

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



**ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE DRENAJE
SUPERFICIAL DE AGUAS PLUVIALES QUE SON APORTADOS
POR LAS SUBCUENCAS DEL CONJUNTO URBANÍSTICO LB-1,
EN LA POBLACIÓN DE LOS BARRANCOS DE FAJARDO,
MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO
POR LOS BACHILLERES
SOTILLO C., OCTAVIO J.
Y MAITA F., MIGUEL M.
PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL**

CIUDAD BOLÍVAR, NOVIEMBRE DE 2017



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, titulado: **“ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE DRENAJE SUPERFICIAL DE AGUAS PLUVIALES QUE SON APORTADOS POR LAS SUBCUENCAS DEL CONJUNTO URBANÍSTICO LB-1, EN LA POBLACIÓN DE LOS BARRANCOS DE FAJARDO, MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA.”** presentado por los bachilleres: **SOTILLO C., OCTAVIO J. Y MAITA F., MIGUEL M.OI.** ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre y apellido	Firmas
Profesor Dafnis J. Echeverría	
_____	_____
(Asesor)	
_____	_____
(Jurado)	
_____	_____
(Jurado)	
_____	_____
Prof. Pedro Gamboa Jefe de Depto. de Ing. Civil	Prof. Francisco Monteverde Director de Esc. de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, Noviembre de 2017

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar a mi meta y por estar conmigo en cada paso que doy y ser mi fortaleza en cada momento, A mi madre Alicia Fragoza por darme la vida, por quererme mucho, gracias a ella por ser mi pilar, mi apoyo más importante todo esto te lo debo a ti, A mi padre Ewin Molleton gracias por todo lo que me has brindado, A mis hermanas Olismar y Eudismar gracias por estar presente en cada momento de mi vida por apoyar, por todas las diferencias que podamos tener pero son unos de los pilares más importantes de mi vida, A mi novia Mairin Natera por apoyarme en todo momento y por su amor incondicional, A mi tío José luís Guzmán por brindarme su apoyo y agradecido por toda su ayuda, A mis compañeros de estudio por todo su apoyo, y por los momentos vivimos de risas, bromas y enojos pero gracias por todo esos momentos, este logro es dedicado para ustedes.

Miguel Maita F.

DEDICATORIA

Después de tantos traspasos, de tantas caídas, de tantas experiencias, por fin ha culminado una de las etapas más importantes de mi vida y quiero dedicar este logro primeramente a dios, que con su infinita misericordia me consagró y me dio sabiduría y fuerzas para seguir adelante y alcanzar esta meta.

A todas aquellas personas que estuvieron ahí, a mi lado y me prestaron su apoyo de una u otra manera en este largo camino al triunfo, en especial a mis padres, Ismenia y Octavio, por ser las razones y la inspiración que me condujeron a alcanzar este logro, sin su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, su motivación constante y sus ejemplos de perseverancia y salir adelante, no lo hubiera logrado. Este logro y todo lo que soy es gracias a ustedes y para ustedes.

Octavio Sotillo C.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido llegar a mi objetivo propuesto y ser mi fortaleza en todo momento.

A mi madre Alicia Fragoza por darme la vida y mi padre Ewin Molleton por ser mi apoyo incondicional ser mi guía para alcanzar mi objetivo gracias a ellos por todo se le quiere mucho aunque no se los diga. A mis hermanas Olismar, Eudismar y mi novia Mairin por estar conmigo en todo momento, por su apoyo, consejo y amor a pesar de todas las diferencias que podamos tener las amos con todo mí ser.

Al profesor Dafnis Echeverría por ser un excelente docente y por estar orientándonos, compartiendo sus conocimientos en la elaboración de este trabajo como tutor académico y mis profesores, Giovanni Grieco, Jesús Martínez, Josefina Jiménez, Marisol Diéguez, Yuli Halajeski y demás profesores sin nombrar que me dieron clase y me ayudaron a formarme como una persona de valores y principios.

A mis compañeros Alex, Ángel, Andrea, Carlos, Daniel, Diojandri, Duglisver, Dubraska, Efraín, Endi, Génesis, Idemar, José, Luis, Maria, Marilexis, Malva, Negmari, Ovimer, Rosa, Virianny, Yurne, Yurbelis y en especial a mi compañero Octavio sotillo que ha compartido y ayudado en esta meta casi cumplida.

Todos aquellos familiares y amigos que no nombre al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son, gracias por todo.

Miguel Maita F.

AGRADECIMIENTOS

Después de tantos traspasos, de tantas caídas, de tantas experiencias, por fin ha culminado una de las etapas más importantes de mi vida y quiero dedicar este logro primeramente a dios, que con su infinita misericordia me consagró y me dió sabiduría y fuerzas para seguir adelante y alcanzar esta meta.

