.....	84
5.11	Intensidad, duración y Frecuencia de precipitaciones en El Tigre según el criterio de Cheng (1983).....	85
5.12	Intensidad, duración y frecuencia de precipitaciones en El Tigre según el criterio de F.C.Bell (1969).....	85

## TABLA DE APÉNDICES

		Página
<b>A</b>	<b>BASE DE DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA PARA LA POBLACIÓN DE EL TIGRE (PERÍODO 1998 .2019)</b> .....	99
	A.1 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 1998 (NASA, 2022).....	100
	A.2 Registro satelital de precipitación diaria (mm) la población de El Tigre para el año 1999 (NASA, 2022).....	100
	A.3 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2000 (NASA, 2022).....	101
	A.4 Registro satelital de precipitación diaria (mm) la población de El Tigre para el año 2001 (NASA, 2022).....	101
	A.5 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2002 (NASA, 2022).....	102
	A.6 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2003 (NASA, 2022).....	102
	A.7 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2004 (NASA, 2022).....	103
	A.8 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2005 (NASA, 2022).....	103
	A.9 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2006 (NASA, 2022).....	104
	A.10 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2007 (NASA, 2022).....	104
	A.11 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2008 (NASA, 2022).....	105
	A.12 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2009 (NASA, 2022).....	105
	A.13 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2010 (NASA, 2022).....	106

	2022).....	
A.14	Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2011 (NASA, 2022).....	106
A.15	Registro satelital de precipitación diaria (mm) la población de El Tigre para el año 2012 (NASA, 2022).....	107
A.16	Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2013 (NASA, 2022).....	107
A.17	Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2014 (NASA, 2022).....	108
A.18	Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2015 (NASA, 2022).....	108
A.19	Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2016 (NASA, 2022).....	109
A.20	Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2017 (NASA, 2022).....	109
A.21	Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2018 (NASA, 2022).....	110
A.22	Registro satelital de precipitación diaria (mm) para la población de El Tigre para el año 2019 (NASA, 2022).....	110

## INTRODUCCIÓN

El diseño de idóneas obras civiles de drenaje, deben incluir necesariamente las variables relacionadas a la magnitud de las aguas de escorrentía pluvial que se movilizarán por calles, avenidas, urbanismos y poblaciones en general. Entre estos parámetros, ocupa un lugar preponderante, la precipitación de la región donde se ubica el área de estudio donde se pretende anclar una obra civil de drenaje.

Por otro lado, la actividad antrópica es una de las principales causas de los cambios en el ciclo hidrológico de las cuencas hidrográficas, registros de precipitación y caudales pueden estar cambiando debido al efecto de los cambios en el uso de la tierra en las cuencas y debido al aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Una manera de calificar las precipitaciones, es a través de la intensidad, su distribución en el espacio y en el tiempo, y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia. Las curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvia (IDF) juegan un papel importante en la ingeniería y gestión de los recursos hídricos. Las aplicaciones de las curvas IDF van desde evaluar eventos de lluvia, clasificar regímenes climáticos, hasta derivar tormentas de diseño y asistir en el diseño de sistemas de drenaje urbano. En este sentido se relacionan estas tres variables, obteniéndose así las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), las que están construidas con base a intensidades máximas de precipitación, teniendo un rol importante al permitir establecer diseños de intensidades, para poder calificar las precipitaciones es necesario un gran número de observaciones extraídas de series pluviográficas, con el objetivo de deducir el patrón de comportamiento en una zona determinada y permitir un análisis.

Las curvas IDF se estiman bajo un concepto estacionario, el cual considera que la precipitación permanece constante en el tiempo. Estudios recientes concluyen que en lugares donde hay variabilidad climática es prudente construirlas bajo un enfoque no estacionario, para no incurrir en una subestimación de los eventos extremos de la precipitación y evitar así el colapso de obras hidráulicas y de infraestructura antes del periodo de vida útil de la obra.

Este proyecto pretende analizar la construcción de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para estaciones pluviométricas con base a las Estaciones pluviográficas cercanas; y cuya finalidad es dar cuenta de la relación entre la intensidad horaria y la intensidad de precipitación en 24 horas. Con ello se espera determinar algún modelo de conducta que permita explicar el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación, además de poner de una manera más fácil a los investigadores una herramienta de análisis y planificación.

Esta investigación se estructura en cinco (5) capítulos;

En el primero se plantea la situación del estudio, objetivos general y específicos, alcances y limitaciones.

En el segundo capítulo se encuentran rasgos generales del área de estudio, tal como su ubicación y características del relieve.

El tercer capítulo muestra los antecedentes de estudio en la zona y conceptos teóricos y prácticos que enriquecen el contenido del trabajo.

El cuarto capítulo trata sobre la metodología donde se describe el tipo de investigación, su diseño, la población y muestra de la investigación, el flujograma y el procedimiento para el logro de los objetivos.



En el quinto capítulo se presentan los resultados de la investigación y por último se muestran las conclusiones y recomendaciones relevantes de la investigación.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema

Los estudios y proyectos destinados al manejo del agua pluvial requieren de la disponibilidad de información básica apropiada y consistente para su desarrollo, siendo el conocimiento de las precipitaciones máximas en el área de interés del proyecto uno de los puntos elementales para el entendimiento de los procesos hidrológicos.

Para lograr esto es imprescindible estudiar las precipitaciones y conocer su distribución temporal y espacial en el tiempo, ya que estas son motivo de interés para diversos fines, por ejemplo: meteorológico, agrícola, hidrológico y, sobre todo para un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras hidráulicas como es el caso de los sistemas de drenajes urbanos. Por esto, conocer las intensidades de precipitación en un sitio de interés para distintos períodos de retorno se hace fundamental para estimar los caudales de diseño en obras de diversa índole (ej., drenajes viales y urbanos, puentes, control de inundaciones, pequeñas presas, etc.).

En cualquier parte del mundo, existe un fenómeno natural donde el agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente, es decir, es la parte donde que corresponde al volumen de agua que avanza sobre la superficie de tierra conduciéndose a la parte más baja del terreno.

La precipitación, como variable de estado hidrológica, se puede caracterizar a través de la intensidad, su distribución en el espacio y en el tiempo y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia. Para ello, es necesario contar con un gran número de

observaciones extraídas de series pluviográficas, con el objetivo de definir el patrón de comportamiento en una zona determinada y permitir un análisis o uso posterior. En este sentido, la metodología de mayor uso se relaciona con las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia de lluvia (IDF) son representaciones gráficas de la probabilidad de que ocurra una determinada intensidad de lluvia promedio dentro de un período de tiempo determinado. Proporcionando una relación matemática entre la intensidad de lluvia  $i$ , la duración  $d$  y el período de retorno  $T$  (o equivalente a la frecuencia anual de excedencia  $f$ ), las curvas IDF permiten estimar el período de retorno de un evento de lluvia observado o, por el contrario, de la intensidad de lluvia correspondiente a un período de retorno dado. Las tormentas de diseño derivadas de las curvas IDF se adoptan comúnmente en la ingeniería de recursos hídricos para el diseño de sistemas de drenaje urbano, la evaluación de la resistencia de las estructuras hidráulicas y la evaluación de las vulnerabilidades de inundaciones regionales. Para la obtención de las curvas IDF se realiza mediante la aplicación de una metodología de cálculo que considera el ajuste de los valores de intensidad de precipitación a una Función de Distribución de Probabilidad y para cada duración pre determinada. Una vez que se cuenta con esto, se calculan los valores correspondientes a cada periodo de retorno que se desea estimar y esos valores se grafican; de este modo se permite la construcción gráfica de las curvas IDF. Adicionalmente, cada uno de estos valores de intensidad, asociados a diversos periodos de retorno y en las diversas duraciones consideradas, puede integrarse en un modelo matemático definido y, mediante métodos de regresión lineal múltiple, se pueden encontrar las constantes del modelo, obteniéndose así la expresión matemática de las curvas IDF.

Como se presenta en la Fig. 1.1, los pasos típicos para derivar las curvas IDF son los siguientes (Koutsoyiannis, Manetas. 1998)

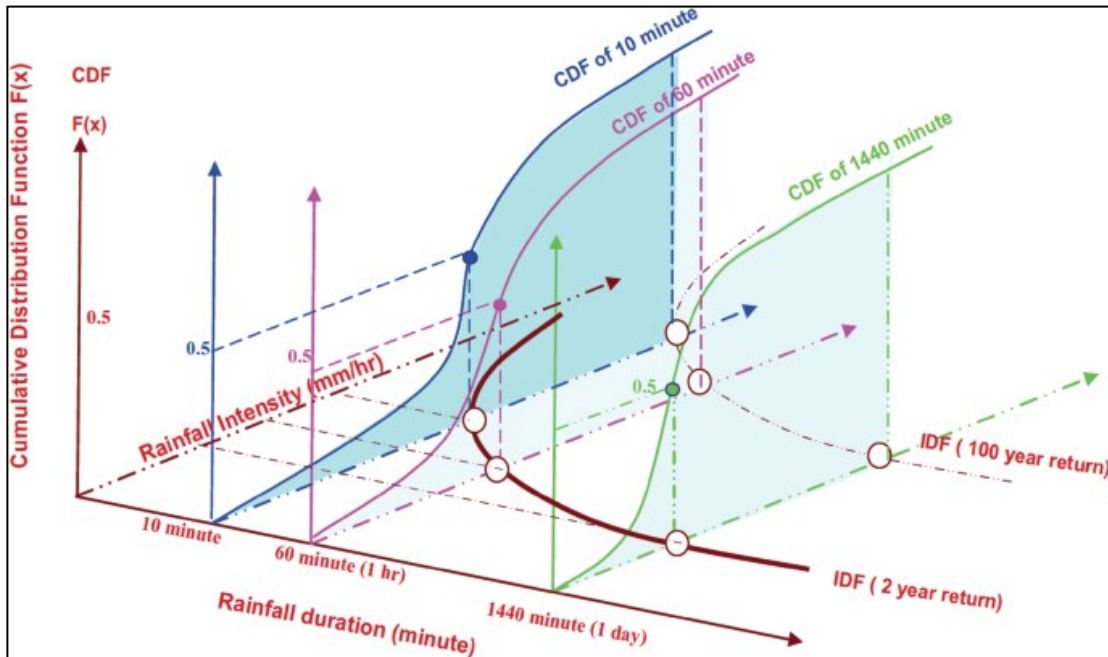


Figura 1.1: Secuencia para derivar las curvas IDF. (Koutsoyiannis, Manetas. 1998)

1. Recolectar las intensidades de lluvia extremas para una duración específica a través del análisis máximo anual;
2. Ajuste de la serie temporal de intensidad de lluvia extrema, para cada duración, a una función de distribución teórica, por ejemplo, Valor extremo generalizado (GEV), Gumbel, Pearson III entre otras.
3. Calcular la intensidad de la lluvia, para cada duración y período de retorno, con base en la función de distribución seleccionada
4. Construir las curvas IDF siguiendo las fórmulas, mediante técnicas de regresión.

Actualmente en Venezuela, el crecimiento indiscriminado de la población ha hecho de altísima vulnerabilidad a eventos meteorológicos extremos, y por ende no se escapa el hecho comprobado y emitido en comunicación mundial de que ha estado ocurriendo un cambio en el clima en el cual el hombre es partícipe de este problema,

además de la variabilidad climática normal del planeta y las localidades. Para hallar estos cambios es importante tener series de datos bastantes largas que permitan hacer análisis exhaustivo y principalmente estadísticos que nos muestren indicios de cambios ocurridos en el clima de una zona determinada del país.

Se propone generar las curvas IDF para la población de El Tigre en el estado Anzoátegui. El Tigre es la capital del municipio Simón Rodríguez y está situada al sur del estado, equidistante al río Orinoco y al mar Caribe, en la mesa de Guanipa, cruzada por el río Tigre, a una altitud de 265 metros, con una temperatura media de 30 grados Centígrados y una precipitación media anual que oscila entre 187 mm y 576 mm anuales. Su población, según datos actualizados de Consejo Nacional Electoral es de 213524 habitantes.

Al construir la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) se podrá permitir un mejor avance a los caudales máximos, que permita explicar el comportamiento de las intensidades máximas de precipitación, además de poner a disposición de los investigadores una herramienta de análisis y planificación., ya que en los últimos años se ha visto afectada por los cambios climatológicos por causa de los fenómenos presentes en esta parte del hemisferio.

Debido a estas causas surgen algunas preguntas o incógnitas basadas en la investigación:

¿Cómo son las características climáticas con base a los registros meteorológicos del área de estudio captados por el satélite TRMM y almacenados en el servidor Giovanni de la *National Aeronautic and Space Administration*?

¿Cuáles serían los registros de las precipitaciones climatológicas del área de estudio?

¿Cuál será el diseño de las curvas IDF aplicable para la zona de estudio?

¿Qué relación existe entre las curvas IDF construidas en esta investigación con las curvas IDF publicadas por Arocha (2009) para la región en estudio?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Analizar las características pluviométricas de la población de El Tigre para la construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), en el municipio Simón Rodríguez, estado Anzoátegui, Venezuela.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar climáticamente el área de estudio con base a variaciones estacionales de la precipitación, evaporación, humedad, temperatura e insolación

2. Jerarquizar la serie de datos pluviométricos del período seleccionado para el área de estudio.

3. Construir las curvas IDF utilizando los principios de la distribución de Gumbel con base a las precipitaciones máximas diarias del período analizado.

4. Comparar las curvas IDF construidas con las curvas IDF publicadas por Arocha (2009) para la región en estudio.

### **1.3 Justificación de la investigación**

La información de pluviosidad obtenida a partir de los registros almacenados en el servidor Giovanni de la NASA será de vital importancia para medir tanto la cantidad de lluvia como su tiempo de precipitación y establecer su lugar de destino con la finalidad de prevenir desastres naturales y crear políticas públicas destinadas a regular, entre otras acciones, desarrollos inmobiliarios, áreas de reserva ecológica, ubicación de infraestructuras urbanas, industrial e hidro-agrícola, por mencionar las más importantes.

De acuerdo a lo antes mencionado, con este proyecto de investigación se quiere obtener un registro de los datos de las precipitaciones máximas anuales durante el periodo de 1998 al 2019, así poder anticipar o prevenir los períodos donde la precipitación es mayor y en parte del área de estudio se verá más afectada y de esta manera tomar las previsiones pertinentes y evitar desastres catastróficos

### **1.4 Alcance de la investigación**

Para el desarrollo de la presente investigación se identificará la población de datos climatológicos que afectan a las cuencas hidrológicas que se encuentran ubicadas en el área de estudio. Así mismo, se analizarán las precipitaciones máximas ocurridas en el área de estudio durante un período aproximado de 22 años, medidas por el satélite TRMM y registradas en el servidor Giovanni. Se construirán las curvas Intensidad – Duración y Frecuencia (IDF) de las precipitaciones utilizando los criterios estadísticos de Gumbel. Finalmente, se establecerá la vigencia de las curvas IDF publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967) y reeditadas por Arocha (2009) para la misma zona de estudio mediante la comparación de ellas con las construidas para este estudio.

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 Ubicación relativa y geográfica del área de estudio

El Tigre es una ciudad de Venezuela ubicada en el Estado Anzoátegui. Es la capital del Municipio Simón Rodríguez y está situada al sur del estado Anzoátegui, equidistante al río Orinoco y al mar Caribe, en la mesa de Guanipa.



Figura. 2.1 Localización relativa de la población de El Tigre.





Figura 2.2. Ubicación nacional de El Tigre.



Figura 2.3 Ubicación relativa de El Tigre.



Figura 2.4 Ubicación relativa del área de estudio en El Tigre, al norte del río Tigre.



Figura 2.5 Coordenadas UTM de ubicación del área de estudio.

## **2.2 Características generales del medio físico y biótico del área**

### **2.2.1 Geología**

En general, 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. INE (2013)

Desde el punto de vista geológico, la zona de estudio pertenece a la Formación Mesa, de origen sedimentario (Cuaternario, Pleistoceno); específicamente, la Mesa de Guanipa ocupa la parte más elevada de los Llanos Orientales, cuya altitud varía entre 220 y 320 msnm, cuya topografía es esencialmente plana con escasa pendiente. Las “Mesas Orientales” en Venezuela representan el bloque más grande y uniforme de la Formación Mesa, cuya composición litológica cambia a distancias cortas, con suelos altamente meteorizados, ácidos, constituidos por capas superficiales muy arenosas dominadas por cuarzo de grano fino a grueso y gravas de grano fino; con variables aumentos de arcillas (predominando las caolinitas) con la profundidad. Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

La mayoría de la Altiplanicie de Mesa posee un carácter depositacional, la cual se manifiestan con la presencia de características que dependen de los procesos sobre el que se depositó un manto superficial de sedimentos aluviales.

### **2.2.2 Geomorfología y suelos**

En general el estado Anzoátegui está ocupado 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 2321Km<sup>2</sup>, 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. INE (2013)

En el área de estudio predominan las unidades fisiográficas de llanura y valles de los ríos Tigre, Guaraguara y Los Riecitos. Las extensas llanuras se caracterizan por paisajes de relieve plano a moderadamente ondulado, con pendientes que varían entre 0,5 y 8 %. El paisaje de valle tiene forma de depresiones alargadas y estrechas. Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

La zona está limitado por el valle del río Guanipa, bordeado en su límite Sur (margen izquierda) mayormente por un tipo de paisaje bien diferenciado como es la Altiplanicie de Mesa, cuyo tipo de relieve es una mesa y la forma del terreno es ligeramente inclinado, la pendiente de esta unidad geomorfológica está entre 2% y 4%



Figura 2.6 Relieve de sabana arbustiva.



Figura 2.7 Relieve típico de la mesa de Guanipa.

El área de estudio presenta un potencial morfodinámico que varía entre baja, a moderado, esta clase de potencial corresponde a la superficie plano- ligeramente inclinado, debido a que los factores de precipitación, cobertura vegetal y pendiente no favorecen los procesos erosivos severos. Puede decirse que la cantidad de lluvia es relativamente baja, la vegetación es sabana arbustiva y potreros, con pendiente entre 2% a 4%.

Por lo que se concluye que la erosión es de tipo escurrimiento difuso, de intensidad ligera y de modalidad generalizada. Sin embargo, el área conformada por las cuencas hidrográficas de El Tigre

Se considera una superficie morfodinámicamente activa de significativa inestabilidad por estar afectada anualmente por frecuentes e intensos eventos de inundación, que aportan nuevos sedimentos a la superficie de estas geoformas y construyen gradualmente por socavación geo-formas menores como canales o meandros y lagunas, de configuración variable en el tiempo.

Estas áreas planas y suavemente inclinadas, han sido intervenidas para la construcción de pequeñas viviendas, fundos y uso pecuario, sobre una formación vegetal de sabana arbustiva.

La composición física y química predominante en los suelos es la de areniscas (generadas como remanentes de fondos marinos) y está asociada a índices de baja fertilidad agrícola. en general, son arenosos en superficie, con un contenido variable de arcilla en distintos estratos de profundidad, son ácidos, pobres en materia orgánica y de baja retención de humedad INE, 2013

Los suelos tienen bajas saturaciones en bases intercambiables y de materia orgánica, que los convierte en suelos de muy baja fertilidad y con poca retención de humedad, categorizadas como oligotróficas. Con base en el Sistema de Clasificación del *U.S.D.A. (Soil Taxonomy)*, los suelos presentes corresponden a los grandes grupos: Kandistults, Quartzipsamments, Haplustox, Tropaquents y Ustorthent, donde los procesos formadores que han influido sobre el material parental son laterización o ferralitización, eluviación e iluviación de arcillas, erosión superficial, adición de materia orgánica, pedoturbación y desaturación del complejo adsorbente (gleyzación yacidificación). La Formación Mesa fue modificada por deformaciones

tectónicas locales, erosión regresiva truncamiento de los suelos, coluviación y formación de coraza ferruginosa y como consecuencia se encuentra cortada por valles con cursos de agua encajonados, los cuales difieren en la magnitud de acumulación aluvial. En los fondos de valles coluvio-aluviales se encuentran suelos muy pobremente drenados con altos contenidos de materia orgánica y texturas desde gruesas a medias, los cuales son ácidos, pobres en nutrientes y con baja capacidad de intercambio catiónico, y altas concentraciones de aluminio intercambiable. En el perfil del suelo predominan las texturas franco arenosas, franco arcillosas, franco arcillo arenosas, y arena francosas; los colores son grises a consecuencia del hidromorfismo, y en la superficie pueden presentar materia orgánica poco descompuesta de hasta un metro de espesor, .Schargel (2007) consideró que estos suelos pueden clasificarse como: H: Histosoles, si la capa orgánica tiene un grosor de 40 cm o más; E:Entisoles, si la capa orgánica es delgada (<20 cm), e I: Inceptisoles, si la capa orgánica tiene un grosor entre 20 y 40 cm Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

Los suelos formados en el área, se han desarrollado a partir de sedimentos detríticos que fueron depositados durante el periodo Plio – Pleistoceno. Estos sedimentos han sido sometidos a través del tiempo a una dinámica determinada por un bioclima actual Ombrófilo Macrotérmico, así como, un factor hídrico que han sido determinantes en la formación de los suelos.

Estos suelos exhiben un avanzado desarrollo pedogenético, debido a los intensos procesos de intemperización, a través de prolongados periodos, actuando sobre superficie geomorfológica de relativo grado de estabilidad y condiciones climáticas (bajas precipitaciones y alta temperaturas), que han favorecido la ocurrencia de horizontes de iluviación de arcilla (argílico o kándico).

Estos suelos presentan un avanzado desarrollo evolutivo, son muy profundos (más de 150 cm. de espesor), con colores marrón grisáceo oscuro, marrón amarillento y marrón, en superficie; y en profundidad, rojo amarillento, amarillo rojizo y rojo.

Con respecto a la textura, esta es arenosa y franco arenosa en los primeros estratos; tornándose franco arcillo arenosa, franco arcillosa arenosa en profundidad. Son suelos bien drenados, químicamente exhiben pH fuerte a extremadamente ácido, baja saturación con bases y baja capacidad de intercambio de cationes, condiciones que les confiere una baja a muy baja fertilidad natural. Por último, los suelos de origen aluvial, los cuales poseen un incipiente desarrollo pedogenético, son pocos profundos (< 25 cm), inundable y un nivel freático menos a los 30 cm, de textura franco arcillosa a arcillosa, con colores grises o verdoso.

En general, son suelos imperfectamente drenados, químicamente exhiben pH fuerte a extremadamente ácido, muy baja saturación con bases y muy baja capacidad de intercambio de cationes, condiciones que les confiere una muy baja fertilidad natural.

### **2.2.3 Vegetación**

La vegetación en la cuenca alta del río Tigre, se ubica dentro de la zona de vida Bosque Seco Tropical, es de sabanas arboladas hasta inarboladas en las zonas más elevadas y en los relieves con alta pendiente, las cuales están dominadas por una matriz herbácea de *Trachypogon spicatus*, con la presencia de árboles, entre los que destacan: *Curatella americana* L. (“Chaparro”), *Bowdichiavirgilioides* Kunth (“Alcornoque”) y *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (“Manteco”) como los elementos más abundantes. También están presentes bosques bajos medianamente densos a densos en las partes internas de las cárcavas, pequeños grupos de matorrales en áreas intervenidas y abandonadas, bosques estacionalmente inundados y morichales en los



valles de los cursos de agua permanentes; estos últimos también se encuentran entre otros ríos del estado Anzoátegui, como son Caris, Manasma, Moquete y Uruspía Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

Las comunidades establecidas en este paisaje son el resultado de factores ecológicos y antrópicas. Así en planicie inundable, producto de reiteradas inundaciones anuales y en una franja, se conformaron albardones de orilla e interiormente, cubetas de desborde y decantación de forma redonda y alargada, depresiones marginales y un síntoma complejo de laguna.

Predominantemente domina las comunidades de porte herbáceo y composición florística, dependiendo de la disponibilidad de humedad, con individuos arbustivos aislados.

En los Llanos se distinguen tres tipos de vegetación, de acuerdo a su composición florística: sabanas de *Trachypogon*, sabanas de "banco", bajíos y esteros, y sabanas de *Paspalum fasciculatum*. Las sabanas de *Trachypogon* están caracterizadas por la presencia de especies como el Chaparro (*Curatella americana*), el Alcornoque (*Bowdichia virgilioides*) y el Chaparro manteco (*Byrsonima crassifolia*). Las sabanas de "bancos", bajíos y esteros presentan especies como el Mastranto (*Hyptis suaveolens*), el Estoraque (*Vernonia brasiliana*), la Cola de vaca (*Andropogon bicornis*), la paja de agua (*Hymenachne amplexicaulis*), la Dormidera (*Mimosa pigra*) y la Guaica (*Rochefortia spinosa*). Por su parte, las sabanas de *Paspalum fasciculatum* presenta especies nobles como el Roble (*Platymiscium polystachyum*), el Cañafistolo (*Cassia moschata*), morichales como el Boroboro (*Montrichardia arborescens*), y palmares representados por el Higuerote (*Ficus trigonata*).

Por ser un clima de sabana, dentro las principales vegetación presente están árboles de araguaney, ceiba, chaparro, moriche, y el merey.

Entre otras especies, también se encuentran. *Cnidoscolus urens* (Guaritoto), *Acanthocereus tetragonus*, *Melochia parvifolia* (Bretónica), *Croton conduplicatus* (Carcanapire), *Merremia aegyptia*, *Ipomoea* sp., *Helicteres guazumaefolia* (Tornillo), *Waltheria indica*, *Hyptis suaveolens* (Mastranto), *Calotropis gigantea* (Algodón de seda), *Wedelia calycina*, *Vismia* sp., *Zanthoxylum* sp., *Securidaca pendula*, *Senna* sp., *Guettarda divaricata*, *Aristida setifolia*, *Rhynchelytrum repens* (Paja rosada), *Panicum* sp, entre otras.



Figura 2.8 Vegetación dominante del área de estudio.

#### 2.2.4 Aspectos hidrográficos

En esta etapa se chequearon las características físico-naturales relevantes, tales como: tipo de lecho, régimen de drenaje, vegetación circundante, ancho promedio del cauce y lámina de agua, color aparente, obras de hidráulicas existentes, divisorias reales, toponimia, entre otras.

El principal afluente que pasa por el municipio es el río Tigre en dirección oeste-este desembocando en el delta del Orinoco sus balnearios principales son: Paso de la línea, El puente, La redoma, El paso del estudiante, Bartolo y La piscina.

El río Tigre se encuentra en la altiplanicie de los Llanos orientales, entre los Municipios Simón Rodríguez, Guanipa, Freitas e Independencia. Desde su nacimiento en la Mesa de Guanipa, recorre 304 km y desemboca en el río Morichal Largo, 10 km antes de la descarga al caño Mánamo. En los primeros kilómetros recibe la descarga del río Guaraguara; posteriormente sus afluentes principales en la margen izquierda son el Aisme y el Oritupano, que a su vez recibe el Chive y el Ñato y en la margen derecha al Areo. Peña-Colmenarez y Gordon (2019)

El municipio cuenta con un sistema de pozos subterráneos que proporcionan el agua potable que consume la población.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes de la investigación**

Acosta, P. M (2017), en el presente trabajo titulado **“ESTIMACIÓN DE CURVAS INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA (IDF) EN PUNTOS GEOGRÁFICOS SIN REGISTROS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN”** En razón a esto, la investigación propuesta se centra en el análisis de alternativas para la obtención de curvas IDF confiables, a partir de los registros históricos de las estaciones pluviográficas, en puntos geográficos donde no se encuentren estaciones de este tipo. Los métodos analizados se basarán específicamente en el estudio de los registros históricos pluviográficos de siete estaciones localizadas en el centro del departamento de Boyacá, Colombia. A partir de esta información, se extenderá la información mediante métodos de extrapolación de las curvas IDF; a los sitios donde éstas no se puedan determinar mediante métodos comunes. El uso de este trabajo de grado servirá como punto de apoyo para complementar las bases teóricas y definición de términos de la investigación.

Bastidas, A. (2010) en el trabajo titulado **“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”** en este trabajo se expone el uso de series anuales y series de excedencias, esta última permiten utilizar más información de las series originales. Se explica la utilización de las distribuciones bi- y triparamétricas más utilizadas en la bibliografía (Gumbel, General de Valores Extremos, y General de Pareto), y se comparan los resultados obtenidos a

partir de los datos de precipitación del Pluviógrafo de la estación meteorológica UCV. Finalmente se obtienen las curvas de intensidad duración y frecuencia para diferentes periodos de retorno de la estación de estudio. El uso de este trabajo de grado servirá como punto de apoyo para complementar las bases teóricas y definición de términos de la investigación.

