

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



**ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES DE LA POBLACIÓN DE
SOLEDAD CON LA FINALIDAD DE GENERAR LAS CURVAS
DE INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA PARA EL
DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS CIVILES, MUNICIPIO
INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LOS
BACHILLERES
BARROSO B., RUBEN E.
Y MATA M., DORIANA
DEL C. PARA OPTAR
AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

CIUDAD BOLÍVAR, MAYO 2022



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, titulado: **“ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES DE LA POBLACIÓN DE SOLEDAD CON LA FINALIDAD DE GENERAR LAS CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS CIVILES, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA”** presentado por los bachilleres: **BARROSO BECERRA, RUBEN ERNESTO Y MATA MARTÍNEZ, DORIANA DEL CARMEN** ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Prof. Dafnis J. Echeverría

Prof. Francisco Monteverde

Profa. Beatriz Echeverría

Prof. Rodolfo González
Jefe de Depto. de Ing. Civil

Prof. Francisco Monteverde
Director de Esc. de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, Mayo de 2022

DEDICATORIA

A DIOS Todopoderoso

A nuestros padres.

A todos nuestros familiares y amigos.

Rubén Ernesto Barroso Becerra
Doriana del Carmen Mata Martínez

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso

A nuestros Padres.

A nuestro tutor académico, el Profesor Dafnis Echeverría

A todos los profesores que nos brindaron su ayuda técnica y moral.

A la Universidad de Oriente.

Rubén Ernesto Barroso Becerra
Doriana del Carmen Mata Martínez

RESUMEN

El presente estudio se realizó con base a los posibles futuros desarrollos urbanísticos que se podrían desarrollar en el centro poblado de Soledad y sus alrededores en el municipio Independencia del estado Anzoátegui, Venezuela. Sin embargo todo desarrollo urbanístico requiere del diseño cabal de sus sistemas de drenaje lo cual implica contar con curvas IDF actualizadas que permitan calcular los caudales drenados de escorrentía pluvial con el .mayor grado de certidumbre posible. Este trabajo se enmarca en un tipo de investigación descriptiva en la cual se aplicará una estrategia de campo y documental. En primer lugar, se efectuó un reconocimiento de la zona para validar la revisión previa de las cuencas y subcuencas existentes en el área de estudio efectuadas en las cartas y mapas de la zona. Asimismo, se tomó nota de las condiciones del relieve, de la hidrografía, de los suelos, de la geología aflorante y de la flora y fauna predominante. Posteriormente, se recabó, a partir de las bases de datos hidrometeorológicas administradas por el INAMEH, los registros de todos los parámetros climáticos de las estaciones cercanas al área de estudio, con especial énfasis en la información pluviométrica. Se construyeron las curvas IDF para la zona, utilizando el criterio de Gumbel y de log-Pearson III, con los datos de las precipitaciones máximas registradas en la estación climatológica de Musinacio. 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 Koppen se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmica (Awgi). La pluviosidad de la zona alcanza unos 883 mm anuales. Las curvas IDF se construyeron basándose en 29 años de mediciones de la pluviosidad en la estación de Ciudad Bolívar Aeropuerto. La comparación de las curvas IDF construidas muestran estimaciones de intensidades de lluvia superiores a las contenidas en las curvas IDF publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967).

CONTENIDO

	Página
ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Situación u objeto de estudio	3
1.2 Objetivos de la investigación	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.5 Límites de la investigación	6
CAPÍTULO II	8
GENERALIDADES	8
2.2 Características físicas y naturales del área de estudio	9
2.2.1 Vegetación típica de la región	9
2.2.2 Hidrografía regional	10
2.2.3 Geomorfología regional	11
2.3 Geología regional	11
2.3.1 Historia geológica regional	11
2.3.2 Evolución tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela	13
2.3.3 Cuenca Oriental de Venezuela	14
2.4 Suelos 18	
2.4.1 Características físicas de los suelos	19
CAPÍTULO III	22
MARCO TEÓRICO	22
3.1 Antecedentes o estudios previos	22
3.2 Definiciones de términos básicos	22
3.2.1 Variables hidrometeorológicas	22
3.2.2 Factores que afectan a la capacidad de infiltración	29
3.2.3 Estimación del coeficiente de infiltración	31
3.2.4 Estimación del coeficiente de escorrentía	32
3.2.5 Regionalización de caudales	33

3.2.6 Canales:.....	34
3.2.7 Canales abiertos.	34
3.2.8 Tipos de flujo	36
3.2.9 Estado del Flujo	38
3.2.10 Geometría de canal.....	43
3.2.11 Elementos geométricos de una sección de canal	44
3.2.12 Sistemas de Recolección de Aguas de Lluvia	47
CAPÍTULO IV	65
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	65
4.1 Tipo de investigación.....	65
4.2 Diseño de la investigación.....	65
4.3 Población de la investigación.....	66
4.4 Muestra de la investigación.....	67
4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	67
4.5.1.1 Observación directa.....	67
4.5.1.2 Revisión bibliográfica	68
4.7 Procedimiento para el logro de los objetivos.....	69
4.7.1 Recopilación de la información bibliográfica.....	69
CAPÍTULO V	72
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	72
5.1 Identificación de las cuencas y subcuencas hidrográficas	72
5.2 Determinación de las características climáticas generales.....	77
5.2.1 Temperatura.....	78
5.2.2 Insolación.....	79
5.2.3 Humedad Relativa.....	80
5.2.4 Vientos.....	81
5.3 Analizar estadísticamente las precipitaciones máximas diarias.....	82
5.4 Construir las curvas intensidad – duración – frecuencia	83
5.5 Comparar las curvas IDF generadas en esta investigación con las del MOP (1967).....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
Conclusiones.....	98
Recomendaciones.....	99
REFERENCIAS	100

LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Ubicación relativa del área de estudio.....	74
2.2	Ubicación geográfica de las cuencas hidrográficas de Venezuela.....	15
2.3	Corte geológico idealizado de la subcuenca de Maturín.....	17
3.1	Flujo en canales abiertos.....	36
3.2	Elementos geométricos de un canal.....	46
3.3	Curva IDF de la región hidrológica III (MOP, 1967 en Arocha, 2009)...	53
3.4	Esquema de curvas IDF.....	56
4.1	Flujograma de actividades.....	69
5.1	Variación Anual de la Temperatura Máxima, Media y Mínima (°C) en la Estación Ciudad Bolívar (INAMEH, 2021).....	79
5.2	Variación anual de la insolación (hr). Estación Ciudad Bolívar.....	80
5.3	Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Ciudad Bolívar..	81
5.4	Variación anual de la velocidad del viento (m/s). Estación Ciudad Bolívar.....	82
5.5	Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Ciudad Bolívar.....	83
5.6	Intensidad de lluvia (mm/hr) (15 min) versus Tiempo de Retorno.....	86
5.7	Intensidad de lluvia (mm/hr) (30 min) versus Tiempo de Retorno.....	86
5.8	Intensidad de lluvia (mm/hr) (1 hr) versus Tiempo de Retorno.....	87
5.9	Intensidad de lluvia (mm/hr) (3 hr) versus Tiempo de Retorno.....	87
5.10	Intensidad de lluvia (mm/hr) (6 hr) versus Tiempo de Retorno.....	88
5.11	Intensidad de lluvia (mm/hr) (9 hr) versus Tiempo de Retorno.....	88
5.12	Intensidad de lluvia (mm/hr) (12 hr) versus Tiempo de Retorno.....	89
5.13	Intensidad de lluvia (mm/hr) (24 hr) versus Tiempo de Retorno.....	89
5.14	Curva IDF de estación Ciudad Bolívar (Tr = 5 años).....	90
5.15	Curva IDF de estación Ciudad Bolívar (Tr = 10 años).....	91
5.16	Curva IDF de estación Ciudad Bolívar (Tr = 25 años).....	91
5.17	Curva IDF de estación Ciudad Bolívar (Tr = 50 años).....	92
5.18	Curva IDF de estación Ciudad Bolívar (Tr = 100 años).....	92
5.19	Curva IDF de Región Hidrológica II.....	93
5.20	Comparación de las curvas IDF de 1967 y de las del 1991 (Tr = 5 años)	95
5.21	Comparación de las curvas IDF de 1967 y de las del 1991 (Tr = 10 años)	95
5.22	Comparación de las curvas IDF de 1967 y de las del 1991 (Tr = 25 años)	96
5.23	Comparación de las curvas IDF de 1967 y de las del 1991 (Tr = 50 años)	96

LISTA DE TABLAS

		Página
2.1	Coordenadas UTM del área de estudio.....	9
5.1	Características de la estación climatológica utilizada (INAMEH, 2021).....	77
5.2	Temperatura máxima, media y mínima (°C), estación Ciudad Bolívar	78
5.3	Insolación media, mensual y anual (hr), estación Ciudad Bolívar.....	80
5.4	Humedad relativa media, mensual y anual (%), estación Ciudad Bolívar.....	81
5.5	Velocidad del viento media, mensual y anual (m/s), estación Ciudad Bolívar.....	81
5.6	Precipitación media, mensual y anual (mm), estación Ciudad Bolívar.	82
5.7	Datos de intensidad de lluvia para diferentes duraciones y diferentes períodos de retorno, estación Ciudad Bolívar.....	85
5.8	Datos de intensidad de lluvia para diferentes duraciones y diferentes períodos de retorno, estación Ciudad Bolívar.....	90
5.9	Diferencias de intensidad de lluvia entre las curvas IDF de 1967 y las curvas IDF de 1991.....	94

INTRODUCCIÓN

La siguiente investigación es un estudio de nivel descriptivo debido a que su objetivo principal consiste en la generación de curvas de intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones para la población de Soledad en el estado Anzoátegui. El propósito de la construcción de la curvas IDF para esta región estriba en la necesidad de diseñar sistemas de drenaje de aguas pluviales cónsonos con las realidades climáticas y las características de los escurrimientos de aguas pluviales que se desarrollarían actualmente en la zona de estudio y ante el posible desarrollo de nuevos urbanismos.

Para el desarrollo de esta investigación, haciendo uso de los registros climatológicos de la región objeto de estudio, en especial de los valores correspondientes a la pluviometría de la zona, se construyen las curvas IDF considerando los valores extremos de Gumbel y bajo los criterios de la técnica de log Pearson III. Estas curvas IDF se comparan con otras publicadas en la bibliografía relevante sobre el tema, tal como las publicadas por el Ministerio de Obras Públicas – MOP- (1967) y posteriormente por Arocha en 2009 en su texto “CLOACAS Y DRENAJES” con la finalidad de validar la vigencia de dicha publicación con respecto a la pluviosidad de esta zona de estudio.

El desarrollo de esta investigación está presentado en este documento en cinco (5) capítulos, de la siguiente manera:

En el capítulo I está conformado por el planteamiento del problema, objetivos, justificación, alcance y limitaciones que se plantean a desarrollar.

El Capítulo II trata sobre la ubicación y generalidades del área de estudio.

En el Capítulo III se refiere a los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y las bases legales que sustentan la investigación, es decir que están directamente vinculadas con la temática de la investigación.

Seguidamente, se presenta el capítulo IV, el cual contiene la metodología aplicada al realizar este trabajo, incluyendo su nivel, estrategias, población y muestra, las técnicas e instrumentos y el procedimiento para el logro de los objetivos.

En el capítulo V se presenta el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la investigación.

Por último, se presentan las conclusiones como respuesta definitiva a los objetivos planteados al inicio de la investigación, finalizando con las recomendaciones.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Situación u objeto de estudio

El agua es un recurso vital en el desarrollo del ser humano y parte fundamental de su quehacer productivo, por lo que el estudio de las precipitaciones tiene especial importancia, debido al predominio de actividades relacionadas con el aprovechamiento de los recursos hídricos. En general, las precipitaciones son la principal entrada de agua en una cuenca, aportando caudal a los cauces y recarga a los acuíferos. Para conocer y estudiar las precipitaciones de su distribución temporal es motivo de interés para objetivos meteorológicos e hidrológicos; estos estudios pueden proporcionar índices para realizar análisis de crecidas o construir modelos precipitación-escorrentía, que permitan mejorar la información disponible para un adecuado diseño de obras civiles. Para esto, se requiere del conocimiento de las intensidades máximas de precipitación.

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. En este sentido se pueden relacionar estas tres (3) variables, obteniéndose así las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), las que están construidas en 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.

Por consiguiente, este proyecto pretende analizar la construcción de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para estaciones pluviométricas en base a

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.

Una vez revisados los aspectos anteriores cabe formular las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cuáles son las cuencas hidrológicas ubicadas en las adyacencias del centro poblado de Soledad?

¿Cómo son las características climáticas de la zona de estudio?

¿Cuáles son las características de las precipitaciones diarias máximas que se producen en el área de estudio?

¿Qué características tendrán las curvas IDF que se construirían con los datos de las precipitaciones máximas horarias

¿Qué diferencia existirá entre las curvas IDF construidas en esta investigación con las publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967)?

1.2Objetivos de la investigación

1.2.1Objetivo general

Análisis de las precipitaciones de la población de Soledad con la finalidad de generar las curvas de intensidad – duración - frecuencia para el diseño hidráulico de obras civiles, municipio Independencia, estado Anzoátegui, Venezuela.

1.2.2Objetivos específicos

1. Caracterizar climáticamente el área de estudio con la finalidad de describir los parámetros hidroclimáticos que influirían en la ocurrencia de lluvias.

2. Describir las condiciones del relieve que podrían intervenir en las variaciones locales del clima predominante en el área de estudio.

3. Analizar estadísticamente las precipitaciones máximas diarias registradas durante el período 1962 – 1991 en las estaciones pluviográficas ubicadas en las cercanías de la población de Soledad como fuente primaria de datos para su uso posterior en la generación de curvas IDF.

4. Construir las curvas intensidad – duración – frecuencia para la población de Soledad utilizando los métodos de Gumbel y de Log Pearson III.

5. Comparar las curvas IDF generadas en esta investigación con las reportadas en la bibliografía según MOP (1967) para la zona en cuestión, con el propósito de identificar las variaciones significativas y validar su vigencia.

1.3Justificación de la investigación

Para el adecuado diseño de sistemas de drenaje de los urbanismos, infraestructuras civiles y poblaciones en general es de vital importancia contar con adecuadas herramientas en la determinación de los caudales de diseño o de drenaje de las cuencas. Entre estas herramientas se encuentran las curvas de intensidad – duración – frecuencia de las precipitaciones, con las cuales se calcula la intensidad de lluvias para un período de retorno y un tiempo de concentración determinado.

En vista de ello, reviste vital importancia analizar las precipitaciones máximas ocurridas durante al menos los últimos 30 años medidas y registradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) a través de su red de estaciones climáticas distribuidas en todo el territorio nacional. Así mismo, la construcción de dichas curvas permitirá el futuro diseño idóneo de cualquier estructura de ingeniería civil en la cual sea necesario considerar las aguas pluviales como factor condicionante de la geometría, dimensiones y características físicas de dichas obras civiles.

1.4 Alcance de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se identificará la población de datos pluviométricos en las cuencas hidrológicas que se encuentran en el área de estudio. Así mismo, se analizarán las precipitaciones máximas ocurridas en el área de estudio durante un período aproximado de 30 años, medidas y registradas en una estación pluviográfica ubicada en las cercanías de la zona de interés. 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 por el Ministerio de Obras Públicas (1967) para la misma zona de estudio mediante la comparación de ellas con las construidas para este estudio.

1.5 Límites de la investigación

Para el momento de ejecución de la presente investigación no se han detectado obstáculos o dificultades significativas que dificulten el desarrollo de la misma. Sin embargo, se debe acotar que la obtención de los registros climáticos almacenados por el INAMEH es una operación extremadamente difícil, ya que los funcionarios de la Fuerza Aérea Bolivariana que controlan los equipos que registran y custodian la información climática de la estación Ciudad Bolívar Aeropuerto no la mantienen

disponible para los entes de investigación como la Universidad de Oriente. En ese sentido, incluso se puede afirmar que incluso esta información climática es negada por el citado personal militar para el uso académico y de investigación de la Escuela de Ciencias de la Tierra.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El área de interés para la realización del presente estudio comprende una superficie aproximada de 6000 ha, dentro de la cual se localiza la población de Soledad perteneciente al municipio Independencia del estado Anzoátegui, considerando el grupo de microcuencas hidrográficas cuyos cauces drenen hacia y desde el área de estudio.

En la Figura 2.1 se muestra la ubicación relativa del área de estudio y en la tabla 2.1, se presentan las coordenadas de los vértices que limitan la zona de estudio.

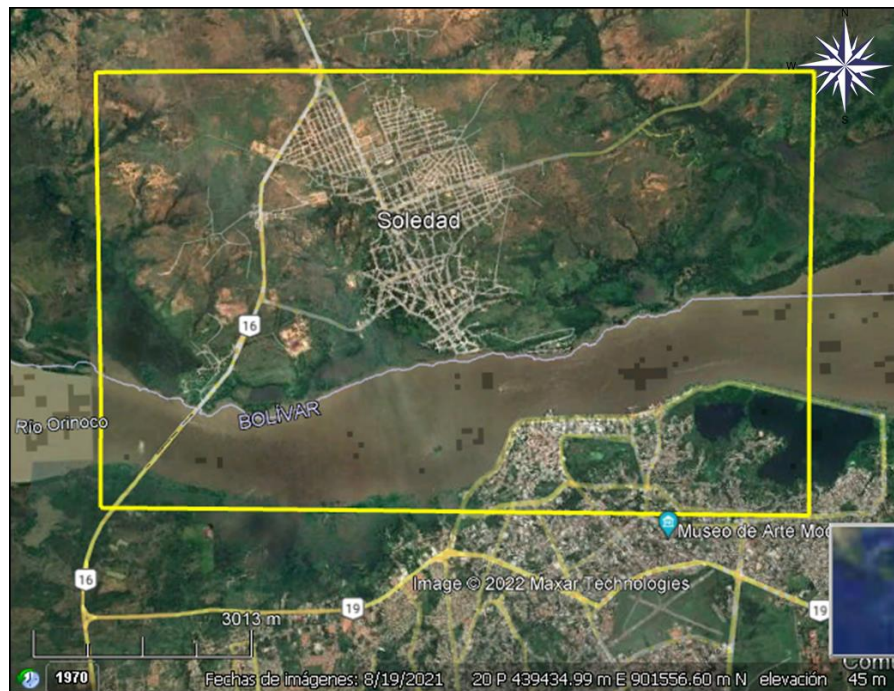


Figura 2.1. Ubicación relativa del área de estudio.

Tabla 2.1. Coordenadas UTM del área de estudio Datum REGVEN Huso 20.

Centro Poblado	Área (Ha)	Vértice	Coordenada Norte	Coordenada Este
Soledad		V-1	905400	433315
		V-2	905122	443139
		V-3	899483	433094
		V-4	899059	442905

2.2 Características físicas y naturales del área de estudio

2.2.1 Vegetación típica de la región

La vegetación predominante en la zona es típica de sabana tropical denominada por el clima tipo de suelo imperante de la región. La vegetación es herbácea y relativamente abundante, encontrando también arbustos de poca altura; los morichales y mereyales van a venir a construir una vegetación más diferenciada del resto de las existentes en el área (Casado, M., 1984).

La Sabana representa la comunidad vegetal más importante por su extensión (50% aproximadamente de la superficie total del Edo. Anzoátegui); en su composición dominan las gramíneas del Género *Trachypogon* (Saeta, Paja Peludal), especies leñosos y chaparros (Casado, M., 1984).

Las gramíneas son de baja calidad forrajera y sustenta una ganadería extensiva. La vegetación arbustiva y arbórea, que está muy relacionada con los cursos de aguas como morichales, ríos, lagunas, que abundan en el área, se localizan alrededor de la población de Soledad (Sur del Edo. Anzoátegui). Entre las especies más importantes podemos destacar el Carcanapire (*Croton*Spp), Yopo (*Piptodenia peregrina*), Palo de Aceite (*Copoiferapubliiflora*) y gramíneas del Género *Trachypogón* (Casado, M., 1984).

La vegetación arbórea corresponde a los bosques de galerías y las selvas veraneras. Vale la pena destacar la presencia de depresiones en la zona donde aflora la superficie piezométrica, lo que ha provocado el desarrollo de Morichales que constituyen una vegetación más diferenciada del resto existente en el área (Casado, M., 1984).