A todas aquellas personas que estuvieron ahí, a mi lado y me prestaron su apoyo de una u otra manera en este largo camino al triunfo, en especial a mis padres, Ismenia y Octavio, por ser las razones y la inspiración que me condujeron a alcanzar este logro, sin su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, su motivación constante y sus ejemplos de perseverancia y salir adelante, no lo hubiera logrado. Este logro y todo lo que soy es gracias a ustedes y para ustedes.

Octavio Sotillo C.

RESUMEN

El presente estudio esta concebido como el estudio previo indispensable par conformar la ingeniería de detalle del sistema de drenaje para el conjunto urbanístico LB-1 ubicado en la población de Los Barrancos de Fajardo, en el municipio Sotillo, estado Monagas. En ese sentido, es necesario acotar que en este estudio se determinarán los caudales aportados por las subcuencas urbanas del mencionado conjunto urbanístico. Este trabajo se encuentra enmarcado 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 utilizaron las curvas IDF construidas para la zona por la CVG-Tecmin C.A. con los registros de la estación Puerto Ordaz. Por otra parte, se efectuará la delimitación de las cuencas urbanas la determinación de algunos de sus parámetros morfométricos tal como el área y el tiempo de concentración. Seguidamente se determinará el coeficiente de escorrentía ponderado y la determinación del caudal de escorrentía superficial que aportarán dichas subcuencas y en que medida dichas aguas pudieran afectar las obras civiles de drenaje urbano. 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). El área de estudio drena las aguas pluviales a través de tres (3) ramales. La pluviosidad de la zona alcanza aproximadamente unos 1000 mm anuales. El coeficiente de escorrentía ponderado para el área de estudio se estimó en 0.715. La magnitud del caudal de las escorrentías, calculado por el método racional, aportadas por la cuenca para un período de retorno de 25 años es de $5.4 \text{ m}^3/\text{s}$, distribuidos a través de tres (3) ramales alcanzando valores de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$, $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

CONTENIDO

ACTA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VII
CONTENIDO	VIII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I SITUACIÓN A INVESTIGAR	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Objetivos de la investigación	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Alcance de la investigación.....	6
CAPÍTULO II GENERALIDADES	7
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	7
2.2 Vegetación típica de la región.....	8
2.3 Geología del área de estudio	9
2.5 Suelos del área de estudio	11

CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO	13
3.1 Antecedentes o estudios previos	13
3.2 Bases teóricas	13
3.2.1 Precipitación.....	14
3.2.2 Evaporación.....	27
3.2.3 Escurrimiento	28
4.2 Diseño de investigación	61
4.2.1 Investigación de campo.....	61
4.2.2 Investigación documental.....	62
4.3 Población y muestra de la investigación	62
4.3.1 Población de la investigación.....	62
4.3.2 Muestra de la investigación.....	63
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	63
4.4.1 Técnicas para la recolección de datos	63
4.4.2 Instrumentos para la recolección de datos	64
4.5 Flujograma de la investigación	64
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos	65
4.6.1 Recopilación de la información bibliográfica	65
4.6.2 Identificar las subcuencas hidrológicas urbanas del área de estudio	66
4.6.3 Caracterización climatológica del área de estudio	66
4.6.4 Determinación del coeficiente de escorrentía ponderado para las subcuencas.....	66
4.6.5 Estimación de los caudales aportados por las subcuencas urbanas.....	66

CAPÍTULO V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	67
---	-----------

5.1 Características climáticas generales de la zona de estudio	67
--	----

5.1.1 Precipitación.....	68
5.1.2 Evaporación.....	69
5.1.3 Temperatura	71
5.1.4. Insolación	73
5.1.5 Humedad Relativa.....	74
5.1.6 Vientos	75
5.2 Identificación de las cuencas y subcuencas urbanas	76
5.3 Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado	79
5.4 Caudales de escorrentía superficial aportadas por las cuencas y subcuencas...	80
5.4.1 Determinación del período de retorno.....	80
5.4.2 Tiempo de concentración de la cuenca y subcuencas	80
5.4.3 Determinación de la intensidad de lluvia.....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
Conclusiones	85
Recomendaciones.....	86
REFERENCIAS	87