Carvalho y Fariás (2015), elaboraron en trabajo de grado titulado **“PROPUESTA DE SISTEMA DRENAJE SUPERFICIAL PARA CONDUCCIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LAS RESIDENCIAS RÓMULO GALLEGOS, ZUATA, MUNICIPIO JOSÉ GREGORIO MONAGAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA”** el cual tenía como objetivo presentar una alternativa para la disposición de las aguas pluviales mediante canales abiertos superficiales. Este trabajo de grado presenta un aporte metodológico significativo a la presente investigación por cuanto presenta la construcción de las curvas IDF lo cual podrá ser utilizado como método en el estudio objeto de este documento.

Escalona y Velázquez (2006), realizaron una tesis titulada **“ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO DE LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ”** esta investigación radica principalmente en analizar las diferentes variables climatológicas de la Península de Paraguaná donde con los datos obtenidos observaron que para el estudio de las variables se debe contar con todas las estaciones que componen la Península debido a las diferencias que las caracterizan.

Respecto a lo dicho anteriormente, el presente trabajo está vinculado debido a que se hacen estudios y análisis con los datos obtenidos de las variables de acuerdo a la sistemática empleada, de las curvas IDF ellos observaron cómo se desarrollará probablemente la intensidad de lluvias para los tiempos 10, 25, 50 y 100 años, ya que estas curvas expresan que a medida que el tiempo es mayor la intensidad de lluvia aumenta.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Precipitación**

La precipitación es cualquier agua líquida o congelada que se forma en la atmósfera y cae a la Tierra. Es uno de los tres pasos principales del ciclo global del agua. Según Chow 1994, la precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. (Aparicio, 1987).

#### **3.2.1.1 Formación de la precipitación**

La precipitación se forma en las nubes cuando el vapor de agua se condensa en gotas de agua cada vez más grandes. Cuando las gotas son lo suficientemente pesadas, caen a la Tierra. Si una nube es más fría, como lo sería en altitudes más altas, las gotas de agua pueden congelarse para formar hielo. Estos cristales de hielo

luego caen a la Tierra en forma de nieve, granizo o lluvia, dependiendo de la temperatura dentro de la nube y en la superficie de la Tierra. La mayor parte de la lluvia en realidad comienza como nieve en lo alto de las nubes. Los elementos necesarios para la formación de la precipitación son los siguientes:

- a. Humedad atmosférica.
- b. Radiación solar.
- c. Mecanismo de enfriamiento de aire.
- d. Presencia del núcleo giroscópico para que haya condensación.
- e. Mecanismo de crecimiento de las partículas.

El proceso de la formación de las precipitaciones es el siguiente:

- a. El aire húmedo de los estratos bajos es calentado por conducción.
- b. El aire húmedo, entonces, se torna más leve que el de las vecindades y experimenta una ascensión adiabática.
- c. El aire húmedo, entonces, se expande y se enfría a razón de  $1^{\circ}\text{C}$  por cada 100m (expansión adiabática seca) hasta llegar a una condición de saturación, para llegar a su nivel de condensación.
- d. A partir de ese nivel, y con núcleos giroscópicos, el vapor de agua se condensa formando minúsculas gotas a lo largo de dichos núcleos.
- e. Dichas gotas se mantienen en suspensión hasta que por un proceso de crecimiento, alcanza el tamaño suficiente para precipitar.

### 3.2.1.2 Tipos de precipitación

Independientemente del clima, el clima en todo el mundo se divide en tres categorías básicas; precipitaciones, oscurecimientos y 'otros' fenómenos. La precipitación es cualquier forma de partícula de agua, ya sea líquida o sólida, que cae de la atmósfera y llega al suelo. Los diferentes tipos de precipitaciones son: Lluvia, llovizna, pellets de hielo (aguanieve), granizo y nieve. Como ya se mencionó, las precipitaciones tienen su origen en la formación de nubosidad por la condensación de las gotas de agua y el enfriamiento del aire, dando origen a varios tipos de precipitaciones que dependen de cómo asciende el aire, clasificadas según Fernández 1995, en:

- a. Precipitaciones ciclónicas o frontales: levantamiento de aire cálido sobre el aire más frío (más denso).
- b. Precipitaciones convectivas: relacionada con el ascenso del aire cálido, terminando por lo general en lluvias tormentosas.
- c. Precipitaciones orográficas: ascenso de aire sobre una estructura montañosa.

### 3.2.2 Evaporación

La evaporación es una parte muy importante del ciclo del agua. El calor del sol, o energía solar, impulsa el proceso de evaporación. Absorbe la humedad del suelo de un jardín, así como de los océanos y lagos más grandes. El nivel del agua disminuirá a medida que se exponga al calor del sol. Los dos factores principales que influyen en la evaporación desde una superficie abierta de agua son el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización, y la habilidad para transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. La radiación solar es la principal fuente de



energía calórica. La habilidad de transporte del vapor fuera de la superficie de evaporación depende de la velocidad del viento sobre la superficie y del gradiente de humedad específica en el aire por encima de ella.

La evaporación desde la superficie terrestre comprende la evaporación directa desde la superficie del suelo y desde la superficie de la vegetación, y la transpiración a través de las hojas de las plantas, mediante la cual el agua es extraída por las raíces de éstas, transportada hacia arriba a lo largo de sus tallos y difundida a la atmósfera a través de pequeñas aberturas en las hojas llamadas estomas. Los procesos de evaporación desde la superficie terrestre y de transpiración de la vegetación se conocen con el nombre de evapotranspiración. La evapotranspiración es influida por los dos factores descritos anteriormente para la evaporación desde superficie abierta de agua, y también por un tercer factor, el suministro de humedad hacia la superficie de evaporación. (Chow, 2000).

### **3.2.3 Temperatura**

Chereque (2003) nos dice que:

En general, un aumento de la temperatura incrementa la capacidad de retención de humedad de la atmósfera y, por lo tanto, conduce a una intensificación del ciclo hidrológico. Los cambios clave en el sistema hidrológico incluyen alteraciones en la distribución estacional, la magnitud y la duración de la precipitación y la evapotranspiración. La temperatura es un factor importante del ciclo hidrológico pues interviene en todas sus etapas. Desde el punto de vista práctico, la temperatura interviene como parámetro en las fórmulas para calcular la evaporación y en las fórmulas para calcular las necesidades de agua de riego de las plantas. Como prácticamente en todas partes hay registros de temperatura, su empleo está plenamente justificado.

### 3.2.4 Medidas pluviométricas

La precipitación se mide como la cantidad de agua que llega al suelo horizontal o al plano de proyección horizontal de la superficie de la tierra, y se expresa como una profundidad vertical del agua o el equivalente en agua de precipitación sólida. La precipitación se mide en milímetros de agua, o litros caídos por unidad de superficie ( $m^2$ ), es decir, la altura de la lámina de agua recogida en una superficie plana es medida en mm o  $l/m^2$ . Nótese que 1 milímetro de agua de lluvia equivale a 1 L de agua por  $m^2$ .

Los instrumentos para medir la precipitación incluyen equipos para medición de lluvia y para medir nieve, y varios tipos son fabricados de acuerdo con el propósito en cuestión. Los pluviómetros se clasifican en tipos de registro y no registro. Estos últimos incluyen cilíndricos y pluviómetros ordinarios, y la medición de la precipitación con estos tipos se realiza manualmente por el observador. Algunos tipos de registro, como los pluviómetros de sifón, tienen un registrador incorporado y el observador debe visitar físicamente el sitio de observación para obtener datos. Otros tipos, como los pluviómetros de cubeta basculante, tienen un registrador conectado a ellos, y las lecturas remotas se pueden tomar colocando un registrador en un sitio distante del instrumento y para permitir la observación automática. La cantidad de lluvia que cae en un lugar se mide por los pluviómetros. La medición se expresa en milímetros de agua y equivale al agua que se acumularía en una superficie horizontal e impermeable durante el tiempo que dure la precipitación o sólo en una parte del periodo de la misma.

#### **3.2.4.1 Pluviómetro manual**

Es un indicador simple de la lluvia caída, consiste en un recipiente especial cilíndrico, por lo general de plástico, con una escala graduada en donde todas las marcas están a igual distancia entre sí. La altura del agua que llena la jarra es equivalente a la precipitación y se mide en mm.

#### **3.2.4.2 Pluviómetros totalizadores**

Se componen de un embudo o triángulo invertido, que mejora la precisión y recoge el agua en un recipiente graduado. A diferencia del anterior, cuanto más hacia abajo están, las marcas de los milímetros se van separando entre sí cada vez más, esto compensa el estrechamiento del recipiente. El mismo tiene esa forma para dar más precisión en lluvias de poco volumen y facilitar su lectura. El instrumento se coloca a una determinada altura del suelo y un operador registra cada 12 horas el agua caída. Con este tipo de instrumento no se pueden definir las horas aproximadas en que llovió.

#### **3.2.4.3 Pluviógrafo de sifón:**

Consta de un tambor giratorio que, rota con velocidad constante, este tambor arrastra un papel graduado, en la abscisa se tiene el tiempo y en la ordenada la altura de la precipitación pluvial, que se registra por una pluma que se mueve verticalmente, accionada por un flotador, marcando en el papel la altura de la lluvia.

#### **3.2.4.4 Pluviógrafo de doble cubeta basculante**

El embudo conduce el agua colectada a una pequeña cubeta triangular doble, de metal o plástico, con una bisagra en su punto medio. Es un sistema cuyo equilibrio

varía en función de la cantidad de agua en las cubetas. La inversión se produce generalmente a 0,2 mm de precipitación, así que cada vez que caen 0,2 mm de lluvia la báscula oscila, vaciando la cubeta llena, mientras comienza a llenarse la otra. (MeteoLobios, 2013).

### 3.2.5 Medición de la precipitación

Según Monsalve (1999), la cantidad de precipitación se expresa en unidades de lámina caída y acumulada sobre una superficie plana e impermeable. Para dichas mediciones se utilizan pluviómetros y pluviógrafos.

La altura pluviométrica ( $\Delta h$ ), expresada usualmente en mm, es registrada en las denominadas horas sinópticas durante el día. Generalmente se utiliza para expresar la precipitación diaria (0800 h – 0800 h), mensual y anual. La altura pluviográfica, al ser un registro de tipo continuo, se utiliza además para el cálculo de la intensidad de la precipitación, el valor expresado generalmente es:

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad ; \text{ expresada en mm/hora.} \quad (3.1)$$

### 3.2.6 Hidrología

Hidrología es una palabra de origen griego compuesta por dos partes: “Hidros” que significa agua y “logos” que se traduce por tratado o ciencia, por lo anterior, la Hidrología es la ciencia del agua.

El nivel actual de desarrollo de las actividades humanas y de las ciencias en general no se puede satisfacer con la definición anterior, demasiado simplista e incompleta, recurriéndose por ello a la definición propuesta por el U.S. Federal

Council for Science and Technology (1962 citado por Monsalve, 1999), siendo su definición la siguiente:

Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivientes. El dominio de la hidrología abarca la historia completa de la existencia del agua sobre la tierra”

La hidrología está ligada al estudio de fenómenos naturales, de manera que los métodos que emplea no pueden ser rígidos, quedando algunas decisiones al criterio del ingeniero. La hidrología, para el análisis de algunos fenómenos, hace uso de métodos estadísticos. (Chereque, 2003).

### **3.2.7 Series de información hidrológica**

Según Chow (1994), una serie de duración completa está compuesta por toda la información disponible. Una serie de duración parcial es una serie de datos seleccionados de tal manera que su magnitud es mayor que un valor base predefinido. Si el valor base se selecciona de tal manera que el número de valores en la serie sea igual al número de años de registro, la serie se conoce como una serie de excedencia anual. Una serie de valor extremo incluye el valor máximo o mínimo que ocurre en cada uno de los intervalos de tiempo de igual longitud del registro. La longitud del intervalo de tiempo usualmente se toma como un año, y una serie seleccionada de esta manera se conoce como serie anual. Si se utilizan los valores máximos anuales es una serie anual máxima y si se utilizan los valores mínimos es una serie anual mínima.

La experiencia ha mostrado que muchos de los datos originales no tienen significancia práctica, puesto que el diseño hidrológico de proyectos está usualmente

gobernado por condiciones críticas. En consecuencia, es frecuente el uso de dos tipos de series: anuales y de duración parcial.

Al utilizar series de información pluviométrica es necesario señalar que la precipitación máxima diaria (1 día) obtenida sobre una base pluviométrica es menor que la obtenida en cualquier período de 24 h (base pluviográfica), dado que una tormenta puede haberse registrado en dos días consecutivos.

### **3.2.8 Ciclo hidrológico**

El agua siempre está en movimiento. Desde el momento en que se formó la tierra, ha estado circulando sin cesar a través del ciclo hidrológico. El ciclo es continuo a medida que el agua se evapora, forma nubes y regresa a la tierra como precipitación.

El agua superficial se evapora por la energía del sol. El vapor de agua luego forma nubes en el cielo. Dependiendo de la temperatura y las condiciones climáticas, el vapor de agua se condensa y cae a la tierra en diferentes tipos de precipitación (lluvia, nieve, aguanieve, granizo). Algunas precipitaciones se mueven desde áreas altas a áreas bajas en la superficie de la tierra y hacia cuerpos de agua superficiales. Esto se conoce como escorrentía superficial. Otra precipitación se filtra en el suelo y se almacena como agua subterránea. Ground Water Foundation, (2022)

El ciclo hidrológico se considera el concepto fundamental de la hidrología. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento.

Es el concepto fundamental de la hidrología. Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación

desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación (Figura 1). (Ordoñez, J. 2011)

Dicho ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte permanente, este movimiento permanente se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, al sol que proporciona la energía para poder elevar el agua a las nubes (evaporación); y la segunda, la gravedad terrestre, que es la responsable que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

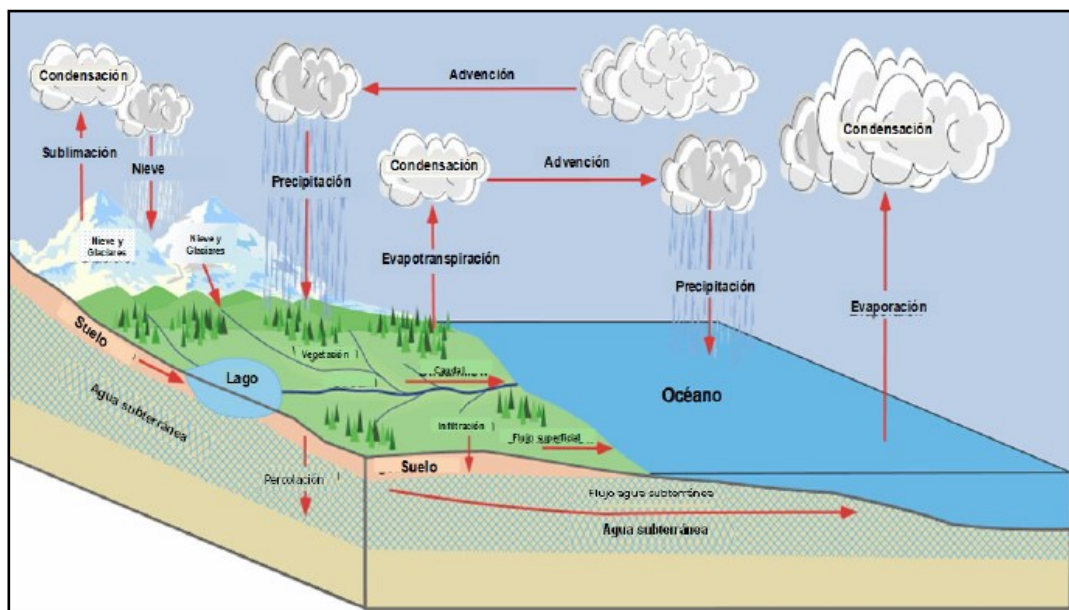


Figura 3.1. Representación del Ciclo Hidrológico. (Eoarth, 2012)

### 3.2.3 Sistema hidrológico

Según Guevara y Cartaya, 1991: “Los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos”. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema. (Ordoñez, J. 2011)

Un sistema es un conjunto de partes específicas que interactúan como un todo. El ciclo hidrológico podría considerarse como un sistema, cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escorrentía, y las otras fases del ciclo, tal como se muestra en la Figura 2.

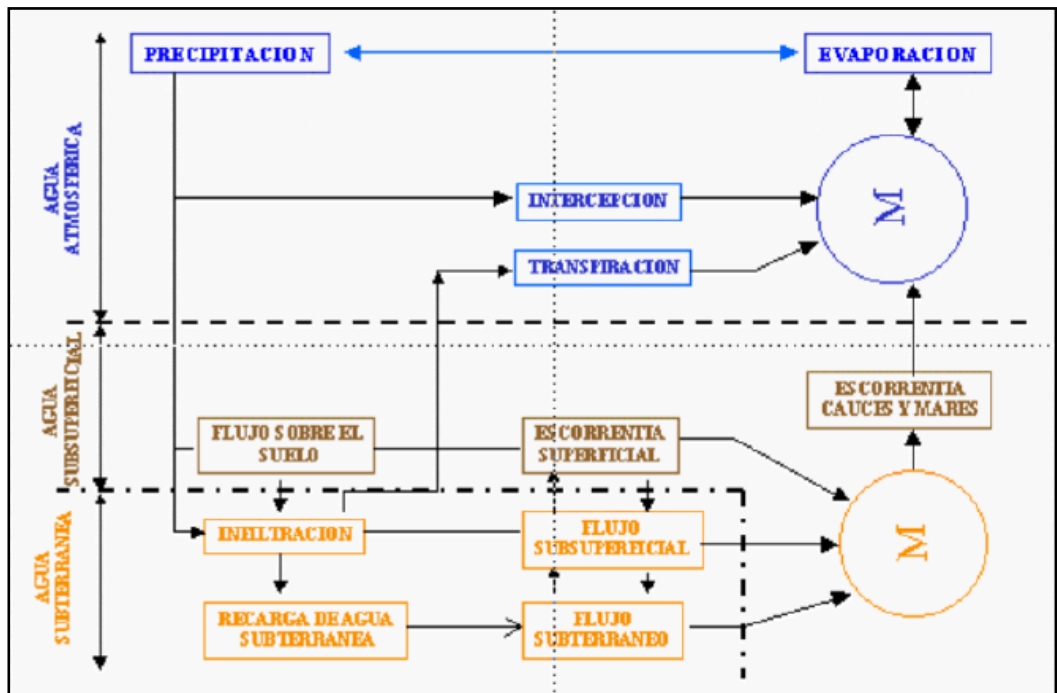


Figura 3.2. Representación del sistema hidrológico. (Estrela, 1992)

El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. (Aparicio, 1987).



### **3.2.9 Escurrimiento**

Cuando la precipitación llega a la superficie de la tierra, parte de ella fluirá a lo largo de la superficie de la tierra y entrará en las aguas superficiales como lagos, arroyos y ríos, Ground Water Foundation, (2022) lo define como escorrentía.

Se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre – una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada- sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. (Aparicio, 1987).

### **3.2.10 Atmósfera**

Se define como aquella capa que rodea a la tierra y donde se realiza parte del ciclo hidrológico. La atmósfera resulta comportándose como un gran reservorio de vapor de agua, un sistema amplio de transporte de agua y un gran colector de calor. Está compuesta de aire seco y vapor de agua. (Chereque, 2003).

### **3.2.11 El clima**

Según Chereque (2003), dice que la palabra “clima” deriva de una voz griega que significa inclinación, aludiendo seguramente a la inclinación del eje terrestre. Como se sabe las estaciones tienen lugar debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del sol, con su eje de rotación inclinado con respecto al plano de traslación.

Son numerosas las definiciones que existen de clima, pero todas ellas aluden al estado medio de la atmósfera. Para la Organización Meteorológica Mundial, clima es el “conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un período suficientemente largo en un dominio espacial determinado”.

### **3.2.12 Clasificación del clima**

El Sistema de Clasificación Climática de Köppen es el sistema más utilizado para clasificar los climas del mundo. Sus categorías se basan en los promedios anuales y mensuales de temperatura y precipitación. El sistema de Köppen reconoce cinco tipos climáticos principales; cada tipo se designa con una letra mayúscula. El sitio web [PhysicalGeography.net](http://PhysicalGeography.net) presenta el siguiente resumen:

A - Climas Tropicales Húmedos: todos los meses tienen temperaturas promedio superiores a 18° Celsius.

B - Climas Secos: con precipitaciones deficientes durante la mayor parte del año.

C - Climas húmedos de latitudes medias con inviernos templados.

D - Climas húmedos de latitudes medias con inviernos fríos.

E - Climas polares: con inviernos y veranos extremadamente fríos.

El objeto de clasificar los climas radica en poder establecer comparaciones. Esto es muy importante en Hidrología, porque hace posible aplicar las mismas

fórmulas en lugares de clima similar. En climas similares, la temperatura y la precipitación son similares en magnitud, variación anual y distribución.

Se ofrece la clasificación siguiente que toma en cuenta sólo la precipitación:

1. Climas cálidos de clima intertropical:
  - a. Régimen ecuatorial: Lluvia todo el año, presentando dos máximos al año.
  - b. Régimen sub-ecuatorial: Presenta dos períodos secos al año.
  - c. Régimen tropical: Presenta un solo período de lluvia.
  
2. Climas templados:
  - a. Régimen de climas templados: Presenta lluvia todo el año. Casi uniformemente repartida.
  - b. Régimen mediterráneo: Presenta un período frío y otro caluroso y seco.
  
3. Clima frío y polar: Corresponde a las altas latitudes.
  
4. Régimen de zonas desérticas: Las zonas desérticas se encuentran repartidas en casi todas las latitudes y su presencia se explica generalmente por causas locales que determinan la ausencia de lluvias.

### **3.2.13 Elementos y factores del clima**

Los factores del clima son agentes como la latitud, vientos predominantes, corrientes marinas, distancia al mar, altitud y relieve, que modifican, acentúan o limitan los elementos del clima y dan lugar a los distintos tipos de climas.

Los elementos que permiten distinguir un clima de otro son: la temperatura, la precipitación, la presión, el viento y la radiación solar. Los dos primeros son los principales.

Los factores que condicionan el clima son: la latitud, la altitud, y la continentalidad. La latitud determina la intensidad de radiación solar, la altitud determina la temperatura. La continentalidad se refiere a la mayor o menor proximidad de un lugar a los mares.

### **3.2.14 El clima en Venezuela**

Venezuela es un país con gran diversidad climática, que permite el desarrollo de variadas actividades (agrícolas, forestales, energéticas, y turísticas), y en conjunto con la amplia gama de espacios geográficos, determinan un enorme conjunto de ecosistemas, que hacen que, desde el punto de vista de la biodiversidad, el país se considere como megadiverso. El comportamiento de los elementos meteorológicos Radiación Global, Fotoperíodo, Temperatura, Insolación, Evaporación y Humedad Atmosférica, es típico de la zona intertropical donde se encuentra el país, presentando un ciclo anual poco marcado (pequeña Variación Estacional), con diferencias entre los valores máximos y mínimos del orden del 10% al 20%, aunque localmente se encuentran diferencias hasta del 30%. Los elementos del régimen de energía se comportan, en general para la mayor parte del país, de acuerdo a Martelo, 2003, como sigue:

Radiación Global ( $R_g$ ): Valores promedios en general elevados, de unos 14 a 21 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, con valores extremos de menos de 4 a más de 35 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>; espacialmente, los mayores valores se encuentran en las zonas costeras y en la alta montaña, mientras que los menores valores se producen hacia el Sur del país

Fotoperíodo (longitud del día): Valores de 11,4 horas a 12,6 horas (para los 10° N), con el Máximo en Junio (Solsticio de Verano) y el Mínimo en Diciembre (Solsticio de Invierno).

Temperatura Media: Valores promedios anuales desde 27° C en zonas bajas continentales (centro de los Llanos) hasta menos de 0° C a los 5000 msnm; la Variación Estacional medida a través de la amplitud anual (diferencia entre el mes más cálido y el más fresco) es muy pequeña, en la mayor parte del país menor a 3° C. Dado que el régimen de temperatura es consecuencia del régimen de radiación, el patrón anual también es bimodal, con dos máximos y dos mínimos, que se presentan en general con aproximadamente un mes de retraso respecto de los máximos y mínimos de Radiación Global.

Oscilación Térmica Diaria (OTD): Como se señaló anteriormente, en la zona Intertropical el ciclo anual de los regímenes de radiación y temperatura no es muy marcado, mientras que el ciclo diario si lo es. Entre la temperatura de la hora más fría del día (en la madrugada) y la de la hora más caliente (alrededor de 1:00-3:00 pm), la diferencia es elevada, en general de unos 10° C. Espacialmente, los mayores valores de la OTD (de hasta 13-14° C en promedio) se dan en las zonas continentales (los Llanos, Depresión Lara-Falcón, Depresión del Lago de Valencia) y los menores (6-8° C en promedio) en las zonas costeras y al Sur del país. Los valores extremos pueden ser tan altos como 18-20° C, o tan bajos como 3-4° C. La OTD, a diferencia de la Temperatura Media, NO depende directamente de la Rg, y está muy influenciada por la nubosidad y la cercanía a las grandes masas de agua. En general, en los días nublados durante las horas diurnas hay menor Rg debido a las pérdidas por reflexión, a la vez que, si hay disponibilidad de agua líquida, la Radiación Neta se usa preferencialmente en evaporar el agua (60%-80% de la RN) y queda un flujo de calor sensible para calentar al aire pequeño, por lo que las temperaturas diurnas no son muy elevadas; durante las horas nocturnas la presencia de nubes disminuye la salida de radiación de onda larga (efecto invernadero), por lo que las temperaturas nocturnas tienden a ser altas. En consecuencia, la diferencia entre las temperaturas de la madrugada y del mediodía es pequeña.

Insolación: La Insolación se refiere a las horas de sol brillante; no debe confundirse con el Fotoperíodo, que es la duración total de las horas diurnas, independientemente de si fueron despejadas o nubladas; es factible el valor cero horas para la Insolación, aunque no es muy frecuente en la zona intertropical (se trata de los días completamente nublados en los que no se vió al sol directamente en ningún momento). Los valores promedios en el país van de 5,5 a 9 horas/día, con valores extremos de hasta 12 horas/día; la mayor cantidad de insolación se presenta en las zonas costeras y la menor en el Sur del país, el Delta y en la zona de alta precipitación de Táchira y Norte de Apure, como se ve en la Figura 4. En general, la Insolación es alta en temporada seca (máximo variable entre Febrero y Marzo), baja en temporada lluviosa (mínimo variable entre Junio y Julio), aunque en muchas zonas los mínimos se presentan a la entrada de aguas (Abril-Mayo).

Evaporación: Los valores promedios en zonas bajas (medidos con la Tina de Evaporación Tipo A) son mayores a 2500 mm anuales, y en zonas altas menores a 500 mm anuales. En general, la evaporación es alta en temporada seca (máximo en Marzo en prácticamente todo el país, con valores extremos de hasta 15 mm d-1) y baja en temporada lluviosa (mínimo variable entre Julio y Agosto). En las zonas de montaña pueden encontrarse patrones multimodales, con varios máximos y mínimos.

Humedad Relativa (HR): Debido a su posición latitudinal, Venezuela está situada en el Trópico Húmedo, por lo que los valores de Humedad Relativa son altos todo el año; dados los relativamente altos valores de temperatura, esto significa que la humedad absoluta (contenido de vapor de agua medido en g m-3) es alta. Los promedios anuales de HR varían de 70% a 85%, como se ve en la Figura 5. Incluso en la temporada más seca del año, que se corresponde con la época sin lluvia, los valores promedio varían entre 50 % a 70 % (mínimo generalmente en Marzo),

mientras que en la temporada lluviosa (máximo variable entre Julio y Agosto) los valores promedio varían entre 70% y 90%.

Viento: es intenso en la zona costera, con velocidades promedio de más de 10 km h-1, siendo mayores a 20 km h-1 en la costa de Falcón; al Sur del país el viento es débil, con velocidades promedio menores a 5 km h-1. Las direcciones prevalecientes son las del primer cuadrante (E, ENE, NE), correspondientes al Alisio. La excepción son las zonas de montaña, donde la dirección prevaleciente la determina la orientación de las laderas.

Venezuela no posee un clima único. Por el contrario, es posible distinguir varios tipos de clima bien diferenciados que caracterizan otras tantas regiones, mayores menores. Esta diversidad es una de las características geográficas más importante del país.

Sin salir del territorio nacional es posible recorrer una gran variedad de paisajes, al pasar desde regiones cuyas temperaturas medias figuran entre las más altas del mundo a áreas montañosas donde el clima es tan frío todo el año que se mantienen cubiertas por hielos perpetuos, semejantes a los de las regiones polares.

### **3.2.14.1 Distribución geográfica de la temperatura**

- a. Es máxima en bajas latitudes y decrece en los polos.
- b. Tiene una tendencia muy distorsionada por la presencia de mares y continentes, topografía y vegetación.
- c. Hacia el interior de los continentes la temperatura es más grande en verano y mínima en invierno. La temperatura es más elevada en las ciudades que en el campo.