2.2.2 Hidrografía regional

La principal cuenca hidrográfica de la región la constituye el río Tigre, que nace en la parte Norte de la localidad del mismo nombre. Al oriente de la zona de estudio pasa el río Caris que nace al Noroeste de El Tigre, recibe numerosos afluentes entre los principales se encuentran: El Moquete, La Peña, El Canoa y El Chipire. En los valles altos del río El Caris, se fomenta la agricultura, aunque no a gran escala (Hernández, M., y Pérez, V., 2009).

Es importante recalcar que la mayor parte de los cauces no se secan durante la época de ausencia de precipitación, pero si se ve disminuido sus caudales en grandes proporciones (Hernández, M., y Pérez, V., 2009).

Los ríos Guanipa y Cachama nacen en un sector boscoso de Las Mesas, localizados entre El Tigre y Pariaguán. En estos ríos la pesca tiene carácter deportivo (Hernández, M., y Pérez, V., 2009).

En cuanto a los acuíferos, los estudios de registros eléctricos, nos permiten inferir que abarcan una área bastante extensa en las Formaciones Mesa y Las Piedras, con espesores de los paquetes superiores e inferiores que varían de 30 m hasta 250 m de espesor, la mayoría de estos acuíferos son de tipo semiconfinado y libre en forma de mantos y/o lentes (Hernández, M., y Pérez, V., 2009).

Podemos resumir afirmando que en la Formación Mesa se presentan acuíferos no muy bien definidos ya que una gran sección de ellos se encuentra intercomunicados unos con otros. (Hernández, M., y Pérez, V., 2009).

2.2.3 Geomorfología regional

Fisiográficamente el área pertenece a la altiplanicie de la formación Mesa, región constituida fundamentalmente por sabanas bien drenadas.

Geomorfológicamente la mesa en mayor detalle revela una apreciable diversidad de las unidades geomorfológicas, producto de los procesos morfogenéticas que incluye las deformaciones locales y truncamientos a lo largo de las rutas principales de drenajes por prominentes farallones y escarpados de pendientes abruptos que frecuentemente alcanzan unas diferencias de elevación de 38 a 45 metros aproximadamente (Hernández, M., y Pérez, V., 2009).

El área de estudio ocupa una porción de una extensa planicie suavemente ondulada la cual forma parte de los llanos orientales de Venezuela (Hernández, A., 2003).

2.3 Geología regional

2.3.1 Historia geológica regional

La historia geológica de Venezuela es muy amplia y compleja. Amplia, porque su inicio se remonta al Precámbrico y compleja, porque su configuración actual es el resultado de toda una serie de eventos geológicos de diferentes naturalezas e intensidades: Transgresiones y depositación en diferentes ambientes, regresión, erosión, intrusiones, volcanismo, metamorfismos y deformaciones tectónicas (González de Juana y otro, 1980).

Con la relación de la Cuenca Oriental de Venezuela, su proporción más antigua a su basamento peniplanado, constituidos por diversas de rocas cristalinas, ígneas y metamórficas. La edad que se le asigna va desde el Precámbrico al Triásico – Jurásico, periodo durante el cual estuvo sometido a transgresiones y regresiones, fenómenos ígneos, metamórficos y peniplanación (González de Juana y otros, 1980).

Las únicas evidencias de deposición durante el Paleozoico (Medio o Superior) las constituye la Formación Hato Viejo y Carrizal (González de Juana y otros, 1980).

Es a inicios del Cretáceo, o tal vez a finales del Jurásico, cuando debido al hundimiento ocurrido entre el relativamente estable al Escudo Guayanés, al Sur y a la supuesta firme de tierra de Paria, al Norte; se forma la cuenca. Comenzó así, el desarrollo del Geosinclinal Oriental de Venezuela, que se mantuvo activo a través del Cretácico y del Terciario, y cuyo eje muestra un desplazamiento progresivo hacia el Sur (González de Juana y otros, 1980).

Se distinguen dos ciclos mayores de sedimentación; uno a finales del Mesozoico (Cretáceo) y el otro Cenozoico (Trasgresión que depositó el Grupo Merecure) (González de Juana y otros, 1980).

Y a medida del Terciario, comenzó una trasgresión máxima hacia la parte meridional de la cuenca, lo cual llegó a cubrirla en su totalidad, si bien no antes del Oligoceno (González de Juana y otros, 1980).

Posteriormente, la Cuenca fue levantada e inclinada hacia el Este, se retiró el Mar en esa dirección cesando así la sedimentación y pasando a ser la cuenca parte integrante del Continente Suramericano (González de Juana y otros, 1980).

Movimientos orogénicos ocurridos en el frente de montañas en el Norte de Monagas, provocaron una discordancia angular, provocan una discordancia angular

entre la Formación La Pica (Mioceno) y la Formación Carapita infrayacente. En la región de Anaco se desarrolló una ligera discordancia como consecuencia del replegamiento de tales movimientos hacia la parte central de la cuenca, iniciándose así la transformación de la cuenca sedimentaria oriental en una cuenca estructural (González de Juana y otros, 1980).

2.3.2 Evolución tectónica de la Cuenca Oriental de Venezuela

La Cuenca Oriental de Venezuela, es el resultado de una compleja interacción entre las placas Norteamericana, Sudamérica y la placa del Caribe. Según Di Carce et al, (1999), la evolución de la cuenca está controlada por tres etapas importantes, dichas etapas están asociadas al movimiento relativo de la placa Sudamericana con el movimiento de las placas Norteamérica y del Caribe. La primera etapa va desde el Jurásico medio al Cretácico tardío (165 – 80 ma) y muestra una divergencia con dirección Noroeste – Sureste. En el margen Norte de Sudamérica hubo subsidencia para permitir el desarrollo de un extenso margen pasivo. Una cuña sedimentaria de 3 a 4 kilómetros de espesor se depositó sobre el margen Norte Sudamérica con la depositación de rocas clásticas marinas, aunque la sección del Cretácico Temprano también contiene algunos carbonatos. La segunda etapa comprende desde el Campaniense al Eoceno (80 – 90ma), en el Campaniense el arco de islas magmáticas del Cretácico de las potros Antillas colisionó con el margen pasivo de Norteamérica (Cuba, La Española) y Suramérica (Venezuela). Durante el Paleoceno Inferior cesa la expansión del piso marino entre Norte y Suramérica y la Placa Caribe comenzó a migrar hacia el Noreste. Y por última etapa que domina desde el Eoceno y hasta el presente (49 – 0ma), lo cual comprende el movimiento relativo de la placa Caribe hacia el Este.

Basado en el escenario anterior de placas tectónicas, dichas etapas pueden diferenciarse de la siguiente manera:

- a. Del Triásico al Jurásico Tardío la fase rift (rompimiento de Pangea).
- b. Fase de margen pasivo, lo cual comprende desde el Jurásico tardío hasta el Cretácico tardío en el occidente de Venezuela y hasta el Oligoceno y en Venezuela Oriental.
- c. Fase de margen activo, lo cual domina hasta el Reciente. La misma está caracterizada por una depresión “forodeep” que se mueve hacia el Este.

También, Penaud, (1995) había presentado una evolución más completa que la anterior, agregándole una primera etapa. Él afirma que la evolución geodinámica de la Cuenca Oriental de Venezuela puede ser dividida en cuatro episodios importantes:

1. Fase de margen pasivo durante el Cretáceo – Paleógeno.
2. Una fase final durante la colisión oblicua en el Neógeno y Cuaternario.
3. Dicha fase da como resultado la formación de la Serranía del Interior y la transformación de la cuenca de margen pasivo a una cuenca antepaís (o cuenca “*foreland*”). Esta colisión de la placa del Caribe con la placa Sudamericana fue diacrónica con un progresivo desplazamiento de Oeste a Este.

2.3.3 Cuenca Oriental de Venezuela

La Cuenca Oriental de Venezuela puede definirse como una gran depresión asimétrica limitada al Sur por el borde septentrional del Cratón de Guayana; al Norte por el cinturón móvil de la Serranía del Interior Central y Oriental; al Oeste por el levantamiento de El Baúl; y al Este la cuenca continental por debajo del Golfo de Paria, incluyendo la parte situada al Sur de la Cordillera Septentrional de la Isla de

Trinidad y se hunde en el Atlántico al Este de la Costa del Delta del Orinoco (PDVSA-Intevep, 2006).

La Cuenca Oriental de Venezuela comprende los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro. Tiene una longitud aproximada de 800 Km en sentido Oeste-Este, una anchura promedio de 200 Km de Norte a Sur y un área total aproximada de 160.000Km², lo cual la hace la cuenca de mayor extensión en el país (González de Juana y otros, 1980) (Figura 2.2). Esta cuenca es de tipo Foreland o de Margen Cratónico su primera etapa de formación se caracterizó por un régimen extensivo y en la segunda etapa con predominio de movimientos de compresión, relacionados con orogénesis y levantamientos (PDVSA-Intevep, 2006).



Figura 0.1 Ubicación geográfica de cuencas de Venezuela (PDVSA- Intevep, 2006).

Ésta cuenca presenta cizallamiento en dos líneas de corrimiento sub-parallelas, de las cuales, la situada al Noroeste constituye el corrimiento frontal de Guárico y la situada al Este de la depresión de Barcelona, el sistema de corrimiento Frontal Anzoátegui y Monagas. Entre ambos sistemas existe una interesante diferencia en cuanto a su significado como cuenca petrolífera (González de Juana y otros, 1980).

La línea del corrimiento de Guárico constituye en límite septentrional del sector Noreste de la cuenca. El sistema de Anzoátegui y Monagas se extiende hacia el sur de

la Serranía del Interior Oriental, por debajo de planicies con anchuras variables entre 15 y 40 Km, en las cuales se han desarrollado campos petrolíferos importantes. Una tercera línea de corrimiento, de gran importancia en la producción de petróleo, atraviesa la parte central de la cuenca (González de Juana y otros, 1980).

Toda la cuenca tiene un suave declive hacia el Este variando el espesor de la columna sedimentaria desde pocos metros en la parte Sur, hasta 8 y 10 mil metros en la zona más profunda de la cuenca (González de Juana y otros, 1980).

La columna sedimentaria de la Cuenca Oriental, consta exclusivamente de areniscas y lutitas, con edades que van desde el Cambriano Inferior al Pleistoceno, además de 20.000 pies de sedimentos Paleozoicos y Terciarios entre las Cadenas Montañosas Terciarias (González de Juana y otros, 1980).

Topográficamente se caracteriza por extensa llanuras y una zona de mesas en los estados Anzoátegui y Monagas (González de Juana y otros, 1980).

Por sus recursos de hidrocarburos representa la segunda cuenca petrolífera más importante de Venezuela; solo superada por la Cuenca del Lago de Maracaibo. Si se incluyen a estos recursos las reservas en su parte meridional o Faja Petrolífera del Orinoco, sería la cuenca de mayores recursos petrolíferos de América del sur (González de Juana y otros, 1980).

La Cuenca Oriental se caracteriza por condiciones variables de entrapamiento y calidad de crudo. La producción proviene de arenas cuyas edades varían desde el Mioceno hasta el Cretácico. Las principales trampas están controladas por combinación de factores estructurales y estratigráficos (trampas mixtas) (González de Juana y otros, 1980).

La Cuenca Oriental ha sido subdividida, basándose en sus características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas en dos sub-cuencas, las cuales son: la Sub-cuenca de Guárico al Oeste y la Sub-cuenca de Maturín al Este. La sub-cuenca de Guárico comprende los campos del estado Guárico y parte Norte del estado Anzoátegui. La Sub-cuenca de Maturín, presenta ocho áreas productoras de petróleo: Área de Guárico, Área Mayor de Anaco, Área Mayor de Oficina, Área Mayor de Temblador, Faja del Orinoco, Área Mayor de Jusepín, Área de Quiriquire y de Pedernales. La mayoría de las acumulaciones de hidrocarburos se localizan preferentemente en el Área Mayor de Oficina, Temblador y Las Mercedes, situados en el flanco Sur de la Cuenca y el Área Mayor de Anaco, localizada en domos que separan la Sub-cuenca de Maturín de la de Guárico (González de Juana y otros, 1980).

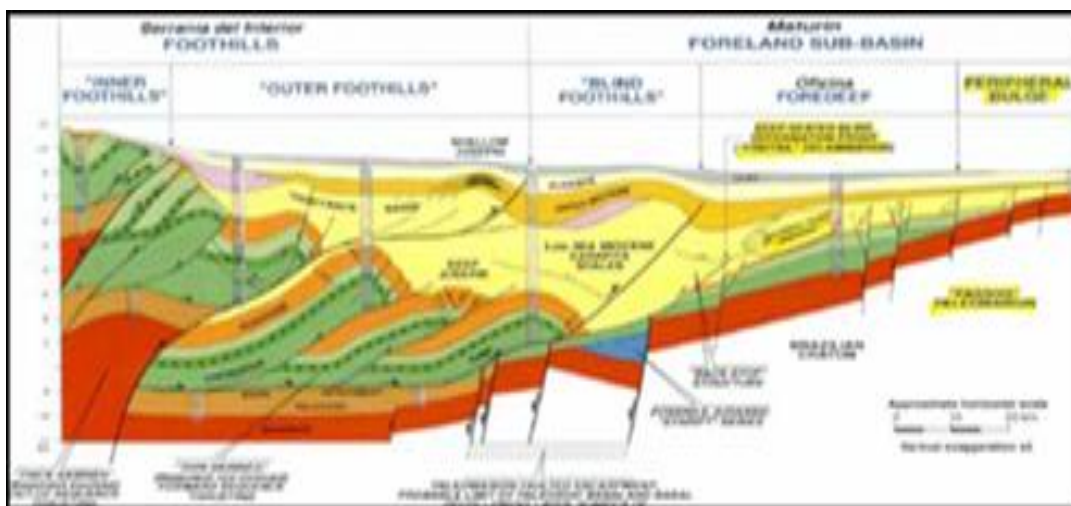


Figura 0.2 Corte Geológico idealizado de la Sub-cuenca de Maturín (Aymard, y otros, 1990).

La estratigrafía de la Serranía del Interior Oriental representa en buena parte la sedimentación del flanco norte de la Subcuenca de Maturín: una espesa y compleja secuencia que abarca desde el Cretácico temprano hasta el Pleistoceno. El flanco sur, en cambio, presenta una estratigrafía más sencilla, semejante a la estratigrafía de la

Subcuenca de Guárico en el subsuelo, con el Grupo Temblador en su parte inferior como representación del Cretácico, y un Terciario suprayacente de edad fundamentalmente Oligoceno-Pleistoceno, en la que se alternan ambientes fluvio-deltáicos y marinos someros, hasta su relleno final de ambientes continentales (González de Juana y otros, 1980).

En la Serranía del Interior la roca madre principal se encuentra representada por el Grupo Guayuta, particularmente la Formación Querecual, la cual llega a tener más del doble de espesor que su equivalente en Venezuela occidental (Formación La Luna), con similares características de roca madre. Debido al espesor considerable de la secuencia Neógena en el flanco norte de la subcuenca, no se puede establecer con claridad cómo se produce el cambio lateral de las unidades cretácicas hacia el Grupo Temblador del sur; sin embargo, se estima que para los equivalentes laterales de Área Mayor de Oficina, el caso pudo haber sido muy semejante, con generación por una roca madre cercana (González de Juana y otros, 1980).

Las dos Subcuencas, localizadas al Noreste de Venezuela, son de tipo “foreland” y están separadas por unos anticlinales en superficies y en el subsuelo por el sistema de falla de Anaco y sus estructuras inversas asociadas (González de Juana y otros, 1980).

2.4 Suelos

Los suelos de la Mesa de Guanipa o cualquiera de las otras mesas de los llanos Sur oriental están formados por sedimentos residuales mal zonados provenientes del Escudo de Guayana, posteriormente a esta posición ocurrió la inversión de relieve (Zinck 1970) y la remodelación del paisaje que tenemos en la actualidad. En el subsuelo de esta zona existen abundantes arenas cuarcíferas mal escogidas y granos pobremente redondeados, gravas, limos y arcillas, estos están cubiertos esporádicamente por casquetes o fragmentos de óxido de hierro, que sostienen la

pobre vegetación sabanera, que solo a las orillas de los morichales alcanza a sostener vegetación mayor y cultivos. Los suelos de la Mesa de Guanipa son muy pobres en Nitrógeno Y Calcio y muy ácidos por lo hay que neutralizarlos y fertilizarlos para obtener rendimiento económico de los cultivos, como es el caso del cultivo del maní, soja, que están en progreso rápidamente en el área (Granados, F., 1969).

2.4.1 Características físicas de los suelos

Los suelos en general son texturas arenosas, con perfiles que varían para el caso de los Utisoles y TypicHaplustox desde arena-arena franca en los primeros 20-30 cm. A texturas franco arenosas, franco-arcillo-arenoso y arcillo-arenosas en horizontes más profundos, moderadamente bien drenados de estructuras masivas a blocosa sub-angular, de débil a moderada, en los horizontes con mayor contenido de arcilla (Granados, F., 1969).

La arenichaplustox presenta un perfil de textura más arenosa, de arenas a arenas-franca en los primeros 50-80 cm. Y luego horizontes de textura franco-arenosa, algo excesivamente drenado y de estructuras masivas con cierta tendencia a compactarse por predominar arena fina y muy fina en la fracción arenosa (Granados, F., 1969).

Los suelos son generalmente desaturados, muy pobre en elementos nutritivos, la capacidad de intercambio catiónico, es de baja a muy baja, por presentarse arcillas de tipo caoliníticas y bajo contenido de materia orgánica, los valores de calcio, magnesio, sodio, y potasio cambiables son bajos, así como también, el fósforo soluble en ácido cítrico; para completar el cuadro son suelos muy ácidos, por lo tanto, la fertilidad natural es un poco baja (Granados, F., 1969).

Suelos presentes en la Mesa de Guanipa se dividieron de la siguiente manera:

2.4.1.1 Paisaje de Mesa (Sabana)

En la Formación Mesa, se describen los suelos desarrollados sobre los sedimentos detríticos no consolidados. Suelos predominantemente arenosos a arcilla-arenosos, con cuarzo; en algunas oportunidades se encuentran capas arcillosas y capas arcillosas mezcladas con gravas de varios tamaños (Santos, A., 1974).

El hecho de que no existan capas continuas de un mismo material; se observan capas de arcilla generalmente delgadas a poca profundidad, que cambian la textura y de terminan el drenaje interno del suelo; todos estos hechos nos ayudan a explicar la heterogeneidad de los suelos (Santos, A., 1974).

Otro factor de la heterogeneidad de los suelos, son los distintos grados de erosión, principalmente por escorrentía difusa de la superficie de la Mesa; que ha dado por erosión diferencial, según la naturaleza textura del material, formas residuales (lomos) y zonas coluviales. La acción eólica es también marcada (Santos, A., 1974).

La erosión actual por escorrentía difusa es débil, debido a la predominancia de pendientes suaves y a la naturaleza generalmente arenosa de los suelos (Santos, A., 1974).

Este hecho es muy importante en ciertos sitios de la Mesa, sobre todo al Noreste; esas fallas son expresadas con marcadas rupturas de pendiente, forman escalones. En estas rupturas de pendiente se aprecian grandes formaciones de corazas (areniscas y conglomerados cementados por óxido de hierro), expuestas en la superficie por desmantelamiento debido a la erosión (Santos, A., 1974).

2.4.1.2 Paisaje de Mesa Disectada

Esta área de la Mesa ha sido fuertemente erosionada, formando grandes cárcavas debido a la erosión regresiva. Los suelos fueron separados según los grados

de disección y de pendiente, constituyen formas misceláneas de tierra sobre material residual – coluvial de las distintas capas de la Mesa. Es muy típico ver en este paisaje zona de cárcavas, escarpados, farallones, cerros testigos. Los suelos en general son arenosos, profundos y bien drenados, pero menos desarrollados que los de la Mesa (Granados, F., 1969).

Valles, en este subpaisaje se encontraron suelos formados por aluviones recientes del río Tigre y de sus principales afluentes. Los cauces de los ríos meándricos son bien marcados; excepto hacia las fuentes de ambos lados, se encuentran un material aluvial arenoso. El material depositado por el río Guanipa es también muy arenoso. Estas arenas están bajo bosque y no cubren grandes extensiones (Santos, F., 1974).