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación relativa nacional del área de estudio.....	7
2.2 Ubicación relativa local del área de estudio.....	8
2.3 Aspecto de la vegetación.....	9
2.4 Paisaje de altiplanicie de Mesa.....	11
3.1 Esquema de curvas IDF.....	19
3.2 Curvas IDF de la región hidrológica II.....	26
3.3 Hidrograma típico aislado.....	46
3.4 Hidrograma unitario triangular.....	47
3.5 Representación gráfica del hidrograma unitario triangular.....	49
4.1 Flujograma de la investigación.....	65
5.1 Distribución anual de la precipitación. Estación Macagua.....	69
5.2 Distribución anual de la precipitación. Estación Puerto Ordaz.....	69
5.3 Variación anual de la evaporación. Estación Macagua.....	70
5.4 Variación anual de la evaporación. Estación Puerto Ordaz.....	71
5.5 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima.....	72
5.6 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima.....	72
5.7 Variación anual de la insolación Estación Macagua.....	73
5.8 Variación anual de la insolación.....	74
5.9 Variación anual de la humedad relativa Estación Macagua.....	75
5.10 Variación anual de la humedad relativa Estación Puerto Ordaz.....	75
5.11. Variación anual de la velocidad del viento.....	76
5.12 Área de la cuenca.....	77
5.13 Área de los ramales secundarios.....	77
5.14 Direcciones de flujo en cada ramal.....	78

LISTA DE TABLAS

		Página
2.1	Coordenadas UTM de ubicación del área de estudio.....	8
3.1	Valores de Y_n y de σ_n	25
3.2	Valores de Y	25
3.3	Secuencia de operaciones para generar curvas IDF.....	26
3.4	Coefficiente de escurrimiento.....	30
3.5	Zonificación de los coeficientes de escorrentía.....	30
3.6	Coefficiente de escorrentía.....	31
3.7	Coefficiente de escorrentía.....	32
3.8	Valores interpretativo del factor forma.....	53
3.9	Valores interpretativos de la pendiente.....	55
5.1	Características de las estaciones climatológica usadas.....	67
5.2	Precipitación media mensual y anual.....	68
5.3	Evaporación media anual.....	70
5.4	Temperatura máxima, media y mínima.....	71
5.5	Insolación media mensual y anual.....	73
5.6	Humedad relativa media mensual.....	74
5.7	Velocidad del viento media mensual y anual.....	76
5.8	Área total de la cuenca.....	77
5.9	Área total de los ramales secundarios.....	78
5.10	Coefficiente de escurrimiento.....	79
5.11	Tiempo de concentración para la cuenca.....	81
5.12	Tiempo de concentración para los ramales.....	81
5.13	Intensidad de lluvia.....	82
5.14	Intensidad de lluvia de los ramales.....	82
5.15	Intensidad de lluvia de los ramales.....	83
5.16	Caudal de la cuenca.....	83
5.17	Caudales de los ramales.....	84

INTRODUCCIÓN

En este estudio se ha planteado como objetivo principal describir el comportamiento pluviométrico y las características de la escorrentía de las cuencas urbanas que inciden en las condiciones del drenaje del área ocupada por la población de Los Barrancos de Fajardo en el estado Monagas. Entre los propósitos del análisis estará la delimitación de las subcuencas de drenaje urbano, su coeficiente de escorrentía ponderado y los caudales que drenarán estas subcuencas lo cual es de vital importancia para el desarrollo del sistema de drenaje de aguas pluviales idóneos para las realidades climáticas y las cantidades volumétricas de los escurrimientos de aguas pluviales que se producirán en las cuencas urbanas del área de estudio que incidirán en las condiciones de diseño del sistema de drenaje de la citada población.

Por otra parte, la caracterización morfométrica de las subcuencas permitirá cuantificar los caudales de escorrentía que drenarán en el conjunto urbanístico en cuestión.

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

El Capítulo I. Situación a investigar: está conformado por el planteamiento del problema, objetivos, justificación, y alcance que se plantea a desarrollar.

El Capítulo II. Generalidades: trata sobre la ubicación y aspectos tales como la geología, geomorfología, suelos, fauna y flora del área de estudio.

El Capítulo III. Marco Teórico: muestra los antecedentes de estudio en la zona y conceptos teóricos y prácticos que enriquecen el contenido del trabajo.

El Capítulo IV. Metodología de Trabajo: trata sobre la metodología donde se describe el tipo de investigación, su diseño, la población y muestra de la investigación, el flujograma y el procedimiento para el logro de los objetivos.

En el Capítulo V se presentan los resultados de la investigación.

Por último, se muestran las conclusiones y recomendaciones relevantes de la investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

Desde la aparición del hombre en la tierra, el mismo ha sido testigo, muchas veces sin entenderlo, del desarrollo del ciclo del agua en la naturaleza, el cual ha sido tema de estudio a lo largo de los años.

A nivel mundial es común observar la presencia de fenómenos climáticos que afectan enormemente a las diferentes poblaciones que allí se encuentren localizadas, debido a ello, se puede notar la gran acumulación de agua en las calles y carreteras de diversos sitios, esto sucede debido a varios factores, pero uno de los principales es la falta de drenajes para canalizarlas.