### 3.2.14.2 Variación de temperatura con el tiempo

a. La temperatura es proporcional a la fluctuación de la radiación solar incidente. Sin embargo, existe un desfase entre ambas características, según las condiciones atmosféricas del día.

b. El intervalo diurno de temperatura se define como la diferencia entre las temperatura máxima y mínima diarias.

c. En días nublados la temperatura es menor por causas de la reducción de la insolación o radiación solar. La temperatura mínima es mayor por causa de la reducción de pérdidas.

d. La temperatura media diaria se define normalmente como la media aritmética entre la temperatura máxima diaria mínima diaria.

e. La temperatura promedio diaria es el promedio de las temperaturas en el día.

$$\sum_{i=1}^n t_i/n \quad (3.2)$$

Es del orden de un grado mayor que la temperatura media diaria.

e. Temperatura normal o diaria normal: es el promedio de una temperatura de una fecha dada de un periodo de un año.

$$\sum_{i=1}^n t_{10 \text{ octubre}}/m \quad (3.3)$$



f. Temperatura media mensual es el promedio de las temperaturas medias diarias en un mes.

g. Temperatura media anual es el promedio de las temperaturas medias mensuales en un año.

La variación diaria de temperatura va ligeramente retrasada respecto a la variación diaria de la reacción solar. La temperatura. La temperatura comienza aumentar poco después de la salida del sol y alcanza su máximo de una a tres horas después de alcanzar el sol su máxima altitud, y disminuye durante la noche hasta la salida del sol cuando se presente el valor mínimo. La fluctuación diaria de temperatura se ve afectada por las condiciones del cielo. En días nublados la temperatura máxima es menor debido a la reducción en radiación incidente en la superficie. (Monografía sobre Venezuela, 1965).

### **3.2.15 Análisis de frecuencia**

El análisis de frecuencia estadística se ha utilizado ampliamente en hidrología para estimar las probabilidades de ocurrencia de eventos extremos tales como flujos de agua altos o bajos, intensidades extremas de lluvia, grandes profundidades de nieve, etc. Un enfoque ampliamente empleado para estimar estas probabilidades utiliza solo un evento de la variable hidrológica básica dentro de un intervalo de tiempo convenientemente elegido, como el año. Uno de los problemas más importantes en hidrología es la interpretación de registros pasados de eventos hidrológicos, en términos de obtener probabilidades de ocurrencia futuras. Este problema se extiende a la estimación de frecuencias de avenidas, sequías, precipitación, calidad de agua y oleajes, entre otros. El procedimiento involucrado es conocido como análisis de frecuencia.

El análisis de frecuencia de datos hidrológicos comienza con el tratamiento de datos brutos y finalmente determina la frecuencia o probabilidad de un valor de diseño. (Chow, 1964).

Bradley (1997) indica que el tratamiento de eventos hidrológicos extremos como un proceso aleatorio implica que la variabilidad climática natural no afecta la ocurrencia de estos eventos.

Un proceso estacionario respecto al tiempo significa que presenta eventos independientes e idénticamente distribuidos por un modelo probabilístico que no cambia a través del tiempo (Bradley y Zhao, 1997).

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada. Cuando se pretende realizar extrapolaciones, período de retorno mayor que la longitud de la serie disponible, el error relativo asociado a la distribución de probabilidades utilizada es más importante, mientras que en interpolaciones la incertidumbre está asociada principalmente a la calidad de los datos a modelar; en ambos casos la incertidumbre es alta dependiendo de la cantidad de datos disponibles. La extrapolación de frecuencias extremas en una distribución empírica de crecientes es extremadamente riesgosa.

### **3.2.16 Variación de la intensidad con la duración**

Los datos de la precipitación intensa de registros pluviográficos provienen de pluviogramas: distribución de la precipitación acumulada a lo largo del tiempo.

De las gráficas se pueden establecer, para diversas duraciones, las máximas intensidades ocurridas durante una lluvia dada. Las duraciones usuales son: 5, 10, 15, 30, 45 minutos y 1, 2, 3, 6, 12, 24 horas. Los límites de duración son fijados usualmente son en 5 minutos y 24 horas, porque 5 minutos representa el menor intervalo que se pueden leer en los registros pluviográficos con precisión adecuada, y 24 horas porque para duraciones mayores se puede utilizar los datos observados en pluviómetros.

El número de intervalo de duración citado de puntos suficientes para definir curvas intensidad-duración de precipitación, referentes a diferentes frecuencias de ocurrencias (Arocha, 1983).

### **3.2.17 Curvas de intensidad-duración-frecuencia**

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), resumen las relaciones entre la intensidad y la frecuencia de las precipitaciones extremas para diferentes duraciones. Las curvas IDF, se recomiendan como criterio para el diseño de infraestructura urbana y la gestión de aguas pluviales.

Por otro lado, según Mintegui (1990), se denominan curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) a aquellas que representan duraciones en abscisas y altura de precipitación en las ordenadas, en la cual, cada curva representada corresponde a

una frecuencia (o periodo de retorno), de tal forma que las gráficas de las curvas IDF representan la intensidad media en intervalos de diferentes duraciones, correspondiendo todos de una misma curva, a un idéntico periodo.

El diseño de las curvas IDF, es la frecuencia, la cual se expresa en función del periodo de retorno (T), que es el intervalo de tiempo promedio expresado en años entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño. (Chow, 1994).

Por otro lado, según (Ulriksen, 1979), la probabilidad de excedencia se define como la probabilidad de que un cierto valor a asumir por la variable aleatoria sea superado.

La intensidad se puede definir como la relación entre la profundidad (P) de la lluvia en mm y la duración de la lluvia ( $Td$ ) en minutos o en horas, es decir:

$$I = \frac{P}{Td} \quad (\text{Ecuación}) \quad (3.4)$$

También se puede definir como el caudal de agua que pasa una determinada superficie, es decir, el volumen de agua caído por unidad de tiempo y superficie. Como la intensidad de la lluvia depende de la duración de la misma, es necesario definir un intervalo de referencia, el cual en proyectos de saneamiento habitualmente se estudia para el caso de lluvias de corta duración ( $D \leq 2$  horas). (García-Loygorri, 2012).

Las características de las lluvias a considerar en el diseño dependen del grado de protección que desee, lo cual, por razones económicas, se basa en la importancia del sector, en su densidad de población y en los inconvenientes de tránsito por ser arterias principales o secundarias.

La recopilación de datos pluviográficos permite conocer la frecuencia con que ha ocurrido una lluvia de determinada intensidad; por tanto, cualquier previsión que hagamos estará basada en la información disponible; y si bien éste es un fenómeno probabilístico, podrá existir un cierto rango de seguridad en cuanto a los daños o inconvenientes esperados para una determinada lluvia que supere la que tomamos como base para el diseño. El concepto de frecuencia está asociado al de probabilidad se le llama también intervalo de tiempo determinado o en un número de años (Arocha, 1983).

La frecuencia se denota por tanto como:

$$f = \frac{n^{\circ} \text{ de años}}{n^{\circ} \text{ de veces}} \quad (3.5)$$

Así una lluvia de cierta magnitud o mayor, que haya ocurrido cinco veces durante 25 años de registros llevados en una estación pluviográfica, tendrá frecuencia 5, es decir:

$$f = \frac{25}{5} = 5 \quad (3.6)$$

Dependerá por tanto del mayor tiempo de registros disponibles, la mayor probabilidad de ocurrencia en la estación hecha.

Las normas INOS establecen que para el cálculo del caudal de aguas de lluvia se estimen las frecuencias siguientes:

- a. Para zonas residenciales, de 2 a 5 años.
- b. Para zonas comerciales y de elevado valor, de 5 a 15 años, dependiendo de su justificación económica.

- c. Para obras de canalizaciones de cursos naturales, ríos o quebradas, 50 años o más.  
(Arocha, 1983)

Las curvas de intensidad –duración– frecuencia que serán utilizadas en la zona de estudio, se encuentra en la región III, la cual se muestra a continuación (Figura 3.1).

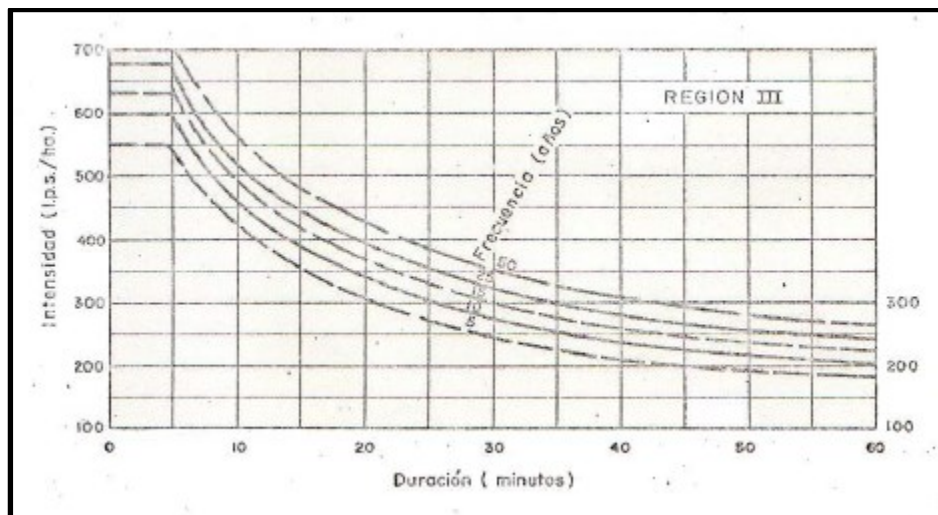


Figura 3.3. Curva IDF de la región III (Arocha, 1983)

### 3.2.18 Intensidad

La intensidad de lluvia se determina como la tasa de lluvia promedio en mm/h o mm/min para una duración de lluvia específica y una frecuencia seleccionada. Para cada región para la cual los datos sobre la intensidad de las lluvias están disponibles es importante considerar la resolución espacial y temporal.

La intensidad de una lluvia se define como el volumen de agua que precipita por unidad de tiempo, y generalmente se expresa en mm/h, mm/min, mm/seg/ha o

lt/seg/ha. En el diseño de alcantarillados, generalmente se utiliza la unidad lt/seg/ha, sin embargo, muchas estaciones pluviográficas reportan sus datos en mm/h, por lo cual conviene tener presente el factor de conversión:  $1 \text{ mm/h} = 2,78 \text{ lt/seg/ha}$ , la intensidad de lluvia depende de la duración de ésta, existiendo generalmente una relación inversa entre ellas. (Arocha, 1983)

Es importante señalar, que cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, es evidente que en general solo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas. Como se comprenderá, esta información se puede inducir a grandes errores por defectos, por cuanto las lluvias de corta duración son en general las más intensas. Es natural entonces que las determinaciones de intensidades de lluvias se hagan a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos. (Aros, 1997)

### **3.2.19 Duración**

La duración de la lluvia es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la lluvia, este final puede ser del total o el momento hasta donde es apreciable la lluvia para efectos prácticos. La lluvia según su duración puede denominarse como corta, cuando la duración es menor de 120 minutos, y larga, cuando es mayor de 120 minutos.

Las normas INOS establecen en su artículo 3.1.4.1 lo siguiente: “el tiempo de duración que debe considerarse para la determinación de la intensidad de lluvia, no será inferior a 5 minutos. En cada caso se fijará el tiempo de precipitación, de acuerdo a las condiciones locales”. (Arocha, 1983)

### 3.2.20 Aplicación de las curvas IDF

La relación Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvia (IDF) es una de las herramientas más utilizadas en la ingeniería de recursos hídricos, ya sea para planificar, diseñar y operar proyectos de recursos hídricos, o para diversos proyectos de ingeniería contra inundaciones. Es una de las herramientas más utilizadas en la ingeniería de recursos hídricos, particularmente para identificar eventos de tormentas de diseño de varias magnitudes, duración y periodos de retorno simultáneamente. Las estadísticas históricas de eventos de lluvia (en términos de intensidad, duración y período de retorno) se utilizan para diseñar estructuras de protección contra inundaciones y muchas otras estructuras de ingeniería civil que involucran flujos hidrológicos.

Las curvas IDF se aplican en hidrología para expresar de forma sintética, fijo un período de retorno  $T$  y una duración  $d$  de un evento de lluvia, y para un lugar dado, la información sobre la altura máxima de lluvia  $h$  y la intensidad máxima de lluvia  $i$ . Conocidos estos parámetros, es posible construir gráficos de lluvia sintéticos que son útiles para la elaboración de hidrogramas de crecidas (Dupont y Allen, 2000). Es rutinario en un estudio hidrológico que los parámetros IDF se calculen para el período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Wagesho y Claire, 2016). En esta investigación, también quiero calcular curvas IDF en el mismo período de retorno, durante períodos pasados y futuros. 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, y su utilidad principal es poder estimar la intensidad, duración y frecuencia de la precipitación en un lugar donde no posea pluviógrafo, solamente pluviómetros totalizadores que entregan precipitaciones diarias o lugares donde no existe información pluviométrica. Además, es importante



señalar que uno de los primeros pasos que debe 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 de regadíos, es la determinación del evento o eventos de lluvias que deben unirse. La forma más común de hacerlo es utilizar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la intensidad de lluvia, la duración y la frecuencia o periodo de retorno. Esta relación se denomina curvas IDF, que son determinadas por cada sitio en particular. (Chow, 1994).

### 3.2.21 Construcción de las curvas IDF

Con respecto a la construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), diversos autores plantean distintas formas o métodos para su construcción.

Según (Aparicio, 1987), existen dos métodos: el primero, llamado de intensidad-periodo de retorno, relaciona estas dos variables, y para cada duración por separado, mediante algunas de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología.

El otro método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración el periodo de retorno en una familia de curvas, cuya ecuación es:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{(d+c)^n} \quad (3.7)$$

Donde k, m, y c son constantes que se calculan mediante un análisis correlación lineal múltiple, y en tanto que I y d corresponden a la intensidad de precipitación y duración, respectivamente.

Por propia recomendación del autor y para facilidad de cálculo se modifica el modelo propuesto, eliminándose la constante  $c$ , que corresponde a un parámetro asociado a la duración y que para este caso tomó un valor cero, quedando expresado el modelo de la siguiente forma:

$$I = \frac{K * T^m}{D^n} \quad (3.8)$$

Por otra parte, (Chow, 1994), plantea dos formas de trabajar con las curvas.

La primera, utiliza un análisis de frecuencia de la lluvia, considerando para ello una función de distribución de probabilidad de valor extremo como la función Gumbel.

El segundo método, expresa las curvas IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. (Wenzel, 1982), citado por (Chow, 1994), dedujo para algunas ciudades de los Estados Unidos, algunos coeficientes para utilizarlos en una ecuación de la forma:

$$I = \frac{c}{\frac{e}{(Td+f)}} \quad (3.9)$$

Donde  $I$  es la intensidad de lluvia de diseño, y  $Td$  la duración, en tanto  $c$ ,  $e$  y  $f$  son coeficiente que varían con el lugar y el período de retorno.

Por otro lado, Varas y Sánchez, citado por EULA, (1993), han propuesto otra metodología para el diseño de las curvas IDF. Dicho procedimiento plantea la siguiente expresión para estimar las intensidades máximas, para distintos períodos de retorno y duraciones:

$$P_{t,T} = K * P_{10,D} * C_{d,t} * C_{f,T} \quad (3.10)$$

Donde:

$P_{t,T}$  = lluvia con período de retorno de  $T$  años y duración  $t$  horas en (mm).

$K$  = coeficiente para obtener la lluvia máxima absoluta en 24 horas en función del valor máximo diario ( $k=1,1$ ).

$P_{10,D}$  = lluvia máxima diaria con 10 años de período de retorno.

$C_{d,t}$  = coeficiente de duración para  $t$  horas.

$C_{f,T}$  = coeficiente de frecuencia para  $T$  años de período de retorno.

Entonces, la intensidad máxima de precipitación queda dada por:

$$I_{t,T} \left( \frac{mm}{hr} \right) = \frac{P_{t,T}}{d} \quad (3.11)$$

Donde:

$d$  = duración en horas.

Siguiendo esta metodología, se puede diseñar las curvas IDF en aquellas ciudades o zonas en que solo exista información pluviométrica, para lo cual se deberá seleccionar los coeficientes de duración y frecuencia de la estación pluviográfica más cercana a la zona de estudio.

### 3.2.22 Distribución de probabilidad de Log Pearson tipo III

Esta distribución ha sido una de las más utilizadas en hidrología. Como la mayoría de las variables hidrológicas son sesgadas, la función Pearson III se utiliza para ajustar la distribución de frecuencias de variables tales como crecientes máximos

anuales, caudales mínimos, volúmenes de flujo anuales y estacionales, valores de precipitaciones extremas volúmenes de lluvia de corta duración.

La función de distribución Pearson III tiene dos o tres parámetros, de ahí su nombre.

Su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|(\beta)} \left(\frac{x-\hat{x}_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(\frac{x-\hat{x}_0}{\alpha}\right) \quad (3.12)$$

Donde:

$y_0 \in y < a$  para  $a > 0$

$a \in y$  y  $y_0 \in$  para  $a < 0$

$a$  y  $b$  son los parámetros de escala y forma, respectivamente y  $y_0$  es el parámetro de localización.

La estimación de parámetros para una función Pearson III está dada por:

$$\beta = \left(\frac{2}{C_s}\right)^2 \quad (3.13)$$

$$\alpha = S_y \left(\frac{C_s}{2}\right) \quad (3.14)$$

$$\delta = \bar{x}_0 * \beta * \alpha \quad (3.15)$$

Donde  $C_s$  es el coeficiente de asimetría,  $y$ ,  $\bar{x}_0$  y  $S_y$  son la media y la desviación estándar de los logaritmos de la muestra respectivamente. (Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2009).

### 3.2.23 Distribución de probabilidad de valores máximos

Los valores máximos de hidrología de drenajes (precipitación o caudales), deben de ser tratados a través de distribuciones probabilísticas.

Aunque existen numerosas distribuciones de probabilidad para los valores máximos, es muy común en hidrología utilizar para estos valores de distribución de probabilidad Gumbel (escuela europea) y Log-Pearson Tipo III (escuela americana) (Instituto Nacional Vías-INVIAS, 2009).

### 3.2.24 Distribución de probabilidad de Gumbel

Es una función de probabilidad utilizada usualmente para valores máximos aleatorios sacados de poblaciones suficientemente grandes.

$$P(x \leq x_i) = e^{-e^{y_i}} \quad (3.16)$$

Donde:

$X_i$  = variable aleatoria

$e$  = base de los logaritmos neperianos

$y_i$  = variable reducida

Tomando la solución de ajuste a esta distribución de probabilidad por medio del método de los momentos (se debe hacer notar que existen otros métodos de ajuste a ésta y a distribuciones probabilísticas existentes, como el de máxima verosimilitud, el de momentos ponderados y el de mínimos cuadrados), se tiene:

$$y_i = a (x_i - x_f) \quad (3.17)$$

$$a = \frac{S_n}{S} \quad (3.18)$$

$$x_f = \bar{x} - s \left( \frac{Y_n}{S_n} \right) \quad (3.19)$$

Donde:

$\bar{x}$  = promedio aritmético de la muestra

$S$  = desviación estándar o típica de los datos de la muestra

$X_i$  = datos de la muestra, desde “ $i$ ” igual a uno (1) hasta “ $n$ ”

$Y_n, S_n$  = media y desviación estándar de la variable reducida “ $y$ ”. Depende del número de años de registros de la muestra “ $n$ ”

$X_f, a$  = parámetros que dependen del número de años de la muestra y de  $Y_n, S_n, X$  y  $S$ .

(Instituto Nacional de Vías de Colombia -INVIAS, 2009).

### 3.2.25 Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

La misión de medición pluviométrica tropical (TRMM por sus siglas en ingles), fue lanzado el 27 de noviembre de 1997, fue una misión conjunta entre la NASA y la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA); enviado como el primer instrumento de microondas activas y pasivas de precisión. El TRMM proporciona datos desde vehículos espaciales que miden la distribución vertical de las precipitaciones en los trópicos en una banda de 35° al norte y al sur. El satélite es de órbita polar a una altura de 403 km. (Rivas, 2014).

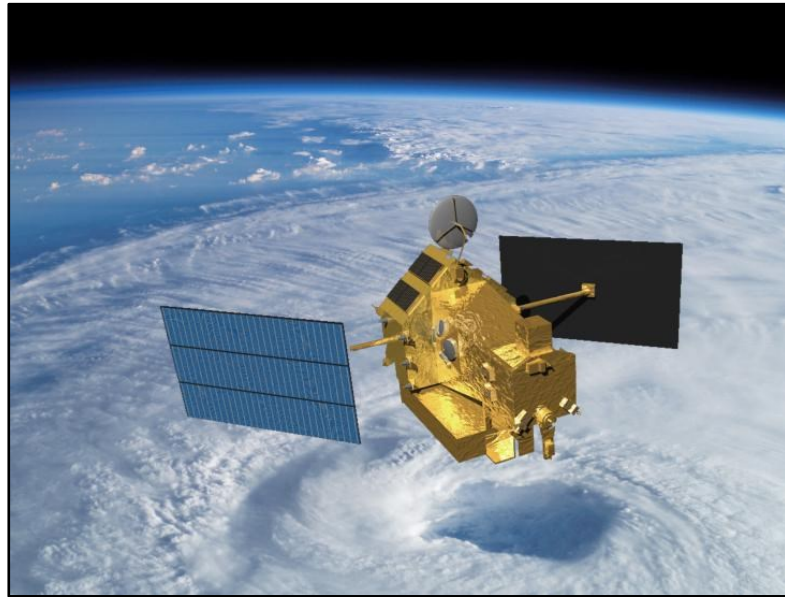


Figura 3.4 Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (NASA, 2022).

Los instrumentos que componen dicho satélite son:

- Radar de precipitación (PR)
- Imágenes por microondas (TMI)
- Escáner visible e infrarrojo (VIRS)
- Sistema de energía radiante de la tierra y de las nubes (CERES)
- Sensor de imágenes de relámpagos (LIS)

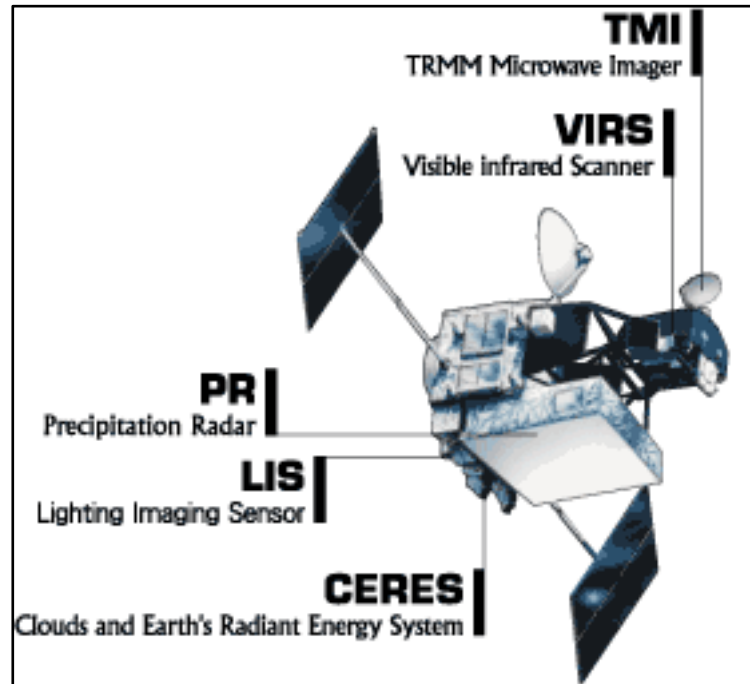


Figura 3.5 Instrumentos del satélite TRMM (NASA, 2022).

El satélite TRMM rodea la Tierra haciendo barridos, y mediante un radar mide la radiación y la convierte en datos de intensidad de la lluvia que se genera en unos 20 km<sup>2</sup>. La medición se hace en tres (3) dimensiones, lo que permite reconstruir tormentas intensas y huracanes, entre otros (Agencia de Noticias UNAL, 2018).

El principio que asume esta estimación se basa en que los topos de nube fríos producen precipitación más intensa que los topos de nube cálida, y de esta forma es posible estimar la tasa de precipitación asociada a la temperatura de brillo del canal (Hobouchian, et al, 2017).

La técnica separa los píxeles de lluvia y no lluvia de acuerdo a un valor construido con la media y la desviación estándar de la temperatura de brillo en un círculo centrado alrededor del píxel de interés. Las nubes en un determinado pixel



producen precipitación si poseen topos más fríos que la media de los píxeles circundantes (Hobouchian, et al, 2017).

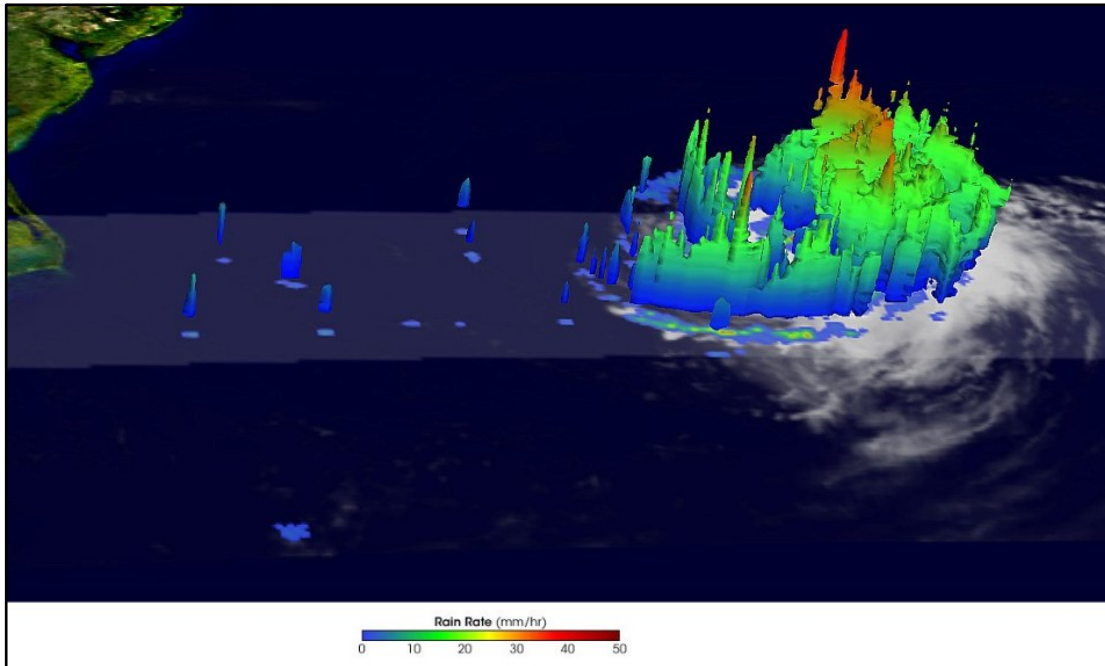


Figura 3.6 Imagen TRMM con la altura de las columnas de lluvia (huracán Irene el 15/08/2005). Las torres más altas producen la lluvia más intensa, mostradas en rojo.

Rivas, (2014) hace un resumen de casos en los cuales se ha utilizado la data proveniente del satélite TRMM en los cuales se obtuvieron resultados satisfactorios. En Perú se realizó una validación de lluvia utilizando el satélite TRMM en dos (2) cuencas amazónicas pertenecientes a dicho país comparando los datos de lluvia in situ con los datos de lluvia 3B43 TRMM, arrojó buenos resultados. Sobre América Latina se realizó la validación del producto de lluvia diaria satélite TRMM 3B42, en comparación con otros satélites que también registran precipitación diaria los resultados de la validación son buenos para los productos TRMM, En general, los datos de precipitaciones de TRMM son fiables y con un adecuado coeficiente de correlación

La Agencia UNAL (2018) reportó que un estudio liderado por el profesor Germán Poveda Jaramillo, del Departamento de Geociencias y Medio Ambiente de la Facultad de Minas de la U.N. Sede Medellín, ha validado la precisión del satélite TRMM en la estimación de lluvias en Colombia.

Aclara la Agencia UNAL (2018) que las certificaciones se hicieron con mediciones del satélite y con información de lluvia obtenida entre 1997 y 2016 de alrededor de 2.000 pluviógrafos que el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) tiene distribuidos en Colombia.

El análisis se hizo para las regiones Andina, Amazónica, Caribe, Orinoquía y Pacífica, debido tanto a que son climáticamente diferentes, como a que presentan variaciones en cuanto a topografía y vegetación.

En general encontraron que el satélite se desempeña mejor en zonas llanas como la Amazonía y la Orinoquía, contrario a la zona Andina, donde los cálculos llegan a ser inexactos, con diferencias de hasta el 50 %.