2.4.1.3 Paisaje no definido (fuera de la Mesa)

Hay suelos desarrollados sobre material de formaciones adyacentes a los sedimentos de la formación Mesa. Estos suelos han sido originados por arenas y arcillas de la Formación Campo Santo. Se trata de un paisaje de colinas disectadas y áreas casi planas con vegetación típica de bosques con espinares (cujizales). (Santos Antonio, 1974). Los suelos son arenosos, profundos, bien drenados, con vegetación de bosques y suelos arcillosos con drenaje deficiente, con vegetación de bosque seco (Santos, A., 1974).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos

Carvalho y Farías (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.

3.2 Definiciones de términos básicos

3.2.1 Variables hidrometeorológicas

Chow (2000) nos dice que:

3.2.1.1 Precipitación

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 atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masa de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es

elevado sobre el 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. Las celdas convectivas⁶ se originan por el calor superficial, el cual causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostienen por el calor latente de vaporación liberado a medida que el vapor del agua sube y se condensa.

Las pequeñas gotas de agua crecen mediante la condensación e impacto con las más cercanas a medida que se mueven por la turbulencia del aire, hasta que son lo suficientemente grandes para que la fuerza de gravedad sobrepase la fuerza de fricción y empieza a caer, incrementando su tamaño cuando golpean otras gotas en su descenso. Sin embargo, a medida que la gota cae, el agua se evapora de su superficie y su tamaño disminuye, de tal manera que puede reducirse nuevamente al tamaño de un aerosol y desplazarse hacia arriba en la nube debido a la turbulencia.

Las gotas permanecen esféricas hasta un diámetro de alrededor de 1mm, pero empiezan a aplanarse en el fondo cuando aumenta su tamaño, y se deja de ser estables en su caída al atravesar el aire dividiéndose en pequeñas gotas de lluvia. Las gotas de lluvia normales que caen a través de la base de una nube tienen de 0.1 a 3 mm de diámetro. (p. 66).

3.2.1.2 Evaporación

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 estómagos. 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.

La evapotranspiración potencial es la que puede ocurrir desde la superficie bien cubierta por vegetación cuando el suministro de humedad es limitado, y se calcula de una forma similar a la que se aplica para la evaporación sobre una superficie abierta de agua. La evapotranspiración real cae por debajo de su nivel potencial a medida que el suelo se seca.

3.2.1.3 Escurrimiento

La cuenca es la entidad que transforma la lluvia en escurrimiento. El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre la superficie o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca, ya sea a un cuerpo de agua o al mar.

Antes de que ocurra el escurrimiento superficial, la lluvia debe satisfacer las demandas inmediatas de infiltración, evaporación, intercepción y almacenamientos superficiales (vasos o causes). Algunas de esas pérdidas son menores, por ejemplo en un cultivo de maíz, que la intercepción es de 0.5 mm (1mm de lámina de precipitación distribuido en 1 m² equivale a un litro), pero en un bosque puede llegar a ser hasta de 25% de la lluvia.

Despreciando la intercepción por vegetación, el escurrimiento superficial es aquella parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración. (p. 65 a p. 83).

3.2.1.4 Temperatura

Chereque (2003) nos dice que:

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.

3.2.1.5 Gradiente vertical de temperatura

La temperatura disminuye en la tropósfera, en una cantidad que varía según las condiciones locales, pero que en promedio es de alrededor de 0.6 °C por cada 100 m, de ascenso. Esto es lo que constituye el gradiente vertical de temperatura.

3.2.1.6 Inversión de temperatura

Se llama así al fenómeno que se presenta bajo ciertas condiciones locales y que consiste en lo siguiente. En las primeras horas del día, la tierra se encuentra a baja temperatura debido a que en la noche ha perdido gran cantidad de calor; en ausencia de vientos y con el cielo despejado, las capas inferiores de la tropósfera son más frías que las inmediatas superiores; como consecuencia la temperatura sube con la altura, en un espesor de algunos centenares de metros.

Esta inversión de temperatura tiende a ser destruida por la mezcla que producen los vientos fuertes próximos al suelo, y desde luego el calentamiento que sigue a la salida del sol termina por restablecer el gradiente normal de temperatura.

3.2.1.7 Medición de la temperatura del aire

Las estaciones meteorológicas disponen de un termómetro de máxima, un termómetro de mínima, y algunas veces de un termógrafo. Estos aparatos están situados a 1.50 m. del suelo, en una cubierta de madera provista de persianas que permiten la libre circulación del aire, pero que protegen los termómetros de la radiación solar directa.

Por convención, la temperatura media diaria se calcula tomando la media aritmética de las temperaturas máximas y mínima, leídas en los termómetros de máxima y de mínima, respectivamente.

3.2.1.8 Temperatura media mensual o anual

Es la media aritmética de las temperaturas medias diarias en el período considerado. De la misma manera se calculan las temperaturas medias de las máximas y de las mínimas.

3.2.1.9 Radiación solar

La radiación solar es la fuente de energía del ciclo hidrológico. No corresponde hacer aquí un estudio detallado de este factor hidrológico, pero tampoco se puede soslayar su enorme importancia. La radiación solar debe ser considerada como el factor más importante del ciclo hidrológico. Produce variaciones de calor que se traducen en una mayor o menor evaporación.

La tendencia actual en hidrología es que la radiación solar vaya sustituyendo a la temperatura como parámetro en el cálculo de la evaporación y de la transpiración.

3.2.1.10 Radiación directa y difusa

La intensidad de la energía radiante en los confines de la atmósfera es de unos 2 cal gr/cm²/min. Durante su recorrido a través de la atmósfera terrestre, la radiación se debilita por dispersión, en las moléculas de aire seco, y por absorción, por el agua, el polvo y los gases. El resto de radiación solar que llega a la Tierra constituye la radiación directa.

Radiación difusa, es la que proviene de la radiación solar previamente dispersa en la atmósfera. Puede, a veces, exceder en intensidad a la radiación directa.

Cuando ambas radiaciones inciden sobre los objetos, una parte se refleja nuevamente al aire donde a su vez vuelve a reflejar. El problema real no es tan sencillo; pero una descripción como la hecha puede ser suficiente con fines de ilustración.

3.2.1.11 Humedad atmosférica

La humedad atmosférica expresa el contenido de vapor de agua de la atmósfera, vapor de agua que proviene de la evaporación que tiene lugar en los espejos de agua, en los suelos húmedos o a través de las plantas. La humedad atmosférica interesa a la hidrología por dos motivos: por ser el origen de las aguas que caen por precipitación y porque determina en cierto modo la velocidad con que tiene lugar la evaporación.

3.2.1.12 Tensión de vapor

En toda mezcla de gases cada gas ejerce una presión parcial independientemente de los otros gases; la atmósfera es una mezcla de gases; la presión parcial que ejerce el vapor de agua se llama tensión de vapor.

3.2.1.13 Tensión de vapor de saturación

Un mismo volumen de aire puede contener cantidades variables de vapor de agua. Cuando un volumen de aire contiene la máxima cantidad de vapor de agua para una temperatura dada, se dice que el aire está saturado. Se llama tensión de vapor de saturación a la tensión de vapor en un volumen de aire saturado.

3.2.1.14 Condensación

Condensación es el proceso mediante el cual el vapor de agua pasa al estado líquido. Por enfriamiento, una masa de aire disminuye su capacidad para contener vapor de agua. Todo exceso de vapor de agua se condensa en pequeñas gotitas (neblinas y nubes).

3.2.1.15 Viento

El viento no es otra cosa que el aire en movimiento. Es un factor importante del ciclo hidrológico porque influye en el transporte del calor y de la humedad y en el proceso de la evaporación. El viento produce olas en los embalses, olas cuya altura es necesario calcular para determinar la altura de las presas.

El viento es muy susceptible a la influencia del relieve y de la vegetación, por lo que se tiende a estandarizar su medida a algunos metros sobre el suelo. Del viento interesa su velocidad (se mide con los anemómetros) y su dirección (se mide con las veletas). (p. 4 a p. 9).

3.2.2 Factores que afectan a la capacidad de infiltración

En relación a la infiltración Breña y Jacobo (2006) señalan que:

El agua precipitada sobre la superficie de la tierra, queda detenida, se evapora, discurre por ella o penetra hacia el interior. Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior.

A medida que el agua infiltra desde la superficie, las capas superiores del suelo se van humedeciendo de arriba hacia abajo, alterando gradualmente su humedad. En cuanto al aporte de agua, el perfil de humedad tiende a la saturación en toda la profundidad, siendo la superficie el primer nivel a saturar. Normalmente la infiltración proveniente de precipitaciones naturales no es capaz de saturar todo el suelo, sólo satura las capas más cercanas a la superficie, conformando un perfil típico donde el valor de humedad decrece con la profundidad.

Cuando cesa el aporte de agua en la superficie, deja de haber infiltración, la humedad en el interior del suelo se redistribuye, generando un perfil de humedad inverso, con valores de humedad menores en las capas cercanas a la superficie y mayores en las capas más profundas. Se destacan los siguientes factores:

a) Lámina de agua dispuesta en la superficie del terreno. La infiltración a través de la superficie del terreno depende del valor de la lámina de agua, así como del tiempo que permanezca en esa misma condición.

b) Conductividad hidráulica de la superficie del terreno. El valor mínimo de la capacidad de infiltración es igual a la conductividad hidráulica saturada. Si existe vegetación o el suelo presenta alguna estructura, entonces la capacidad de infiltración aumenta considerablemente. Si el estrato superior del suelo contiene material arcilloso, la capacidad de infiltración será grande en los primeros instantes, disminuyendo conforme transcurre el tiempo. El arrastre de sedimentos finos a mayor profundidad y la actividad humana cambian también la capacidad de infiltración de un suelo.

c) Contenido de agua en los estratos de suelo someros. Si el contenido de humedad del estrato más somero del suelo está cercano a la saturación, la capacidad de infiltración será baja. En el caso de que los estratos a mayor profundidad muestren

una conductividad hidráulica menor que en los estratos superiores, entonces la saturación se lleva a cabo desde la superficie.

d) Pendiente de la superficie y rugosidad. Si la pendiente de la superficie es considerable, se desarrollará el flujo superficial sobre el terreno impidiendo que la lámina de agua sobre el suelo alcance los valores que se esperan cuando las pendientes son pequeñas. La rugosidad de la superficie influirá en la velocidad que puede alcanzar el escurrimiento superficial sobre el terreno: a mayor rugosidad, el escurrimiento será más lento y la oportunidad de infiltración aumenta; si la superficie está menos accidentada, el escurrimiento será más rápido, disminuyendo la capacidad de infiltración.

e) Características químicas de la superficie del suelo. La vegetación y los microorganismos de los suelos producen diversas sustancias que son repelentes al agua, provocando que por su efecto en ciertas partes de la superficie del terreno la capacidad de infiltración disminuya.

f) Propiedades físicas y químicas del agua. El cambio de temperatura en un suelo provoca un cambio en la conductividad hidráulica. Esto se debe a la dependencia de las propiedades físicas del agua con la temperatura: a mayor temperatura, valores mayores de conductividad. Por su parte, es importante recalcar que si el agua posee altos contenidos de sólidos disueltos, es posible que parte de estos se depositen en los intersticios del medio poroso, disminuyendo con el tiempo la conductividad hidráulica. (p. 161).

3.2.3 Estimación del coeficiente de infiltración

Schosinsky y Losilla (2000) señalan:

El "Manual de Instrucciones de Estudios Hidrológicos" realizado por las Naciones Unidas, con colaboración de los gobiernos de El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y Costa Rica proponen la siguiente ecuación para el análisis del coeficiente de infiltración aparente, que corresponde a la fracción de lluvia que aparentemente se infiltra:

$$C = K_p + K_v + K_{fc} \quad (3.1)$$

Dónde:

C [tanto por uno]= Coeficiente de infiltración.

K_p [tanto por uno]= Fracción que infiltra por efecto de pendiente.

K_v [tanto por uno]= Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal.

K_{fc} [tanto por uno]= Fracción que infiltra por textura del suelo. (p. 44).

3.2.4 Estimación del coeficiente de escorrentía.

Martínez de Azagra & Navarro (1996) nos dicen que:

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo; del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, micro-relieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la intercepción que provoque; del lapso de tiempo que consideremos (minutos, duración del aguacero,

horas, días, meses, un año), etcétera. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre cero y uno. (p. 41)

Bateman (2007) nos dice que:

Se denomina coeficiente de escorrentía C , a la relación promedio entre el volumen de agua que escurre superficialmente V_e , en una cuenca a lo largo de periodo de tiempo, dividido por el volumen total precipitado V_p .

$$C = \frac{V_e}{V_p} \quad (3.2)$$

Esta definición es general y se usa para saber la producción media anual de una cuenca. A nivel de episodio también se pueden definir estas cantidades. Si se limita al área de la cuenca A , el volumen precipitado por unidad de tiempo es exactamente el producto de la intensidad de lluvia i por el área de la cuenca. El volumen escurrido medio en la cuenca por unidad de tiempo es el caudal medio medido en la cuenca.

Así:

$$C = \frac{V_e/t}{V_p/t} = \frac{Q}{iA} \quad (3.3)$$

t : es la duración del evento. (p. 41).

3.2.5 Regionalización de caudales

Erazo (2004) señala:

La estimación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno, es uno de los principales procedimientos en Hidrología, que tiene como fin la determinación del caudal de diseño para una determinada estructura hidráulica o para el trazado de mapas de inundación.

La meteorología más común para la determinación de estos caudales máximos, es la meteorología estadística, la cual ajusta de los datos registrados en una estación hidrométrica a una función de distribución y determina los valores para diferentes períodos de retorno. (p. 5).

3.2.6 Canales:

Según Rodríguez (2008):

Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera; esto quiere decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso. (p. 1)

3.2.7 Canales abiertos.

Con respecto a los canales abiertos, Chow (2008) señala:

Un canal abierto es un conducto abierto en el cual el agua fluye con superficie libre. De Acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial.

Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la Tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de

mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades de hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes con las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante el tratamiento analítico de la hidráulica teórica. Un estudio completo sobre el comportamiento del flujo en canales naturales requiere el conocimiento de otros campos, como hidrología, geomorfología, transporte de sedimentos, etc. Este constituye, de hecho, un tema de estudio por sí mismo, conocido como hidráulica fluvial.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenajes, vertederos, canales de desborde, canales de madera, cunetas a lo largo de carreteras, etc. Así como canales de modelos construidos en el laboratorio con propósitos experimentales. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirán, por tanto, resultados bastante similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseño. (p. 19).

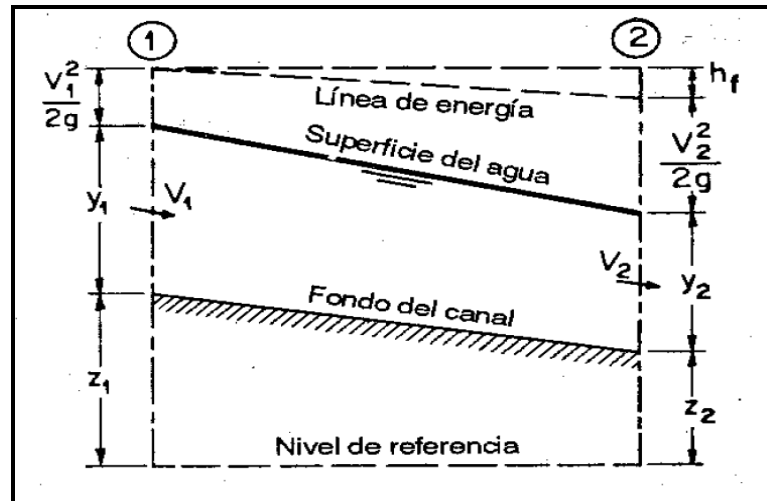


Figura 3.1 Flujo en canales abiertos (Chow, 2004)

3.2.8 Tipos de flujo

De acuerdo a Chow (1994):

El flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al tiempo y al espacio.

Teniendo en cuenta al tiempo como criterio:

3.2.8.1 Flujo permanente y no permanente

Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. El flujo se considera no permanente si la profundidad cambia con el tiempo.

En la mayor parte de los problemas de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes. Sin embargo, si el cambio en la condición del flujo con respecto al tiempo es importante, debe tratarse como no permanente. En crecientes y oleadas, por ejemplo, que son casos comunes de flujo no permanente, el nivel de flujo cambia de manera instantánea a medida que las ondas pasan, y el elemento tiempo se vuelve de vital importancia para el diseño de estructuras de control.

Para cualquier tipo de flujo el caudal Q en una sección del canal se expresa por:

$$Q = V \times A \quad (3.4)$$

Dónde:

V: Velocidad media de flujo

A: Área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de este

Teniendo en cuenta al espacio como criterio:

Flujo uniforme: se dice que el flujo en canales abiertos es uniforme si la profundidad del flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente o no permanente, según cambie o no la profundidad con respecto al tiempo.

Flujo uniformemente permanente y no permanente: es el tipo de flujo fundamental que se considera en la hidráulica de canales abiertos. La profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo bajo consideración. El establecimiento de un flujo uniforme no permanente requeriría que la superficie del agua fluctuara de un tiempo a otro pero permaneciendo paralela al fondo del canal.

Flujo variado: el flujo es variado si la profundidad del flujo cambia a lo largo del canal. Este flujo puede ser permanente o no permanente y además puede clasificarse como rápidamente variado o gradualmente variado. (p. 5 a p. 6)

Flujo rápidamente variado: se dice que un flujo es rápidamente variado cuando la variación se produce en una pequeña longitud. Un ejemplo típico sería la presencia de una grada en un canal. Sobre la grada se produce una fuerte curvatura de las líneas de corriente y rápida variación de la velocidad.

Flujo gradualmente variado: es aquel en el que la variación de las características hidráulicas se produce suavemente, lentamente a lo largo de una gran longitud. De acá su nombre de gradual. (Rocha, 2002, p. 6)

3.2.9 Estado del Flujo

Chow (1994) afirma que:

El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de la viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo. La tensión superficial del agua puede afectar el comportamiento del flujo bajo ciertas circunstancias, pero no juega un papel significativo en la mayor parte de los problemas de canales abiertos que se presentan en ingeniería.

3.2.9.1 Efecto de viscosidad

El flujo puede ser laminar, turbulento o transicional según el efecto de la viscosidad en relación con la inercia. Esta relación se define mediante el número de Reynolds. (p. 7)

a. **Número de Reynolds:** el efecto de la mayor o menor viscosidad del fluido sobre las condiciones del escurrimiento se expresa por el parámetro adimensional denominado número de Reynolds. El número de Reynolds representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas y tiene por expresión:

$$R_e = \frac{VL}{\nu} \quad (3.5)$$

Dónde:

R_e : Número de Reynolds

V: Velocidad media del escurrimiento (m/seg)

L: Longitud característica (m)

ν : Viscosidad cinemática que es igual a la relación que existe entre la viscosidad dinámica o absoluta (μ) y la densidad del fluido (ρ). (m^2/seg)

En una tubería se considera generalmente como longitud característica el diámetro de la misma, y la expresión sería

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (3.6)$$

Siendo D: el diámetro de la tubería (m).

Algunos autores, especialmente europeos, consideran como longitud característica el radio hidráulico

$$R_e = \frac{VR_h}{\nu} \quad (3.7)$$

Siendo R_h : Radio hidráulico que es igual a un cuarto del diámetro (m).

$$R_h = \frac{D}{4} \quad (3.8)$$

Y otros consideran como longitud característica el radio r de la tubería. En los canales se considera el radio hidráulico para la definición del número de Reynolds. (Rocha, 2002, p. 11)

Y se aceptan los siguientes límites:

Según Rodríguez (2008):

Flujo laminar: $Re < 2000$

Flujo turbulento: $Re > 4000$

Flujo de transición: $2000 < Re < 4000$

El régimen de flujo en canales es usualmente turbulento. El número de Reynolds es un parámetro adimensional cuyo valor es idéntico independientemente del sistema de unidades, siempre y cuando las unidades utilizadas sean conscientes.

b. Flujo laminar: expresa: el flujo es laminar si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales, de tal manera que la viscosidad juega un papel importante en determinar el comportamiento del flujo. En el flujo laminar las partículas de agua se mueven en trayectorias suaves definidas o líneas de corriente, y las capas de fluido con espesor infinitesimal parecen deslizarse sobre capas adyacentes.

c. Flujo Turbulento: el flujo es turbulento si las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales. En flujo turbulento, las partículas del agua se mueven en trayectorias irregulares, que no son suaves ni fijas, pero que en conjunto todavía representan el movimiento hacia delante de la corriente entera.

d. Flujo Transicional: entre los estados de flujo laminar y turbulento existe un estado mixto o transicional. (p. 12)

3.2.9.2 Efecto de la gravedad

Chow (1994) señala que:

El efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y las fueras gravitacionales. Esta relación está dada por el número de Froude.