El aumento de la población, el desarrollo de países, estados y ciudades en los últimos tiempos han traído como consecuencia la búsqueda de soluciones rápidas y eficaces que den solución a la alta demanda de la población, tal es el caso de los servicios públicos los cuales afectan directamente la calidad de vida de las personas, entre los que tienen especial importancia la recolección y disposición de las aguas pluviales, comúnmente conocido como drenaje urbano.

En la actualidad existe una evidente problemática en los sectores urbanizados de las grandes poblaciones de Latinoamérica, que han venido creciendo indiscriminadamente sin una planificación verdaderamente efectiva, pues en la mayoría de los casos las construcciones de las viviendas no cumplen con las leyes y reglamentos indicados por los organismos establecidos para ello, en este caso

específico, con los reglamentos que están relacionados con la recolección, conducción y disposición de las aguas de lluvia.

Hoy en día los daños ocasionados por las lluvias son cada vez mayores, debido a que la capacidad de infiltración del suelo ha disminuido y han aumentado en gran magnitud los escurrimientos de agua debido al desarrollo de las ciudades, los cuales han llegado a convertirse en una verdadera calamidad pública, afectando a las personas y sus bienes así como también la propia infraestructura vial.

En este sentido, se puede observar que en Venezuela se presentan graves casos de inundaciones y crecidas de los cursos naturales del agua cuando se suscitan ciclos de pluviosidad de relativa intensidad y duración, lo cual generalmente provoca el colapso de los sistemas de drenaje, los cuales o no están establecidos o simplemente no tienen la capacidad requerida para la disposición de las aguas producto de las precipitaciones. Por lo general estas aguas desembocan en ríos, lagunas o quebradas y en el mar en las zonas costeras, sin embargo, muchas de estas obras hidráulicas carecen de un funcionamiento o un exceso en las aguas pluviales para la cual estos drenajes fueron diseñados.

Nuestro país también ha sido víctima de las grandes inundaciones ocasionadas por las descargas pluviales como ejemplo tenemos un artículo publicado en (Diario El Mundo, 2010) donde destaca que las fuertes lluvias en el país dejan más de 60.000 personas sin hogares, y además dejaron 32 muertos y daños severos a la infraestructura vial. Y también lo publicado en Noviembre de 2011 por (Diario Ultimas Noticias, 2011), aproximadamente 4 horas continuas de lluvia anego vías principales, además de 60 viviendas en Higuerote y Rio Chico, Municipio Brion y Páez en el estado Miranda. El agua entro y salió de las casas. Alcanzo 70 centímetros de altura. Las inundaciones se debieron al colapso de los drenajes.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Estimar el coeficiente de escurrimiento ponderado y los caudales aportados por las subcuencas del conjunto urbanístico S-1, en la población de Los Barrancos de Fajardo, municipio Sotillo, estado Monagas, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir las características pluviométricas que incidirán en el dimensionamiento del sistema de drenaje del área en estudio.
2. Delimitar las cuencas y sub cuencas que aportarán aguas de esorrentía al sistema de drenaje del área en estudio.
3. Calcular el coeficiente de escurrimiento de la cuenca y subcuencas de drenaje del área en estudio.
4. Determinar el caudal de drenaje de las subcuencas urbanas que permitirá estimar la captación del sistema de drenaje como parámetro básico para su dimensionamiento futuro.

1.3 Justificación de la investigación

Las inundaciones urbanas, producto de precipitaciones, constituyen un fenómeno que merece respuestas rápidas y eficientes para la creación de sistemas de drenajes capaces de recolectar, encauzar y disponer adecuadamente los excesos de las aguas pluviales en las diversas localidades. Es por ello que si no se realiza un buen

estudio climatológico de la zona corremos el riesgo de que ocurran los problemas antes mencionados.

Es de vital importancia realizar la investigación para que la comunidad que habitara el urbanismo y sus cercanías no corran peligro de sufrir daños físicos ni estructurales en su entorno.

1.4 Alcance de la investigación

En esta investigación se plantea hacer una propuesta para la ingeniería básica de un sistema de canales de drenaje de aguas superficiales para el conjunto urbanístico LBF-1 en la población de Los Barrancos de Fajardo.

Para realizar esta propuesta es necesario conocer climatológicamente el área en estudio, para así poder definir los parámetros dimensionales e hidráulicos de la zona.