### **3.3 Bases legales**

#### **3.3.1 Leyes de meteorología e hidrología nacional**

**Artículo 3:** Se declara de interés general y uso público la información básica meteorológica e hidrológica, la cual se considera patrimonio de la República

Bolivariana de Venezuela. La información existente para el momento de la entrada en vigencia de la presente Ley, que se encuentre almacenada o archivada, no podrá ser destruida, ocultada u omitida. La misma deberá ser notificada a las autoridades del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y remitida en los lapsos que a tal efecto se establezcan, con el fin de que sea incorporada al banco nacional de datos meteorológicos e hidrológicos. (Órgano Rector)

**Artículo 14:** Son funciones y atribuciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH):

1. Coadyuvar al órgano rector en la formulación de políticas nacionales en materia meteorológica e hidrológica.

2. Elaborar los planes operativos a corto, mediano y largo plazo concernientes a la función meteorológica e hidrológica en el marco de las políticas del Ministerio con competencia en materia ambiental.

3. Ejercer la autoridad nacional en cuanto al suministro de la información meteorológica e hidrológica; y ser el portavoz oficial con relación a los pronósticos, avisos y alertas meteorológicos e hidrológicos.

4. Suministrar servicios de información con fines de pronóstico y alertas meteorológicos e hidrológicos a mediano y largo plazo; y servicios de asesoría y consultoría técnica al público en el área de su competencia.

5. Realizar actividades de investigación y desarrollo tecnológico en las áreas de su competencia.

6. Coordinar, reglamentar y supervisar las actividades concernientes a la instalación, operación y mantenimiento de las redes meteorológica e hidrológica en el ámbito nacional.

7. Crear, desarrollar y mantener el Banco Nacional de Datos Meteorológicos.

8. Gestionar y administrar la ejecución de convenios, programas y proyectos en materia de su competencia.

9. Proponer normas, especificaciones técnicas y certificaciones en las materias reguladas por esta Ley, así como aquellas para establecer el funcionamiento del Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología (SINAMEH) y velar por su cumplimiento.

10. Formular y establecer los mecanismos de gestión para la obtención de recursos financieros.

11. Promover y estimular la participación ciudadana mediante la formación de una conciencia ante los eventos adversos meteorológicos e hidrológicos y su vinculación con la preservación de los equipos del Instituto.

12. Promover y estimular la creación de un voluntariado que participe y contribuya con el cumplimiento de la función meteorológica e hidrológica.

13. Abrir, sustanciar y decidir los expedientes relativos a los procedimientos administrativos sancionatorios a los infractores o infractoras de la presente Ley.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1 Tipo de investigación**

La investigación holística constituye un desarrollo complejo que requiera de estudio y dedicación. Para Hurtado de B, Jacqueline (2012):

“Dentro de una comprensión holística se concibe la investigación como un proceso continuo, integrador, organizado, sistemático y evolutivo, a través del cual los investigadores de todos los tiempos, y la humanidad en general, transitan en la búsqueda del conocimiento que permite avanzar hacia un mundo cada vez mejor.”

La investigación descriptiva tiene como objetivo la descripción precisa del evento de estudio. Este tipo de investigación se asocia al diagnóstico. Como lo señala Hurtado de B, Jacqueline (2012):

“En la investigación descriptiva el propósito es, exponer el evento estudiado, haciendo una enumeración detallada de sus características, de modo tal que en los resultados se pueda exponer dos niveles, dependiendo del fenómeno y del propósito del investigador: un nivel más elemental, en el cual se logra una clasificación de la información en función de características comunes, y un nivel más sofisticado en el cual se ponen en relación los elementos observados a fin de obtener una descripción más detallada.”

Arias, F. (2012) clasifica la investigación según niveles, que son exploratoria, descriptiva y explicativa. De acuerdo a esto, define la investigación descriptiva “como la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer

su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere”.

En este mismo orden de ideas, es menester señalar que esta investigación será de carácter descriptiva, debido a la narrativa que se establece el estudio de los registros de pluviosidad del satélite TRMM de la NASA y así analizar los datos obtenidos para caracterizar, jerarquizar, construir curvas IDF y compara los registros del mismo.

## **4.2 Diseño de la investigación**

Los estudios meteorológicos de las variables de precipitación e intensidades máximas de lluvias de las estaciones ubicadas en el estado Anzoátegui, están basados en datos actuales, pasados o en su combinación.

### **4.2.1 Investigación documental**

El diseño de investigación a continuación es de tipo documental, ya que las fuentes de datos hidrometeorológicos son recopilados y publicados en entidades gubernamentales, estos datos son compilados y presentados en resúmenes mensuales y anuales respectivamente.

Según, Eyssautier, M (2006). La investigación documental es una investigación que se efectúa a través de consulta en los documentos, pudiendo ser revistas, libros, diarios, informes, anuarios o cualquier otro registro que de testimonio de un hecho o fenómeno. Estas fuentes secundarias a todos aquellos portadores de datos e información que han sido previamente retransmitidos o grabados en cualquier soporte; dicha información de todo investigador que la requiere.

En este orden de ideas, haciendo énfasis en la cita antes mencionada esta investigación es de tipo documental porque se basa en la búsqueda y extracción de datos del satélite TRMM de la NASA para analizar, interpretar y registrar los datos de precipitación de la población de El Tigre.

### **4.3 Población y muestra de la investigación**

#### **4.3.1 Población de la investigación**

La población según Balestrini (1997), se define como “cualquier conjunto de elementos de la que se quiere conocer o investigar alguna de sus características”. (P 126).

Arias, F. (2012) “La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”.

La población de la presente investigación estará constituida por todos los registros pluviométricos efectuados por el satélite de órbita polar TRMM de la NASA a su paso por la zona de estudio a una altitud de 403 km.

#### **4.3.2 Muestra de la investigación**

La muestra según Balestrini (1997), se define como: "una parte o subconjunto de la población" (p.130); ésta podrá representar o no en buena forma a la población y su tamaño dependerá del tipo de estudio que se desee realizar y de acuerdo a la profundidad del mismo, donde hay que considerar varios factores entre ellos el tipo

de distribución y el nivel de significación estadística, para poder seleccionarla, lo cual forma parte de la estadística inferencia.

La muestra “es una porción de la población que se toma para realizar el estudio, la cual se considera representativa (de la población)”. También, indica que “para conformar una muestra es necesario seleccionar cuáles de las unidades de estudio serán observadas” definiendo así el muestreo. (Hurtado, J. 2000)

Según Arias, F (2012) establece que, “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”

En este sentido, las muestras para la realización de este estudio serán registros pluviométricos de 1998 al 2019 tomados del satélite TRMM de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) para la población de El Tigre, estado Anzoátegui Venezuela.

#### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para obtener información relevante proveniente de la realidad objeto de estudio será necesario utilizar distintas técnicas e instrumentos de recolección de datos para cumplir con las metas propuestas.

##### **4.4.1 Técnicas de investigación**

A continuación, se describen las técnicas a utilizar para la recolección de datos.

###### **4.4.1.1 Observación directa.**

Según Arias, F. (2006), la observación “es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho,



fenómeno y situación que se produzcan en la naturaleza o en la sociedad, en función a los objetivos de investigación preestablecidos”.

#### **4.4.1.2 Revisión literaria o bibliográfica**

Para el desarrollo de este proyecto es necesario acudir a fuentes bibliográficas que permitan ampliar los conocimientos hacer del tema en estudio. Esta técnica se basa en la obtención de información mediante la revisión de material bibliográfico tales como: tesis, texto, manuales de la organización, e informes.

#### **4.4.2 Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos incluyen la utilización de computadora, calculadora, equipos gps, cámara fotográfica, impresora, fotocopidora, memoria magnética portátil (pendrive), papelería y artículos de oficina, Internet, programas de ofimática, programas de diseño asistido por computador y de estadística; entre otros.

- a. Equipo de computación (computadora, impresora, escáner, pendrive, entre otros)
- b. Calculadora
- c. Programas de ofimática: Word, Excel, Powerpoint, etc.
- d. Programas de diseño asistido por computador: Autocad.
- e. Programas estadísticos: SPSS
- f. GPS
- g. Cámara fotográfica
- h. Fotocopidora
- i. Papelería
- j. Artículos de oficina, entre otros

#### 4.5 Flujograma de la investigación

Para la realización de esta investigación se seguirá el flujograma (Figura 4.1) en el cual se mencionan las actividades a realizar necesarias para el logro de los objetivos específicos planteados.

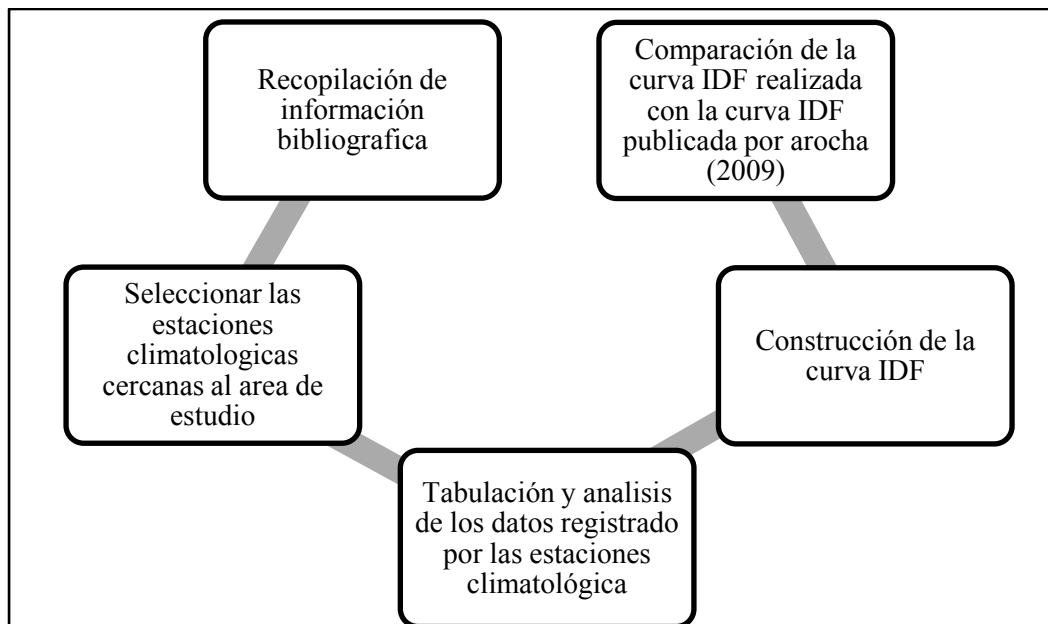


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

#### 4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados se procederá a continuación a dar una explicación breve de las actividades que habrán de cumplirse a tal fin:

#### **4.6.1 Caracterización climática de la zona de estudio**

A tal fin se recopilarán los datos climatológicos de la estación más cercana al área de estudio los cuales son registrados y almacenados por el INAMEH. También se hará uso de información de precipitación proveniente de satélites artificiales y que se encuentra almacenada en servidores de la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*

#### **4.6.2 Determinación de intensidades máximas**

En esta etapa se analizan los registros pluviográficos almacenados en el servidor Giovanni de la NASA correspondientes a su paso por la población de El Tigre, para lo cual se realizan diversos muestreos. Se parte con mediciones de 08:00 hr de la mañana de un día hasta las 08:00 hr. del día siguiente, para una duración de 24 horas; luego, es necesario desplazarse en intervalos de tiempo de forma discreta y estable, utilizando para ello cuñas, con el propósito de ir seleccionando para cada año los valores extremos de precipitación para tiempos de 1,2,4, 6, 8, 12 y 24 horas. Luego, se toman los valores de cada una de las series y se dividen por su duración  $D$  en (horas), obteniéndose así las intensidades en mm/ hr.

En función de la metodología planteada de valores extremos de Gumbel, cada altura máxima de precipitación horaria se divide por su duración en horas, obteniéndose las intensidades de precipitación máximas anuales en mm/hr para cada duración.

Para la selección de los datos de precipitación requeridos para la elaboración de los diferentes análisis gráficos de las estaciones climatológicas ubicada en la zona se tomaron los valores de intensidades máximas ocurridas durante el período de tiempo comprendido de aproximadamente 10 años en las estaciones pluviométricas que se encontraron en todo el estado Anzoátegui.

Para la adquisición de datos de precipitación del satélite TRMM, como primer paso se ingresa a la página web del servidor Giovanni, se identifica el producto TRMM 3B42 y se selecciona la variable Precipitación diaria (mm/día). Luego el período de tiempo, introduciendo fecha de inicio y fecha de finalización

#### **4.6.3 Construcción las curvas intensidad – duración – frecuencia para la zona de estudio**

Se recopilaron los registros de precipitación para el período arriba indicado correspondientes al área de la población de El Tigre.

Con base a los criterios de valores extremos de Gumbel, se procesaron las precipitaciones máximas diarias y se construyeron las curvas Intensidad, Duración y Frecuencia de lluvias para el área de estudio.

#### **4.6.4 Comparación de las curvas IDF generadas con las reportadas por el MOP, (1967) en Arocha, (2009)**

Se extrajeron las curvas IDF correspondientes a la región I, publicadas originalmente por el Ministerio de Obras Públicas (1967) y citadas en la obra “CLOACAS Y DRENAJE” de Arocha, (2009) y luego se comparan con las curvas IDF construidas en esta investigación con la finalidad de determinar las desviaciones entre ambos grupos de curvas.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1 Caracterización pluviométrica del área de estudio**

El área de estudio está conformada por una superficie de 702 km<sup>2</sup>, en la cual se han estudiado las características del clima, con base en el análisis temporal de precipitación, evaporación, temperatura, insolación, humedad relativa y viento, para lo cual se utilizaron los datos de registrados en las estaciones dentro del perímetro o en su área de influencia inmediata.

El área de interés se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge. Esta zona recibe una pluviosidad promedio cercana a los 600 mm anuales (según los registros satelitales), la temperatura media es de 30 °C y su evaporación media anual supera los 2.000 mm. De acuerdo con esto, el área se clasifica según Köppen como Clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi), diferenciado por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien precisos y una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C.

##### **5.1.1 Precipitación**

Ante la escasez de series de tiempo de precipitación continua de algunas estaciones meteorológicas disponibles en el área de El Tigre y la existencia de limitadas bases de datos a nivel temporal y espacial de las instituciones oficiales, son condiciones que no permiten un estudio con base a lecturas directas. Por lo que se propone este estudio, cuyo objetivo es comparar la precipitación mediante productos de satélites. El producto 3B42 V6: usa una combinación de estimaciones de precipitación del satélite TRMM y otros satélites para ajustar las estimaciones basadas

en mediciones de radiación infrarroja de los satélites geoestacionarios. A continuación, se presentan los datos tomados del servidor Giovanni.

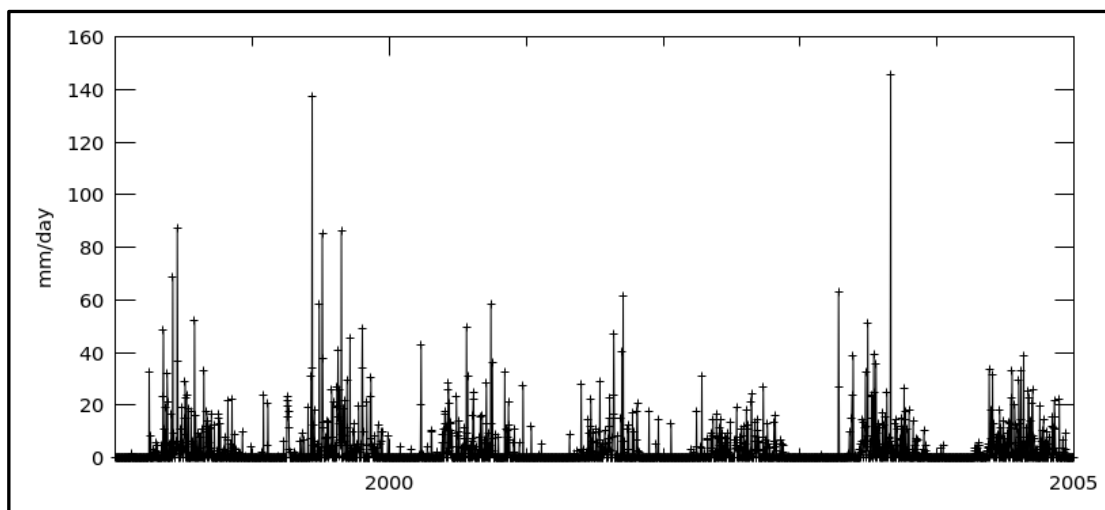


Figura 5.1 Precipitación diaria (mm/día). Resolución 0.25x0,25 grados. Período 1998- 01-01 01 - 2005-01-01 (Servidor Giovanni NASA, 2023).

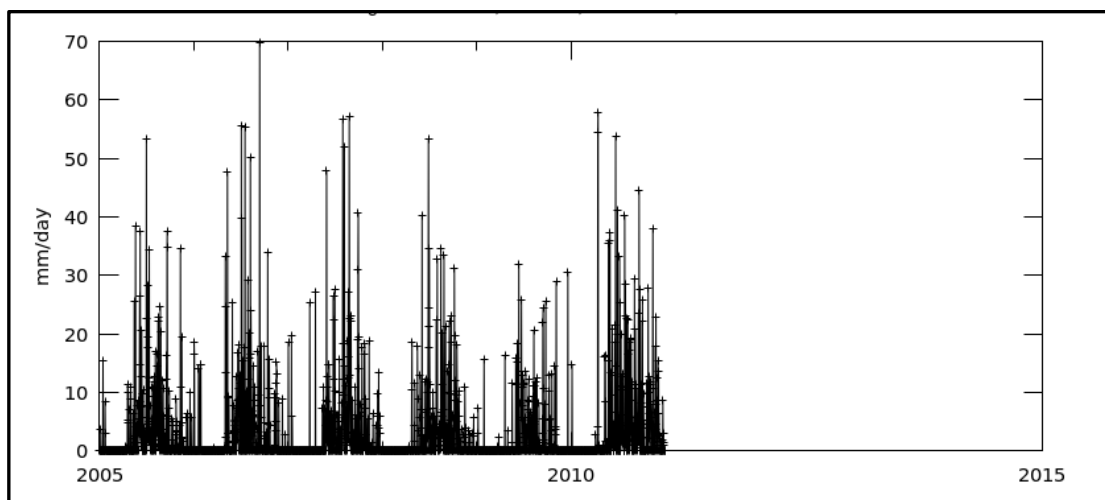


Figura 5.2 Precipitación diaria (mm/día). Resolución 0.25x0,25 grados. Período 2005-01-01 01 - 2011-01-01 (Servidor Giovanni NASA, 2023).

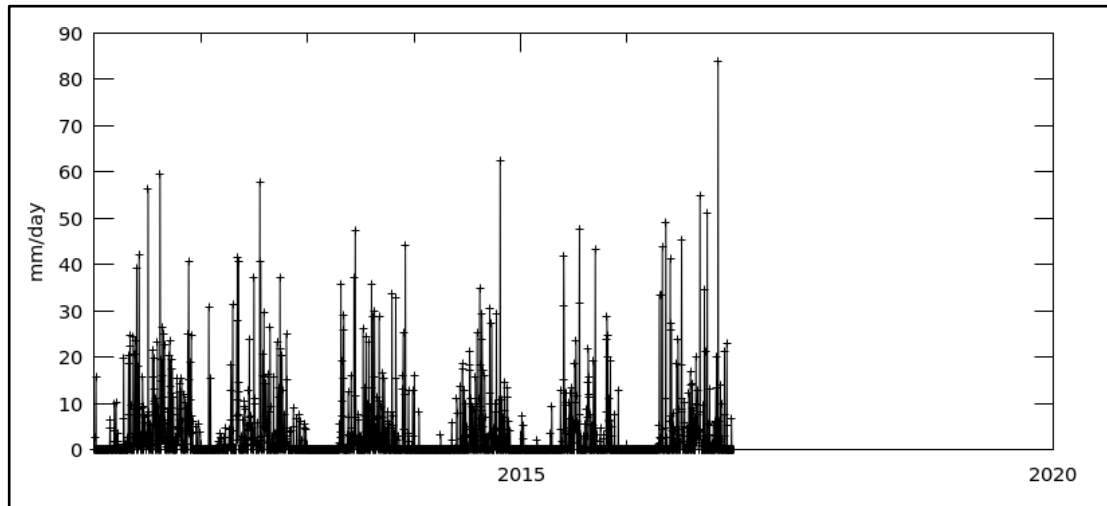


Figura 5.3 Precipitación diaria (mm/día). Resolución 0.25x0,25 grados. Período 2011-01-01 01 - 2017-01-01 (Servidor Giovanni NASA, 2023).

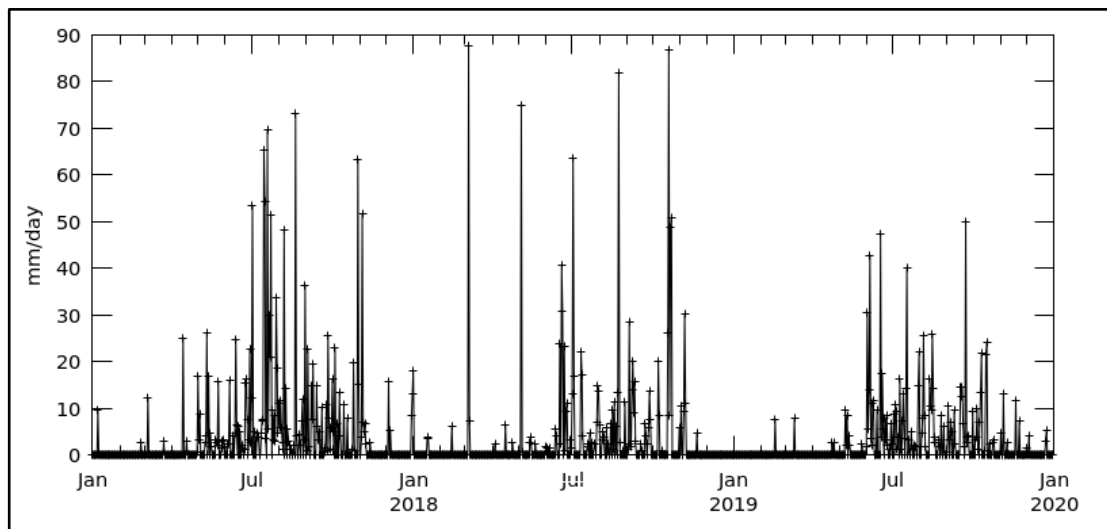


Figura 5.4 Precipitación diaria (mm/día). Resolución 0.25x0,25 grados. Período 2017-01-01 - 2019-12-31 (Servidor Giovanni NASA, 2023).

Este dato de precipitación acumulada diaria se genera a partir del análisis de precipitación del multisatélite TRMM de tres (3) horas de calidad de investigación TMPA (3B42). Se produce en el GES DISC de la NASA, como un producto de valor agregado. Se aplica la suma simple de recuperaciones válidas en una celda de

cuadrícula para el día específico de datos solicitados. El resultado se da en (mm). La hora de inicio y finalización de cada gránulo diario se enumeran en los atributos globales del archivo y se toman correspondientemente del primer y último gránulo de tres (3) horas que participan en la agregación. Así, el período cubierto por un gránulo diario asciende a 24 horas, que se pueden inspeccionar en los atributos globales del archivo.

El régimen pluviométrico es de tipo unimodal, debido a que se registra un solo tope de lluvia durante el año. Este ocurre en los meses del verano astronómico de la zona templada norte (Junio, Julio y Agosto), lo cual corresponde con la época de mayor actividad de la Convergencia Intertropical, responsable directa de la distribución temporal de las lluvias en el territorio venezolano. En estos tres (3) meses se recoge casi el 50% del volumen total de precipitación anual. El valor más bajo de precipitación se registra en el mes de marzo, coincidiendo con la época del equinoccio de primavera del hemisferio norte.

## **5.2 Jerarquizar la serie de datos pluviométricos del período seleccionado para la población de El Tigre**

Con base a la serie de datos de pluviometría de máximas diarias para la población de El Tigre correspondiente al período 1998 al 2019 (22 años), registrados por el satélite TRMM y almacenados en el servidor Giovanni de la NASA, que se muestran en los apéndices A.1 hasta el A.22, se procedió a determinar los valores máximos mensuales de la precipitación (mm), tal como se muestran en la siguiente tabla:



Tabla 5.1 Pluviosidad promedio máxima mensual (mm) para 24 horas para El Tigre, período 1998 – 2019.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	Precip max registrada anual (Pr)
1998	0	1	33	8	49	87	52	33	17	22	22	10	87
1999	24	21	6	23	19	138	85	86	46	49	31	13	138
2000	4	21	33	23	49	138	85	86	46	49	31	13	138
2001	12	5	0	9	28	22	29	47	61	21	17	14	61
2002	13	0	18	31	16	15	19	25	27	16	7	1	31
2003	0	1	0	63	39	33	51	146	15	26	11	5	146
2004	5	0	0	6	33	18	33	39	26	20	22	10	39
2005	15	0	0	11	38	38	53	25	38	9	35	10	53
2006	18	0	0	0	48	18	55	50	70	34	15	9	70
2007	20	0	25	27	48	27	28	57	41	19	19	13	57
2008	0	0	0	18	18	53	35	35	23	31	11	6	53
2009	16	0	2	16	11	32	14	21	25	14	29	30	32
2010	15	0	0	58	36	54	40	23	44	28	38	15	58
2011	16	6	10	20	39	42	56	60	24	15	41	7	60
2012	31	16	5	31	42	24	58	30	37	25	9	8	58
2013	0	0	0	36	29	47	26	36	29	34	25	44	47
2014	16	0	0	3	11	19	21	35	30	63	15	0	63
2015	7	2	0	9	42	13	48	22	43	29	19		48
2016	0	0	0	34	49	27	45	20	55	51	84	23	84
2017	10	3	12	25	26	25	70	73	26	63	52	16	73
2018	18	6	88	6	75	41	64	82	29	87	30	0	88
2019	0	7	8	3	10	47	40	26	50	24	13	5	50

Seguidamente los registros máximos para cada uno de los veintidós (22) años de la serie de datos de pluviosidad considerados, serán ordenados de mayor a menor magnitud y corregidos mediante un factor de corrección de 1.13 y se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Registros máximos anuales de pluviosidad de El Tigre ordenados y corregidos.

Año	Precip max registrada (pr)	Año ordenado según la Pr ordenada de mayor a menor	Precip ordenada de mayor a menor (Pr ord)	Precip ordenada y corregida (Pr ord x 1.13)
1998	87	2003	146	164.63
1999	138	1999	138	155.39
2000	138	2000	138	155.39
2001	61	2018	88	99.06
2002	31	1998	87	98.65
2003	146	2016	84	94.74
2004	39	2017	73	82.54
2005	53	2006	70	78.74
2006	70	2014	63	70.67
2007	57	2001	61	69.49
2008	53	2011	60	67.27
2009	32	2012	58	65.42
2010	58	2010	58	65.22
2011	60	2007	57	64.45
2012	58	2005	53	60.30
2013	47	2008	53	60.17
2014	63	2019	50	56.43
2015	48	2015	48	53.98
2016	84	2013	47	53.62
2017	73	2004	39	44.09
2018	88	2009	32	36.09
2019	50	2002	31	35.08

### 5.3 Construcción de las curvas IDF utilizando los principios de la distribución de Gumbel con base a las precipitaciones máximas anuales

La lluvia está definida por tres (3) variables: la intensidad, la duración y el período de retorno (Tr). La intensidad es la lámina o profundidad total de lluvia ocurrida durante una tormenta.

De esta forma, la altura de la lámina de agua caída en el lugar de la tormenta, incorpora la cantidad de lluvia precipitada y la duración del evento. Mientras que el período de retorno), es la frecuencia, o intervalo de recurrencia, es decir, el número de años promedio en el cual el evento puede ser igualado o excedido cuando menos una vez. En el entendido, que el riesgo es mayor, cuanto menor es el período de retorno o recurrencia.

Tal como se mencionó anteriormente, se utilizará el método de Gumbel utilizando además los criterios de Cheng-Lung Chen (1983) y el de F.C. Bell (1969).

### **5.3.1 Estimación del período de retorno empírico ( $T_r$ ) y las probabilidades de excedencia ( $P$ ) y de no excedencia $F(P)$**

Se considerará un  $n= 22$ , correspondiente al período de análisis o número de años que constituye la base de datos satelitales de precipitaciones de El Tigre utilizada. Asimismo, las precipitaciones serán corregidas considerando un factor de 1.13. Obsérvese en la tabla siguiente, la estimación de los parámetros antes señalados.