Número de Froude: el número de Froude está definido como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (3.9)$$

Dónde:

F: Número de Froude

V: Velocidad media del flujo (m/seg)

g: Aceleración de la gravedad (m/seg²)

L: Longitud característica (m)

En el flujo de canales abiertos, la longitud característica se hace igual a la profundidad hidráulica D , la cual está definida como el área de la sección transversal del agua perpendicular a la dirección del flujo en el canal dividido por el ancho de la superficie libre, y se expresa como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D_h}} \quad (3.10)$$

Siendo D_h la profundidad hidráulica y se expresa como:

$$D_h = \frac{A}{T} \quad (3.11)$$

Dónde:

A = Área (m^2)

T = Ancho de la lámina libre (m)

Estados del flujo de acuerdo al efecto de la gravedad: se definen como:

a. Crítico: cuando el número de Froude es igual a la unidad, se dice que el flujo está en un estado crítico y significa que $V = \sqrt{gD}$.

b. Sub-crítico: si el número de Froude es menor que la unidad o $V < \sqrt{gD}$, el flujo es sub-crítico. En este estado el papel jugado por las fuerzas gravitacionales es más pronunciado; por lo tanto, el flujo tiene una velocidad baja y a menudo se describe como tranquilo y de corriente lenta.

c. Super-crítico: si el número de Froude es mayor que la unidad o $V > \sqrt{gD}$, el flujo es supercrítico. En este estado las fuerzas inerciales se vuelven dominantes; el flujo tiene una alta velocidad y se describe usualmente como rápido, ultrarrápido y torrencial. (p. 13)

3.2.10 Geometría de canal

Chow (2008) señala:

Un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se conoce como canal prismático. De otra manera, el canal es no prismático, un ejemplo es un vertedero de ancho variable y alineamiento curvo.

El término sección de canal se refiere a la sección transversal de una canal tomada en forma perpendicular a la dirección del flujo. Una sección vertical de canal, sin embargo, es la sección vertical que pasa a través del punto más bajo de la sección de canal.

Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas. El trapecio es la forma más común para canales con banca en tierra sin recubrimiento, debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad.

El rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecio. Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza, para canales construidos con materiales estables. La sección triangular solo se utiliza para pequeñas acequias, cunetas a lo largo de carreteras y trabajos de laboratorio. (p. 20).

3.2.11 Elementos geométricos de una sección de canal

Chow (2008) expresa:

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad de flujo. Estos elementos son muy importantes y se utilizan con amplitud en el cálculo de flujo.

a) La profundidad del flujo (y): es la distancia vertical del punto más bajo de la sección de una canal a la superficie libre. A menudo este término se intercambia con la profundidad de flujo de la sección (d). En efecto, la profundidad de flujo de la sección es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de este, o la altura de la sección del canal que contiene el agua. Para un canal con ángulo de pendiente longitudinal θ , puede verse que la profundidad de flujo es igual a la profundidad de sección de flujo dividida por $\cos \theta$.

b) El nivel: es la elevación o distancia vertical de un nivel de referencia o datum a la superficie libre. Si el punto más bajo de la sección de canal se escoge como el nivel de referencia es nivel es idéntico a la profundidad de flujo.

c) El ancho superficial (T): es el ancho de la sección del canal en la superficie libre.

d) El área mojada (A): es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección del flujo.

e) El perímetro mojado (P): es la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección del flujo.

f) El radio hidráulico (R): es la relación del área mojada con respecto a su perímetro mojado.

$$R = \frac{A}{P} \quad (3.12)$$

g) La profundidad hidráulica (D): es la relación entre el área mojada y el ancho en la superficie.

$$D = \frac{A}{T} \quad (3.13)$$

h) El factor de la sección para cálculos de escurrimiento o flujo crítico (Z): es el producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica.

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}} \quad (3.14)$$

i) El factor de la sección para cálculos de flujo uniforme ($AR^{2/3}$): es el producto del área mojada y el radio hidráulico elevado a la potencia a los dos tercios. (p. 23).

Rodríguez (2008) señala los siguientes elementos geométricos:

j) Coeficiente de rugosidad (n): depende del tipo de material en que se aloje el canal.

k) Pendiente (S): es la pendiente longitudinal de la rasante del canal.

l) Talud (m): es la relación de la proyección horizontal a la vertical de la pared lateral (se llama también talud de las paredes laterales del canal). Es decir “m” es el valor de la proyección horizontal cuando la vertical es 1, aplicando relaciones trigonométricas. Es la cotangente del ángulo de reposo del material (θ), es decir:

$$m = \frac{x}{d} \quad (3.15)$$

El talud depende del tipo de material en que se construya el canal, a fin de evitar derrumbes. Por ejemplo, cuando se dice que un canal tiene talud 1.5:1, quiere decir que la proyección horizontal de la pared lateral es 1.5 veces mayor que la proyección vertical que es 1, por lo tanto el talud $m = 1.5$, esto resulta de dividir la proyección horizontal que vale 1.5 entre la vertical que vale 1.

m) Borde libre (BL): es la distancia que hay desde la superficie libre del agua hasta la corona del bordo, se expresa en m. (p. 5 a p. 6).

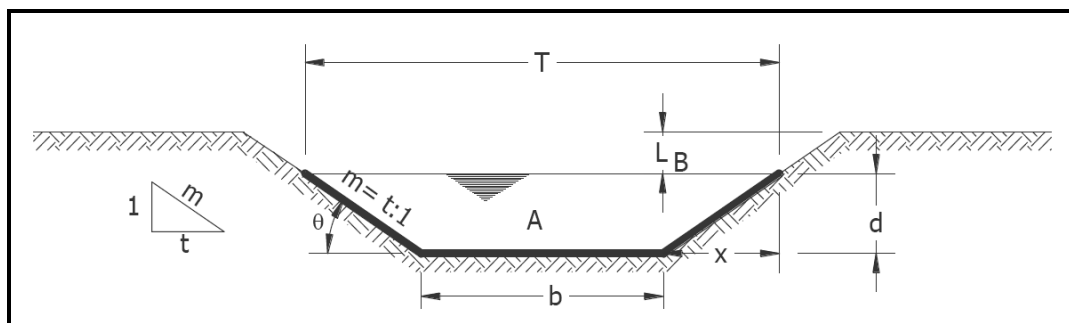


Figura 3.2 Elementos geométricos de un canal (Rodríguez, 2008).

3.2.12 Sistemas de Recolección de Aguas de Lluvia

Arocha (1983) afirma:

Las aguas pluviales, provienen de los techos y patios interiores de las edificaciones, aunadas a las que reciben las calles directamente, constituirán un problema para la comunidad, que a veces toman proporciones económicas de cierta consideración, por lo cual es preciso determinar la magnitud de estos caudales que se van acumulando en calles y avenidas, y cuyo incremento progresivo de la pendiente de la calle llegaría a constituir serios problemas, que el proyectista debe evitar mediante un diseño eficiente.

Para lograr un buen diseño deben tomarse en cuenta todas las variables que pueden intervenir en la determinación de un caudal de aguas de lluvia acumulándose, y que puede crear inconvenientes a la comunidad; sin embargo, no deja de reconocerse que ello resulta difícil de evaluar, y que aun con la mejor información disponible, existirán criterios económicos que privaran para limitar los proyectos a un determinado rango de probabilidad de ocurrencia de daños.

En general podemos considerar cinco factores importantes, para efectos de diseño de un sistema de recolección de aguas de lluvia. (p. 204)

3.2.12.1 Características de la zona

El tipo de superficie y sus pendientes, así como los porcentajes de construcción, son factores que influyen sobre el grado de impermeabilidad que facilita o retarda el escurrimiento de las aguas de lluvias que puedan concentrarse en un punto. Por ello, al considerar la zona a proyectarse debemos medir las áreas correspondientes a cada característica.

La superficie total a considerar en el proyecto estará constituida por el área propia, más el área natural de la hoya que drena a través de ella. Definida y medida el área a drenar, se deben determinar las diferentes características de la superficie que la constituyen. En este sentido las Normas del Instituto Nacional de Obras Sanitarias establecen los coeficientes de escorrentía, que se presentan en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983)

Coeficientes de Escorrentía	
Características de la Superficie	Coeficientes de escorrentía
Pavimentos de concreto	0,70 a 0,95
Pavimentos de asfalto	0,70 a 0,95
Pavimentos de ladrillo	0,70 a 0,85
Tejados y azoteas	0,75 a 0,95
Patios pavimentados	0,85
Caminos de grava	0,3
Jardines y zonas verdes	0,3
Praderas	0,2

Asimismo, establece el rango de variación de los coeficientes, de acuerdo a la zonificación, así.

Tabla 3.2 Zonificación y Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).

Zonificación y coeficientes de escorrentía	
Zona	Coeficientes de escorrentía
Comercial, en el centro de la localidad	0,75 a 0,95
Comercial, en otra ubicación	0,50 a 0,70
Residencias unifamiliares	0,30 a 0,50
Residencial multifamiliar separada	0,40 a 0,60
Residencial multifamiliar agrupada	0,60 a 0,75
Residencias sub-urbanas	0,25 a 0,40
Zona industrial	0,50 a 0,80
Parques y cementerios	0,10 a 0,25
Parques de juego	0,20 a 0,35

Por razones prácticas, resulta útil la determinación de un coeficiente medio, bien sea por sectores o para toda la zona en proyecto, dependiendo de la extensión del mismo. Este coeficiente medio de escorrentía o de impermeabilidad, puede determinarse en función de área y de los coeficientes absolutos de cada una. (p. 204)

3.2.12.2 Tiempo de concentración de las aguas de escorrentía a un determinado punto

Arocha (1983), menciona:

El tiempo de concentración se define como el tiempo máximo que tarda la partícula más alejada del área, drenando hasta el punto de recolección.

Para el diseño de los colectores de aguas de lluvia en zonas urbanas, este tiempo de concentración representa la suma de dos tiempos:

a) El tiempo que tarda la partícula más alejada en escurrir sobre la superficie.

b) El tiempo de traslado que existe en una cierta longitud de colector, comprendida entre dos sumideros consecutivos.

El primero, tiempo de escurrimiento en la superficie, a través de cunetas, canales o sobre las zonas de escurrimiento natural, puede ser estimado o calculado para las distintas características de la superficie. En el caso de cuencas rurales, tal determinación se hace basada en medidas hechas directamente sobre el terreno, determinando la mayor distancia o recorrido de la partícula más alejada o bien por mediciones hechas en planos topográficos. Se establece una ecuación que permite estimar el tiempo de concentración conocida:

a) La longitud del cauce más largo L en metros

b) La diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida de la misma H en metros. (p. 207 a 208)

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L^5}{H} \right)^{0,385} \quad (3.16)$$

Estimación del caudal: la determinación del gasto de diseño para un sistema de recolección de aguas de lluvia en zonas pobladas atiende generalmente al método racional.

El método racional asume que el caudal máximo que se acumula en un determinado punto, como consecuencia de la esorrentía de aguas pluviales está expresado por la ecuación:

$$Q = C * i * A \quad (3.17)$$

Dónde:

Q= Caudal en lt/s.

C= Coeficiente de esorrentía.

i= Intensidad de lluvia (lt/s/ha).

A= Área en ha.

El método considera la intensidad de lluvias, para una duración igual al tiempo de concentración, ya que se estima que habrá un incremento de caudal a medida que se incrementa el área, puesto que la disminución en intensidad con el tiempo es compensado con el mayor incremento de área. Cuando toda el área ha contribuido,

ésta permanece constante pero habrá disminución de intensidad a mayor tiempo, y por tanto el gasto disminuiría. (p. 209 a 210)

3.2.12.3 Intensidad-duración y frecuencia de las lluvias.

Las características de las lluvias a considerar en el diseño dependen del grado de protección que se 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.

a. Frecuencia: el concepto de frecuencia está asociado al de probabilidad y se le llama también intervalo de recurrencia, y es el número de veces que un evento es igualado o excedido en un intervalo de tiempo determinado o en número de años.

La frecuencia se denota por tanto como

$$f = \frac{\text{n}^\circ \text{ de años}}{\text{n}^\circ \text{ de veces}} \quad (3.18)$$

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

1. Para zonas residenciales, de 2 a 5 años.
2. Para zonas comerciales y de elevado valor, de 5 a 15 años, dependiendo de su justificación económica.
3. Para obras de canalizaciones de cursos naturales, ríos o quebradas, 50 años o más.

b. **Intensidad:** 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/s/ha o l/s/ha. En el diseño de alcantarillados, generalmente se utiliza la unidad l/s/ha, sin embargo, muchas estaciones pluviográficas reportan sus datos en mm/h, por lo cual conviene tener presente el factor de conversión:

$$1 \text{ mm/h} = 2,78 \text{ lt/sg/ha} \quad (3.19)$$

La intensidad de la lluvia depende de la duración de ésta, existiendo generalmente una relación inversa entre ellas.

c. **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 3.14.1 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” (p. 207)

3.2.12.4 Curvas de intensidad duración y frecuencia (IDF)

Chow (1994), señala que:

Se pueden definir como patrones de conductas pluviométricas que registra sobre un área o región específica y que resultan de unir los puntos más representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno, representando las duraciones en abscisas y las intensidades en las ordenadas. (p. 27).

Según el MOP (1967) en Arocha (2009):

Las curvas de intensidad –duración– frecuencia que serán utilizadas en la zona de estudio, se encuentran entre la región hidrológica II y la región hidrológica III, la cual se muestra a continuación:

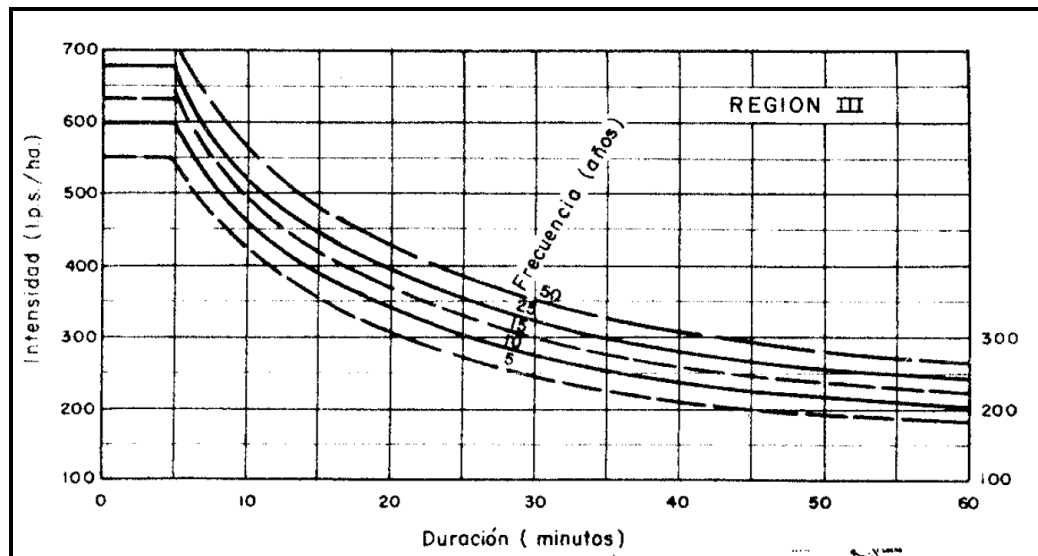


Figura 3.3 Curva IDF de la región hidrológica III (MOP, 1967 en Arocha, 2009)

Para la construcción de las curvas IDF se debe proceder de la siguiente manera:

La construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), según diversos autores, plantean distintas formas o métodos para su construcción. Para Aparicio (1997) existen dos métodos; el primero, llamado de intensidad - período de

retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología.

El otro método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas, cuya ecuación (2) es:

$$I = \frac{k * T^m}{(d + c)^n} \quad (3,20)$$

Donde k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple, y en tanto que I y d corresponden a la intensidad de precipitación y la duración, respectivamente. Por otra parte, Chow *et al* (1994), plantean 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 *et al* (1994), dedujo para algunas ciudades de los Estados Unidos, algunos coeficientes para utilizarlos en una ecuación (3) de la forma:

$$I = \frac{c}{(Td^e + f)} \quad (3.21)$$

Donde I es la intensidad de lluvia de diseño, y Td la duración, en tanto c, e y f son coeficientes 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 (4) para estimar la intensidades máximas, para distintos períodos de retorno y duraciones:

$$P_{t,T} = K * P_{10,D} * C_{d,t} * C_{f,T} \quad (3.22)$$

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 (5) de precipitación queda dada por:

$$I_{t,T} \text{ (mm / hr) } = \frac{P_{t,T}}{d} \quad (3.23)$$

donde:

d = Duración en hr.

Siguiendo esta metodología, se pueden diseñar las curvas IDF en aquellas ciudades o zonas en que sólo exista información pluviométrica, para lo cual se deberán seleccionar los coeficientes de duración y frecuencia de la estación pluviográfica más cercana.

Otra forma o método para determinar las curvas IDF, es el que se presenta en este documento, y corresponde al que ha planteado Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con el propósito

de graficar la relación entre las tres variables (Intensidad- Duración –Frecuencia), y cuyo esquema de la curva IDF es el siguiente:

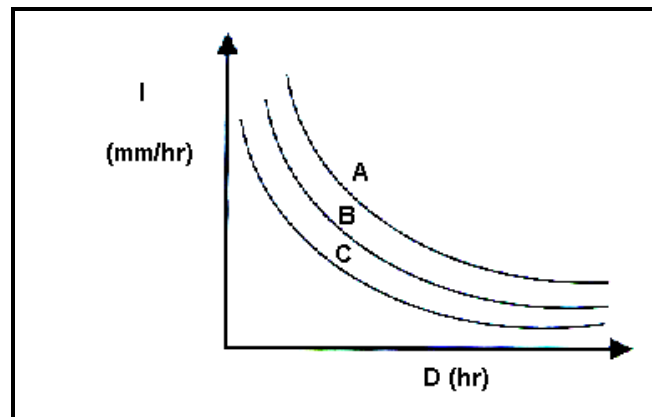


Figura 3.4 Esquema de curvas IDF

Con:

D = Duración en horas.

I = Intensidad de precipitación en mm/hr.

A, B y C representan distintos períodos de retorno en años.

$$I = \frac{P}{D} \quad (3.24)$$

Donde P es la profundidad de lluvia en mm o pulg, y D es la duración, dada usualmente en horas.

- **Selección de las estaciones pluviográficas**

En las Regiones Hidrológicas II y III de Venezuela existen 4 estaciones pluviográficas ubicadas a menos de 80 km de la zona en estudio. Estas estaciones

son: San Diego de Cabrutica, Zuata, Uverito y Musinacio. En dicha selección se tomó como criterio el tipo, cantidad y periodicidad de los datos, tomándose como referencia de análisis el período comprendido entre 1971 - 2007.

- **Recolección de la información requerida**

Los datos pluviométricos e información necesaria para el desarrollo de esta investigación, fueron aportados por el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMEH). Los antecedentes facilitados por dicha institución, fueron a través de los datos registrados de las precipitaciones diarias y horarias que se encuentran disponibles en la página web: www.inameh.gob.ve.

- **Selección de intensidades máximas**

En esta etapa se analizaron los registros pluviométricos de la estación San Diego de Cabrutica, para lo cual se realizaron diversos muestreos. Se partió 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, fue 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, 3, 6, 9, 12 y 24 horas, analizándose alrededor de 1800 chubascos diferentes (con un promedio de 50 chubascos por año) observados entre los años 1971 y 2007. Posteriormente, se tomaron los valores de cada una de las series y se dividieron por su duración D en (horas), obteniéndose así las intensidades en mm/ hr.

- **Ajuste de los datos con una Función de Distribución de Probabilidad**

Una vez calculadas las intensidades máximas horarias de precipitación para cada año, fue necesario asignar a cada duración de lluvia seleccionada un período de retorno, para luego ajustar dichos valores a la Función de Distribución de Probabilidad de valor extremo tipo I como la función Gumbel. Esta función de distribución de probabilidad se define en la ecuación (1) como:

$$F(X) = IP[E \leq X] = e^{-e^{-\sigma(X-\mu)}}; \quad (3.25)$$

Donde; X es el valor a asumir por la variable aleatoria y σ , μ son parámetros a estimar en función de los valores de la muestra.