Se deben determinar los caudales de la cuenca y subcuencas del área, en este caso se hará por el método racional; de igual manera haremos el trazado en planta y perfil longitudinal de los canales de drenaje previstos, que nos permitirán hallar los parámetros geométricos e hidráulicos de los canales de drenaje.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El área de interés para la realización del cálculo de caudales de las subcuencas urbanas ocurre en la población de Los Barrancos de Fajardo, municipio Sotillo, ubicado en la zona sur del estado Monagas, en la margen izquierda del río Orinoco frente a la población de San Félix. Comprende una superficie de 132,45 ha.

El acceso al área es por la carretera Troncal 10 en sentido Maturín-Chaguaramas. Al llegar al distribuidor Los Pozos, se continua por aproximadamente 5 Km hacia el sur. También se puede acceder desde Ciudad Guayana, cruzando el río Orinoco en chalana desde San Félix hasta la propia población de Los Barrancos de Fajardo (figura 2.1 y tabla 2.1).



Figura 2.1. Ubicación nacional del área de estudio.

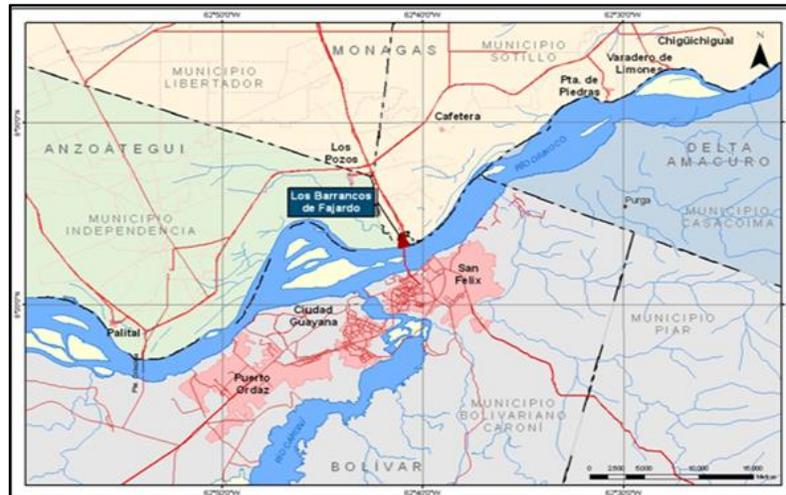


Figura 2.2 Ubicación regional del área de estudio.

Tabla 2.1. Coordenadas UTM de los vértices del área de estudio. (Datum REGVEN, Huso 20, elipsoide GRS-80).

CENTRO POBLADO incluido	ÁREA (ha)	VERTICE	COORDENADA NORTE	COORDENADA ESTE
Los Barrancos de Fajardo		V-1	929882	534407
		V-2	927078	534407
		V-3	927078	535062
		V-4	929882	535062

2.2 Vegetación típica de la región

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

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

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



Figura 2.3 Vegetación predominante en el área de estudio.

2.3 Geología del área de estudio

Geológicamente el área de estudio está constituida por sedimentos formados por depósitos aluviales de edad Plio-pleistoceno, correspondientes a la Formación Mesa. Además, presentan un perfil topográfico rectilíneo a ligeramente inclinado, con algunos desniveles significativos y un micro-relieve relativamente liso. La mayoría de la Altiplanicie de Mesa posee un carácter depositacional, la cual se

manifiestan con la presencia de características que dependen de los procesos sobre el que se depositó un manto superficial de sedimentos aluviales.

2.4 Geomorfología del área de estudio

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

El valle del río Orinoco, en particular su llanura de inundación, representa una gran zona de avulsión, en donde la dinámica fluvial genera la ocurrencia de procesos de abandono rápido de canales de ríos o cursos de agua y la formación de nuevos cursos de agua. Este proceso ocurre durante las grandes, prolongadas y frecuentes inundaciones del río Orinoco, por lo general, con la energía suficiente para provocar cambios rápidos y temporales en la morfología de la llanura aluvial. En muchas ocasiones, los explayamientos de ruptura que se suceden en las posiciones altas o bancos de la llanura aluvial (diques o albardones de orilla), pueden ocasionar el abandono de canales en los cursos de agua que drenan la llanura de inundación.

El área de estudio presenta un potencial morfodinámico que varía entre baja, a moderado, esta clase de potencial corresponde a la superficie plano- ligeramente inclinado, debido a que los factores de precipitación, cobertura vegetal y pendiente no favorecen los procesos erosivos severos.

Por lo que se concluye que la erosión es de tipo escurrimiento difuso, de intensidad ligera y de modalidad generalizada. Sin embargo, el área conformada por el valle del río Orinoco, se considera una superficie morfodinámicamente activa de

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

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



Figura 2.4 Paisaje del área de estudio.