Tabla 5.3 Estimación de Período de retorno y probabilidades de excedencia y de no excedencia.

m	Precip corregida y ordenada	Período de retorno empírico (años)	Probabilidad de excedencia (P)	Probabilidad de no excedencia	Logaritmo natural de la precip	Sumatoria probabilidades de excedencia + no excedencia	Precip corregida y ordenada
	$Pr\ corr=Pr*1.13$	$Tr=(n+1)/m$	$P=m/(n+1)$	$F(P)=(Tr-1)/Tr$	$Ln(Pr)$	$P+F(P)$	$Pr\ corr=Pr*1.13$
1	164.63	23.00	0.043	0.957	5.104	1.000	164.63
2	155.39	11.50	0.087	0.913	5.046	1.000	155.39
3	155.39	7.67	0.130	0.870	5.046	1.000	155.39
4	99.06	5.75	0.174	0.826	4.596	1.000	99.06
5	98.65	4.60	0.217	0.783	4.592	1.000	98.65
6	94.74	3.83	0.261	0.739	4.551	1.000	94.74
7	82.54	3.29	0.304	0.696	4.413	1.000	82.54
8	78.74	2.88	0.348	0.652	4.366	1.000	78.74
9	70.67	2.56	0.391	0.609	4.258	1.000	70.67
10	69.49	2.30	0.435	0.565	4.241	1.000	69.49
11	67.27	2.09	0.478	0.522	4.209	1.000	67.27
12	65.42	1.92	0.522	0.478	4.181	1.000	65.42
13	65.22	1.77	0.565	0.435	4.178	1.000	65.22
14	64.45	1.64	0.609	0.391	4.166	1.000	64.45
15	60.30	1.53	0.652	0.348	4.099	1.000	60.30
16	60.17	1.44	0.696	0.304	4.097	1.000	60.17
17	56.43	1.35	0.739	0.261	4.033	1.000	56.43
18	53.98	1.28	0.783	0.217	3.989	1.000	53.98
19	53.62	1.21	0.826	0.174	3.982	1.000	53.62
20	44.09	1.15	0.870	0.130	3.786	1.000	44.09
21	36.09	1.10	0.913	0.087	3.586	1.000	36.09
22	35.08	1.05	0.957	0.043	3.558	1.000	35.08
$\Sigma/n=$	78.70			$\Sigma/n=$	4.276		
S=	36.78			S=	0.422		

### 5.3.2 Estimación de estadígrafos requeridos

En la misma tabla 5.2 se han determinado y se muestran los parámetros estadísticos o estadígrafos necesarios:

Tabla 5.4 Resumen de la estimación de parámetros estadísticos.

Número de datos (n):		=	22
Media aritmética de las precipitaciones:	$\bar{p} = \frac{\sum P_r}{n}$	=	78.70
Desviación estándar de las precipitaciones:	$S = \sqrt{\frac{\sum (P_r - \bar{p})^2}{n - 1}}$	=	36.78
Media aritmética de los logaritmos de las precipitaciones:	$\bar{p}_y = \frac{\sum [\ln(P_r)]}{n}$	=	4.276
Desviación estándar del logaritmo de las precipitaciones:	$S_y = \sqrt{\frac{\sum (P_r - \bar{p}_y)^2}{n - 1}}$	=	0.422

### 5.3.3 Estimación de la prueba de error estándar de ajuste con datos de precipitaciones máximas

La estimación del error estándar de ajuste (E.E) que se tendría para la distribución de valores extremos de Gumbel se estimará de acuerdo a la siguiente fórmula y a los parámetros de ajuste  $\mu$  y  $\alpha$ :

$$E.E = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{P}_r - P_r)^2}{n - mp} \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

Donde:

E.E: error estándar de ajuste de la distribución

n: es el número de datos o tamaño de la muestra = 22

mp: número de estimadores del modelo o número de parámetros de ajuste = 2

$P_{Tr}$ : precipitación para el período de retorno empírico

$P_r$ : precipitación registrada corregida

Los parámetros de ajuste ( $\mu$  y  $\alpha$ ) se determinan mediante las siguientes relaciones:

$$\mu = P_{\text{prom}} - 0.45 S = \mathbf{62.15} \quad (5.2)$$

$$\alpha = 0.78 S = \mathbf{28.69} \quad (5.3)$$

$$n = 22$$

$$mp = 2$$

La precipitación para el período de retorno empírico ( $P_{Tr}$ ) se determinará mediante la fórmula:

$$\hat{P}_{Tr} = \hat{\mu} - \hat{\alpha} \text{Ln Ln} \left[ \frac{1}{F(P)} \right] \quad (5.4)$$

Tabla 5.5 Estimación de la precipitación para el período de retorno empírico.

muestra	Precipitación corregida y ordenada	Precipitación para período de retorno empírico (ec. 5.4)	$(P_{Tr} - Pr)^2$
(m)	(Pr)	( $P_{Tr}$ )	
1	164.63	151.462	173.279
2	155.39	130.918	598.751
3	155.39	118.600	1353.298
4	99.06	109.632	111.860
5	98.65	102.484	14.699
6	94.74	96.471	3.004
7	82.54	91.227	75.482
8	78.74	86.532	60.723
9	70.67	82.239	133.853
10	69.49	78.248	76.707
11	67.27	74.482	52.028
12	65.42	70.881	29.816
13	65.22	67.395	4.721
14	64.45	63.978	0.225
15	60.30	60.586	0.080
16	60.17	57.170	9.023
17	56.43	53.675	7.591
18	53.98	50.025	15.614
19	53.62	46.110	56.332
20	44.09	41.742	5.530
21	36.09	36.534	0.198
22	35.08	29.367	32.609
		$\Sigma =$	<b>2782.815</b>

Sustituyendo valores en la ecuación 5.1 se tiene que el error de ajuste (E.E.) para la distribución Tipo 1 Gumbel es 11.796.

Se procede a determinar las precipitaciones de diseño para 24 hr ( $P_{Tr}^{24h}$ ) haciendo uso de la ecuación 5.4 y considerando períodos de retorno ( $Tr$ ) de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 y 5000 años.

Tabla 5.6 Precipitaciones de diseño para 24 hr según el  $Tr$  determinado.

Tiempo retorno (años)	Función de distribución acumulada $F(P)=(Tr - 1) / Tr$	Precipitación de diseño con período de retorno 24 h (ec 5.4)
( $Tr$ )	F(P)	$P_{Tr}^{24h}$
2	0.5000	72.664
5	0.8000	105.178
10	0.9000	126.706
20	0.9500	147.355
25	0.9600	153.905
50	0.9800	174.084
100	0.9900	194.113
200	0.9950	214.069
500	0.9980	240.398
1000	0.9990	260.296
2000	0.9995	280.188
5000	0.9998	306.477

#### 5.3.4 Relación entre la precipitación de diseño de 1 hr y de 24 hr

De acuerdo a la ecuación de segundo grado según el Dr Raúl Conde (2014) en contubernio con la Universidad de Puebla, generó la siguiente ecuación que permite establecer la constante  $R$ , la cual es función de la elevación del área de estudio.

$$R = -(0.000000009 * Elev^2) + (0.0002 * Elev) + 0.3073 \quad (5.5)$$

Donde:

R: constante de relación entre precipitación de 1 hr y de 24 hr

Elev: elevación del área de estudio (El Tigre) (msnm)= 265 msnm

Para el caso que se trata en esta investigación (población de El Tigre), la elevación (Elev) es de 265 msnm. Aplicando la ecuación 5.5 se obtiene:

$$R = 0.359668$$

Tabla 5.7 Precipitaciones de diseño de 24 hr y de 1 hr.

<b>Tiempo retorno (años)</b>	<b>Precipitación de diseño para 24 hr (<math>P_{Tr}^{24h}</math>) (mm)</b>	<b>Precipitación de diseño para 1 hr (<math>P^{1h}</math>) (mm)</b>
2	72.664	26.135
5	105.178	37.829
10	126.706	45.572
20	147.355	52.999
25	153.905	55.355
50	174.084	62.612
100	194.113	69.816
200	214.069	76.994
500	240.398	86.463
1000	260.296	93.620
2000	280.188	100.775
5000	306.477	110.230

De la tabla anterior se desprenden los siguientes valores conspicuos para la construcción de las curvas IDF:



Tabla 5.8 Valores conspicuos de precipitación.

$P_{2\text{años}}^{1h}$	26.135	Precipitación de una hora y dos años de período de retorno
$P_{10\text{ años}}^{1h}$	45.572	Precipitación de una hora y diez años de período de retorno
$P_{10\text{ años}}^{24h}$	126.706	Precipitación de 24 horas y diez años de período de retorno
$P_{100\text{ años}}^{24h}$	194.113	Precipitación de 24 horas y cien años de período de retorno
$RP = R * 100$	35.967	Relación de precipitaciones de 1 h con respecto a la de 24 h

### 5.3.5 Determinación de las curvas IDF por los métodos de Cheng-Lung Chen (1983) y F.C. Bell

A tal efecto, se procede a la determinación de las variables regionales para cada método:

#### 5.3.5.1 Variables regionales según el método Cheng (1983)

Tabla 5.9 Ecuaciones de las Variables regionales de Cheng (1983).

$a = -0.000004166 * (RP^4) + 0.00052777 * (RP^3) - 0.01625 * (RP^2) + 0.6662 * (RP) - 1.5$ $b = -0.0000027083 * (RP^4) + 0.00041527 * (RP^3) - 0.02477 * (RP^2) + 0.9551 * (RP) - 11.25$ $c = -0.00012 * (RP^2) + 0.019 * (RP) + 0.1628$ $F = (P_{100\text{ años}}^{24h}) / (P_{10\text{ años}}^{24h})$
---

La aplicación de las fórmulas anteriores arrojó las siguientes magnitudes para cada uno de las variables regionales:

Tabla 5.10

<b>a =</b>	<b>19.024</b>
<b>b =</b>	<b>5.848</b>
<b>c =</b>	<b>0.691</b>
<b>F =</b>	<b>1.532</b>

### 5.35.2 Variables regionales según el método de F.C Bell (1969)

Para el caso del método de Bell, sólo se amerita una sola variable:

$$P_{2\text{años}}^{1\text{h}} = 5.054 \text{ mm}$$

### 5.3.6 Construcción de las curvas IDF

Como se afirmó en el numeral anterior, las curvas IDF se construirán con base a los criterios de Cheng-Lung Chen (1983) y a los criterios de F.C Bell (1969).

<p><b>MODELO DE CHENG-LUNG CHEN</b></p> <p>INTENSIDAD (MM/HR)</p> $I = \frac{(a \cdot P_{60}^{10} \cdot \text{LOG}(10^{2-F} \cdot T_r^{F-1}) \cdot D)}{60 \cdot (D+b)^c \cdot \frac{d}{60}}$	<p>SE RECOMIENDA UTILIZAR BELL PARA PERIODOS DE RETORNO IGUAL O MENOR A 10 AÑOS Y APLICAR EL CRITERIO DE CHEN PARA PERIODOS DE RETORNO MAYOR A 10 AÑOS.</p> <p>LA DURACION DE LA TORMENTA NO DEBERA SER MENOR A 5 MINUTOS. En el caso de que el Tiempo de concentración sea menor se colocará 5 minutos.</p>	<p><b>MODELO DE F.C. BELL</b></p> <p>INTENSIDAD (MM/HR)</p> $I = \frac{(0.35 \cdot \text{LN}(T_r) + 0.76) \cdot ((0.54 \cdot D^{0.25}) - 0.5) \cdot P_{60}^2}{\frac{d}{60}}$
--	--	--

Figura 5.5 Formulación y criterio de aplicación de los métodos de Cheng y de Bell.

Tabla 5.11 Intensidad, duración y Frecuencia de precipitaciones en El Tigre según el criterio de Cheng (1983).

Intensidad de lluvia (mm/hr) según modelo de Cheng-Lung Chen (1983)							
Tiempo de retorno (años)	Duración (min)						
	5	10	20	30	40	50	60
2	104.88	80.71	57.57	45.92	38.74	33.81	30.17
5	140.23	107.92	76.97	61.40	51.80	45.20	40.34
10	166.97	128.50	91.64	73.11	61.68	53.82	48.03
25	202.31	155.70	111.04	88.58	74.74	65.21	58.20
50	229.05	176.28	125.72	100.29	84.61	73.83	65.89
100	255.79	196.86	140.40	112.00	94.49	82.45	73.58
200	282.53	217.43	155.07	123.71	104.37	91.07	81.27
500	317.88	244.64	174.47	139.19	117.43	102.46	91.44
1000	344.62	265.21	189.15	150.89	127.30	111.08	99.13

Tabla 5.12 Intensidad, duración y frecuencia de precipitaciones en El Tigre según el criterio de F.C.Bell (1969).

Intensidad de lluvia (mm/hr) según modelo de F.C. Bell (1969)							
Tiempo de retorno (años)	Duración (min)						
	5	10	20	30	40	50	60
2	96.69	72.36	50.46	40.03	33.72	29.43	26.28
5	127.61	95.51	66.61	52.83	44.51	38.84	34.69
10	151.01	113.02	78.82	62.52	52.67	45.96	41.04
25	181.93	136.17	94.96	75.32	63.46	55.38	49.45
50	205.33	153.68	107.17	85.00	71.62	62.50	55.81
100	228.72	171.19	119.38	94.69	79.78	69.62	62.17
200	252.12	188.70	131.59	104.38	87.94	76.74	68.53
500	283.05	211.84	147.73	117.18	98.73	86.15	76.93
1000	306.44	229.35	159.94	126.86	106.89	93.28	83.29

La relación probabilística entre la intensidad de la lluvia, su duración y frecuencia, es usualmente presentada en forma de gráficas. Estas representaciones son generalmente referidas como curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), que resultan de unir los puntos que especifican la intensidad de la lluvia, en intervalos de diferente duración y, también en distintos periodos de retorno. Con base en la tabla 16 se construyeron las Curvas IDF (Figuras 5.17 y 5.18).

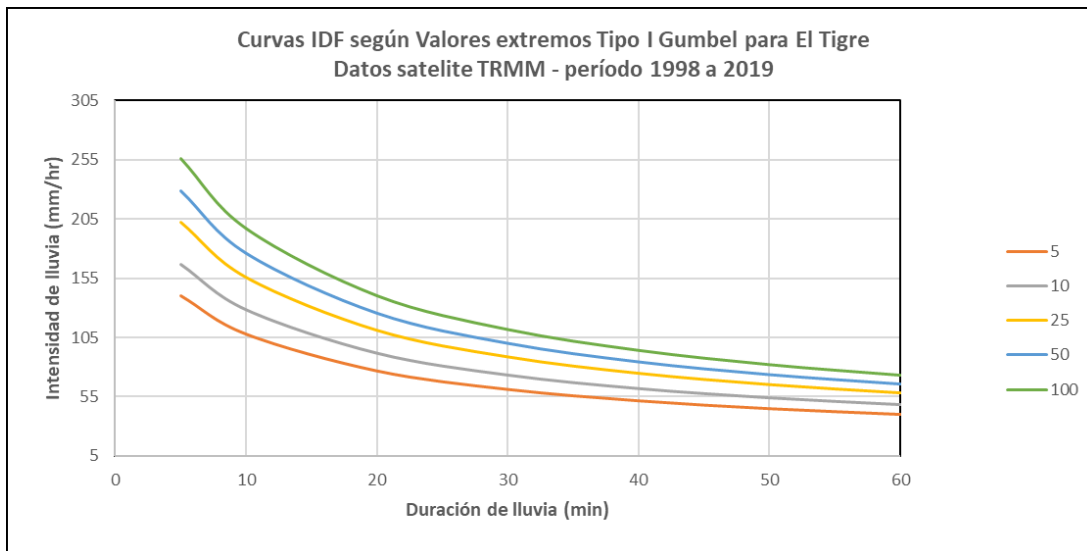


Figura 5.6 Curvas IDF para El Tigre según criterio de Cheng(1983).

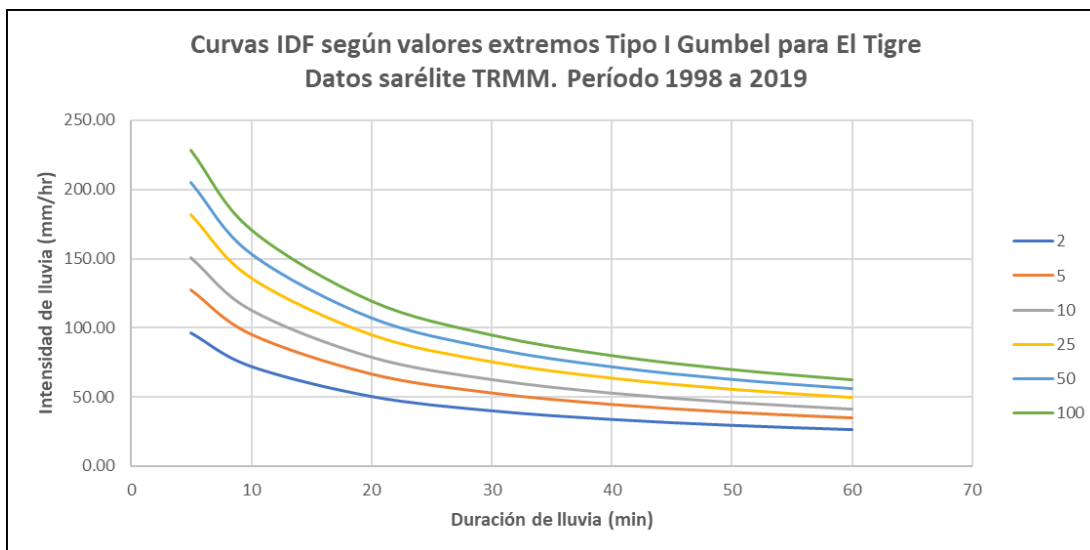


Figura 5.7 Curvas IDF para El Tigre según criterio de F.C. Bell (1969).

#### 5.4 Comparación de las curvas IDF construidas con las curvas IDF publicadas por Arocha (2009) para la región en estudio

Se presentan a continuación las curvas IDF correspondientes a la región hidrológica III la cual incluye la población de El Tigre en la zona sur del estado Anzoátegui (Figura 5.19).

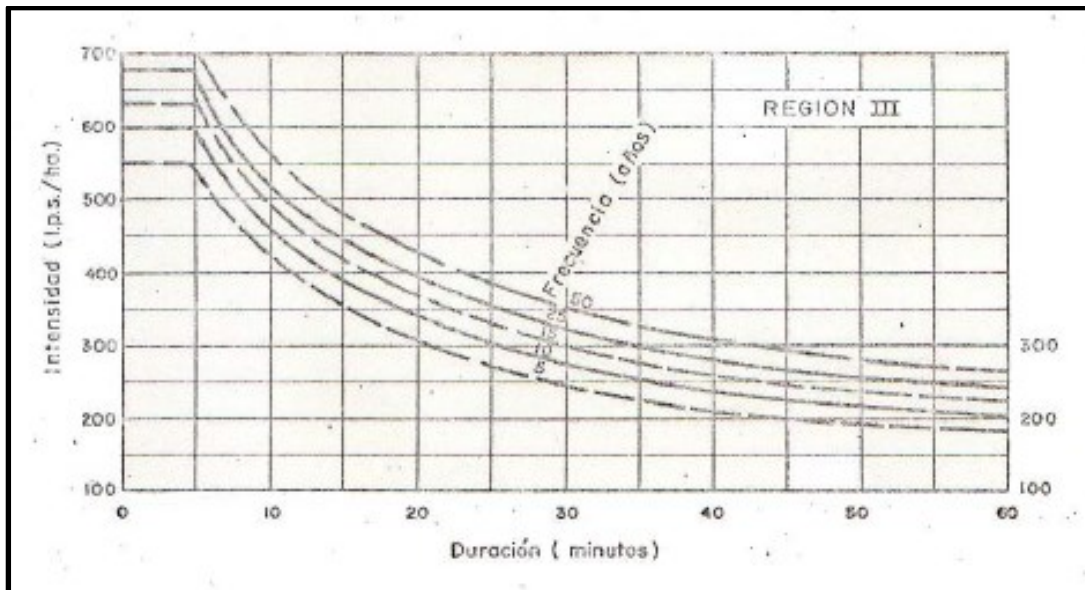


Figura 5.8 Curvas IDF de Región Hidrológica III (MOP, 1967 en Arocha, S., 2009).

En ese sentido, todas las intensidades de precipitación presentadas en las curvas IDF, publicadas en el documento “Manual de Drenaje del MOP” en 1967, fueron transformadas de lps/ha a unidades de mm/hr con la finalidad de hacer posible la comparación en cuestión.

Para la zona en estudio se pudo constatar que todas las intensidades de lluvias calculadas para las curvas IDF del período 1998 - 2019 (para los Tr de 5, 10, 25 y 50 años) muestran una disminución moderada con respecto a las curvas IDF de la Región hidrológica III publicadas en el año 1967. Sin embargo es de hacer notar que para período de retorno de 100 años las intensidades de lluvia son similares en magnitud.

Finalmente, es necesario acotar que las variaciones observadas en las intensidades de lluvia calculadas para las curvas IDF producidas en esta investigación, podrían ser producto de los siguientes factores:

Las variaciones climáticas que pudieron ocurrir en la zona probablemente se deban a condiciones del microclima de la población de El Tigre en relación a la extensa área de aplicabilidad de las curvas IDF presentadas por Arocha y en el Manual de Drenaje del MOP (1967)

El cálculo de las curvas IDF publicadas por el MOP (1967) se corresponden a un período de datos de 35 años, mientras que las generadas en esta investigación fueron generadas con base a un registro de 22

Las curvas IDF publicadas por el MOP (1967) corresponden a una amplia zona denominada Región Hidrológica III, mientras que las generadas en esta investigación se corresponden específicamente con la pluviometría observada en la población de El Tigre.

Las curvas IDF presentadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967) fueron calculadas con base a los registros pluviométricos terrestres de la Región Hidrológica III, mientras que las curvas IDF producidas en esta investigación, devienen del procesamiento de datos pluviométricos de origen satelital (TRMM de la NASA).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. La zona de estudio presenta una pluviosidad promedio (alrededor de los 600 mm anuales), de la temperatura media anual (30 °C) y su evaporación promedio (mayor a 2000 mm por año), se concluye que el área de estudio se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge. Sin embargo, por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, con una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C, el área se clasifica también como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi) según Köppen.
2. Con base a los registros pluviométricos del satélite TRMM correspondiente al año 2019, la precipitación promedio anual oscila entre 187 mm y 576 mm anuales. Asimismo, es necesario destacar que este parámetro climático presenta un comportamiento unimodal, es decir un solo máximo al año el cual ocurre entre los meses entre Junio, Julio y Agosto (cuando se recoge más del 50% de las precipitaciones anuales) y un mínimo o sequía durante el mes de Marzo.
3. Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia fueron construidas siguiendo los criterios extremos máximos de Gumbel siguiendo los modelos de Cheng-Lung Chen (1983) y de F.C Bell (1969) con los registros máximos diarios correspondientes a un período de registros de pluviosidad del satélite TRMM de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) de 22 años (1998-2019), considerando duraciones de lluvia de 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min y 60 min y períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

4. Una vez comparadas las curvas IDF publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967) y las generadas en esta investigación se concluye que las estimaciones de intensidad de lluvia generadas en esta investigación están moderadamente por debajo de las publicadas por el MOP.

5. Se presume que las variaciones entre las curvas IDF del MOP y las aquí generadas se deben a factores tales como: ámbito espacial de aplicación diferente (una población vs toda la región hidrológica III), muestra de datos considerada diferentes (35 años las del MOP y 22 años las actuales), orígenes de datos distintos (medición pluviométrica terrestre vs satelital), variaciones del micro clima en el sur del estado Anzoátegui, entre otras.

### **Recomendaciones**

1. Se sugiere a los futuros investigadores del área hidrometeorológica que considerando las diferencias entre las técnicas de medición de precipitación terrestre y satelitales, realizar una validación o comparación de las curvas IDF generadas con ambos tipos de registros de precipitación para el mismo período y para el mismo ámbito espacial con la finalidad de cotejar la validez de los registros pluviométricos satelitales para estos fines.

2. Se sugiere a las autoridades de la Escuela de Ciencia de la Tierra a exponer oficialmente al Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología la importancia de mantener actualizadas y disponibles las bases de datos correspondientes a los registros de los parámetros climatológicos de las estaciones que se mantienen activas efectuando mediciones en todo el oriente del territorio del país, con la finalidad de que sirvan de insumo para los análisis pluviométricos que académicamente se requieren para el desarrollo de investigaciones que involucren tal variable climática.



## REFERENCIAS

Agencia UNAL. (2018). **LA NASA Y LA U.N. EVALUARÁN MEDICIÓN DE LLUVIAS TROPICALES**. Universidad Nacional de Colombia.

Aguasuelos Ingeniería, S.C (1993). **CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL ÁREA NORTE DE MONAGAS FASE IV**, Informe preparado para Corpoven, Monagas, Venezuela, pp 15-51.

Anonimo. (2022). **APTITUD DE LAS TIERRAS DE LA ZONA DE CHAGUARAMAS, ESTADO MONAGAS, PARA LA SIEMBRA DE PINUS CARIBEA**

Aparicio, F. (1987). **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Balderas, México; Limusa.

Arias, F. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. (5TA Edición). Editorial Episteme, Caracas, Venezuela, pp 20-83.

Arocha, S. (1983). **CLOACAS Y DRENAJES**. Ediciones Vega. Caracas.

Arocha, S. (2009). **CLOACAS Y DRENAJES**. Ediciones Vega. Caracas.

Aros, V. (1997). **APUNTES DE HIDROLOGÍA. INGENIERÍA CIVIL**. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 25 - 31 p.

Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (1965). **DISPOSICION Y TRATAMIENTO DEL AGUA PRODUCIDA**, 15 junio 2015, [<http://www.oilproduction.net/>].

Aymard R., Pimentel, I., Eitz, P., Chaouch, A., Navarro, J., Mijares, J., Pereira, J., (1990), **GEOLOGICAL INTEGRATION AND EVALUATION OF NORTHERN MONAGAS, EASTERN VENEZUELA BASIN**. EN J. BROOKS, ED, **CLASSIC PETROLEUM PROVINCES: GEOLOGICAL SOCIETY OF LONDON SPEAD PUBLICATION N° 50**, 37-53 p.

Benítez, A. (2002). **CURVAS DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN**. Chile.

Bradley, A. (1997). **REGIONAL FREQUENCY ANALYSIS METHODS FOR EVALUATING CHANGES IN HYDROLOGIC EXTREMES** (Submitted

to Water Resources Research). University of Iowa.  
<<http://www.icaen.uiowa.edu/~abradley/publications/rfa1.pdf>>

Bradley, A. Y Zhao, H. (1997). **CLIMATIC VARIATIONS IN EXTREME PRECIPITATION IN THE MIDWEST** (Submitted to Journal of Hydrologic Engineering). University of Iowa.  
<<http://www.icaen.uiowa.edu/~abradley/publications/rfa2.pdf>>

Brito, P; Comerma, J.; Cañizales, R (1975). **APTITUD DE LAS TIERRAS DE LA ZONA DE CHAGUARAMAS, ESTADO MONAGAS, PARA LA SIEMBRA DE PINUS CARIBEA**. CENIAP, Programa Nacional de Suelos, Maracay 25(4): 295-304.

Carvalho, C. y Farías. E. (2015). **PROPUESTA DE SISTEMA DRENAJE SUPERFICIAL PARA CONDUCCIÓN DE LAS AGUAS PLUVIALES EN EL URBANISMO S-1 EN LA POBLACIÓN DE ZUATA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA**. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Núcleo Bolívar. Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

Comisión Estatal de Agua de Queretaro (2013). **NORMAS Y LINEAMIENTOS PARA LAS INSTALACIONES DE AGUA POTABLE, AGUA TRATADA, ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LOS FRACCIONAMIENTOS Y CONDOMINIOS DE DE ZONA URBANA DE QUERETARO, MÉXICO**. Santiago de Queretaro.

Chen, C. L. 1983. " **RAINFALL INTENSITY-DURATION-FREQUENCY FORMULAS** ,"J. Hydro. Engrg., ASCE, 109(12), 1603-1621 p.

Cid, L.; Mora, C.; Valenzuela, M. (1990). **ESTADÍSTICA MATEMÁTICA. PROBABILIDADES E INFERENCIA ESTADÍSTICA**. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias. Departamento de matemáticas. Chile. 319 p.

Chereque, W. (2003). **HIDROLOGÍA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL**. 2a edición. Concytec. Perú.

Chow, V. (1964). **STATISTICAL AND PROBABILITY ANALYSIS OF HYDROLOGIC DATA; PART I: FREQUENCY ANALYSIS. HANDBOOK OF APPLIED HYDROLOGY; A COMPENDIUM OF WATER RESOURCES TECHNOLOGY**. New York. McGraw-Hill.

Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. (1994). **MANUAL DE HIDROLOGÍA APLICADA**. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.

Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. (2000). **HIDROLOGÍA APLICADA**. - McGraw-Hill Interamericana.

Custodio, E., Llamas, M., (1976) **HIDROLOGÍA SUBTERRANEA**. Ediciones Omega, Barcelona, España. Tomo I, p 1154.