Como medida de bondad de ajuste se utilizó el Coeficiente de Determinación (R^2).

- **Determinación de las curvas IDF para distintos períodos de retorno**

Una vez hecho el ajuste con la función de distribución de probabilidad de Gumbel, se procedió a graficar la intensidad de precipitación y la duración, de modo de obtener los puntos de la curva asociada a un período de retorno de 5 años. Luego, se repitió la misma operación con el período de retorno $T= 5, 10, 25, 50$ y 100 años, y para cada una de las estaciones pluviográficas.

- **Análisis estadístico**

Una vez diseñadas las curvas IDF para la estación elegida, se procedió a analizar el comportamiento de las variables involucradas en este estudio, relacionando simultáneamente las tres variables en una familia de curvas, de modo de representar la relación de la intensidad, duración y la frecuencia no sólo en forma

gráfica, sino que también en forma analítica, para lo cual se utilizó la ecuación (2) propuesta por Aparicio (1997), la cual ha sufrido una pequeña modificación, quedando expresada de la siguiente forma:

$$I = \frac{kT^m}{D^n} \quad (3.26)$$

Donde k , m y n son constantes que se calculan mediante un análisis de regresión lineal múltiple, donde T es el período de retorno en años, D la duración en minutos u horas, e I la intensidad de precipitación en mm/hr.

Luego, aplicando los logaritmos a la ecuación (2) propuesta se pretende llegar a la forma de un modelo de regresión lineal múltiple y cuyo modelo se expresa en la ecuación (3):

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D \quad (3.27)$$

Para establecer la calidad de la regresión, se analizaron los supuestos de regresión para la función modelada y este análisis debió probar los supuestos de Normalidad, Homocedasticidad y no-Autocorrelación. Además, se utilizó como medida de bondad de ajuste al Coeficiente de Determinación R^2 y la prueba U de Mann Whitney.

- **Determinación de las pruebas de bondad de ajuste.**

Una vez ajustada la función de Gumbel, se determinan las pruebas de bondad de ajuste, utilizándose como medidas de bondad al test de Kolmogorov-Smirnov y el Coeficiente de Determinación R^2 .

- **Análisis Estadístico de las curvas IDF**

Otra forma de desarrollar las curvas IDF es a través de una forma analítica propuesta por Aparicio (1997). Dicho autor plantea la alternativa de obtener una ecuación que genere las curvas IDF a través de un modelo de regresión lineal, de modo de extrapolar la ecuación generada, a zonas que carezcan de registros pluviográficos y que se encuentren relativamente cerca. Por lo que, se procede a analizar el comportamiento de las variables involucradas en este estudio, relacionando simultáneamente las tres variables en una familia de curvas, para lo cual se utiliza la ecuación (8) propuesta por Aparicio (1997), la cual ha sufrido una pequeña modificación, a saber:

$$I = \frac{kT^m}{D^n} \quad (3.28)$$

Donde **k**, **m** y **n** son constantes de regresión lineal múltiple, donde **T** es el período de retorno en años, **D** la duración en minutos u horas, e **I** la intensidad de precipitación en mm/hr.

Luego, aplicando los logaritmos a la ecuación (8) propuesta se pretende llegar a la forma de un modelo de regresión lineal múltiple y cuyo modelo se expresa en la ecuación (9):

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D \quad (3.29)$$

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad (3.30)$$

Donde:

$$\begin{array}{ll}
 y = \log I & a_0 = \log k \\
 X_1 = \log T & a_1 = m \\
 X_2 = \log D & a_2 = -n
 \end{array}$$

Una vez calculados los coeficientes a_0 , a_1 y a_2 es posible obtener los valores de los parámetros k , m y n de la ecuación (10). Finalmente el modelo ajustado para la estación podría quedar hipotéticamente así por ejemplo:

$$I = (35,205 * T^{0,195247}) / D^{0,381204} \quad \mathbf{R^2 = 96,79 \%}$$

La calidad de la regresión, se verifica al analizar los supuestos de regresión para la función modelada, es decir, se debe cumplir los supuestos de Normalidad, Homocedasticidad y no-Autocorrelación (Gujarati, 1992).

3.3 Definición de términos básicos

a. **Anemómetro:** instrumento que sirve para medir la velocidad o la fuerza del viento (Real Academia Española. 2012)

b. **Atmósfera:** es la capa gaseosa que rodea al planeta tierra formada por aire (Garreaud, R. 2005).

c. **Caudal:** cantidad de agua que pasa por un punto específico en un sistema hidráulico en un momento o período dado (Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú, 2011).

d. **Convección:** es cuando la energía calorífica se transmite por el movimiento físico de moléculas “calientes” de las zonas de altas temperatura a las zonas de baja temperatura y viceversa, equilibrándose las temperaturas (Domingo, A. 2011).

e. **Cauce:** lecho de los ríos y arroyos (Real Academia Española. 2012)

f. **Cuenca:** territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar (Real Academia Española. 2012)

g. **Cuenca Hidrográfica:** superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia el mar por una única desembocadura (Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú, 2011).

h. **Ciclo Hidrológico:** circulación general del agua desde los océanos a la atmosfera, de esta al suelo y de aquí al océano (Jiménez, H. 1986).

i. **Coficiente:** expresión numérica de una propiedad o característica de un cuerpo, que generalmente se presenta como una relación entre dos magnitudes (Real Academia Española. 2012).

j. **Coficiente de Escorrentía:** relación entre el agua de lluvia que cae en una zona determinada y el agua que corre; diferencia entre el agua caída y el agua filtrada (Real Academia Española. 2012).

k. **Drenaje:** dispositivo específicamente diseñado para la recepción, canalización y evacuación de las aguas que pueden afectar directamente a las características funcionales de cualquier elemento integrante de la carretera (Bañón, L. 2000).

l. **Embalse:** gran depósito que se forma artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, etc. (Real Academia Española. 2012).

m. **Hidrología:** ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo los seres vivos (Comisión Estatal de Agua de Querétaro. 2013).

n. **Inercia:** propiedad de los cuerpos de no modificar su estado de reposo o movimiento si no es por la acción de una fuerza (Real Academia Española. 2012)

o. **Impermeabilidad:** característica de un cuerpo que no puede ser atravesado por un fluido (Sánchez, J .2014).

p. **Lluvia:** precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de diámetro superior a 0.5 mm, o de gotas más pequeñas y muy dispersas. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú, 2011).

q. **Orografía:** parte de la geografía física que trata de la descripción de las montañas ((Real Academia Española. 2012)

r. **Perfil Longitudinal:** es el desarrollo sobre un plano de la sección obtenida empleando como plano de corte una superficie reglada cuya directriz es el eje longitudinal de la carretera, empleando una recta vertical como generatriz. En esta vista se sintetiza gran parte de la información necesaria para la construcción de la carretera, expresada tanto de forma gráfica como numérica (Bañón, L. 2000).

s. **Perfil Transversal:** se obtiene seccionando la vía mediante un plano perpendicular a la proyección horizontal del eje. En él se definen geoméricamente los diferentes elementos que conforman la sección transversal de la vía: taludes de desmonte y terraplén, cunetas, arcenes, pendientes o peraltes (Bañón, L. 2000).

t. **Subcuenca:** la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia un determinado punto de un curso de agua (generalmente un lago, embalse o una confluencia de ríos) (Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú, 2011).

u. **Termógrafo:** aparato que registra gráficamente la temperatura (Real Academia Española. 2012).

v. **Turbulento:** se dice del movimiento de un fluido en el que la presión y la velocidad en cada punto fluctúan muy irregularmente, con la consiguiente formación de remolinos (Real Academia Española. 2012).

w. **Variable:** es una propiedad o elemento que puede tomar valores (Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú, 2011).

x. **Vertedero:** es una estructura de control de aprovechamientos hidráulicos o bien como estructura para medición de caudales en obras de saneamiento, su aplicación es muy difundida y una de las razones es porque permiten tener un adecuado control del caudal por encima de su cresta siendo necesario únicamente medir una variable que es el tirante sobre dicha cresta (Nociones sobre orificios y vertederos, Tipos de escurrimiento uniforme en canales, remansos y resaltos, y su relación con la sedimentación y la corrosión en cloacas, (Pérez, L. 2005).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo de la investigación consistió en generar información útil para lograr obtener la ejecución secuencial de manera precisa, de los objetivos propuestos en el desarrollo de este trabajo.

4.1 Tipo de investigación

Según Arias, F. (2006), esta investigación se considera de tipo descriptiva “se encarga de buscar la caracterización de los hechos mediante las relaciones de causa – efecto”.

De acuerdo al concepto de Arias, F. (2006), es aplicable a este trabajo, ya que requiere profundizar sobre las características de la pluviosidad de la zona como condición hidrológica importante de las cuencas del área de estudio. Asimismo, se requiere determinar estadísticamente un instrumento de predicción de la duración y frecuencia con que se producen las lluvias de una intensidad determinada.

4.2 Diseño de la investigación

Según el autor Palella y Martins (2010), define: La Investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta. (p.88)

Según el autor (Arias (2012)), define: la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (p.27)

Esta investigación es de campo ya que las observaciones hidrológicas se efectuaron directamente en la zona de estudio y documental porque la información tal como los datos climatológicos que fueron obtenidos directamente del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y la ubicación geográfica por medio de documentos provenientes de los entes competentes.

1.3 Población de la investigación

Según Arias, F. (2006), plantea que la población “es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos del estudio”.

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).

En el presente caso se considerará como población de la investigación toda la superficie de la zona que se desea describir hidrológicamente, así como también todas las precipitaciones registradas por el INAMEH en las estaciones climatológicas cercanas al área de estudio.

4.4 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 de la investigación será considerada de igual tamaño que la población por considerarse esta de dimensiones finitas y mensurables.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.5.1 Técnicas de recolección de datos

La aplicación de técnicas para la recolección de información, conducen a la verificación del problema planteado, mientras que los instrumentos empleados llevan a la obtención de los datos a la realidad.

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

4.5.1.1 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".

4.5.1.2 Revisión 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.

4.5.2 Instrumentos para la recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos incluyen la utilización de computadora, calculadora, 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.

4.6 Flujograma de la investigación

A continuación se presenta el flujograma de actividades que corresponde a esta investigación:

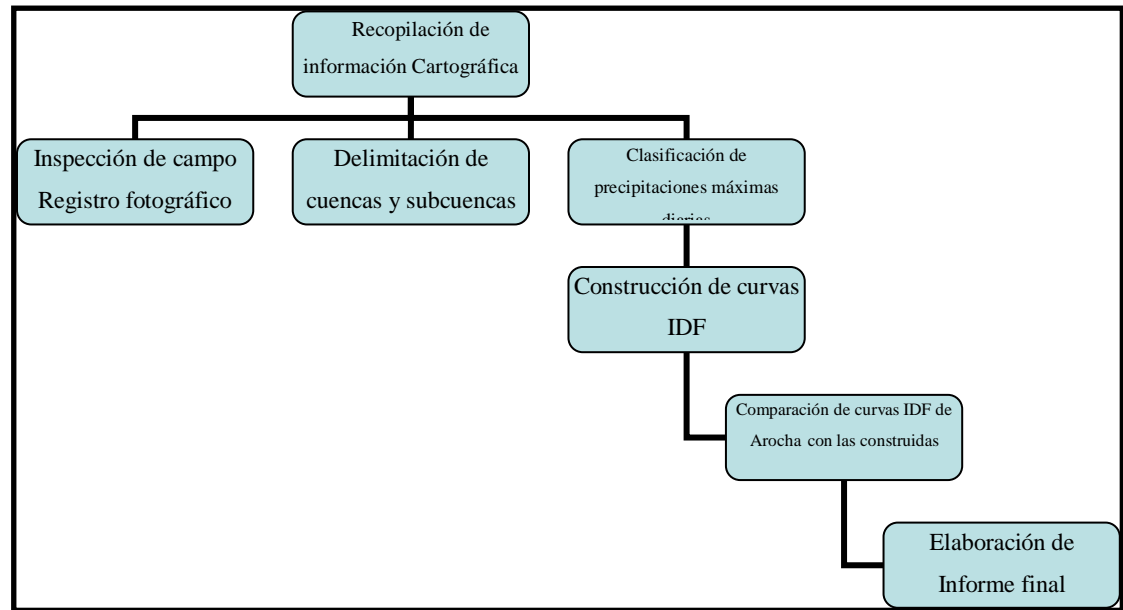


Figura 0.1 Flujograma de actividades.

4.7 Procedimiento para el logro de los objetivos

4.7.1 Recopilación de la información bibliográfica

Para el desarrollo de este proyecto se llevó a cabo la recopilación de información necesaria que consistió en una revisión bibliográfica de trabajos realizados en el área de estudio, como tesis de grado, información de avances, registros de pluviosidad de la zona, geología general, ambientes sedimentarios, geología estructural, hidrológica, geohidrología información de acuíferos o aguas subterráneas.

Es importante ya que brinda los conocimientos referentes a la distribución del recurso hídrico, como se dispone en el subsuelo y en superficie y sus características.

4.7.2 Identificar las cuencas hidrológicas del área de estudio.

Con base a las cartas emitidas por la Dirección de Cartografía Nacional a escala 1:25000 correspondientes al área de estudio donde se incluye la población de Soledad se delimitan las cuencas y subcuencas de la zona de estudio que estarían afectadas por las precipitaciones del área.

4.7.3 Caracterizar climatológicamente el área de estudios

Se recopilaron los registros correspondientes a los parámetros climatológicos (evaporación, humedad relativa, radiación solar, insolación, velocidad del viento, entre otras) de las estaciones más cercanas al área de estudio (Musinacio, Uverito, Zuata y San Diego de Cabrutica).

4.7.3 Analizar estadísticamente las precipitaciones máximas diarias registradas durante el período 1971 – 2007 en las estaciones pluviográficas ubicadas en el área de influencia de la zona de estudio.

Se recopilaron los registros de precipitación para el período arriba indicado correspondientes a las estaciones climatológicas cercanas al área de estudio. Se clasificaron las precipitaciones máximas diarias.

4.7.4 Construir las curvas intensidad – duración – frecuencia para la zona de estudio utilizando los métodos de Gumbel y de Log Pearson III.

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

4.7.5 Comparación de las curvas IDF generadas con las reportadas por Arocha, S (2009)

Se extrajeron las curvas IDF correspondientes a la región III, publicadas en la obra “CLOACAS Y DRENAJE” de Simón Arocha (2009) y luego se comparan con las curvas IDF construidas en esta investigación con la finalidad de determinar las desviaciones entre ambos grupo de curvas.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Identificación de las cuencas y subcuencas hidrográficas ubicadas en el área de estudio

Desde el punto de vista hidrográfico, los sectores norte y este del área de estudio drenan hacia el río La Peña, afluente directo del Río Orinoco por su margen izquierda y el resto del área lo hace hacia las lagunas rebalseras y el propio Río Orinoco a través de las quebradas La Lajita, San Dieguito y El Jardín, entre otras.

El sistema de drenaje superficial o cuenca receptora se obtuvo determinando la línea donde el gradiente de energía es nulo; allí una gota de agua sigue la dirección que le impone la pendiente topográfica local. El límite de la cuenca o subcuenca receptora es una curva cerrada sobre la superficie del terreno, que corta al cauce principal en un punto seleccionado, tal que el escurrimiento superficial producto de una precipitación dentro del área demarcada, sale en flujo concentrado en ese punto de intersección.

Para la delimitación de las subcuencas se interpretó los mapas a escala 1:25.000 de Cartografía Nacional: Hojas 7440-I-SE y 7440-II-NE. El Mapa de Unidades Hidrográficas se muestra en el anexo 6.

Se le asignó un código para identificar las subcuencas que integran el área de la poligonal de estudio, en tal sentido se tiene:

AP1: Quebrada Lindero, 1er afluente del río La Peña dentro del área de estudio

AP2: Sin nombre conocido, 2do afluente del río La Peña dentro del área de estudio

AP3: Sin nombre conocido, 3er afluente del río La Peña dentro del área de estudio

AP4: Sin nombre conocido, 4to afluente del río La Peña dentro del área de estudio

AP5: Sin nombre conocido, 5to afluente del río La Peña dentro del área de estudio

RP: Intercuenca del río La Peña

AO1: Quebrada La Lajita, afluente a la Laguna La Llovera en la planicie de inundación del Río Orinoco

AO2: Quebrada San Dieguito, afluente a la Laguna La Revuelta en la planicie de inundación del Río Orinoco

AO3: Quebrada El Jardín, afluente a la Laguna La Orsinera en la planicie de inundación del Río Orinoco

SN1, SN2, SN3: Quebradas sin nombre conocido, que drenan hacia la planicie de inundación del Río Orinoco

RO: Area de estudio que drena directamente hacia el Río Orinoco.

En esta etapa se chequearon las características físico-naturales de las subcuencas localizadas dentro del área de estudio, 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.

Toda la información recabada sirvió como insumo para la descripción de las características hidrográficas de cada una de las subcuencas verificadas en esta etapa, la cual se encuentra detallada en las planillas de campo

Río La Peña, afluente directo del Río Orinoco

El río La Peña es un afluente del Río Orinoco, de escaso caudal y de régimen permanente, remanente de los depósitos de agua subterránea existentes en las mesas orientales. Está asociado a un denso bosque de galería y actualmente es receptor de gran parte de la actividad recreacional de la población de Soledad al servir como balneario.

Sus afluentes tales como la quebrada Lindero y otros cursos menores, aportan el 28,6 % del escurrimiento superficial de la poligonal de estudio, específicamente de su parte oriental.

.Subcuenca de la quebrada Lindero (AP1), afluente del río La Peña

Se localiza en el sector norte del área, forma parte de la cuenca del río La Peña, afluente directo del río Orinoco.

Desde su nacimiento hasta su desembocadura, la quebrada Lindero tiene una longitud de 3,65 Km siempre en dirección oeste-este, coincidiendo con el límite norte de la poligonal de estudio. Este curso de agua es de régimen permanente; sus aguas son de color rojizo y presenta un bosque de Galería (Morichal) en los alrededores del cauce. En sus orillas se observan algunos tanques que antiguamente se utilizaron para almacenamiento de agua.

Hacia esta subcuenca drena el 14,3% del área de estudio, tiene un patrón de drenaje poco denso, desarrollado sobre sedimentos de la Formación Mesa. El Factor forma de esta subcuenca es 0,31 y el Coeficiente de compacidad es 1,18. La pendiente media del cauce principal resultó ser de 0,009 m/Km.

Subcuencas sin nombre conocido (AP2, AP3, AP4 y AP5), afluentes directos del río La Peña

Se trata de cuatro (4) pequeñas subcuencas, de formas alargadas, localizadas en el sector oriental del área de estudio, las cuales escurren directamente hacia el río La Peña por su margen izquierda y drenan aproximadamente un 8,7% de la poligonal de interés. Su escurrimiento es de tipo intermitente y su densidad de drenaje es escasa.

.Intercuenca del río La Peña

Abarca 102,8 ha, lo que corresponde a un 5,6% del área total de la Poligonal. Se refiere a la superficie sin drenaje definido, entre la subcuenca de la quebrada Lindero y la subcuenca sin nombre conocido AO1, que drena directamente hacia el río La Peña.

Quebrada La Lajita (AO1), afluente de la laguna La Llovera

Hacia esta subcuenca situada en el extremo suroriental e la poligonal, drena un 2,66% del área de estudio.

Su curso principal es un drenaje de régimen intermitente de 2,43 Km de longitud, que nace a 62 msnm, cuyo escurrimiento en época de lluvia va hacia la Laguna La Llovera, localizada en la planicie de inundación del Río Orinoco.

Las características morfométricas de esta subcuenca revelan un Factor forma de 0,31 y un Coeficiente de compacidad de es 1,22. La pendiente media del cauce principal resultó ser de 0,017m/Km.

Subcuenca de la quebrada San Dieguito (AO2), afluente de la laguna La Revuelta

La subcuenca de la quebrada San Dieguito se localiza al sureste de Soledad y hacia ella drena el 5,56% del área de la poligonal de estudio. Este curso de agua de 2,95 Km de longitud es de régimen intermitente y sirve como canal de desagüe, ya que atraviesa varios sectores de la población de Soledad. Nace a 66 msnm y desemboca en la Laguna La Revuelta en la planicie de inundación del Río Orinoco.