2.5 Suelos del área de estudio

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

Estos suelos exhiben un avanzado desarrollo pedogenético, debido a los intensos procesos de intemperización, a través de prolongados períodos, actuando sobre una superficie geomorfológica de relativo grado de estabilidad y condiciones

climáticas (bajas precipitaciones y alta temperaturas), que han favorecido la ocurrencia de horizontes de iluviación de arcilla (argílico o kándico).

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

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

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

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes o estudios previos

Bierd, W. y Jimenez, D. (2017), desarrolló un trabajo de grado titulado **“ESTUDIO DE LAS CONDICIONES PLUVIOMÉTRICAS PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE PARA EL CONTROL DE AGUAS PLUVIALES EN LA POBLACIÓN DE TEMBLADOR, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA.”** en el mismo se aplica una investigación de tipo descriptiva cuyo objetivo principal consiste en efectuar una descripción de las características pluviométricas del área ocupada por las cuencas que drenan sus aguas en el centro poblado de Temblador. Dicha investigación servirá de apoyo metodológico en cuanto al análisis de las condiciones climatológicas de la zona de estudio, la construcción de curvas IDF y su validación respectiva. (p.5)

Huarcaya, A. y Márquez, R. (2017), elaboraron en trabajo de grado titulado **“ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IDF PARA LA POBLACIÓN DE EL SALTO EN EL MUNICIPIO MATORIN, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA.”** el cual tenía como objetivo general construir las curvas IDF para la mencionada población. Este trabajo de grado presenta un aporte metodológico significativo a la presente investigación por cuanto presenta las técnicas y procedimientos para la construcción de las curvas IDF lo cual podrá ser utilizado como método en el estudio objeto de este documento. (p.4)

3.2 Bases teóricas

En su obra “Hidrología Aplicada”, el doctor Chow, *et al*, (1994) establece expresamente como parámetros climatológicos hidrológicos vitales que intervienen

en el balance hídrico, los siguientes: precipitación, evaporación. Temperatura, insolación, humedad relativa velocidad de los vientos, el escurrimiento y la infiltración, entre otras.

En ese sentido, se describen a continuación cada una de estas variables.

3.2.1 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 convectivas 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 empiezan 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 dejan 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.1.1 Intensidad-duración y frecuencia de las lluvias.

Las características de las lluvias a considerar en el diseño de obras civiles de drenaje 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 (Chow *et al*, 1994).

- ❖ Frecuencia de las lluvias: 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

$$f = \frac{\text{n}^\circ \text{ de años}}{\text{n}^\circ \text{ de veces}} \quad (3.1)$$

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

- a. Para zonas residenciales, de 2 a 5 años.

- b. Para zonas comerciales y de elevado valor, de 5 a 15 años, dependiendo de su justificación económica.
 - c. Para obras de canalizaciones de cursos naturales, ríos o quebradas, 50 años o más (Chow *et al*, 1994).
- ❖ **Intensidad de las lluvias:** 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/sg/ha o lt/sg/ha. En el diseño de alcantarillados, generalmente se utiliza la unidad lt/sg/ha, sin embargo, muchas estaciones pluviográficas reportan sus datos en mm/h, por lo cual conviene tener presente el factor de conversión:

$$1 \text{ mm/h} = 2,78 \text{ lt/sg/ha} \quad (3.2)$$

La intensidad de la lluvia depende de la duración de ésta, existiendo generalmente una relación inversa entre ellas (Chow *et al*, 1994).

- ❖ **Duración de las lluvias:** 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 (Chow *et al*, 1994).

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)

3.2.1.2 Curva 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).

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:

$$I = (k * T^m) / (d + c)^n \quad (3.3)$$

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 (1994), plantea dos formas de trabajar con las curvas. La primera, utiliza un análisis de frecuencia de la lluvia, considerando para ello una función de distribución de probabilidad de valor extremo como la función Gumbel. El segundo método, expresa las curvas IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una

gráfica. Wenzel (1982), citado por Chow (1994), dedujo para algunas ciudades de los Estados Unidos, algunos coeficientes para utilizarlos en una ecuación (3) de la forma:

$$I = C / (Td^e + f) \quad (3.4)$$

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 (3.5) para estimar las intensidades máximas, para distintos períodos de retorno y duraciones:

$$P_{t,T} = K \cdot P_{10,D} \cdot C_{d,t} \cdot C_{f,T} \quad (3.5)$$

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 (3.6) de precipitación queda dada por:

$$I_{t,T} \text{ (mm/hr)} = P_{t,T} / d \quad (3.6)$$

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 (Chow *et al*, 1994).

Otra forma o método para determinar las curvas IDF, es el 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 se presenta en la figura 3.1.