Escalona y Velázquez (2006), **ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO DE LA PENÍNSULA DE PARAGUANÁ**

Escuela De Ingeniería De Antioquia. (2009). **BIBLIOTECA DIGITAL EIA**. (L. d. Hidrología, Productor) Recuperado el 14 de Abril de 2015. <<http://fluidos.eia.edu.co/hidrologiai/probabilidad/probabilidad.htm> >

EULA. (1993). **GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO BÍO-BÍO Y DEL ÁREA MARINA COSTERA ADYACENTE** Programa Interuniversitario. Di Ricerca Scientifica Applicata e Formazione. “”. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 600p.

Eyssautier, M. (2006). **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: DESARROLLO DE LA INTELIGENCIA**. Ediciones Paraninfo. México.

Fernández, F. 1995. **MANUAL DE CLIMATOLOGÍA APLICADA. CLIMA, MEDIO AMBIENTE Y PLANIFICACIÓN**. Madrid. Editorial Síntesis S.A. 285p

Franco, M. (1985) **CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO Y LA ESTIMACIÓN DEL ORDEN DE MAGNITUD DE LAS RESERVAS RENOVABLES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**.

García-Loygorri, C. M. (2012). **DISEÑO Y CÁLCULO DE REDES DE SANEAMIENTO**. <<http://www.mailxmail.com/curso-diseno-calculo-redes-saneamiento/hidrologia-caudal-aguas-pluviales> >

Ground Water Foundation, (2022) <https://groundwater.org/hydrologic-cycle>

Hobouchian, M. P., García Skabar, Y., Barrera, D., Vila, D. y Salio, P. (2018). **ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN POR SATÉLITE APLICANDO LA TÉCNICA HIDROESTIMADOR EN SU VERSIÓN PARA SUDAMÉRICA**. Consultado el 20-12-2022. <https://www.ina.gob.ar/ifrh-2014/Eje3/3.22.pdf>

Instituto Nacional de Estadística (INE), 2013. Recuperado de: <http://www.ine.gov.ve/documentos/see/sintesisestadistica2013/estados/monagas/documentos/situacionfisica.htm>

INFORME GEOAMBIENTAL, ESTADO MONAGAS. (2011)  
[http://www.ine.gob.ve/documentos/Ambiental/PrincIndicadores-  
 /pdf/Informe\\_Geoambiental\\_Monagas.pdf](http://www.ine.gob.ve/documentos/Ambiental/PrincIndicadores-/pdf/Informe_Geoambiental_Monagas.pdf)

INVIAS- Instituto Nacional de Vías. (2009). **MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS**. Bogotá: Instituto Nacional de Vías -INVIAS.

Kazmann, R. (1974). **HIDROLOGÍA MODERNA**. Segunda Edición. Compañía Editorial Continental S.A.D.F. México. 420 p.

Kothyari, C.; Garde, J. (1992). **RAINFALL INTENSITY-DURATION-FREQUENCY**. Journal of Hydraulic Engineering. Volumen.118, N°2. USA. 323 - 336 pág.

Koutsoyiannis D, Kozonis D, Manetas A (1998) **A MATHEMATICAL FRAMEWORK FOR STUDYING RAINFALL INTENSITY-DURATION-FREQUENCY RELATIONSHIPS**. J Hydrol 206:118–135

Linsley, R.; Kohler, M.; Paulhus, J. (1988). **HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS**. Segunda Edición. Mc Graw-Hill. Latinoamericana. D.F. México. 386 p.

Maidment, D. (1993). **HANDBOOK OF HYDROLOGY**. Editorial McGraw-Hill. New York, USA. 1.325 p.

Martelo, M; (2003). **LA PRECIPITACIÓN EN VENEZUELA Y SU RELACIÓN CON EL SISTEMA CLIMÁTICO**. Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología – Dirección General de Cuencas Hidrográficas – MARN

Mendenhall, W.; Scheaffer, R.; Wackerly, D. (1986). **ESTADÍSTICA Y MATEMÁTICAS CON APLICACIONES**. Tercera edición Editorial Iberoamericana, S.A.. México 751 p.

Meteolobios. (2013). **ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA ON LINE**. [≤http://www.meteolobios.es/lluvia.htm >](http://www.meteolobios.es/lluvia.htm)

Millán, E. (1965). **CONDICIONES DE TENENCIA DE LA TIERRA Y REFORMA AGRARIA. MONOGRAFÍA SOBRE VENEZUELA**. Segundo curso Internacional Interdisciplinario de Reforma Agraria. Bogotá- Colombia.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú. (2011). **NOCIONES DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Lima.

Mintegui, J. Y López, F. (1990). **LA ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA EN LA PLANIFICACIÓN**. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. España. 306 p.

Monsalve, G. (1999). **HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA**. 2ed. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogotá -Colombia.

MOP, Ministerio de Obras Públicas, (1967). **MANUAL DE DRENAJE**. Caracas, 208 p.

Pizarro, R.; Novoa, P. (1986). Instructivo n° 5. **DETERMINACIÓN DE VALORES PROBABILÍSTICOS PARA VARIABLES HIDROLÓGICAS. ELEMENTOS TÉCNICOS DE HIDROLOGÍA**. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. 78 p.

PhysicalGeography.net <http://www.physicalgeography.net/>

Real Academia Española. (2014). **DICCIONARIO**. 23ª Edición. Felipe IV, 4-28014 Madrid.

Rivas, A. (2014). **ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN ENTRE EL SATÉLITE TRMM Y LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS UBICADAS EN LA CUENCA DEL RIO BOGOTA**. PROYECTO DE GRADO. UNIVERSIDAD SANTO TOMAS. FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL. BOGOTA D.C

Sabino, C. (1992). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN**. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela, pp. 89,142.

Silva Carreño, Fernando. (2007). GeoVenezuela. Empresas Polar. recuperado en:  
colección [https://bibliofep.fundacionempresaspolr.org/media/1051/gv\\_t6\\_c51\\_p660\\_737\\_lres\\_single\\_preview.pdf](https://bibliofep.fundacionempresaspolr.org/media/1051/gv_t6_c51_p660_737_lres_single_preview.pdf)

Témez, J. (1978). **CÁLCULO HIDROMETEOROLÓGICO DE CAUDALES MÁXIMOS EN PEQUEÑAS CUENCAS NATURALES**. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.

Ulriksen, P.; Parada, M.; Aceituno, P. (1979). **PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE LOS RECURSOS DE LA VII REGIÓN**. Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales. Iren- Corfo, para el Gobierno de la Región del Maule. Santiago. Chile. 69 p.

Wenzel, H. (1982). **RAINFALL FOR URBAN STORM WATER DESIGN. IN: URBAN STORM WATER HYDROLOGY.** Water Resources Monograph 7. Washington DC, USA: American Geophysical Union. pp. 35 – 67.

## **APÉNDICES**

### **1**

#### **APÉNDICE A**

### **BASE DE DATOS DEL SATÉLITE TRMM DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA PARA LA POBLACIÓN DE EL TIGRE (PERÍODO 1998-2019)**

### A.1 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 1998 (NASA, 2022).

año	Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1998	1	0	0	0	0.71999991	0	0	0	0	17.4734955	0	0	0
1998	2	0	0	0	0	0	68.7950287	3.13278508	16.0825062	4.32394934	16.5348053	5.07435513	0
1998	3	0	0	0	0.35999999	4.63765717	1.39107561	15.1503525	0	0	15.1924953	0	0
1998	4	0	0	0	8.19000053	0	1.55969119	8.73071098	0	13.9491806	0.12202807	0	0
1998	5	0	0	0	0	2.04371333	9.18953037	29.1708469	0	0.85886669	0	0	9.71999931
1998	6	0	0	0	0	0	2.48707485	15.2530661	1.68305302	5.83437061	1.89143538	0	0
1998	7	0	0	0	0	23.4634018	0	0	9.27549267	0.11846438	12.8739624	22.1943741	0
1998	8	0	0	0	0	48.8133011	2.69784379	22.6484928	0	10.6914101	0	0	0
1998	9	0	0	0	0	0.35371959	0	23.624279	0	11.4021959	0	3.50936723	0
1998	10	0	0	0	0	0	5.35353374	1.95157075	1.98226237	1.12541151	0	0	0
1998	11	0	0	0	2.96999979	10.9260044	6.49168682	0	1.08463407	2.81352901	2.3795476	0	0
1998	12	0	1.41278267	0	0	0	3.41445851	0	8.00385284	3.52431488	0	0	0
1998	13	0	0	0	1.07999992	0	6.15445614	0	0	16.8515568	1.22028077	0	0
1998	14	0	0	0	1.43999994	1.80790019	87.3005447	18.5399227	0	1.48080456	0	9.10538483	0
1998	15	0	0	0	2.33999991	19.1401596	36.6738129	0	7.66724205	0	0.42709827	0	0.53999996
1998	16	0	0	0	0	0	4.08891964	0	3.74011803	1.5104208	0	0	0
1998	17	0	0	0	2.51999998	4.55905294	0.16861524	0	1.15943658	0	0	3.03512836	0
1998	18	0	0	0	0	32.1098785	0	0	10.8089409	0	3.35577202	0	0
1998	19	0	0	0	5.84999999	21.1445732	4.13107347	0	0.97243071	0	7.87081051	0	0
1998	20	0	0	0	2.06999969	0	1.60184479	2.36242771	0	0	2.0744772	0	0
1998	21	0	0	0	0	0	2.90861297	17.5127792	1.19683778	12.2610607	0	0	0
1998	22	0	0	0	4.76999995	0	4.93199587	0	0	0	0	0	0
1998	23	0	0	0.06745699	0	0	10.7492208	5.13571262	0	0	0	0	0
1998	24	0	0	0	0	5.38439846	0	1.74614239	33.249649	0	0	0	0
1998	25	0	0	0	0	0	2.27630568	0	0.63582003	0	0	0	0
1998	26	0	0	0	0	0	19.2642918	6.41964149	0	0	6.89458609	0	0
1998	27	0	0	0	0	5.73811817	4.34184217	2.00292802	0	0	21.5989685	2.13407469	0
1998	28	0	0	0	0	0	5.90155336	4.00585604	0	0	2.80664563	1.61241198	4.40999985
1998	29	0	0	0	0	16.546217	0	0	1.38384366	0	0	0	0
1998	30	0	0	0	0	5.54160738	2.8243053	51.9734192	9.68690586	2.63583231	0	0	0
1998	31	0	0	32.5201187	0	0	0	1.02714252	11.7273178	0	0	0	0

### A.2 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 1999 (NASA, 2022).

año	Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
1999	1	0	0	0	0	0	0	0	1.39682317	18.5264683	0	4.58702755	0.33107838
1999	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8.39140034	0	21.074667	12.5809784
1999	3	0	0	0	23.1902447	0	0	4.47790527	8.02175617	6.0665102	3.47453403	0	0
1999	4	0	0	0	15.6143789	0	0	0	21.2317104	21.6505394	0	0	0
1999	5	0	0	0	19.7203827	0	7.21816444	0	1.51655102	0.50856972	0	0.48115674	0.44143784
1999	6	0	0	0	21.9757919	0.18948662	30.934988	85.3392487	0.07981846	1.7436676	0	0	0
1999	7	0	0	0	17.8119583	0	0	37.7106247	0	4.50447464	3.07970023	0	0
1999	8	0	0	0	11.6240377	6.25305843	33.9619598	11.4353113	0	0	5.33025074	0	0
1999	9	0	0	0	3.06504464	0	137.511017	13.2856865	4.6294713	0	3.47453403	0	5.46279335
1999	10	0	4.82051277	0	0	0	0	1.33226931	0	29.5696945	4.06678391	0	9.76681232
1999	11	0	20.6593418	0.5827806	0	0	0	0	1.55646014	0	19.7811527	23.2879868	6.06977034
1999	12	0	0	0	0	0	4.88972378	0	0.95782167	11.2975121	3.11918378	7.50604534	0
1999	13	0	0	0.32052937	2.313241	9.47433186	0.43242458	0	0	1.56203556	0	30.5053368	9.76681137
1999	14	0	0	0	0	0	12.6401024	7.21645927	26.9786415	0	3.04021692	3.27186584	0
1999	15	0	0	0	0	0	18.0953026	0	19.2761593	0	0.19741669	1.89254987	0
1999	16	0	0	0	0	0	0	7.25346661	19.5156155	0	1.97416699	1.44347024	0.16553919
1999	17	0	0	0	0	0	6.08720779	7.84558582	40.7074203	2.65182757	5.48818398	5.29272461	0
1999	18	0	0	0	0	0	1.49685431	0.48109722	15.8439655	45.6622963	3.15866709	4.13794804	0
1999	19	0	0	0	0	6.88468122	0	13.8778057	0.83809394	4.61345387	0	1.79631853	0
1999	20	0	0	0	0	0	0	3.58972549	12.9305916	0	33.9161835	0	0
1999	21	0	0	0	0	0	0	2.2204897	26.0208206	0	49.1962395	0	0
1999	22	0	0.22954823	0	2.13974833	0	0	1.29526186	6.90429783	1.92529941	19.4652863	0	0
1999	23	0	0	0	0	0	4.35750914	13.4707232	14.2076874	3.48733521	9.83135128	8.30797291	0
1999	24	0	0	0	0	0	5.15583134	0	5.62720203	0	0	1.79631853	0
1999	25	2.06999969	0	6.11919737	0	0	1.49685431	3.44169569	4.54965258	0	0	0.86608207	0
1999	26	0	0	0.26225129	0	0	0	1.29526186	86.0842209	0	0	0	0
1999	27	0	0	0	0	0	1.06442976	3.77476311	9.01948643	9.91710949	0	1.76424146	0
1999	28	0	0	0	1.04095852	0	58.4771042	3.36768079	0	0	0	3.84925389	8.22177982
1999	29	0	0	0	0	19.3907967	2.76086473	4.47790527	0	13.0411806	0	0	0
1999	30	23.7600002	0	0	0	0	0	1.81336665	0	4.86773872	0	0	0.82769591
1999	31	0	0	0	0	0	0	25.6945553	18.7807541	0	0	0	0



### A.3 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2000 (NASA, 2022).

año	Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
2000	1	0	0	0	0	0	0	0	3.7586112	2.18715262	13.0792236	0	0
2000	2	0	0	0	0	0	2.07278657	0	0	1.69792104	36.2403488	0	0
2000	3	0	0	0	0	0	1.65822923	0	0	0	7.13907623	0.4455184	0
2000	4	0	0	0	0	0	0	8.24079418	0.50114811	0	2.61584473	32.6443481	0
2000	5	0	0	0	0	0	1.56256223	14.2736778	4.88619423	15.9144115	0	0	0
2000	6	0.21119103	0	0	0	2.11106539	28.4450111	9.79566002	0	2.07203913	0	0	0
2000	7	0	0	0	0	0	26.0852222	0	4.63562059	1.20868957	0	0	0
2000	8	0	0	0	0	0	2.7424562	0	7.14136076	0	0	0.28351173	0
2000	9	0	0	0	0	2.20489073	20.5365314	0	6.07642174	0	0.92644501	10.6924419	0
2000	10	0	0	0	0	0	3.76290512	0	0	0	8.828475	7.8573246	0
2000	11	0	0	0	4.30179453	0	12.7874994	1.55486691	16.2873154	6.8204627	0	10.4494314	0
2000	12	0	0	0	0	0	10.3320446	3.70058298	22.050518	0	0	0	0
2000	13	0	0	0	0	0	13.4890566	0	24.9321175	0	0	0	5.94090843
2000	14	0	0	0	0	0	1.21178305	4.38472462	0.62643516	5.64055109	0	21.1418724	0
2000	15	0	0	0	0	0.75060099	1.21178293	0	0	13.1516933	0	1.98458183	0
2000	16	0	0	0	0.49875873	0	0	0	1.50344443	28.3178711	0	12.3530102	0
2000	17	0	0	0	0	0	9.31159592	0	0	1.58280778	0.10899353	6.8852849	0
2000	18	0	0	0	0	0	0	0	3.13217592	3.10805869	7.84753418	0	0
2000	19	0	0	0	0	0	0	11.5371122	4.07182884	0	0	0	0
2000	20	0	0	0	0	5.67642021	0	7.24567938	0	5.0649848	0	0	0
2000	21	0	0	1.05703092	0	0	0	4.04265356	0	9.35295486	0	0	0
2000	22	0	0	0	9.9751749	0	0	0	0	0	0	0.12150502	0
2000	23	0	0	0	10.6609678	8.96029949	0	0	1.37815738	0	0	0	27.3542938
2000	24	0	0	0.87319946	0	11.0244522	0	0	0	4.92109299	0	0	0
2000	25	0	0	20.1755047	0	0	0	49.8179398	0	0.77701467	0	0	0
2000	26	0	0	42.7408142	0	5.86407089	0.3507793	9.45359039	0.62643516	0	0	0	0
2000	27	0	0	1.6085254	0	0	3.98612809	4.19814062	8.01836967	0	0	0	0
2000	28	0	3.42000008	0	0	17.8267746	23.3427658	31.2528248	0	58.3912201	0	5.99424791	0
2000	29	0	0.26999998	0.04595787	0	12.8540421	8.19547939	3.07863617	0	2.44615746	0	2.38959861	0
2000	30	4.07297039	0	0	0	16.7477837	0	0	2.44309711	1.84181261	0	10.8821125	0
2000	31	0	0	1.24086237	0	11.2121019	0	1.55486691	15.4049749	13.0792236	0	0	0

### A.4 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2001 (NASA, 2022).

año	Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
2001	1	0	0	0	0	0	3.25549579	0	5.49616337	8.45910072	12.6790009	0	0
2001	2	0	0	0	0	0	0.63947237	0	2.4102025	0	0	0	0
2001	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	4	0	1.33054495	0	0	0	0	0	1.35151553	0	0	0	0
2001	5	0	0	0	0	0	0	9.94761086	0	0	0	0	0
2001	6	0	0	0	0	0	0	10.9856224	7.25313377	0	0	0	0
2001	7	0	0	0	0	0	0	1.9462719	0.18020207	0.05565198	0	0	0
2001	8	0	0	0	0	1.45929754	0	5.92531681	5.78899193	0	0	0	0
2001	9	0	0	0	0	0	0	0	15.0468721	0	0	0	0
2001	10	0	4.99853373	0	0	0	2.3834877	0	2.97333431	14.9147282	0	0	0
2001	11	0	0	0	0	0	0	0	22.9532375	0	17.0590191	0	0
2001	12	0	0	0	0	0	0.63947237	1.12451255	12.1636391	0	0	0	0
2001	13	0	0	0	0	0	0	0	0	40.514637	0	0	5.42336798
2001	14	12.1963034	0	0	0	0	14.7659988	9.90436077	0	0	0	0	0
2001	15	0	0	0	0	0	0	7.04982853	2.68050575	6.12171793	10.0970955	0	0
2001	16	0	0	0	0	2.77622461	0	29.1075745	0	61.4954338	0	0.09	0.25422037
2001	17	0	0	0	0	0.71185243	0	0	0	0	0	0	0
2001	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	19	0	0	0	0	0	9.12701416	4.32504845	7.88384056	6.12171793	0	0	14.4481907
2001	20	0	0	0	0	0	0	0	15.1144495	2.28173113	0	0	0.55081081
2001	21	0	0	0	0	0	12.2081089	0	16.8714199	0	0	0	0
2001	22	0	0	0	0	0	22.0908623	0	47.0552673	0	7.00802994	0	0
2001	23	0	0	0	0	0	6.16218758	5.4928112	23.6965714	0	17.7506027	0	0
2001	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.7474556	17.4599991	0
2001	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.44358921	0	0
2001	26	0	0	0	8.90999985	0	2.61602306	0.90826017	0.18020207	0	0	0	0
2001	27	0	0	0	0	28.0113945	2.84855843	2.37877655	0	0	1.15263653	0	0
2001	28	0	0	0	0	3.27452135	9.53395081	3.20053554	0.9460609	10.8521357	0	0	0
2001	29	0	0	0	0	0	0	10.3368664	0	0	1.98253465	0	0
2001	30	0	0	0	0	0	0	5.40631056	0.87848508	3.13517118	0	0	0
2001	31	0	0	0	0	2.24233532	0	2.68153	0	0	0	0	0

### A.5 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2002 (NASA, 2022).

año	Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
2002	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3.26431036	0	0	0
2002	2	0	0	0	0.15935503	0	3.06720734	0	0	13.6271992	6.81362343	0	0
2002	3	0	0	0	0	0	14.5495739	0	11.784441	6.1659193	0	0	0.53999996
2002	4	0	0	0	0	0	0	0	8.44349194	8.6011982	0	0	0
2002	5	0	0	0	0	0	5.85915279	0	0.9111681	0	4.45798397	0	0
2002	6	0	0	0	0	0	0	0	0.334095	0	13.0953283	0	0
2002	7	0	0	0	0	0	9.63417721	0	0	0	5.5218215	0	0
2002	8	0	0	0	0	9.52620792	1.14037204	0	5.3151474	3.16068149	0	0	0
2002	9	0	0	0	0	3.49294329	0	0	0	14.4821377	0	6.92999983	0
2002	10	0	0	0	3.98387623	0	0	0	0	8.08305359	0	0	0
2002	11	0	0	0	0	0	3.69637823	6.76896572	18.0715008	10.3887959	0	0	0
2002	12	0	0	0	0	8.51007938	3.49976254	4.75088882	10.7821569	2.72025847	0	0	0
2002	13	0.26999998	0	0	0	2.92137051	0	3.74185085	0	0	3.64744139	0	0
2002	14	0	0	0	31.0423622	14.6068525	7.90395784	6.97918224	0	0	0	5.13000011	0
2002	15	0	0	3.28437495	3.72890782	0	4.5221653	6.76896572	10.7517843	6.37317657	0	0	0
2002	16	0	0	0	0	0	0	19.0876408	12.4222584	0	0	0	0
2002	17	0	0	0	0	0.25403222	1.02240252	5.84401369	0	0	0	4.85999966	0
2002	18	0	0	0	0	0	7.11749411	3.2793746	0	0	0	2.25	0
2002	19	0	0	0	0	0	0	0.04204326	1.42749691	0	0	0	0
2002	20	0	0	0	1.65729237	0	0	2.94302845	0	0	1.16515493	0	0
2002	21	0	0	0	0	0	3.42111611	0	2.88536572	0	0	0	0
2002	22	13.22999995	0	2.08486414	0	2.22278214	9.1229763	0	0.85042357	0	0	0	0
2002	23	0	0	0	1.62542129	16.3850784	5.97712231	3.48959064	0.69856226	0	6.40835238	0	0
2002	24	0	0	0	0	7.81149101	0	0	21.0479851	7.90170336	13.6019182	0	0
2002	25	0	0	0	0	0	0	8.0302639	24.5407963	26.6844444	0	0	0
2002	26	0	0	0	0	0	0	4.33045626	1.42749691	5.59596014	0	0	0
2002	27	0	0	0	1.68916333	0.95262075	2.39871359	5.75992727	0	0	15.9068966	0	0
2002	28	0	0	0	0	0	0	11.0994215	0	0	4.00205374	0	0
2002	29	0.09	0	0	6.66104078	7.49395037	13.6058178	0	0	3.2124958	5.01523209	0	0
2002	30	0	0	4.31252718	7.13536263	4.50907183	0	3.61572075	0.60744542	0	2.83689904	0	0
2002	31	0	0	17.6499443	0	11.4949579	0	0.72893453	0	0	0	0	0

### A.6 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2003 (NASA, 2022).

año	Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
2003	1	0	0	0	0	0	0	51.1805763	11.5124321	1.84108567	4.48018503	2.01096892	0
2003	2	0	0	0	0	0	0	1.0317179	0	0.36337215	10.7344017	0.29191482	0
2003	3	0	0	0	0	0	0	0	5.28659439	2.42248106	5.17175674	0	2.70225358
2003	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4.84496212	0	3.21106291	4.91810131
2003	5	0	0	0	0	0	0	0	1.52962375	0	0	4.83281231	1.18899155
2003	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.1895351	2.17314363	1.567307
2003	7	0	0	0	0	0.41564217	0	2.57929468	2.54937291	3.39147329	0	0	0
2003	8	0	0	0	0	0	3.19994783	6.4113903	2.84456325	0	14.673357	7.36274052	0
2003	9	0	0	0	0	0	0	0	17.2283936	0.46027142	17.5899868	6.16264629	0
2003	10	0	0	0	0	0.65315199	0	0.81063557	0	0	0	6.97352028	0
2003	11	0	0	0	0	0	5.21730709	23.2136517	0	2.34980655	0	0	0
2003	12	0	0	0	0	1.81101251	2.08692265	15.2915325	4.37418747	12.8875999	1.41321254	0	0
2003	13	0	0	0	0	9.94572353	0	23.8032036	0	0	3.33758712	0	0
2003	14	0	0	0	63.2980347	0.47501963	0.90433312	1.47388268	12.4785089	14.3410873	0	0	0
2003	15	0	0	0	26.6962566	0	1.94779468	0	2.38836002	1.04166675	11.0651531	0	0
2003	16	0	0	0	0	0	14.2954216	0	2.14684033	0	1.05239236	0	0
2003	17	0	0	0	0	0	6.0868578	39.4263611	15.725605	11.1434126	0.51116204	0	0
2003	18	0	0	0	0	0	13.7041254	6.26400185	0	2.34980655	0	0	0
2003	19	0	0	0	0	15.2006292	5.4607811	1.14225912	0	4.50581455	18.1612854	0	0
2003	20	0	0	0	0	23.810358	5.21730709	24.6875343	2.7908926	0	0.87198222	0	0
2003	21	0	0	0	0	0.41564217	0.03478204	0	25.091198	0	0	0	0
2003	22	0	0	0	0	0	6.7477169	12.1963787	2.73722148	0.14534886	0	1.5244441	0
2003	23	0	0	0	0	38.8031693	5.25208855	35.631115	2.03949833	0	0	0	0
2003	24	0	0	0	0	0	11.6519842	2.35821223	0	6.63759756	0	0	0
2003	25	0	0	0	0	0	32.5907745	1.36334157	4.37418747	7.12209415	0	0	0
2003	26	0	0	0	0	0	2.64343548	0	7.27242136	0	0	0	0
2003	27	0	0	0	0	0	0	9.32230759	5.01823902	0	0	3.14619303	0
2003	28	0	1.16999996	0	0	0.97972798	12.0693703	13.0438614	7.78229618	11.7248077	0	10.6386728	0
2003	29	0	0	0	0	0	8.27812672	3.79524803	0	15.1162815	3.33758712	0	0
2003	30	0	0	0	0	0	4.04155922	1.69496512	6.333179	0	13.8615103	1.08090138	0
2003	31	0	0	0	0	0	0	5.26913071	145.686188	0	0	0	0.05697688

### A.7 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2004 (NASA, 2022).

año	Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem	Octubre	Noviem	Diciem
2004	1	0	0	0	0	0	6.03539228	0	0	25.2764091	0	0	0
2004	2	0	0	0	0	0	12.8142776	7.2156744	0	6.66378021	19.7979164	0	6.82478714
2004	3	0	0	0	0	0	0	0	10.8140869	22.9211063	0	0	0
2004	4	0	0	0	0	0.72762066	4.02359486	0.3092432	2.92881536	1.17765081	0	15.4282408	3.85556173
2004	5	0	0	0	0	0	3.7611866	4.74172926	4.68610477	0	6.31647778	11.7481108	1.94993925
2004	6	0	0	0	0	0	0	1.64929712	0	0	0	0	3.53858757
2004	7	0	0	0	0	0.752711	5.29190207	9.13985443	29.5134487	13.930747	4.39953709	0	0
2004	8	0	0	0	0	0	7.82851601	0.96208996	0	2.41274786	10.401762	11.3234797	0
2004	9	0	0	0	0	0	0	2.02726102	12.8417301	1.43615949	0	0	0
2004	10	0	0	0	0	0	3.41130877	1.54621601	7.8852725	0	0	21.9675484	9.616745
2004	11	0	0	0	2.81789756	0	2.79902267	13.5036192	0	20.5658035	1.53983796	15.4282408	0
2004	12	3.47558999	0	0	3.52237177	0	9.09682465	0	14.3737249	6.43399429	14.2984962	10.8705406	3.45671034
2004	13	0	0	0	0	2.6595788	4.72335052	0	33.298378	25.8508701	0	2.23638701	0
2004	14	0	0	0	0	0.65234959	0	13.0225754	0	0	0	2.4345479	0
2004	15	0	0	0	3.77100945	0	0	5.08533287	0	8.15738678	4.43096256	1.13234794	0
2004	16	0	0	0	1.57470739	0	8.13465977	11.235836	5.00151539	0	0	0	0
2004	17	0	0	0	0.04143967	5.39442921	18.0624447	22.8839989	0	7.35313654	0.34567791	0	0
2004	18	4.78605795	0	0	1.78190565	3.91409731	7.82851696	1.58057618	0	1.86700726	5.65654755	0	0
2004	19	0	0	0	0	4.16500092	0	2.06162119	6.08292484	0	0.18855158	0	0
2004	20	0	0	0	3.68813038	33.4956436	5.29190207	33.0546646	39.0208359	0	0	0	0
2004	21	0	0	0	5.88443279	5.29406738	11.5459681	0	1.35176086	1.26382029	9.67898083	3.76505685	0
2004	22	0	0	0	4.59980297	0	3.58624792	1.92417991	0	2.9872117	3.58247995	2.20807838	0
2004	23	0	0	0	0	2.15777159	2.58034897	0	0	0	5.27944469	22.4771061	0
2004	24	0	0	0	4.64124298	1.40506065	0	0	0	0	0	0	0
2004	25	0	0	0	2.40350056	18.2657871	0	1.1338917	4.82128048	2.92976522	0	0	0
2004	26	0	0	0	0	7.20093536	0	0	0	2.15423918	1.09988427	0	0
2004	27	0	0	0	0	1.60578346	14.0388479	20.4444103	11.3547916	0	3.26822734	0	0
2004	28	0	0	0	0	0.87816292	2.0553246	12.3697281	8.02044868	0	3.39392853	0	0
2004	29	0	0	0	0	31.4131393	0	5.56637764	0	0	7.66776466	0	0
2004	30	0	0	0	0	4.94280195	5.07629156	2.78318882	0	0	0	0	0
2004	31	0	0	0	0	6.374053	0	0	0	0	0	0	0