Las características morfométricas de esta subcuenca revelan un Factor forma de 0,54, un Coeficiente de compacidad de 1,08 y una pendiente media del cauce principal de 0,014 m/Km.

Subcuenca de la Quebrada El Jardín (AO3), afluente de la laguna La Orsinera

Está ubicada al oeste de Soledad y hacia la cual escurre el 14,51% de la poligonal de estudio. La quebrada El jardín nace a 65 msnm y desde allí hasta su desembocadura en la laguna La Orsinera recorre 2,63 Km. Es de régimen intermitente y tiene una orientación predominantemente norte-sur. El Factor forma de esta subcuenca es de 0,43, el Coeficiente de compacidad es 1,20 y la pendiente media del cauce principal resultó ser 0,018 m/Km.

Subcuencas sin nombres conocidos (SN1, SN2 y SN3), que drenan al oeste de Soledad, hacia la planicie rebalsera del Río Orinoco

Se trata de tres (3) subcuencas que recibe el escurrimiento de la parte noroccidental del área de estudio y hacia las cuales drena un 4,23% del área total.

Son drenajes intermitentes que corren en dirección predominantemente noreste-suroeste. Nacen en los alrededores de la carretera Troncal 10 y de allí continúan hacia disgregarse en drenajes menores que se explayan en la Planicie rebalsera del Río Orinoco, al oeste de Soledad.

5.2 Determinación de las características climáticas generales de la zona de estudio.

El área de estudio está conformada por una superficie actual de 1.675,89 ha, 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.

Para establecer las características del clima se efectuó un análisis cuantitativo, con base en los datos de los promedios mensuales y anuales de los parámetros registrados en la estación meteorológica Ciudad Bolívar, cuyos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

En la tabla 5.1, se muestran las características de la estación mencionada.

Tabla 5.1 Características de la estación climatológica utilizada (INAMEH, 2021).

Estación	Tipo	Serial	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Organismo
Ciudad Bolívar	CI	3886	08°01'35"	63°37'53"	58	INAMEH

5.2.1 Temperatura

Por encontrarse en la zona tropical, se cumple la condición de isoterminia, es decir, la diferencia de los valores de temperatura entre el mes más cálido y el más frío no supera los 5 °C.

En la tabla 5.2, se indican los valores medios de temperatura para la estación Ciudad Bolívar. Con base en dichos valores se elaboró la Figura 5.1 que muestra el comportamiento anual en la estación mencionada.

Tabla 5.2 Temperatura Máxima, Media y Mínima (°C) Período 1971-2011(INAMEH, 2021).

Estación	Estadístico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	Máxima Media	32,1	33,0	34,1	34,8	34,2	32,6	32,4	32,9	33,6	33,6	33,2	32,2	27,8
	Media	26,7	27,1	28,0	28,9	28,4	27,2	26,9	27,3	27,9	28,0	27,6	26,8	26,7
	Mínima Media	22,6	22,7	23,2	24,0	24,3	23,8	23,5	23,8	24,0	24,1	23,9	23,2	23,6

La distribución anual de la temperatura, al igual que la evaporación es de tipo bimodal. Se observa que las mayores temperaturas ocurren en la primavera astronómica, marzo – abril, con un máximo secundario en septiembre – octubre (otoño astronómico).

Las temperaturas más bajas se registran en el lapso diciembre – febrero (invierno astronómico) y en el mes de junio, coincidiendo con la época de máxima pluviosidad. Por otra parte, la amplitud térmica anual promedio es de 2,2°C, lo que ratifica la condición de isoterminia del clima del área.

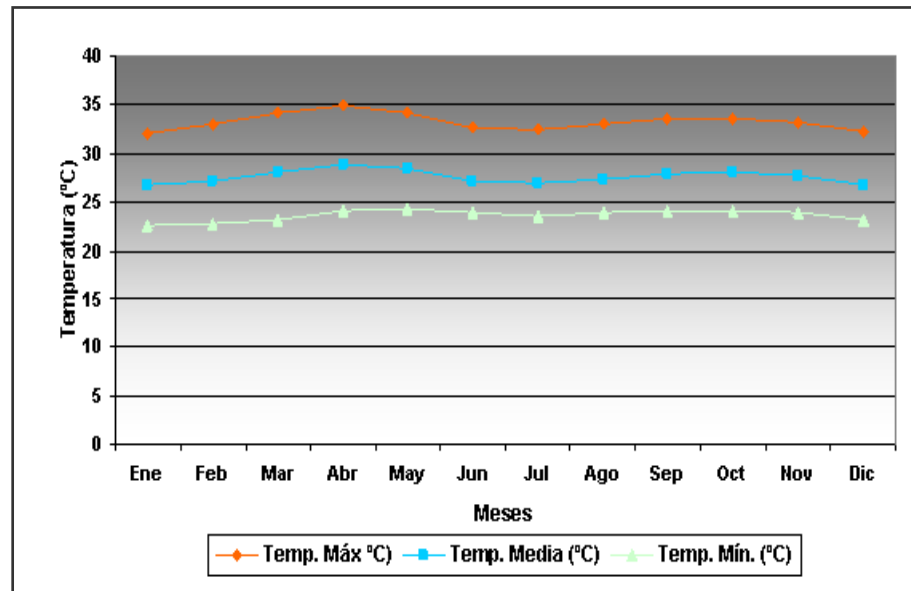


Figura 5.1 Variación Anual de la Temperatura Máxima, Media y Mínima (°C) en la Estación Ciudad Bolívar (INAMEH, 2021).

5.2.2 Insolación

La variación temporal de la insolación depende del movimiento anual aparente del sol, de la nubosidad, las precipitaciones y el estado de transparencia de la atmósfera. La estación Ciudad Bolívar registra datos de este parámetro. Con base en ello se estima que el área del proyecto recibe una insolación media anual alrededor de 7.9 horas de sol.

Los valores más altos ocurren en los meses de enero a marzo y un segundo pico menos importante ocurre en el mes de noviembre. Los menores valores de brillo solar ocurren durante los meses julio y diciembre, lo que demuestra la alta nubosidad presente en la zona en dichos meses, por la temporada de lluviosa (Tabla 5.3 y Figura 5.2).

Tabla 5.3. Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1971-2007. (INAMEH 2021).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	7,8	8,4	8,5	7,8	7,4	6,7	7,6	8,0	8,4	8,4	8,3	7,9	7,9

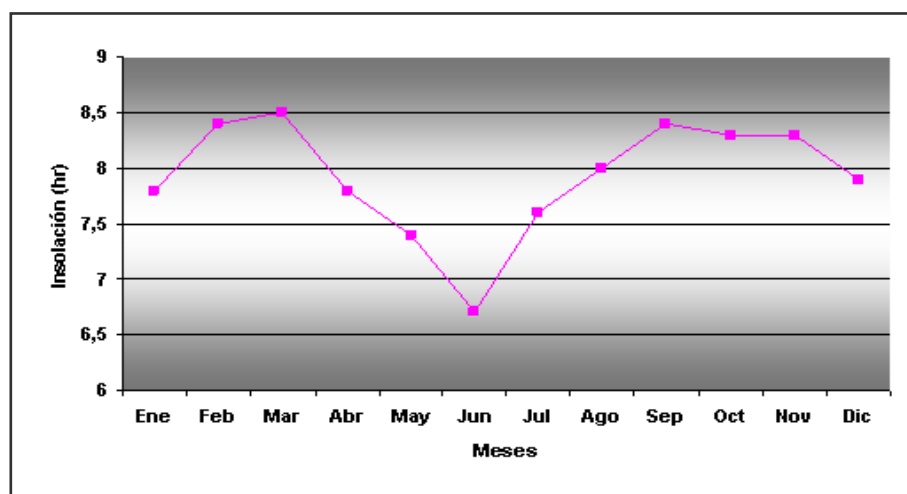


Figura 5.2. Variación Anual de la Insolación (horas de sol). Estación Ciudad Bolívar. (INAMEH, 2021)

5.2.3 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual está por el orden del 75 %, según los datos de la estación Ciudad Bolívar. En la tabla 5.4, se presentan los valores medios mensuales y anuales de humedad relativa para dicha estación y en figura 5.3 se muestra su distribución en el año.

De acuerdo a ello, se observa que la humedad relativa media mensual alcanza su mayor valor (80%), en los meses de máxima precipitación (junio y julio), y el mínimo durante la época del equinoccio de primavera (marzo y abril), esto es de un 69%.

Tabla 5.4. Humedad Relativa Media Mensual y Anual (%). Período 1971-2007.
(INAMEH, 2021).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	75	71	69	69	73	80	80	79	76	75	76	77	75

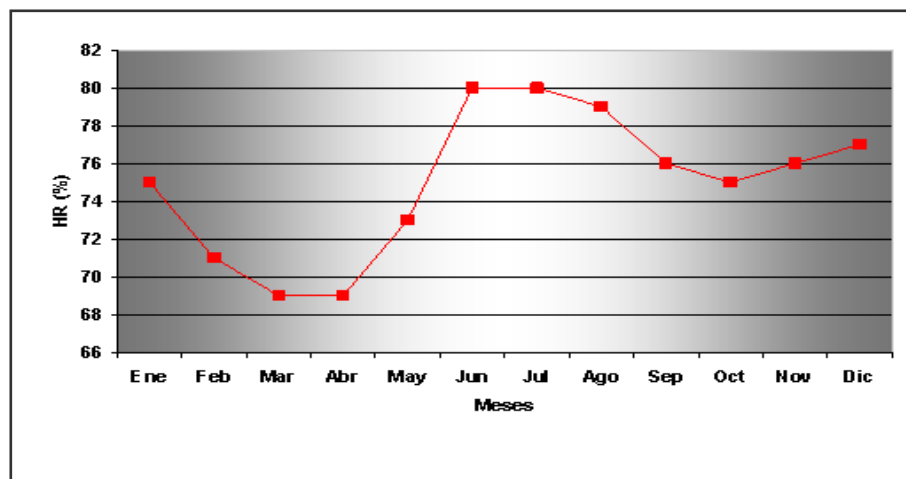


Figura 5.3. Variación Anual de la Humedad Relativa (%).
Estación Ciudad Bolívar. (INAMEH, 2016)

5.2.4 Vientos

La velocidad media anual del viento, estimada para la zona, está cerca de los 10 km/h, con dirección prevaleciente este-noreste (ENE), mayor en marzo y más baja en agosto. En la tabla 5.5, se muestran los datos de las estaciones del área y en la figura 5.4 se presenta su distribución anual.

Tabla 5.5. Velocidad Media Mensual y Anual del Viento (m/s) Período 1970-2000.
(INAMEH, 2021).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	11,6	12,8	15,1	12,7	10,5	8,8	7,4	6,9	6,9	7,5	8,3	9,7	9,9

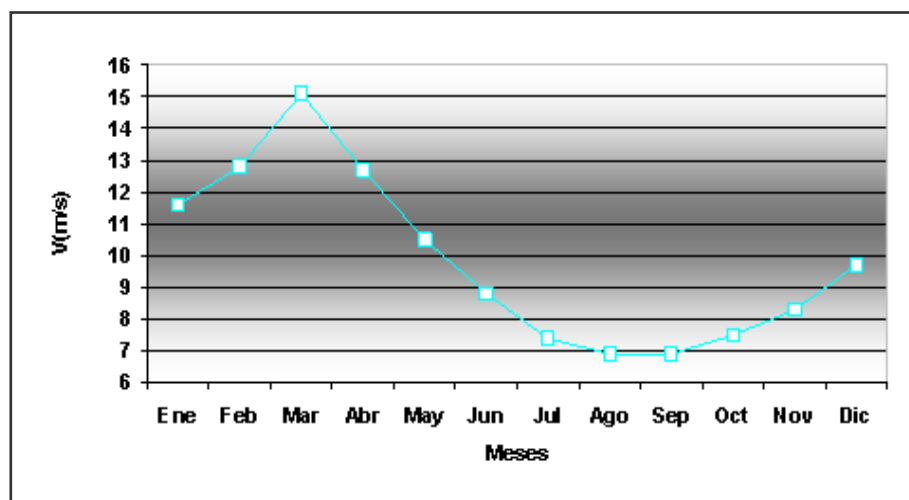


Figura 5.4 Variación Anual de la Velocidad del Viento (m/s). Estación Ciudad Bolívar. (INAMEH, 2021).

5.3 Analizar estadísticamente las precipitaciones máximas diarias en el área de influencia de la zona de estudio.

Para establecer las características del clima se efectuó un análisis cuantitativo, con base en los datos de los promedios mensuales y anuales de los parámetros registrados por la estación meteorológica de Ciudad Bolívar.

El valor promedio anual de precipitación para la zona de estudio es de 883 mm, el cual fue estimado a partir de los promedios anuales de las estaciones localizadas alrededor del área de estudio. En la tabla 5.6, se muestran los promedios mensuales y el total anual de precipitación de la estación Ciudad Bolívar, para el período 1971-2011; con base en ellos se elaboraron la Figura 5.5.

Tabla 5.6. Precipitación media mensual y anual (mm)-Período 1971-2011. (INAMEH, 2021).

.Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Ciudad Bolívar	17,2	11,3	16,1	23,1	89,3	147,1	155,6	161,8	82,1	80,7	68,2	30,2	883

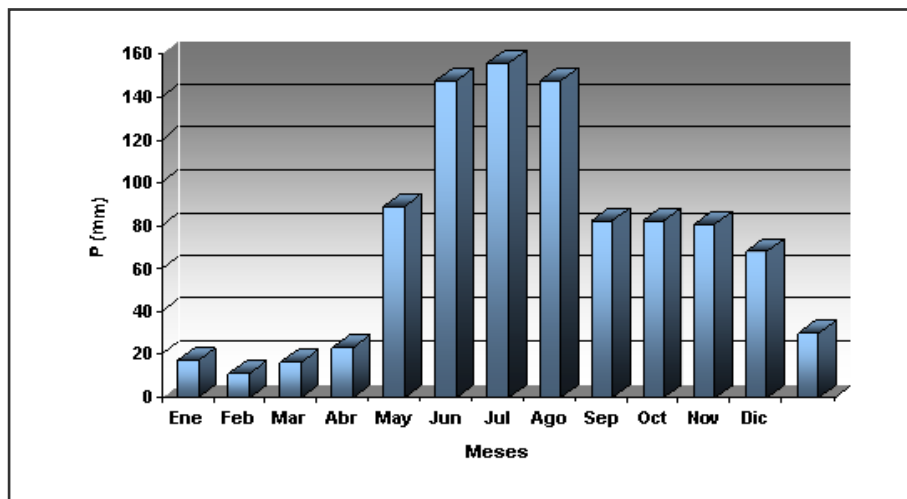


Figura 5.5. Distribución Anual de la Precipitación (mm).
Estación Ciudad -Bolívar.

El régimen pluviométrico es de tipo unimodal, es decir, se registra un solo tope de lluvia durante el año. Este ocurre en los meses del verano astronómico del hemisferio 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 meses se recoge casi el 50% del volumen total de precipitación anual. El valor más bajo de precipitación se registra en los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo).

5.4 Construir las curvas intensidad – duración – frecuencia para la zona de estudio

Para calcular la intensidad máxima de lluvia se recopilaron en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) los datos de precipitación máxima para duraciones de 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 3 horas, 6 horas, 9 horas, 12 horas y 24 horas de la estación Ciudad Bolívar para el período 1962-1991, los cuales fueron ordenados de mayor a menor y transformados a intensidades máximas

y se les calculó el período de retorno respectivo, a fin de elaborar las curvas intensidad duración frecuencia (IDF).

La lluvia está definida por tres (3) variables: la intensidad, la duración y el periodo 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 periodo 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.

Tabla 5.7 .Datos de intensidad de lluvia para diferentes duraciones y Período de retorno (Tr) de la estación Ciudad Bolívar (INAMEH,2021).

15 Min	30 Min.	1 H	3 H	6 H	9 H	12 H	24 H	m	Tr
200,0	133,0	102,0	52,7	34,8	23,4	17,6	8,8	1	29,0
174,4	132,6	99,0	48,0	24,8	16,7	12,5	6,3	2	14,5
159,6	120,4	99,0	44,3	22,8	15,7	11,8	6,2	3	9,7
135,6	109,2	96,0	33,7	22,5	15,0	11,3	5,9	4	7,3
129,2	109,2	81,0	33,0	20,0	13,4	10,3	5,5	5	5,8
124,0	108,0	80,0	32,3	19,3	12,9	9,7	5,4	6	4,8
120,8	104,4	75,0	29,7	17,7	11,8	8,8	4,5	7	4,1
120,8	90,6	73,0	28,3	17,3	11,6	8,8	4,5	8	3,6
120,0	88,0	71,0	28,0	16,7	11,1	8,8	4,5	9	3,2
120,0	88,0	64,0	27,0	15,3	11,1	8,6	4,4	10	2,9
119,2	83,4	63,0	26,7	14,5	10,0	8,3	4,4	11	2,6
116,8	82,0	63,0	25,7	14,0	9,6	7,9	4,4	12	2,4
116,4	82,0	62,0	25,3	13,7	9,4	7,5	4,3	13	2,2
114,4	80,0	62,0	23,3	13,5	9,3	7,5	4,2	14	2,1
107,2	80,0	61,0	23,0	12,2	9,2	7,4	4,0	15	1,9
106,4	80,0	60,0	22,3	12,2	9,1	7,0	3,8	16	1,8
105,6	79,4	58,0	22,0	12,0	9,0	6,8	3,8	17	1,7
105,6	73,2	57,0	21,3	11,7	8,6	6,8	3,5	18	1,6
104,0	71,2	57,0	21,0	11,7	8,4	6,4	3,5	19	1,5
104,0	70,4	56,0	21,0	11,7	8,3	6,3	3,4	20	1,5
100,8	67,0	56,0	20,7	11,3	8,2	6,3	3,4	21	1,4
96,8	66,0	51,0	20,7	11,2	8,0	6,2	3,4	22	1,3
96,0	64,4	51,0	20,7	10,7	7,9	6,0	3,2	23	1,3
92,8	64,2	50,0	20,7	10,7	7,6	5,9	3,1	24	1,2
89,6	62,8	49,0	20,7	10,7	7,1	5,7	3,1	25	1,2
77,6	61,6	46,0	19,3	10,5	7,1	5,5	3,0	26	1,1
76,8	60,4	46,0	18,7	10,3	7,0	5,3	3,0	27	1,1
60,0	42,8	44,0	18,7	10,2	7,0	5,3	3,0	28	1,0
200,0	133,0	43,0	18,3	9,5	6,9	5,3	2,8	29	1,0

Se graficaron las intensidades máximas para diferentes duraciones vs Período de retorno (Tr) en formato Gumbel a fin de obtener las intensidades máximas para duraciones de lluvia de 15 min, 30 min, 1 hr, 3 hr, 6 hr, 9 hr, 12 hr y 24 hr. En las Figuras del 5.6 a la 5.13 se representa lo anteriormente señalado.

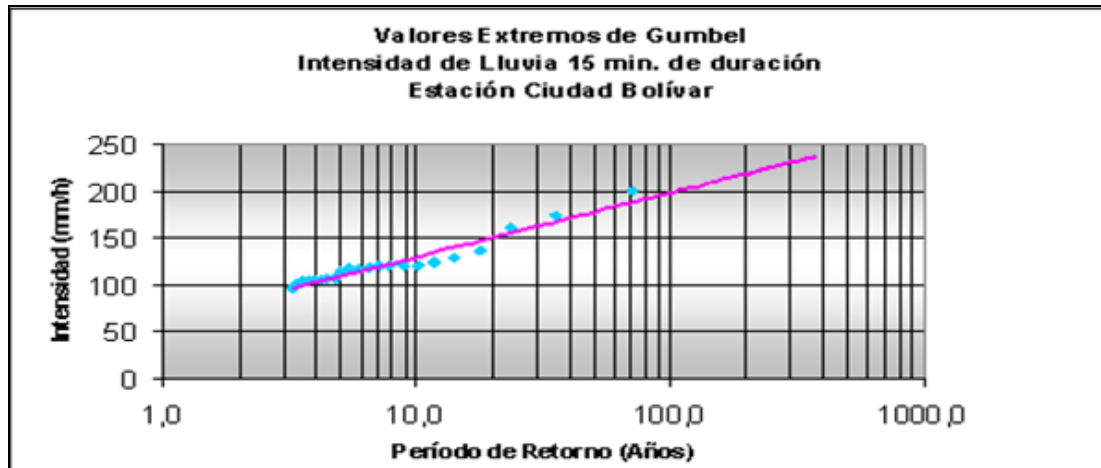


Figura 5.6 Intensidad de lluvia (15 min) vs Período de Retorno.