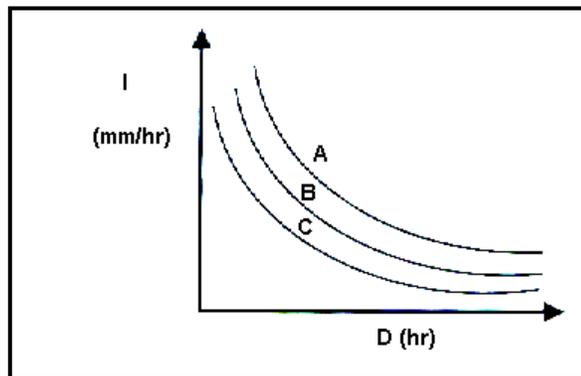


Figura 3.1 Esquema de curvas IDF

Con;

D = Duración en horas.

I = Intensidad de precipitación en mm/hr.

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

$$I = P / D \quad (3.7)$$

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

❖ **Selección de las estaciones pluviográficas**

En la Región hidrológica I de Venezuela (MOP, 1967), la cual incluye al área de estudio de la presente investigación, se deben seleccionar las estaciones climatológicas que se encuentren ubicadas a menos de 80 km de la zona en estudio (de acuerdo a las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial). Para la selección de estas estaciones se tomará como criterio el tipo, cantidad y periodicidad de los datos.

❖ **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 analizan los registros pluviométricos de las estaciones pluviográficas seleccionadas (Joaquín y Temblador – Aeropuerto, en este caso), para lo cual se realizaron diversos muestreos. Se inicia con mediciones de 08:00 hr de la mañana de un día hasta las 08:00 hr. del día siguiente, para una duración de 24 horas; luego, es necesario desplazarse en intervalos de tiempo de forma discreta y estable, utilizando para ello cuñas, con el propósito de ir seleccionando para cada año los valores extremos de precipitación para tiempos de 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas,

analizándose los principales chubascos diferentes observados durante el período analizado. Posteriormente, se toman los valores de cada una de las series y se dividirán por su duración D en (horas), obteniéndose así las intensidades en mm/ hr (Chow *et al*, 1994).

❖ **Ajuste de los datos con una función de distribución de probabilidad**

Una vez calculadas las intensidades máximas horarias de precipitación para cada año, es 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 (3.8) como:

$$F(X) = I P (E \leq X) = e^{-u} \quad ; \quad (3.8)$$

Donde; X es el valor a asumir por la variable aleatoria, u es igual a $e^{-\sigma(X-\mu)}$ y σ , μ son parámetros a estimar en función de los valores de la muestra.

Como medida de bondad de ajuste se utiliza el Coeficiente de Determinación (R^2) (Chow *et al*, 1994).

❖ **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 procede 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 repite la misma operación con el período de retorno T= 5, 10, 25, 50 y 100 años, y para cada una de las estaciones pluviográficas seleccionadas (Chow *et al*, 1994).

❖ **Análisis Estadístico**

Una vez diseñadas las curvas IDF para la estación elegida, se procede 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 (3.9) propuesta por Aparicio (1997), la cual ha sufrido una modificación, quedando expresada de la siguiente forma:

$$I = (K T^m) / (D^n) \quad (3.9)$$

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 (Aparicio, 1997).

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 (3.10):

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D \quad (3.10)$$

Para establecer la calidad de la regresión, se analizan los supuestos de regresión para la función modelada y este análisis debe probar los supuestos de Normalidad, Homocedasticidad y no-Autocorrelación.

Además, se utiliza como medida de bondad de ajuste al Coeficiente de Determinación R^2 y la prueba U de Mann Whitney (Aparicio, 1997).

❖ **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 (Chow *et al*, 1994).

❖ **Análisis Estadístico de las curvas IDF**

Una técnica muy común utilizada para el análisis de frecuencia según el Método de Gumbel (basado en la distribución de valores extremos) es el presentado por Camacho (2004):

Si X_1, X_2, \dots, X_n son valores extremos observados en muestra de tamaño N , cuando n y N tienden a infinito, la probabilidad de ocurrencia de X_n en n años está dada por:

$$J = 1 - P^n \quad (3.11)$$

Siendo:

$$P = e^{-e(-Y)} \quad (3.12)$$

Donde:

E = Base de los logaritmos neperianos

Y = Variable reducida, dependiente de la frecuencia.

Se ha demostrado que la mayoría de las funciones de frecuencia, aplicables al análisis hidrológico, pueden resolverse de la forma generalizada:

$$X = \chi + \sigma_x \cdot K \quad (3.13)$$

Donde:

X = Magnitud de un evento de la frecuencia dada

χ = Promedio de los valores de la muestra de los X_n (valores máximos anuales de lluvia o escurrimiento).