### A.8 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2005 (NASA, 2022).

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2005	1	0	0	0	0	10.8197403	4.88815832	53.365303	0	6.244802	0	0.68970007	0
2005	2	0	0	0	0	8.84513664	2.90152693	0.93845826	3.35221577	12.0042572	0	0	0
2005	3	0	0	0	0	0	5.51551533	0	0.94680905	0.55006033	0	0	0
2005	4	0	0	0	0	0	14.7690334	22.5990906	3.76164651	10.6776419	0	0	5.74906206
2005	5	3.73955107	0	0	0	0	26.4012833	19.4539871	17.0425625	0	0	4.3393631	0
2005	6	0	0	0	0	0	2.66626787	1.9530077	0	0	0	0	0
2005	7	0	0	0	0	0	37.5891533	28.356657	0.30707321	6.01830673	0.95169044	0	0
2005	8	0	0	0	0	0	8.44318199	4.51474476	0	1.84431982	5.49052143	0	6.3681922
2005	9	0	0	0	0	0	2.08279991	1.46383333	17.6024323	9.23778629	0	0	0
2005	10	0	0	0	0	6.27544928	0.70577675	1.69937038	8.06067181	0	4.35581398	34.6286888	0
2005	11	0	0	0	0.7065059	0	7.44986725	12.4282303	14.4836197	2.5561626	0	0	0
2005	12	0	0	0	0	0	12.7562628	34.3171387	3.86400461	0.77655578	5.01467609	0	0
2005	13	0	0	0	0	0	20.5198078	5.12347507	16.4284172	0	0.58565557	0.0287375	0
2005	14	15.367218	0	0	0	0	0	1.52182412	2.96837425	0	1.83017385	10.7765617	0
2005	15	0	0	0	0	25.5345879	9.77631569	7.63448524	22.0580921	0	0	19.512764	0
2005	16	0	0	0	0	2.46149063	3.97326207	0	0.89563018	12.1660395	0	4.71295023	0
2005	17	0	0	0	0	1.51476359	0	3.09437585	4.50374031	16.3076687	0	2.38521266	10.0829706
2005	18	0	0	0	0.44959468	0	0	3.44946814	22.7490063	0	0	0	0
2005	19	0	0	0	11.4325504	0	10.4559526	3.47483182	1.07475626	34.7508698	0	2.0403626	0
2005	20	0	0	0	0	38.3830261	0	0	1.86802864	37.5658836	0	0	0
2005	21	0	0	0	4.81708574	0	0	0	0	6.01830673	2.63545036	0	0
2005	22	8.35555935	0	0	10.0195389	0.35164154	1.90821123	5.47856665	0.74209356	0	0	0	0
2005	23	2.97995496	0	0	5.3309083	4.03035307	3.92098236	2.81537485	1.10034561	0	0	1.66677511	0
2005	24	0	0	0	7.008316	0	10.9064064	24.749818	0	0	8.93124771	0	5.74906206
2005	25	0	0	0	0	4.65248823	2.92766666	0	5.4505496	7.34492254	3.440727	0	0
2005	26	0	0	0	0	0	0	10.6020412	20.3435993	0	5.01467609	0	0
2005	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.29431295	0	0
2005	28	0	0	0	0	2.62378693	0	2.73928332	1.0491668	10.2246504	0	0	0
2005	29	0	0	0	0	7.68201542	7.71126556	9.20703697	0.38384152	0	0	0	0
2005	30	0	0	0	0	0.10819739	5.67235422	11.7434101	0	0	0	0	0
2005	31	0	0	0	0	8.5912199	0	12.6147194	3.55460072	0	0	0	0

### A.9 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2006 (NASA, 2022).

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2006	1	0	0	0	0	0	0	0	3.68657923	0	4.79710484	0	0
2006	2	18.4534492	0	0	0	2.3081522	3.44145632	0	0	0	0	0	0
2006	3	16.4701347	0	0	0	33.3143272	0	0	20.0507507	0	0	0	0
2006	4	0	0	0	0	0	0	55.4451141	0	0	0	0	0
2006	5	0	0	0	0	13.3488121	3.15729904	0	15.8072052	3.76879907	2.48126125	0	0
2006	6	0	0	0	0	24.5433483	7.76695538	39.7580223	6.84271574	17.0433464	0	0	0
2006	7	0	0	0	0	0	0	3.57710409	0	9.58949947	0	0	0
2006	8	0	0	0	0	0	4.38864517	0	50.2329597	0	0	0	0
2006	9	0	0	0	0	0	4.89381313	0	5.35747528	0.16750218	3.20909786	9.81839371	0
2006	10	0	0	0	0	0	5.24111605	1.67676759	24.0025482	0	0	0	8.78127098
2006	11	0	0	0	0	47.6633377	0	15.5007849	16.4172134	0.46063101	0	0.92047429	0
2006	12	0	0	0	0	9.27107811	0	0.89427602	0.76914251	0	0	4.90919685	0
2006	13	0	0	0	0	0	12.5976219	4.43411827	0	69.6809006	0	8.98558235	0
2006	14	0	0	0	0	2.88519001	7.64066315	0	0	7.70509958	33.8774872	3.33124065	0
2006	15	0	0	0	0	2.96212816	0	17.587429	6.71010494	7.62134886	0	0	0
2006	16	0	0	0	0	1.30795288	0	0	5.78182936	0	0	11.4840126	0
2006	17	0	0	0	0	9.00179291	7.32493305	1.86307502	2.572649	5.77882481	4.56552124	15.0782461	0
2006	18	0	0	0	0	0	1.73651457	55.2960739	6.23270559	2.05190182	9.16412544	13.0181379	0
2006	19	14.055665	0	0	0	0	3.25201821	0	14.507618	17.8389816	0	0	0
2006	20	0	0	0.39397597	0	0	16.8284035	0	0	0	15.7146549	0	0
2006	21	0	0	0	0	0	8.58785343	0	5.83487415	1.04688859	10.7190495	0	2.70700812
2006	22	0.17246214	0	0	0	0	6.78819275	9.68799019	3.79266787	0	0	0	0
2006	23	0	0	0	0	0	8.84043694	0	3.15613651	0	4.2346859	0	0
2006	24	0	0	0	0	0	18.0913239	0	8.69926739	0	0	0	0
2006	25	14.6592827	0	0	0	0	0	1.41593707	10.7679939	0	0	0	0
2006	26	0	0	0.05793764	0	0	10.7032433	10.2096519	0	0	0	8.10894012	0
2006	27	0	0	0	0.44999999	0	6.47246265	2.34747458	0	0	0	0	0
2006	28	14.6592827	0	0	0	0.38469198	11.492568	0	4.40267754	0	0	0	0
2006	29	0	0	0	0	0	12.9764986	29.1384945	0	0	0	0	0
2006	30	0	0	0	0	25.3127346	0	5.77553272	0	17.7989159	0	0	0
2006	31	0	0	0	0	1.53876793	0	12.3278084	1.3526299	4.79710484	0	0	0

### A.10 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2007 (NASA, 2022).

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2007	1	0	0	0	0	0	10.8122768	27.6168766	56.6260071	22.0737038	19.3428898	0	0
2007	2	18.4616833	0	0	0	0	12.6556807	10.2154264	8.26587677	22.9811535	14.0040874	0.1277473	0
2007	3	0	0	0	0	0	5.81381416	0	18.2419338	3.13070011	0	0	0
2007	4	0	0	0	0	0	8.29532051	0	12.3196392	1.83758473	1.47843742	0	0
2007	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.36538696	0
2007	6	0	0	0	0	0	0	0	5.73227453	0	0	1.21359944	4.35099125
2007	7	0	0	0	0	0	0	1.90218282	51.8754959	0	0	0	0
2007	8	0	0	0	0	0	14.6763353	0	8.39255619	8.59808159	2.29979181	0	0
2007	9	0	0	0	0	0	14.6408873	6.09402943	2.50193191	0	7.96713495	0	0
2007	10	0	0	0	0	0	3.79315948	1.26812184	14.536541	0	5.99588537	0	0
2007	11	0	0	0	0	0	0	6.12925529	0	2.88115144	0.53388023	18.7788544	0
2007	12	0	0	0	0	0	0	5.07248735	11.1478481	0	0	0	0
2007	13	0	0	0	0	0	6.20376587	0	0	2.99458265	0	0	4.30791187
2007	14	19.6432304	0	0	0	7.27236843	3.26140809	0	1.48849118	2.42742682	17.5769787	0	9.69280148
2007	15	0	0	0	0	0	0	3.31120706	7.50579548	0	6.52976561	0	5.85876036
2007	16	0	0	0	0	0	0	0	0	6.21602821	1.6427083	0	0
2007	17	5.87081528	0	0	27.1176853	0	0.99260247	0	0.85509062	1.11162531	0	0.76648378	0
2007	18	0	0	0	0	10.8379469	6.87731695	9.86316967	3.00865245	10.9801359	0	0	13.3976059
2007	19	0	0	0	0	6.20376492	15.5344934	18.8753338	0.49909714	0	0	0	0
2007	20	0	0	0	0	0	1.31165326	0	12.3196392	0	0	0	3.96327877
2007	21	0	0	0	0	0	0	0	6.96740484	0.79401815	1.6016407	0	2.92938018
2007	22	0	0	0	0	0	3.93495989	2.04308534	27.0145302	0	2.29979181	0	5.85876036
2007	23	0	0	0	0	0	0	3.59301209	1.90020156	5.42200947	16.4270821	1.46909404	0
2007	24	0	0	0	0	7.37827635	1.84340453	0	12.41465	2.42742682	0.82135415	0	0
2007	25	0	0	0	0	0	26.5166645	0	16.0567036	0	18.2751312	0	0
2007	26	0	0	25.3301697	0	0	3.68680906	0	57.0377121	1.38386023	2.83367205	6.25961781	0
2007	27	0	0	0	0	0	0	0	22.5173874	18.9656906	7.31005239	0	0
2007	28	0	0	0	0	4.30693674	2.05610514	4.9668107	12.9530411	0	0	0	0
2007	29	0	0	0	0	8.64917564	22.3690033	8.06666374	1.52016127	30.9440231	0	0	0
2007	30	0	0	0	0	47.8705406	12.3410835	0	1.39348102	40.6991005	8.74742222	0	0
2007	31	0	0	0	0	1.48890364	0	9.45849419	0	19.3428898	0.90348959	0	0

A.11 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2008 (NASA, 2022).

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2008	1	0	0	0	0	0	3.95411682	34.5646553	32.7307091	0.29638764	0	0	3.53635359
2008	2	0	0	0	0	0	0	17.5656452	2.6585865	21.3129654	6.2324481	3.6347723	0
2008	3	0	0	0	0	0	40.2802582	11.3641539	0	2.61360025	3.72781944	0	0
2008	4	0	0	0	0	4.34164333	2.77157736	3.6831193	0	0	0	0	0
2008	5	0	0	0	0	1.58342278	0	0	2.00648046	0	1.07757282	0	0
2008	6	0	0	0	0	11.543663	0	0	0.82767308	0	31.1913643	0	1.33657455
2008	7	0	0	0	0	0	0	0	0.95307815	4.06859398	8.59145927	0	2.64530373
2008	8	0	0	0	0	0	2.03249002	5.98113346	3.5364213	0	19.600174	0	0
2008	9	0	0	0	0	0	0	3.085006	3.08496332	1.6436044	0	0	0
2008	10	0	0	0	0	0	0	0	3.8123126	0	11.9406719	0	0
2008	11	0	0	0	0	0	0	0	0	13.5260544	5.4461112	0	0
2008	12	0	0	0	0.77185524	0	0	3.87199736	4.53966141	0	3.90256071	2.82704496	0
2008	13	0	0	0	0.71672267	0	11.8623514	0	6.52106094	0	5.03838062	0	0
2008	14	0	0	0	0.33079511	0	0	0.88143027	4.21360874	4.23026037	9.46516609	0	0
2008	15	0	0	0	0	0	0	9.91609097	34.6368637	0.080833	0	2.37830782	0
2008	16	0	0	0	0	17.8262749	0	7.20884037	0.27589104	14.8193836	18.1731205	10.8145695	0
2008	17	0	0	0	0	8.8365202	2.73462272	7.36623859	4.16344643	22.0943527	10.2223797	3.85914087	2.95160198
2008	18	0	0	0	0	3.47331429	0	0	5.89403582	9.67301559	0	0	0
2008	19	0	0	0	0	0	0	0	2.7338295	0.45805365	1.98040414	2.78217125	2.50607729
2008	20	0	0	0	0	0	12.3427563	3.085006	20.1651268	5.28108931	8.47496414	3.85914087	5.59690619
2008	21	0	0	0	0	0	6.65178537	0	11.23629	0	0	0	0
2008	22	0	0	0	0	0	0	5.98113394	2.80907249	0.9161073	0	1.48083305	0
2008	23	0	0	0	0	0	6.984375	0	4.86571455	18.4838123	0	0	0
2008	24	0	0	0	10.4200449	0	11.8253956	2.23505521	6.97251892	22.9835129	10.251503	0	0
2008	25	0	0	0	18.4693928	0	2.03249002	0	0	0	5.824718	0	0
2008	26	0	0	0	0	5.66967487	10.088541	0	4.51458073	2.12860203	3.75694299	0	0
2008	27	0	0	0	0	12.8206158	24.500742	0	33.4329758	3.42193031	0	0	0
2008	28	0	0	0	0	6.94662857	53.251236	22.2875938	1.73058939	0	0	0	0
2008	29	0	0	0	0	0	21.3226662	4.09235477	9.88191605	0	0	0	0
2008	30	0	0	0	0	0	0	3.6201601	0	0	1.71829176	0	0
2008	31	0	0	0	0	2.60498571	0	3.4110167	0	0	0	0	0

A.12 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2009 (NASA, 2022).

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2009	1	0	0	0	0	3.3964653	15.93645	11.3612213	5.74394894	0	0	0	0
2009	2	0	0	0	0	0	11.2869835	0	0.74458599	0	0	2.87085104	0
2009	3	0	0	0	0	0	0	3.07278585	0	0	0	3.68555188	0
2009	4	2.94324684	0	0	0	0	0	2.38545203	0.17728236	0	0	0	0
2009	5	0	0	0	0	0	0	1.49596155	9.36050892	0	0	28.9024887	0
2009	6	7.23340321	0	0	0	0	0	5.57953215	0	0	5.25138569	0	0
2009	7	0	0	0	0	0	18.2451515	0	0	0	10.1602898	0	0
2009	8	0	0	0	0	0	15.1668835	0	11.0978765	0	0	0	0
2009	9	0	0	0	0	0	0	0	0.17728236	0	12.9001436	0	0
2009	10	0	0	0	0	0	0	13.5040855	20.6002102	0	0	0	0
2009	11	0	0	0	0	0	0	0	4.50297213	0.96459532	0	0	0
2009	12	0	0	0	0	0	0	3.96227646	4.92844963	5.53864384	0	0	0
2009	13	0	0	0	0	0	31.9370327	3.35580587	11.0269642	2.89378595	0	0	0
2009	14	0	0	0	0	0	0	0	0	21.8434143	1.25576615	0.15518114	0
2009	15	0	0	0	0	0	8.08045387	3.31537414	0.99278128	24.4571571	5.53678703	0	0
2009	16	0	0	0	0	0	0.70543647	4.60917854	0	10.7038956	3.48189712	0	0
2009	17	0	0	0	0	0	0	3.03235459	11.6651802	0	0	0	0
2009	18	0	0	0	0	11.4936371	0	8.65231895	0	1.49356687	0	0	0
2009	19	0	0	0	0	1.30424261	0	6.99463081	0	1.92919064	13.1855431	0	0
2009	20	0	0	0	16.3588886	0	0	0	8.11953259	7.99680519	0	0	30.4199982
2009	21	0	0	0.73671448	0	0	0	12.2507114	1.34734607	0	0	0	0
2009	22	0	0	0	0	0	13.6918802	8.36929893	12.5515919	0	0	0	0
2009	23	0	0	0	0	0	25.8766899	0	1.34734607	0	0	0	0
2009	24	0	0	0	0	0	5.70762205	0	0	0	0	0	0
2009	25	0	0	0	0	0	10.8060036	0	0	25.4528694	0	0	0
2009	26	0	0	0	0	0	7.69567108	6.67117977	0	0	0	0	0
2009	27	0	0	2.36362576	0	0	5.29077339	3.59839392	0	0	0	0	0
2009	28	0	0	0	0	0	0	0	1.87919307	0	0.85620415	0	0
2009	29	15.6640606	0	0	0	0	12.8902473	0	0	0	0	0	0
2009	30	0	0	0	0	0	11.4740639	1.05121613	8.11953259	0	14.3842306	0	0
2009	31	0	0	0	0	0	0	5.78168869	1.40021896	0	4.16686058	0	0

### A.13 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2010 (NASA, 2022).

AÑO	DIA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2010	1	0	0	0	0	0	37.2088127	20.0085869	2.22363806	0	0	6.28667641	0.96948922
2010	2	0	0	0	0.12329317	0	0	0	23.0245075	0	8.1053257	12.7550497	1.56369233
2010	3	0	0	0	0	0	0	0	0	5.74963284	22.0792618	8.32167053	12.3844433
2010	4	0	0	0	0	0	0	5.07606983	2.08290148	29.3292427	7.41880894	11.8829088	15.3867321
2010	5	14.7292728	0	0	0	0	0	0	4.33468676	0	25.7554493	11.2651424	0
2010	6	0	0	0	2.64199662	0.87025726	0.49030647	5.76602077	22.5459995	2.04907107	0	0	13.6041222
2010	7	0	0	0	0	0	13.4561882	0	0	20.7659607	0	7.95827866	2.75209832
2010	8	0	0	0	0	0	9.42477989	33.2901459	0	11.285183	0	5.74158859	6.25476933
2010	9	0	0	0	0	0	12.9658833	0	22.292675	0.97866082	9.65552521	0.6177659	2.59572911
2010	10	0	0	0	0	0	20.8652649	25.331068	4.75689602	4.77097178	4.62845087	0	2.03279996
2010	11	0	0	0	0	0	1.0078522	11.1870661	3.49026728	0	0	0	2.47063375
2010	12	0	0	0	0	16.1171646	2.53325009	0	16.4380341	10.5817709	0	0.7267834	0
2010	13	0	0	0	0	8.42409039	0	0	0	5.81079912	0	10.647377	0
2010	14	0	0	0	4.13912773	16.1867847	4.11312628	19.8114567	11.793726	0.0611663	0	37.9380951	0
2010	15	0	0	0	54.4955826	0.03481029	0	1.9712894	18.4646397	1.19274282	0	4.46971798	0
2010	16	0	0	0	57.7188148	8.45890141	4.52171516	3.4990387	17.0854206	0.5504967	0	0	0
2010	17	0	0	0	0	0.08171774	10.5217571	1.0133034	5.35205173	0	0	0	1.56369233
2010	18	0	0	0	0.45794606	1.56646299	1.49815869	1.55239034	5.26354837	3.425313	0	0	0
2010	19	0	0	0	0.51078594	0	18.4409714	12.7394571	8.58493137	23.4572773	5.18209362	0	0
2010	20	0	0	0	0	0	6.56465864	13.1829958	19.1964722	5.71904898	0	1.30821013	0
2010	21	0	0	0	0	0	21.5462456	10.8420906	3.1806469	1.59032369	11.493618	6.68640709	0
2010	22	0	0	0	0.95111865	0	0.73545969	1.25669694	18.8868504	44.4067345	7.41880894	0	1.75133538
2010	23	0	0	0	0	2.12342787	53.7702713	1.35526133	0	2.5384016	2.1924243	17.7698536	8.60030746
2010	24	0	0	0	0	1.74051452	14.4912815	0.07392335	3.65915108	1.07041025	0	8.03095722	0.96948922
2010	25	0	0	0	0	0	2.24234152	1.74513364	27.4636688	0	0	3.56123877	2.87719393
2010	26	0	0	0	0	35.5761185	0.84441674	0	11.793726	0	0	22.7846603	1.46987081
2010	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.9035835	4.57873535	0.03127385
2010	28	0	0	0	0	15.3165283	1.52539802	40.2143021	0	11.2546005	3.94193459	0	0
2010	29	0	0	0	0	35.9938354	0	6.20956135	1.6325444	0	0	0	0
2010	30	0	0	0	0	0	41.1262703	0.91172129	4.36283398	0	10.0098562	8.53090858	0
2010	31	0	0	0	0	0	0	28.5062428	0	0	2.0374043	0	0.09382154

### A.14 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2011 (NASA, 2022).

AÑO	#REFI	ENE	FEB	MAZ	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2011	1	0	0	0	0	1.5100987	2.06411099	3.63205767	2.20074129	6.34668875	0	0	0
2011	2	0	0	0	0	1.45616651	2.66414356	7.42089415	4.95166826	0.60858655	0	0	7.44640732
2011	3	0	0	0	0	24.6200008	42.1942673	0.96680671	2.01734638	0	0	0	6.0467062
2011	4	0	0	0	0	22.3818188	10.0565395	56.3099556	0	0	2.00242615	0	3.75119734
2011	5	2.69999981	0	0	0	1.05605674	0	23.217823	0	2.8033967	11.8550673	0	0
2011	6	15.6599998	0	0	0	9.70777702	8.68846703	0	0	2.05760217	0	6.14049816	0
2011	7	0	0	0	0	0.64718509	0	8.20479202	9.24311447	5.94096375	0	0	0
2011	8	0	0	1.8878932	0	0	2.3521266	2.45621157	3.04435921	5.68014097	0	0	0
2011	9	0	0	0	0	0	1.44007742	0	0	8.25938797	0	6.60192347	0
2011	10	0	0	9.82672596	0	0	3.36018062	3.4752779	7.66591644	1.18819273	4.90594387	10.2223339	0
2011	11	0	0	4.14691114	19.6435947	0	0	1.4894048	1.21040773	0	15.4937725	1.24229741	0
2011	12	0	0	1.93630075	6.68718195	0	0	5.17372179	0	20.2282562	7.50909805	4.72072983	0
2011	13	0	0	0	0	2.69660473	0	5.59180069	0	2.89803123	1.07630396	8.94454098	0
2011	14	0	0	0	0	24.404274	8.92848015	1.25423563	59.5300598	0	3.45418501	0	0
2011	15	0	0	0	1.20160294	20.6559925	15.6488419	0.86228705	4.14473009	0	2.10254741	0	0
2011	16	0	0	10.0848999	0	0	7.46440172	0	0	23.647934	4.60557985	3.97535181	4.87095833
2011	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0.72450781	4.30521584	24.8814411	0
2011	18	0	0	0	0	3.47862005	1.72809291	0	14.9650421	4.83971214	12.5151634	11.2516642	0
2011	19	0	0	0	0	8.73699951	9.21649551	21.5833054	19.4032059	0	8.61043167	4.57875347	0
2011	20	0	0	0	0	1.34830236	0	15.8347263	16.1387711	13.6787071	14.1671648	40.8183403	0
2011	21	0	0	3.46920562	1.33221197	20.7099247	3.28817701	0	2.20074129	19.3878288	6.48285484	15.085041	0
2011	22	0	0.61707854	1.77494252	0	8.79093075	1.44007754	0	4.328125	12.2007103	3.50424576	4.50776482	5.59880257
2011	23	0	4.66237164	1.12950873	2.76891112	23.5413589	6.91237164	9.87710571	26.482254	8.92593575	0	3.65590382	0
2011	24	0	6.44504261	0	0	0	5.85631466	19.8326035	11.3704977	0	0	18.8474274	0
2011	25	0	0	0	0	7.2269001	1.48808002	13.2478638	2.1640625	17.3881855	12.440073	10.6837578	0
2011	26	0	0	0.0806792	0	39.3434639	0.57603097	7.55154324	25.0150948	2.34740543	0.87606144	0	0
2011	27	0	0	0	7.67981052	2.0763855	0	10.3735743	9.05971909	0	15.4937725	0	0
2011	28	0	0	0	20.2705193	0	0	0	8.91300297	0	6.1324296	0	0
2011	29	0	0	0	18.5987244	2.53480864	3.19217157	5.98374939	22.5576019	11.3602819	4.05491257	24.7039719	0
2011	30	0	0	0	0	0	3.16817021	0	0	0	0	3.69139814	3.75119734
2011	31	0	0	0	0	18.072237	0	11.0268211	3.88797641	0	1.98767591	0	0

A.15 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2012 (NASA, 2022).

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAZ	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2012	1	0	0	1.73743451	0	0	2.71607971	37.0457535	4.94699764	0	2.8764286	0	0
2012	2	0	0	0	0	7.4084692	1.14911067	2.6239748	16.1120968	2.43512082	4.2580204	3.82532549	7.70295429
2012	3	0	15.517333	0	0	27.9757919	0	11.0206938	5.11876869	2.82594275	1.92516875	0	0
2012	4	0	0	0	0	7.33791256	0	9.94725037	29.716341	1.32278168	0	4.00534105	0
2012	5	0	0	0	0	41.5227051	0	2.07532549	0	0	20.2482452	0.06750574	0
2012	6	0	0	3.52916384	2.5425694	2.22254086	0	2.74324632	15.6998463	0	3.87298632	0	6.16236401
2012	7	0	0	0	4.37471485	10.6893635	2.05447054	0	3.09187365	15.7831917	12.7514114	0	0
2012	8	0	0	0	0.59825158	7.47902584	5.43215942	1.26427865	5.35924721	0	0.38503379	0	0
2012	9	0	0	0	0.74781448	40.6760254	0	0	4.74087286	0	0	0	0
2012	10	0	0	2.71474147	0	12.6649551	0	0	14.3256817	0	0.67947131	0	2.22529793
2012	11	0	0	2.40707064	0	14.6052675	4.35269213	1.04958999	14.1882629	0.99208629	0	0	0
2012	12	0	0	2.56995511	6.58076763	0	4.14376259	5.98743343	7.35178852	0	2.9670248	0	0
2012	13	0	0	0	18.4710197	1.9755919	12.7098598	0	0	0	7.63272762	9.11327553	0
2012	14	0	0	0	12.9745817	0	5.85001802	0	0	3.4873333	1.65338016	4.99542475	0
2012	15	0	0	0	0	0	23.8527508	1.55053043	5.73714304	0	0	0	0
2012	16	0	0	0	0	0	5.64108849	0.54864925	0	0	2.3102026	0.69755936	0
2012	17	0	0	0	0	0	7.03394985	0.04770863	1.4772284	0	1.2456975	0	0
2012	18	0	0	0	1.34606612	0	2.36786461	0	16.3869286	3.45727062	1.44953895	0	0
2012	19	0	0	0	31.4829884	0.88196063	0.975003	0	0	23.118618	0	0	5.61459827
2012	20	0	0	0.57914484	4.00080776	0	0	1.07344413	0	0	25.0951424	0	4.79294968
2012	21	0	0	2.66044641	0	2.92810917	7.38216591	57.8944244	0	0	4.5751071	0	0
2012	22	0	0	0	0	0	0.90535986	0.21468884	8.24499607	0	15.2428074	0	0
2012	23	0	0.21329668	0	0	0	0.83571684	2.67168355	0.1374166	0.33069542	2.98967385	0	0
2012	24	0	0	0	0	0	1.14911067	40.6000481	0	11.303772	1.78927445	6.72807217	0
2012	25	0	0.7465384	4.63315868	0	6.42067337	2.78572273	2.02761674	26.3839874	13.4382591	0	0	0
2012	26	0	0	1.35737073	0	0	0	0	9.27562141	1.5632875	0	0	4.45059586
2012	27	0	0.15997252	0	0	0	4.70090771	0	0	0	0	0	0
2012	28	30.9596844	0	0	0	1.02307439	0	3.05335236	0	0.87183332	0.88331276	0	0
2012	29	0	0	0	0	10.5482502	0	1.93219972	0	37.2783966	0	0	0
2012	30	0	0	0	0	9.2782259	2.6812582	0	0	0	0	0	0
2012	31	0	0	0	0	8.76706409	0	20.7532558	0	21.9461498	0	0	0.0684707

A.16 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2013 (NASA, 2022).