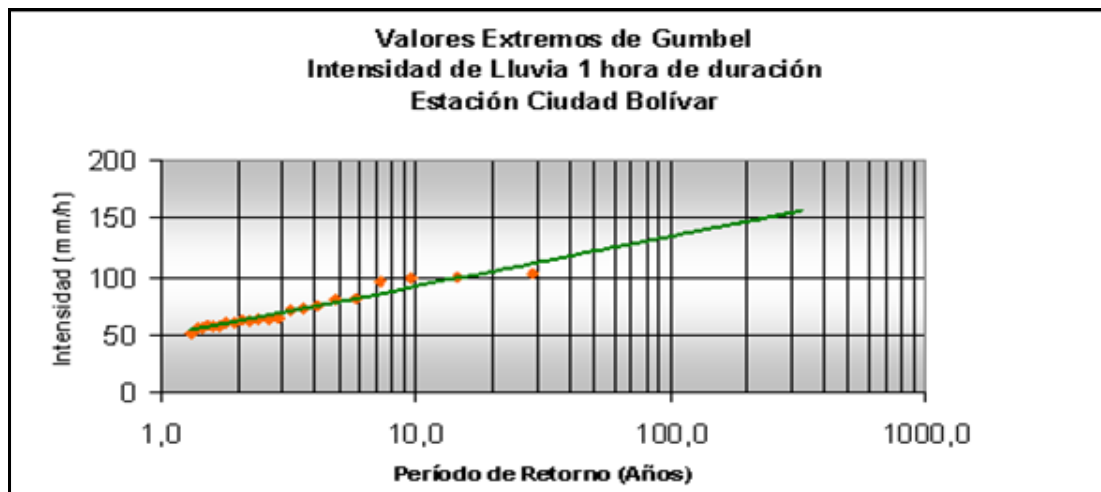


Figura 5.7 Intensidad de lluvia (30 min) vs Período de Retorno.

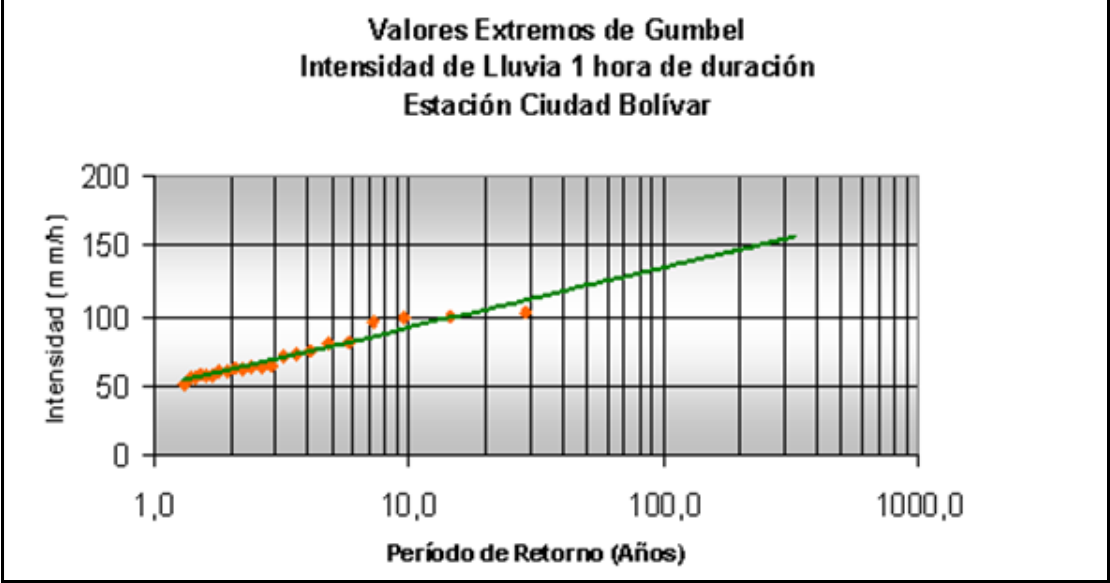


Figura 5.8 Intensidad de lluvia (1 hr) vs Período de Retorno.

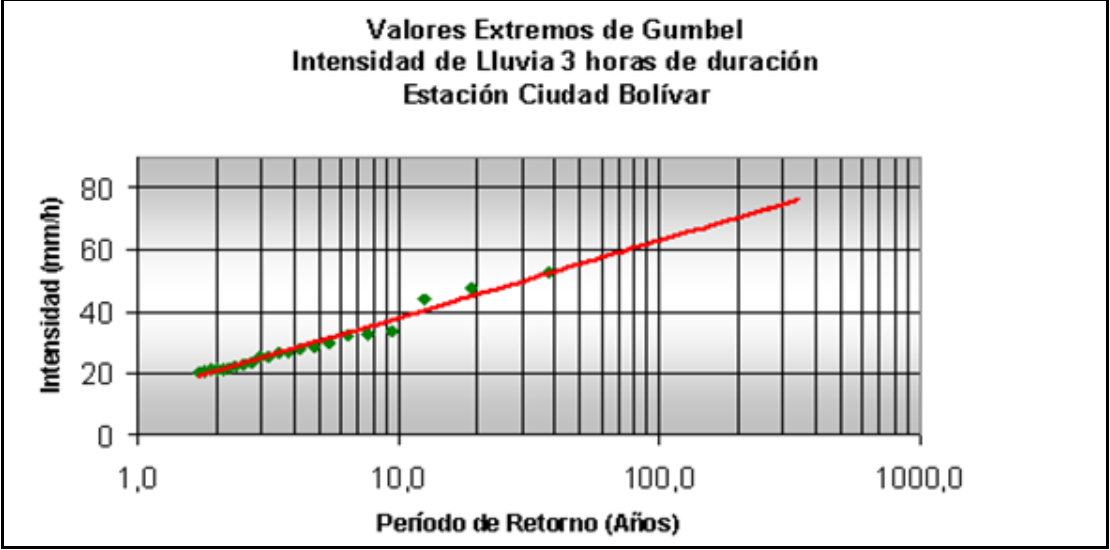


Figura 5.9 Intensidad de lluvia (3 hr) vs Período de Retorno.

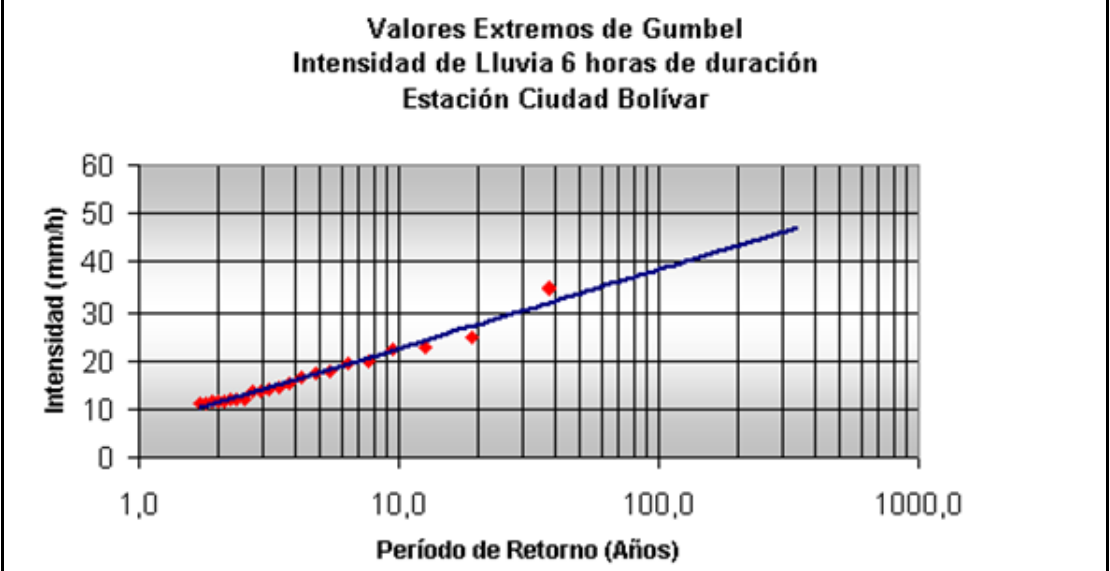


Figura 5.10 Intensidad de lluvia (6 hr) vs Período de Retorno.

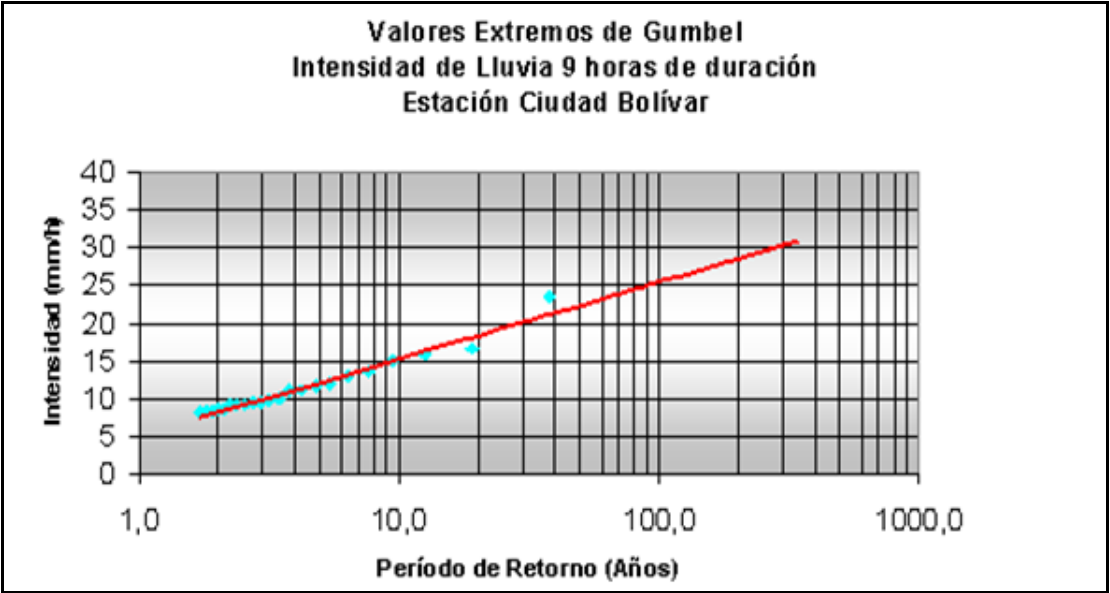


Figura 5.11 Intensidad de lluvia (9 hr) vs Período de Retorno.

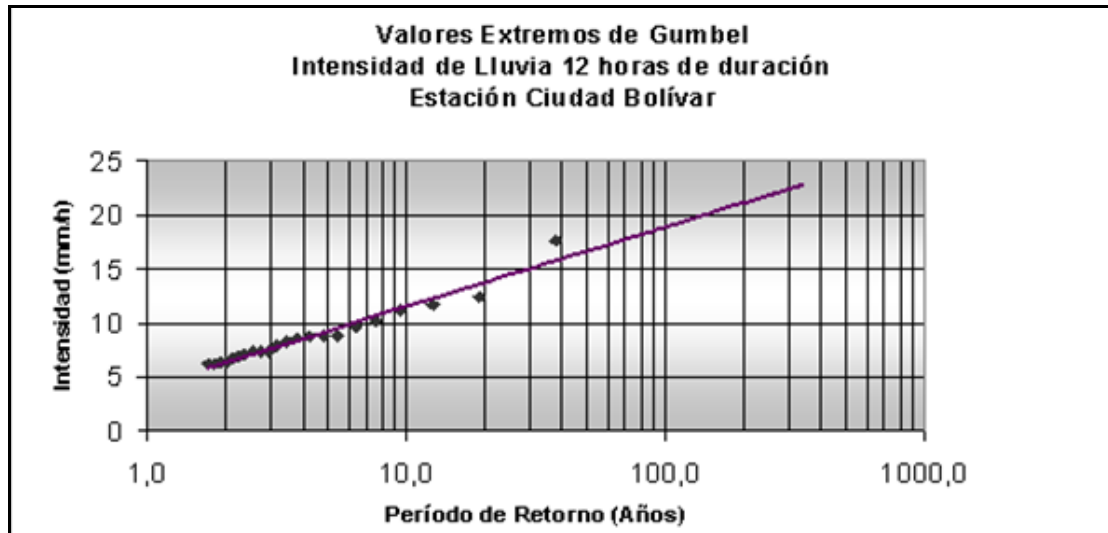


Figura 5.12 Intensidad de lluvia (12 hr) vs Período de Retorno.

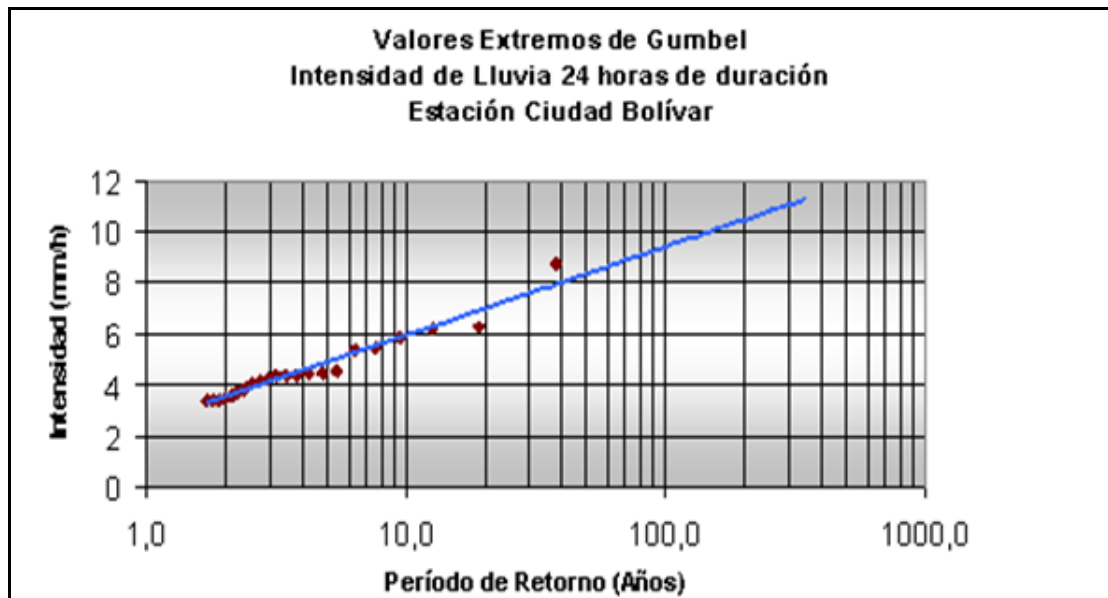


Figura 5.13 Intensidad de lluvia (24 hr) vs Período de Retorno.

En la tabla 5.8, aparece el resumen de los datos la intensidad de lluvia para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años y diferentes duraciones.

Tabla 5.8 Datos de Intensidad (mm/h) para diferentes duraciones y diferentes periodos de retorno.

Duración. (h)	Tr (Años)				
	5	10	25	50	100
0,25	109	130	157	178	198
0,5	102	118	140	157	173
1	79	92	109	122	135
3	31	38	48	56	63
6	18	22	29	34	39
9	12	15	19	22	25
12	9	12	14	17	19
24	5	6	7	8	9

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 5.9 se construyeron las Curvas IDF (Figuras 5.14 al 5.19).

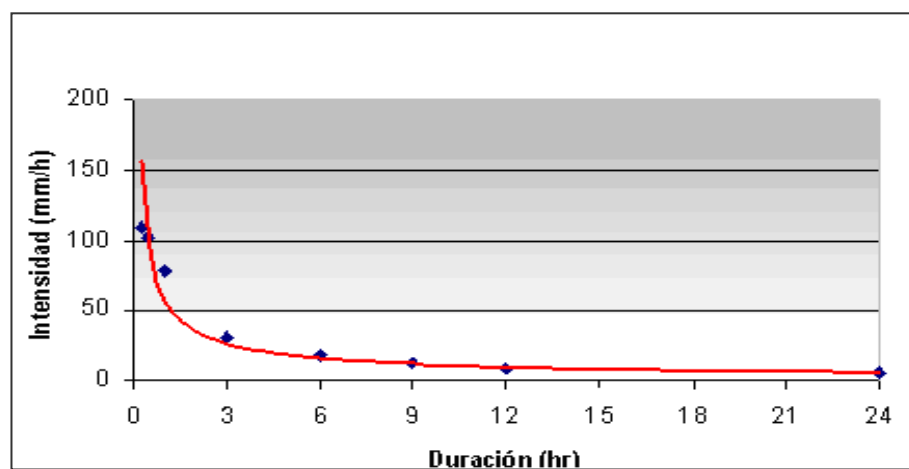


Figura 5.14. Curva IDF. Ciudad Bolívar para Tr = 5 años.

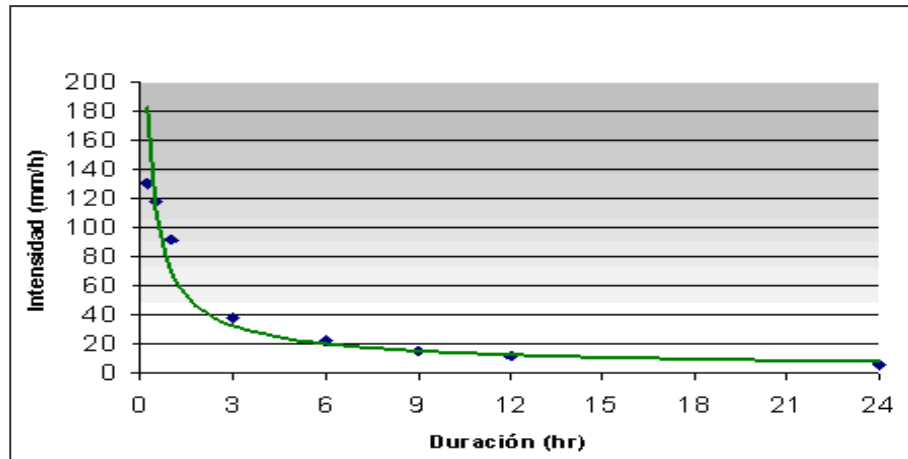


Figura 5.15 Curva IDF. Ciudad Bolívar para $Tr = 10$ años.

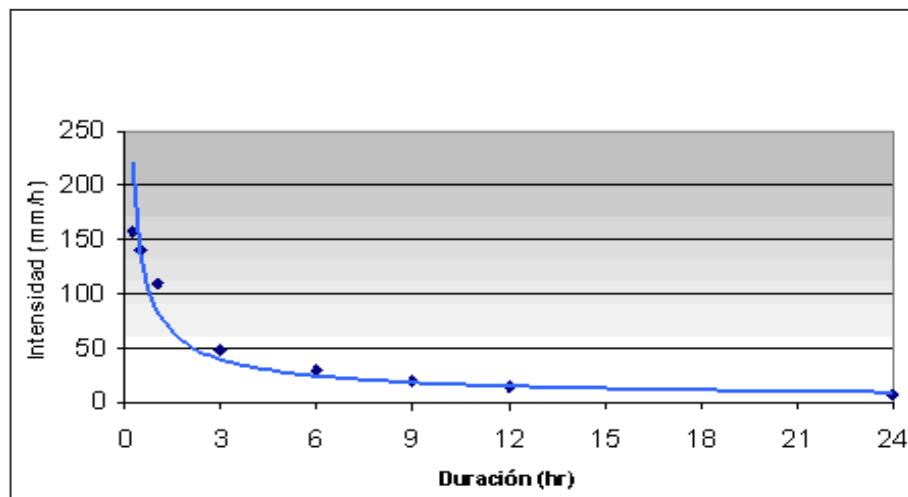


Figura 5.16 Curva IDF. Ciudad Bolívar para $Tr = 25$ años.