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAZ	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2013	1	0	0	0	0	1.05206692	0.85942018	2.85058999	0	1.35051858	8.03035259	15.4675169	11.9132147
2013	2	0	0	0	0	0	3.5092988	0	9.04635429	3.59115171	6.09065437	2.10703039	44.0363464
2013	3	0	0	0	0	25.8375244	3.22282577	0	1.23710835	28.8212929	8.26311684	0	0
2013	4	0	0	0	0	15.5643997	2.54245138	0	0	10.3744383	0	0	0
2013	5	0	0	0	0	28.993721	2.82892466	0	0	0	0	0	0
2013	6	0	0	0	0	0	0	2.17797899	0	1.71884179	0	0	0
2013	7	0	0	0	0	0	2.32759619	0	0.65721387	1.07427609	5.58633232	0	0
2013	8	0	0	0	0	0	0	0	35.7215042	0	0	0	0
2013	9	0	0	0	0	0	37.241539	0	13.5308733	0	0	0	0
2013	10	0	0	0	0	0	1.36074865	26.0396576	1.04381013	2.94658589	0	2.96899748	0
2013	11	0	0	0	0	0	0	6.49481869	9.30016232	0	0	0	3.61651134
2013	12	0	0	0	0	0	1.7546494	0	28.7627678	3.00797319	0	0	0
2013	13	0	0	0	0	0	47.4471512	0	0	0	0	0	12.8705254
2013	14	0	0	0	0	0	6.87536144	0	0	1.78022897	8.22432232	0	0
2013	15	0	0	0	0	0	11.745409	0	2.43555713	16.6359329	0	0	1.80825567
2013	16	0	0	0	0	0	2.50664186	13.484251	0	6.99814129	0	0	0
2013	17	0	0	0	0	3.34185934	0	0	0	0	33.673172	0	0
2013	18	0	0	0	0	0	0	7.27060604	29.9225578	0	4.73286533	0	0
2013	19	0	0	0	1.41582894	0	0.85942018	1.69754243	15.6958141	0	7.37085533	0	0
2013	20	0	0	0	5.58465862	12.4391441	2.32759619	24.5342903	0.42525601	2.30202007	0	0	0
2013	21	0	0	0	0	6.96220779	0	3.90755033	0	15.561657	0	0	0
2013	22	0	0	0	3.72310591	1.08300996	0	0	4.9484334	0	5.19839239	13.0731668	0
2013	23	0	0	0	0	0	0	9.92902184	0	0	0	2.96899748	0
2013	24	0	0	0	2.80543876	0	7.5915451	0	0	0.03069361	0	15.994276	0
2013	25	0	0	0	35.7103577	0	6.55307865	2.85058999	3.90462327	4.38918543	0	25.3801403	0.79775989
2013	26	0	0	0	1.23229563	2.93959856	0	0	0.7731927	2.02577782	3.68542767	4.35772181	0
2013	27	0	0	0	19.087471	0	0	8.64785767	6.84275579	0	0	0	12.8705263
2013	28	0	0	0	0	2.84676886	0	3.45914268	11.2886143	0	0	0	0
2013	29	0	0	0	10.6187172	0	0	23.4132729	6.88141537	0	0	0	0
2013	30	0	0	0	7.3413353	16.1213779	2.90054321	9.92902184	7.38399029	4.2357173	32.742115	0	2.87193537
2013	31	0	0	0	0	4.76524401	0	0	0	8.03035259	0	0	0

A.17 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2014 (NASA, 2022).

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAZ	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2014	1	0	0	0	0	0	0	5.01592731	0	6.89435387	0	6.89315891	0
2014	2	16.0399151	0	0	3.14999986	0	0	0	9.85730171	0	0	0	0
2014	3	0	0	0	0	0	0	0	4.45343685	0	0	0	0
2014	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.20009613	0	0
2014	5	0	0	0	0	0	0	0	25.1999359	2.64395118	0.75822806	0	0
2014	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.91312981	14.6420231	0
2014	7	0	0	0	0	0	13.6499653	0.49379593	2.93275094	0.16733868	4.46512032	8.46194744	0
2014	8	0	0	0	0	0	7.88517284	0	1.98232234	2.34274173	1.54453862	1.61632705	0
2014	9	0	0	0	0	0	0	3.04074335	0.16293061	0	0	3.47034931	0
2014	10	0	0	0	0	5.73663473	0	21.1552582	0	2.74435449	29.4866447	0	0
2014	11	0	0	0	0	2.18854284	0	18.2704506	5.1594696	0	2.94866467	0	0
2014	12	0	0	0	0	0	2.38543057	17.048954	6.68015528	3.07903194	0	0	0
2014	13	0	0	0	0	0	0	2.59892607	11.024971	0	0	0	0
2014	14	0	0	0	0	0	0	0	34.975769	0	2.33084917	4.42113018	0
2014	15	0	0	0	0	0	17.4931583	11.0194454	18.4654694	0	0	11.4569063	0
2014	16	0	0	0	0	0	18.7521362	4.41817379	0	0	0	11.31429	0
2014	17	0	0	0	0	0	0	0	0	30.489109	1.20754838	13.5010843	0
2014	18	8.19205952	0	0	0	0	0	1.45539856	9.36850929	12.215724	1.06713581	0	0
2014	19	0	0	0	0	0	0	1.68930197	0	9.87298203	10.7275219	0	0
2014	20	0	0	0	0	0.29843766	0	9.30415535	8.55385685	3.41370916	0	0	0
2014	21	0	0	0	0	0	0	3.04074335	29.3546638	3.58104753	4.80211067	6.18007421	0
2014	22	0	0	0	0	0	12.9210815	0	23.7878685	0	0	0	0
2014	23	0	0	0	0	0	0	0	17.2163353	2.64395118	62.5397758	0	0
2014	24	0	0	0	0	0	0	0	1.24913466	27.3096733	4.07196522	0	0
2014	25	0	0	0	0	0	0	0.88363493	0	0	0	0	0
2014	26	0	0	0	0	0.43107659	0	8.62843513	6.92455101	0	0	4.23097372	0
2014	27	0	0	0	0	11.2079916	9.80677032	1.92320538	5.07800388	0	1.51645613	0	0
2014	28	0	0	0	0	8.0246563	0	0	0.92327344	0	10.8117704	0	0
2014	29	0	0	0	0	0	3.18057418	0	0	0	0	0	0
2014	30	0	0	0	0	0	0	15.7235031	0	4.71895075	0	0	0
2014	31	0	0	0	0	0	0	3.0147543	16.0310478	0	0	0	0

A.18 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2015 (NASA, 2022).

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAZ	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2015	1	0	0	0	0	0	12.35746	6.420609	0	0	1.89993215	6.49881077	0
2015	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.70969105	0	12.8699999
2015	3	0	0	0	0	0	0	0	3.08029103	5.20399952	0	0	0
2015	4	0	0	0	0	0	12.1090698	0	0	0	0	0	0
2015	5	7.42980957	0	0	0	0	9.50096226	1.55223513	0	0	0	19.0902576	0
2015	6	0	0	0	0	0	10.2461357	18.7679329	0	1.2292912	0	0	0
2015	7	0	0	0	0	0	3.9742589	4.33920288	0	5.20399952	0	0	0
2015	8	0	0	0	0	0	0	4.97420788	0	19.3408489	0	0	0
2015	9	0	0	0	0	0	0	10.1953621	5.59015846	2.0078423	0	4.87410831	0
2015	10	2.3038168	0	0	0	0	0	23.5657501	0	0	0	2.88015485	0
2015	11	5.18358803	0	0	0	0	0	11.6064854	0	0	0	0	0
2015	12	0	0	0	0	0	0	4.02170038	0	0	2.24780703	0	0
2015	13	0	0	0	3.50999975	0	0	0	0	0	3.26467252	0	0
2015	14	0	0	0	0	0	6.70656109	0	0	43.1890984	0	0	0
2015	15	0	0	0	0	0	0	6.06782818	8.63242054	4.67130661	0	0	0
2015	16	0	0	0	0	0	4.71943235	5.67976952	2.47183847	0	0	0	0
2015	17	0	0	0	0	0	10.1219406	0	0	4.63033009	0	0	0
2015	18	0	0	0	9.35999966	12.7849588	3.22908545	0	2.92817807	3.3600626	0	0	0
2015	19	0	0	0	0	0	0	0	14.5268068	0	0	7.60656309	0
2015	20	0	0	0	0	0	0	0	7.11128998	0	0	0	0
2015	21	0	0	0	0	4.34632111	0	31.7502651	21.8282375	0	0	0	0
2015	22	0	0	0	0	0	12.2332668	47.7665062	11.4084864	0	23.8160515	0	0
2015	23	0	0	0	0	1.74981773	12.1711674	7.69061995	15.7437096	0	8.16168118	0	0
2015	24	0	0	0	0	0	0	0	11.9408817	0	28.7398186	0	0
2015	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20.1499844	0	0
2015	26	0	0	0	0	0	0	2.85752392	0	0	0	0	0
2015	27	0	2.142694	0	0	0	13.4131241	0	0	0	24.6455994	0	0
2015	28	0	0	0	0	15.2685719	0	0	0	0	4.09422016	0	0
2015	29	0	0	0	0	41.7416191	0	0	0	0	0	0	0
2015	30	0	0	0	0	31.0451508	0	0	7.45354414	1.76198411	6.04767179	0	0
2015	31	0	0	0	0	3.64074969	0	0	0	1.89993215	10.9667435	0	0



A.19 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2016 (NASA, 2022).

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAZ	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
2016	1	0	0	0	0	43.961113	27.1960297	0	3.85973358	2.37088227	0	13.4266005	0
2016	2	0	0	0	0	4.38788414	4.21346903	1.46109581	3.06508207	0	51.1676903	0	0
2016	3	0	0	0	0	0	0	0	4.88142776	4.51756716	0	20.0190964	0
2016	4	0	0	0	0	0	0	8.23755741	0	0	5.67836523	2.17448807	0
2016	5	0	0	0	0	0	0	18.465229	17.0282345	4.00665188	0	2.89931726	0
2016	6	0	0	0	0	0	7.89657068	45.3443527	14.0199137	8.20153618	0	0	0
2016	7	0	0	0	0	0	4.89116001	11.2101316	0	54.9368439	0	4.65961742	0
2016	8	0	0	0	0	0	0	8.86734009	0	2.93104076	0	83.8385925	23.056839
2016	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3.81841946	0	0	5.3694005
2016	10	0	0	0	0	0.52106124	0	1.83896518	9.08172607	3.95287132	13.1351194	0	0
2016	11	0	0	0	0	4.79924774	4.12507486	0	2.8380394	0.80670834	0	0	0
2016	12	0	0	0	0	10.9422855	1.20805752	0	14.3604784	0	3.21358037	6.17830753	0
2016	13	0	0	0	0	49.0071831	1.67949462	5.06345177	1.7028234	0	0	1.2770803	0
2016	14	0	0	0	0	0	1.06073344	0	0	0	0	0	0
2016	15	0	0	0	0	0	0	5.81919193	8.57087898	1.39829457	0	0	0
2016	16	0	0	0	0	0	0	10.2276707	0	0	0.93599421	13.9788523	0
2016	17	0	0	0	0	2.79727602	0	2.97257423	0	0	0	0	0
2016	18	0	0	0	0	0	0	0	0	9.62672043	0	1.93287826	0
2016	19	0	0	0	1.25558829	0	18.4744415	0	0	0	1.62239003	10.0095482	0
2016	20	0	0	0	5.29797029	0	0	0	6.92481565	0	0	0	2.41609788
2016	21	0	0	0	33.5027733	0	4.39025784	0	0	0.77981812	0	0	0
2016	22	0	0	0	2.54180074	0	2.35718536	0	0	34.7153511	0	0	0
2016	23	0	0	0	1.40870881	0	0	0	1.64606273	0	5.33516741	0	0
2016	24	0	0	0	0	0	23.8075733	0.88169575	20.1784592	0	0	0	6.63278866
2016	25	0	0	0	0	0	8.86891079	4.6352005	4.28543901	0	0	0	0
2016	26	0	0	0	0	0	4.36079311	1.25956535	1.53254104	2.33945465	0	0	0
2016	27	0	0	0	2.29680824	6.0881896	3.18220043	4.76115704	9.90475655	0	0	0	0
2016	28	0	0	0	1.04121971	41.3558044	0	0	7.71946621	0	0	7.52441883	0
2016	29	0	0	0	33.3190269	7.2948575	0	0	9.62095261	21.1088715	6.08396244	3.07189608	0
2016	30	0	0	0	2.32743216	0	0	0	12.6860361	1.37140429	2.80798292	21.3306942	0
2016	31	0	0	0	0	25.8156357	0	12.2429752	2.86641979	0	5.92796373	0	0

A.20 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2017 (NASA, 2022).

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	ACT	NOV	DIC
2017	1	0	0	0	0	16.8908024	1.89167082	12.390173	11.2202253	0	16.2492008	0	0
2017	2	0	0	0	0	3.37224412	0	53.4199295	5.89061832	0.95578289	5.04487801	0	0
2017	3	0	0	0	0	8.63767815	0	0	11.6409836	22.6110916	0	3.73018813	0
2017	4	0	0	0	0	0	2.31997395	0	5.97476959	1.80233335	22.8779373	51.8432922	15.8009005
2017	5	0	0	12.2833519	0	0	2.31997395	4.9154458	2.74895501	0	0	7.04942322	0
2017	6	0	0	0	0	0	16.1327419	0	1.12202251	0	0	4.99465847	5.42779064
2017	7	9.56271553	0	0	0	0	0	3.73736382	48.2469711	14.937521	6.83405018	6.67008209	0
2017	8	0	0	0	0	0	0	4.63108158	0	7.56433868	0	2.37088227	0
2017	9	0	0	0	0	2.54397368	0	3.899858	14.2496853	19.6072044	13.3454628	0	0
2017	10	0	0	0	0	4.05260944	4.06887722	0	0	0	4.01830435	0	0
2017	11	0	0	0	0	26.0313606	0	0	5.4698596	0	0	0	0
2017	12	0	0	0	0	0	4.63994789	4.63108158	2.97335958	0	0	0	0
2017	13	0	0	0	0	17.0091286	24.7344875	7.71846867	1.96353936	14.7463646	0	2.71861172	0
2017	14	0	0	0	24.9506302	0	6.31746674	7.3934803	0	6.03508615	10.6763706	0	0
2017	15	0	0	0	0	4.85129881	0	65.3226242	1.31837642	3.2223537	0	0	0
2017	16	0	0	0	0	1.89318991	6.06762409	54.4355164	0	4.9973793	0	0	0
2017	17	0	0	0	0	0	0	3.6154933	0	0	0	0	0
2017	18	0	0	0	3.08667612	0	5.06825018	0	2.07574177	0	7.88995457	0	0
2017	19	0	0	0	0	0	0	69.669342	0	10.1586065	0	0	0
2017	20	0	0	0	0	0	2.21289802	5.64666939	73.0436707	0	0	0	0
2017	21	0	0	0	0	3.13559532	1.60613573	30.061409	4.20758438	0	0	0	0
2017	22	0	0	0	0	2.57355499	0	20.7992439	0	1.61117685	0	0	0
2017	23	0	0	2.82840347	0	2.1002574	1.32060051	51.3887558	0	0.76462638	0	0	0
2017	24	0	0	0	0	15.7371397	15.4545937	0	4.31978655	10.7593842	1.23188889	0	0
2017	25	0	2.59251094	0	0	0	16.1684341	9.58715057	2.21599436	1.0650152	19.8568764	0	0
2017	26	0	0	0	0	0	7.56668329	3.3311286	0	25.6149826	0.96791267	0	0
2017	27	0	0	0	0	0	0	8.3684454	7.26509571	7.8647275	0	0	0
2017	28	0	0	0	0	1.62696004	3.3193469	2.84364653	12.0897923	1.14693952	0	0	0
2017	29	0	0	0	0	2.95810914	22.7357426	33.7987671	0	5.92585373	0	0	0
2017	30	0	0	0	0.73952729	3.16517639	2.71258473	18.7680664	3.36606741	5.81559563	63.412941	0	8.48343468
2017	31	0	0	0	0	0	0	4.83419895	36.2164993	16.2492008	15.2310505	0	13.0463791

### A.21 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2018 (NASA, 2022).

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	ACT	NOV	DIC
2018	1	18.1879597	0	0	0	0	1.74865746	13.1479626	6.33918953	0	0	0	0
2018	2	0	0	0	0	0	0	63.586937	0	0	0	10.6368179	0
2018	3	0	0	0	0	0	1.54532528	16.8386192	0	1.0980736	0	0	0
2018	4	0	0	0	2.42999983	74.8459625	0	0	3.37857914	28.6302605	0	0	0
2018	5	0	0	87.6599884	0	0.71967274	1.54532528	0	5.01562262	2.30327606	0	9.48852539	0
2018	6	0	0	7.28999996	0	0	0	0	3.93587017	1.68728375	0	30.2786694	0
2018	7	0	0	0	0	0	0	0	0	14.0339155	20.0721111	11.180748	0
2018	8	0	0	0	0	0	0	0	0	20.19384	8.45141506	0	0
2018	9	0	0	0	0	0	0	0	5.81672859	9.15954018	0	0	0
2018	10	0	0	0	0	0	0	0	0	15.6140699	0	0	0
2018	11	0	0	0	0	0	0	21.99016	2.4729805	2.81213951	0	0	0
2018	12	0	0	0	0	0	5.44930458	17.2999496	0	0	0.81263602	0	0
2018	13	0	0	0	0	0	4.1073122	4.15198851	0	0	0	0	0
2018	14	0	6.21000004	0	0	2.77588058	0	0	6.86164999	0	0	0	0
2018	15	0	0	0	0	3.70117426	0	0	0	0	0	0	0
2018	16	0	0	0	6.38999939	0	0	0	9.64810753	0	0	0	0
2018	17	3.60623312	0	0	0	0	23.9932079	0	1.28873634	2.4104054	0	0	0
2018	18	3.76302576	0	0	0	0	2.27732158	1.69155085	11.4244738	0.96416211	26.2075138	0	0
2018	19	0	0	0	0	0	40.7884521	2.30666018	0	0	86.7489014	0	0
2018	20	0	0	0	0	2.46744943	30.7031708	0	6.13020515	0	8.37015152	4.5931716	0
2018	21	0	0	0	0	0	0	4.84398651	0	0	48.7987976	0	0
2018	22	0	0	0	0	0	23.2612114	0	13.5143166	6.69557047	50.7084846	0	0
2018	23	0	0	0	0	0	0.89466202	2.6142149	81.887001	4.0441246	0	0	0
2018	24	0	0	0	2.78999996	0	9.2312851	0	2.54264188	0	0	0	0
2018	25	0	0	0	0	0	11.0612764	0	0	2.35684085	0	0	0
2018	26	0	0	0	0	0	0	2.22977161	0	5.83853722	0	0	0
2018	27	0	0	0	0	0	0	2.22977161	0.97525996	13.6321821	0	0	0
2018	28	0	0	0	0	0	0	0	0	7.60616827	0	0	0
2018	29	0	0	0	0	0	3.25331593	6.91998053	0	0	0	0	0
2018	30	0	0	0	0	0	1.58599162	14.8395138	11.4941349	0	0	0	0
2018	31	0	0	0	0	0	0	13.6536388	0	0	5.97287512	0	0

### A.22 Registro satelital de precipitación diaria (mm) para el sector El Tigre para el año 2019 (NASA, 2022).

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAR	ABRI	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	ACT	NOV	DIC
2019	1	0	0	0	0	0	1.65112138	2.36788249	0	0.75801241	0	4.56583738	0
2019	2	0	0	0	0	0	30.6417446	8.61048126	0	10.6424942	0	0	0
2019	3	0	0	0	0	0	5.64453125	0	4.82230568	3.12301111	3.25813389	0	4.13660765
2019	4	0	0	0	0	0	13.9769354	10.691349	7.90116262	0	3.72875333	13.1730566	0
2019	5	0	0	0	0	0	42.6219711	9.328022	25.6695042	7.12531614	9.8106041	0	0
2019	6	0	0	0	0	0	3.64782643	1.32744932	8.4204874	4.88159943	1.23085058	0	0
2019	7	0	0	0	0	0	2.18869591	3.87471676	1.81763828	0	0	0	0
2019	8	0	0	0	0	9.75471878	10.9434795	0	0	0	6.87828255	2.77652264	0
2019	9	0	0	0	0	2.18570471	11.5962486	16.2881622	0	9.58127594	13.4307518	0	0
2019	10	0	0	0	0	8.33805847	0	1.29157233	0	2.36499834	21.8656998	0	0
2019	11	0	0	7.85489655	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	12	0	0	0	0	4.0476017	0	7.31891012	16.2845573	0	0	0	0
2019	13	0	0	0	0	2.0642767	9.52274704	13.0233536	10.5719786	0	0	0	0
2019	14	0	0	0	0	0	0	3.58770084	9.68170643	0	0.97744012	0	0
2019	15	0	0	0	0	0	0	0	25.9662609	0	21.5398865	0	0
2019	16	0	0	0	0	0	0	14.2431736	14.3185387	14.4325562	24.0739918	0	0
2019	17	0	7.47000027	0	0	0	47.2681503	40.1463699	2.63372087	12.4314041	0	0	0
2019	18	0	0	0	0	0	3.91661382	0	3.85784435	14.6144791	0	11.8156471	0
2019	19	0	0	0	0	0	17.4711685	3.37243891	0	6.70082903	2.28069377	0	0
2019	20	0	0	0	0	0	5.45254087	0	0	1.66762733	0	0	0
2019	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	22	0	0	0	0	0	7.87162542	5.09453535	3.33851957	49.9378586	0	7.31151009	3.09109139
2019	23	0	0	0	2.78999996	0	3.14865017	1.36332631	1.92892218	2.63788295	2.67891026	0	5.31849527
2019	24	0	0	0	0	0	8.60119152	0	0	3.72942114	3.25813389	0	0
2019	25	0	0	0	2.69999981	0	2.11189961	0	8.34629822	4.18422794	0	0	0
2019	26	0	0	0	0	0	0	2.11674333	0	0	0	0	0
2019	27	0	0	0	0	2.38808489	0	1.82972753	0	0	0	0	0
2019	28	0	0	0	0	0	1.26713967	0	6.23190308	0	0	0	0
2019	29	0	0	0	0	0	6.83487511	0	0	0	0	0	0
2019	30	0	0	0	0	0	0	14.8172054	0	9.49031448	0	1.48081207	0
2019	31	0	0	0	0	0	0	21.9567299	0	0	0	0	0

<b>Título</b>	<b>MODELAMIENTO HIDROLÓGICO MEDIANTE EL USO DE REGISTROS SATELITALES DE PLUVIOSIDAD PARA LA GENERACIÓN DE LAS CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA DE LLUVIAS PARA LA POBLACIÓN DE EL TIGRE EN EL MUNICIPIO SIMÓN RODRÍGUEZ, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA</b>
<b>Subtítulo</b>	

**Autor(es)**

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
<b>Hernández Bolívar, Natacha Rosmary</b>	<b>CVLAC</b>	28.240.681
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:Natashahernandez108@gmail.com">Natashahernandez108@gmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	
<b>Marcano Gutiérrez, Michael José</b>	<b>CVLAC</b>	28.111.393
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:Michael123jmarcano@gmail.com">Michael123jmarcano@gmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

**Palabras o frases claves:**

<i>Curvas IDF</i>
<i>Pluviometría</i>
<i>Satélite hidrometeorológico</i>
<i>El Tigre, estado Anzoátegui</i>
<i>Precipitaciones</i>
<i>Gumbel</i>

**Líneas y sublíneas de investigación:**

Área	Subárea
<i>Hidrología</i>	<i>Hidrometeorología</i>
<i>Tecnologías</i>	<i>Mediciones satelitales</i>

**Resumen (abstract):**

Las necesidades de diseñar obras hidráulicas de drenaje que satisfagan los requerimientos de los nuevos urbanismos que se construirán en la población de El Tigre ameritan la actualización de las herramientas, tecnologías y métodos para el cálculo adecuado de tales infraestructuras u obras civiles. Tal es el caso, de las curvas de Intensidad, duración y frecuencia de lluvias de la zona de estudio, la cual es indispensable para el cálculo de los caudales que se drenarán, factor este, que influye significativamente en el dimensionamiento de las obras de drenaje. En ese sentido, se requiere la recopilación de los datos pluviométricos de la zona de estudio que abarquen una ventana temporal de al menos 10 años de datos de lluvias máximas diarias; sin embargo, las empresas e institutos estatales que administran las estaciones climatológicas del norte de la región Guayana han considerado que esta no es una información disponible al público y ha sido declarada de carácter estratégico manteniéndola literalmente “secuestrada” Por otra parte, las bases de datos hidrometeorológicas administradas por el INAMEH no están actualizadas por lo que no se dispone de los registros vigentes y adecuados de todos los parámetros climáticos de las estaciones cercanas al área de estudio, con especial énfasis en la información pluviométrica. En virtud de ello, se recabó información de precipitación proveniente de satélites artificiales que se encuentra disponible en servidores de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Este trabajo se enmarca en un tipo de investigación analítica en la cual se aplica una estrategia de campo y documental. En primer lugar, se efectuó un reconocimiento de la zona para validar las condiciones bióticas, de la hidrografía y de los suelos. Se construyeron las curvas IDF para la zona, utilizando el criterio de Gumbel, con los datos de las precipitaciones máximas diarias extraídas del servidor. Una vez construidas las curvas IDF estas se cotejarían contra las publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967). De la aplicación antes descrita se produjeron como resultados relevantes que en primer lugar el clima de la zona según Holdridge es Bosque seco tropical (Bst) y según Köppen se clasifica como clima Cálido tropical de sabana isotérmica (Awgi). La pluviosidad de la zona alcanza unos 576 mm anuales. Las curvas IDF se construyeron basándose en 22 años (1998– 2019) de mediciones de la pluviosidad bajo el criterio de los valores extremos de Gumbel y los modelos de Cheng-Lung Chen(1983) y de F.C. Bell (1969). La comparación de las curvas IDF construidas muestran para los períodos de retorno 5, 10, 25, 50 y 100 años, estimaciones de intensidades de lluvia moderadamente inferiores a las contenidas en las curvas IDF publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967).

**Contribuidores:**

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
<p><i>Monteverde Sevilla, Francisco Raúl</i></p>	<p><b>ROL</b></p>	<p>C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> ju <input type="checkbox"/></p>
	<p><b>CVLAC</b></p>	<p>12.192.676</p>
	<p><b>e-mail</b></p>	<p>monteverdefr@gmail.com</p>
	<p><b>e-mail</b></p>	<p></p>
<p><i>España, Juan</i></p>	<p><b>ROL</b></p>	<p>C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> ju <input checked="" type="checkbox"/></p>
	<p><b>CVLAC</b></p>	<p></p>
	<p><b>e-mail</b></p>	<p></p>
	<p><b>e-mail</b></p>	<p></p>
<p><i>Padilla, Karla</i></p>	<p><b>ROL</b></p>	<p>C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/></p>
	<p><b>CVLAC</b></p>	<p></p>
	<p><b>e-mail</b></p>	<p></p>
	<p><b>e-mail</b></p>	<p></p>
	<p><b>ROL</b></p>	<p>C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/></p>
	<p><b>CVLAC</b></p>	<p></p>
	<p><b>e-mail</b></p>	<p></p>
	<p><b>e-mail</b></p>	<p></p>

**Fecha de discusión y aprobación:**

Año	Mes	Día
2024	02	07

**Lenguaje:** spa

**Archivo(s):**

<b>Nombre de archivo</b>	<b>Tipo MIME</b>
<i>Modelamiento hidrológico para la estimación de curvas IDF para El Tigre, estado Anzoátegui.doc</i>	<i>application/msword</i>

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

**Alcance:**

**Espacial:** *El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela (Opcional)*

**Temporal:** *10 años (Opcional)*

**Título o Grado asociado con el trabajo:**

*Ingeniero Geólogo*

**Nivel Asociado con el Trabajo:** *Pregrado*

**Área de Estudio:**

*Hidrología*

Usualmente el nombre del programa o departamento.

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

*Universidad de Oriente*

**Derechos:**

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado  
“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la  
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros  
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,  
quien lo participara al Consejo Universitario”**

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.

---

**Natacha Rosmary Hernández B**  
**C.I. No. 28.240.681**  
**AUTOR 1**

---

**Michael José Marcano G.**  
**C.I. No 28.111.393**  
**AUTOR 2**

---

**Francisco Raúl Monteverde Sevilla**  
**C.I. No 12.192.676**  
**TUTOR**