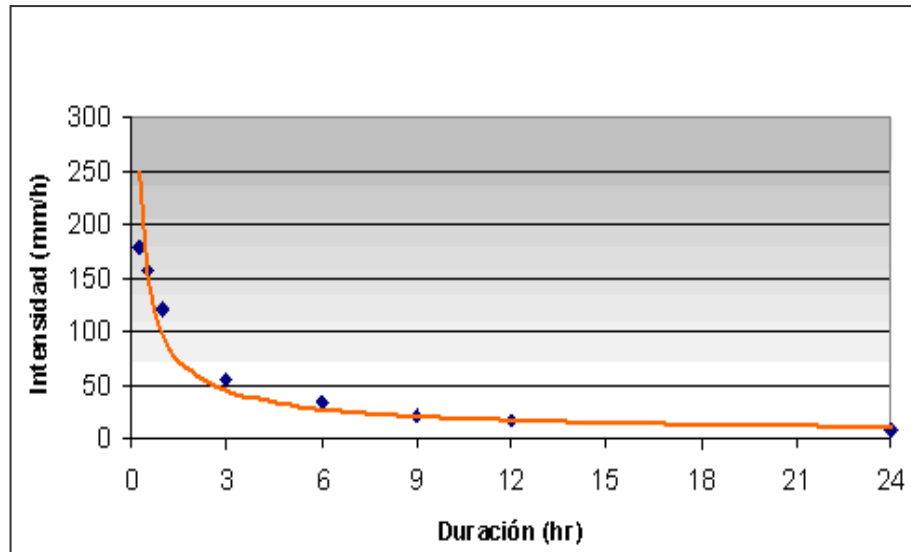


Figura 5.17 Curva IDF. Ciudad Bolívar para $T_r=50$ años.

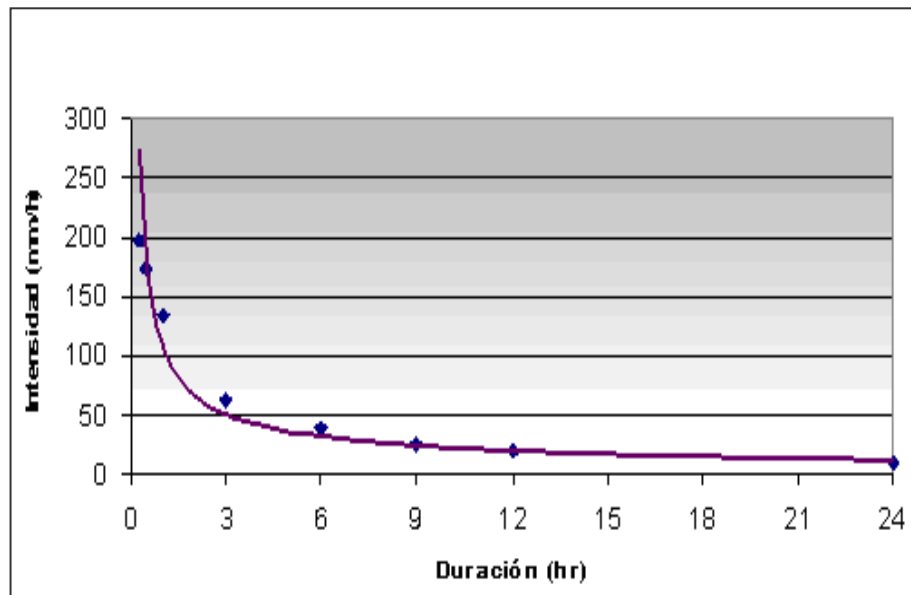


Figura 5.18 Curva IDF. Ciudad Bolívar para $T_r=100$ años.

5.5 Comparar las curvas IDF generadas en esta investigación con las del MOP (1967)

Se presentan a continuación las curvas IDF correspondientes a la región hidrológica II la cual incluye la población de Soledad (Figura 5.19).

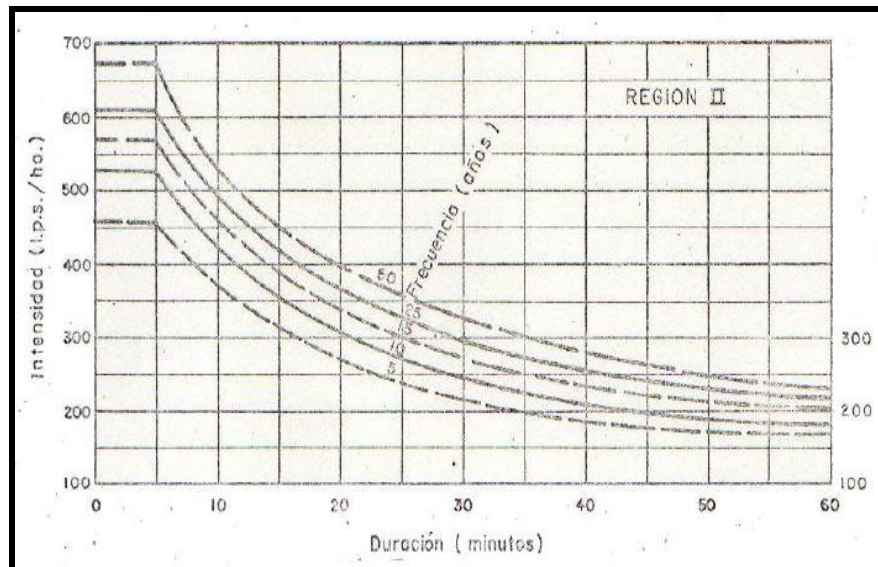


Figura 5.19 Curvas IDF de Región Hidrológica II (MOP, 1967 en Arocha, S., 2009).

Se presenta en la Tabla 5.9 las diferencias de intensidades de lluvia calculadas para las curvas IDF del año 1967 en relación a las de las curvas IDF del año 1991 para los tiempos de retornos de 5, 10, 25 y 50 años s.

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.

Tabla 5.9 Diferencias de intensidades de lluvia (mm) entre las curvas IDF de 1967 y las curvas IDF de 1991.

Duración (min)	Tiempo de Retorno (años)											
	5			10			25			50		
	1967	1991	Dif (mm/hr)	1967	1991	Dif (mm/hr)	1967	1991	Dif (mm/hr)	1967	1991	Dif (mm/hr)
5	147	160	13	160	183	23	180	230	50	194	250	56
10	122	130	8	135	165	30	156	210	54	165	205	40
20	92	110	18	103	145	42	122	145	23	133	170	37
30	76	100	24	88	110	22	101	115	14	112	155	43
40	63	80	17	76	85	9	88	100	12	99	130	31
50	54	64	10	63	75	12	79	88	9	86	85	-1
60	50	60	10	61	70	9	65	70	5	74	65	-9
	Media aritmética =		14,29	Media aritmética =		21,00	Media aritmética =		23,86	Media aritmética =		28,14
	σ =		5,68	σ =		12,22	σ =		20,03	σ =		23,99

Para la zona en estudio se pudo constatar que todas las intensidades de lluvias calculadas para las curvas IDF del año 1991 (para todos los Tr considerados) muestran un incremento con respecto a las curvas IDF de la Región hidrológica II publicadas en el año 1967.

Asimismo, se puede observar que aún cuando las medias aritméticas de las diferencias de intensidades de lluvia presentan valores de 14.29 mm/hr, 21 mm/hr, 23.86 mm/hr y 28.14 mm/hr para períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años respectivamente, estas diferencias de intensidades muestran una significativa desviación estándar. En las figuras 5.20 a la 5.23 se puede observar que las diferencias de intensidades de lluvia se hace máxima para duraciones de precipitación de 20 min y se hace mínima hacia ambos extremos de los gráficos para las duraciones de 5 min y de 60 min respectivamente.

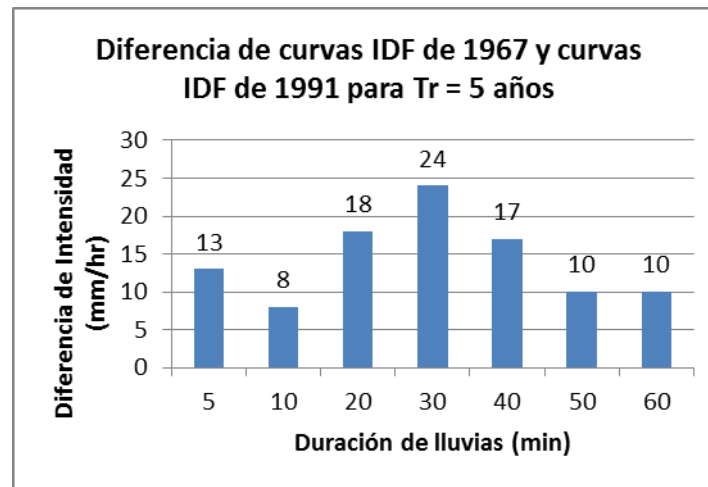


Figura 5.20 Comparación de la curvas IDF del año 1967 y del año 1991 para un Tiempo de retorno de 5 años.

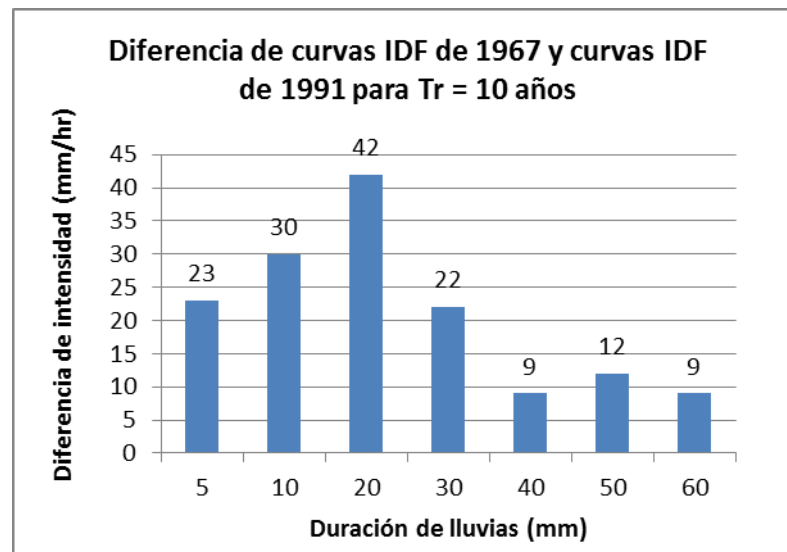


Figura 5.21 Comparación de la curvas IDF del año 1967 y del año 1991 para un Tiempo de retorno de 10 años.

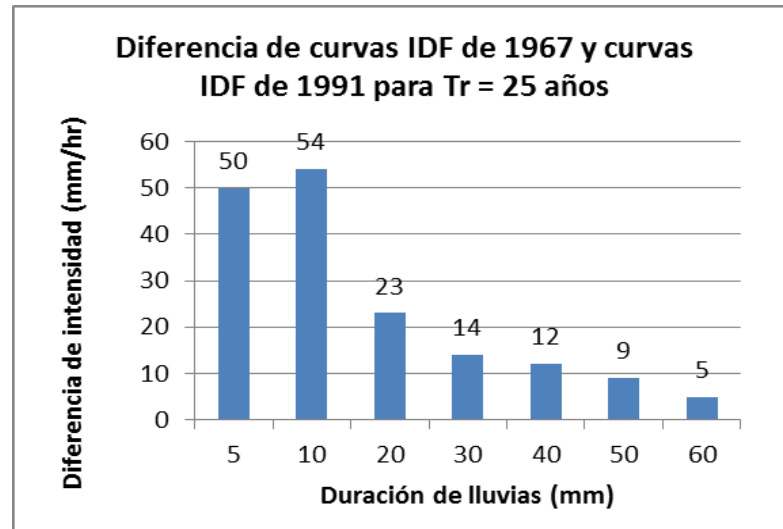


Figura 5.22 Comparación de la curvas IDF del año 1967 y del año 1991 para un Tiempo de retorno de 25 años.

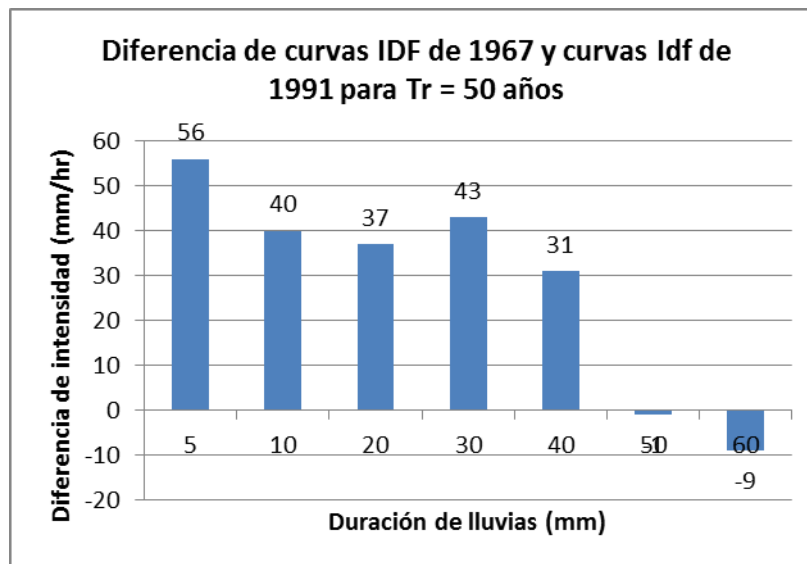


Figura 5.23 Comparación de la curvas IDF del año 1967 y del año 1991 para un Tiempo de retorno de 50 años.

Finalmente, es necesario acotar que el incremento observado en las intensidades de lluvia calculadas para las curvas IDF producidas en esta investigación, podrían ser producto de las variaciones climáticas que pudieron ocurrir en la zona probablemente por la creación de los bosques de pino ubicados al este de la zona de estudio (sur de los estados Monagas y Anzoátegui), los cuales tienen una edad inferior a los 50 años transcurridos desde la generación de las curvas IDF (1967).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La zona de estudio abarca territorios al sur del estado Anzoátegui que incluye a la población de Soledad como la más importante. Asimismo, se presentan once (11) cuencas o subcuencas que se encargan de drenar las aguas pluviales entre las que cabe mencionar las cuencas del río La Peña, Quebrada La Lajita, Laguna La Llovera, Quebrada San Dieguito, Laguna La Revuelta y Laguna La Orsinera.
2. De acuerdo a las características de la pluviosidad promedio (alrededor de los 883 mm anuales), de la temperatura media anual (26.7°C), 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 Koppen.
3. Con base a los registros pluviométricos de la estación de Ciudad Bolívar correspondiente al período 1971 - 2011, la precipitación promedio anual está en el orden de 883 mm anuales. Asimismo, es necesario destacar que este parámetro climático presenta un solo máximo al año el cual ocurre entre los meses entre junio, julio agosto (cuando se recoge más de la mitad de las precipitaciones anuales) y un mínimo o sequía durante los tres primeros meses del año.
4. Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia fueron construidas siguiendo los criterios de Gumbel con los registros máximos diarios correspondientes a un período de registros de pluviosidad de 36 años (1962-1991), considerando duraciones de

lluvia de 15 min, 30 min, 1 hr, 3 hr, 6 hr, 9 hr, 12 hr y 24 hr y períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

5. Una vez comparadas las curvas IDF publicadas por el MOP (1967) y las generadas en esta investigación se concluye que las estimaciones de intensidad de lluvia actualizadas están por encima de aquellas para cualquier período de retorno considerado. Lo cual se presume sea producto del micro clima generado al sur del estado Anzoátegui por los bosques de pinos de edad más reciente a la de las curvas IDF de 1967.

Recomendaciones

1. Considerando la fecha de generación de las curvas IDF publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967) se recomienda la producción de curvas IDF actualizadas para las localidades urbanas que requieran nuevos desarrollos urbanísticos que en consecuencia ameriten el diseño de sistemas de drenaje con apropiadas estimaciones de la pluviosidad.

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 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.

REFERENCIAS

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.

Alfonsi, P. (1999) **SEDIMENTOLOGÍA DE CLÁSTICOS YELECTROFACIES**. Centro Internacional de educación y Desarrollo. PDVSA Exploración y Producción. Maracaibo. Venezuela, p 115.

Aparicio, F. 1997. **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. Balderas, México: Limusa. 303 p.

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

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.

Casado, C. (1984).**INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD PETROLERA EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA MESA DE GUANIPA**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la tierra, Ciudad Bolívar, pp 2-154.

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.

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

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

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

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

González de Juana, Iturralde C., y Xavier P., (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Editorial Foninves. Caracas.

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.

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

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

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

Nichols, G. (1999). **SEDIMENTOLOGY AND STRATIGRAPHY**. Segunda edición. Oxford. United Kingdom. Wiley – Blackwell. pp 307, 321, 329.

PDVSA-Intevep, (1997). **CÓDIGO GEOLÓGICO DE VENEZUELA**. 14 de Octubre de 2010, [<http://www.pdvsa.com/lexico/utilid/glosario/glosario.htm>]

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.

Rivadulla, R. (2004). **CARTOGRAFÍA DE SUPERFICIE Y SUBSUELO**. FundaGeominas, Ciudad Bolívar, p 417.

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

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

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

Título	ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES DE LA POBLACIÓN DE SOLEDAD CON LA FINALIDAD DE GENERAR LAS CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS CIVILES, MUNICIPIO INDEPENDENCIA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
BARROSO BECERRA, RUBEN ERNESTO	CVLAC	20.264.503
	e-mail	rubening.civil92@gmail.com
	e-mail	
MATA MARTÍNEZ, DORIANA DEL CARMEN	CVLAC	26.374.449
	e-mail	dorianitamartinez13@gmail.co
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

q

Hidro-meteorología
Climatología Estación Ciudad Bolívar
Precipitaciones Ciudad Bolívar
Curvas IDF Soledad

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Hidrología	Climatología

Resumen (abstract):

El presente estudio se realizó con base a los posibles futuros desarrollos urbanísticos que se podrían desarrollar en el centro poblado de Soledad y sus alrededores en el municipio Independencia del estado Anzoátegui, Venezuela. Sin embargo todo desarrollo urbanístico requiere del diseño cabal de sus sistemas de drenaje lo cual implica contar con curvas IDF actualizadas que permitan calcular los caudales drenados de escorrentía pluvial con el mayor grado de certidumbre posible. Este trabajo se enmarca en un tipo de investigación descriptiva en la cual se aplicará una estrategia de campo y documental. En primer lugar, se efectuó un reconocimiento de la zona para validar la revisión previa de las cuencas y subcuencas existentes en el área de estudio efectuadas en las cartas y mapas de la zona. Asimismo, se tomó nota de las condiciones del relieve, de la hidrografía, de los suelos, de la geología aflorante y de la flora y fauna predominante. Posteriormente, se recabó, a partir de las bases de datos hidrometeorológicas administradas por el INAMEH, los registros de todos los parámetros climáticos de las estaciones cercanas al área de estudio, con especial énfasis en la información pluviométrica. Se construyeron las curvas IDF para la zona, utilizando el criterio de Gumbel y de log-Pearson III, con los datos de las precipitaciones máximas registradas en la estación climatológica de Musinacio. 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 Koppen se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmica (Awgi). La pluviosidad de la zona alcanza unos 883 mm anuales. Las curvas IDF se construyeron basándose en 29 años de mediciones de la pluviosidad en la estación de Ciudad Bolívar Aeropuerto. La comparación de las curvas IDF construidas muestran estimaciones de intensidades de lluvia superiores a las contenidas en las curvas IDF publicadas en el Manual de Drenaje del MOP (1967).

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

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail				
ECHEVERRÍA DÍAZ, DAFNIS JOSÉ	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input checked="" type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	4.506.408			
	e-mail	Dafnisecheverria2807@gmail.com			
	e-mail				
MONTEVERDE S., FRANCISCO	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12.192.676			
	e-mail	monteverdefr@gmail.com93			
	e-mail				
ECHEVERRÍA COA, BEATRIZ CAROLINA	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	21.013.748			
	e-mail	beitacaro@gmail.com			
	e-mail				
	ROL	CA <input type="checkbox"/>	AS <input type="checkbox"/>	TU <input type="checkbox"/>	JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC				
	e-mail				
	e-mail				

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2022	05	

Lenguaje Spa _____

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

Archivo(s):

Nombre de archivo
Tesis-.Docq
Estudio pluviométrico para la construcción de curvas IDF para Soledad, estado Anzoátegui, Venezuela

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 : Soledad, estado Guárico Anzoátegui, Venezuela

Temporal: 10 años de vigencia

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Área de Estudio: Hidrología

Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR <i>Martínez</i>
FECHA <i>5/8/09</i> HORA <i>5:30</i>

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Curyelo
Secretario

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

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

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

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

Ruben Ernesto Barroso Becerra
C.I.: V-20.264.503

Doriana del Carmen Mata Martínez
C.I.: V-26.374.449

TUTOR
Dafnis J. Echeverría D.
C.I. No 4.506.408