σ_x = Desviación normal

$$\sigma_x = ((X - \chi)^2 / (n - 1))^{1/2} \quad (3.14)$$

K = Factor de frecuencia dependiente del tipo de distribución; para el método de Gumbel:

$$K = (Y - Y_n) / \sigma_n \quad (3.15)$$

Donde Y_n y σ_n son funciones del tamaño de la muestra (número de años de registro) y vienen dados en la tabla 3.1

La forma de frecuencia aplicable al Método Gumbel quedaría:

$$(X = \chi + (\sigma_x / \sigma_n)Y - (\sigma_x / \sigma_n)Y) \quad (3.16)$$

Donde:

σ_x y X se determinan a partir de los datos,

σ_n é Y_n se determinan a partir de la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Valores de \bar{Y}_n y σ_n
(Camacho 2004).

n	\bar{Y}_n	σ_n
7	0.4578	0.9453
10	0.4967	0.9575
11	0.5006	0.9735
12	0.5043	0.9870
13	0.5075	0.9994
14	0.5103	1.0105
15	0.5128	1.0206
16	0.5152	1.0303
17	0.5157	1.0392
18	0.5196	1.0475
19	0.5214	1.0553
20	0.5236	1.0628
21	0.5252	1.0696
22	0.5266	1.0754
23	0.5283	1.0811
24	0.5296	1.0864
25	0.5309	1.0915
26	0.5320	1.0961
27	0.5332	1.1004
28	0.5343	1.1047
29	0.5353	1.1086
30	0.5362	1.1124

Los valores de Y para las distintas frecuencias se presentan en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Valores de Y
(Camacho, 2004).

Tr	Y
2	0.3665
2.33	0.5790
5	1.4999
10	2.2502
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001

Este método se puede implementar aplicando el siguiente procedimiento práctico de operaciones programadas (tabla 3.3) en una hoja electrónica (como por ejemplo Excel):

Tabla 3.3 Secuencia de operaciones para obtener las curvas IDF (Camacho, 2004).

Operaciones		1 hora	3 horas	6 horas	9 horas
1.	ΣX				
2.	N				
3.	$X=(1)/(2)$				
4.	ΣX^2				
5.	$X\Sigma X^2=(1).(3)$				
6.	$(4)-(5)$				
7.	$\sigma_x^2=(6)/(n-1)$				
8.	$\sigma_x=(7)^{1/2}$				
9.	σ_n				
10.	Y_n				
11.	$1/a=(8)/(9)$				
12.	$Y_n/a=(10)/(11)$				
13.	$Y=(3)-(12)$				
14.	$(11) \cdot 0.3665$				
15.	$(11) \cdot 1.499$				
16.	$(11) \cdot 2.2502$				
17.	$(11) \cdot 3.1985$				
18.	$(11) \cdot 3.9019$				
19.	$(11) \cdot 4.6001$				
20.	$X_2=(13)+(14)$				
21.	$X_5=(13)+(15)$				
22.	$X_{10}=(13)+(16)$				
23.	$X_{25}=(13)+(17)$				
24.	$X_{50}=(13)+(18)$				
25.	$X_{100}=(13)+(19)$				

Según el MOP (1967) en Arocha (1983), las curvas de intensidad –duración– frecuencia que se han utilizado para la zona de estudio, se encuentra en la Región hidrológica II, la cual se muestra a continuación en la figura 3.2:

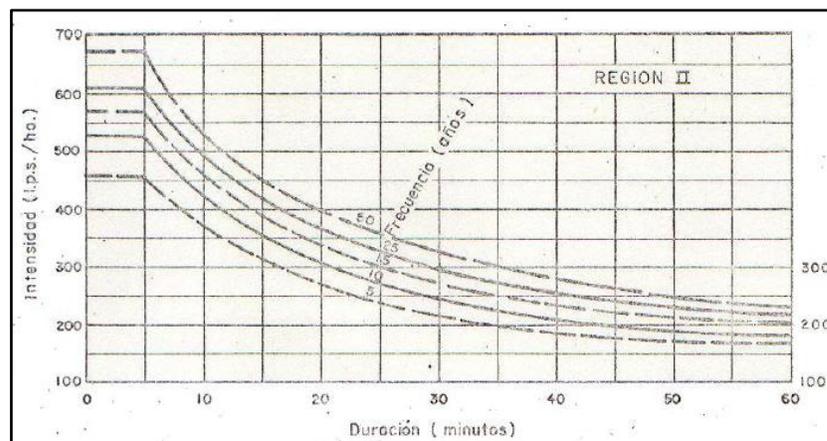


Figura 3.2 Curva IDF de la Región Hidrológica II (MOP, 1967 en Arocha, 1983).

3.2.2 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 (Chow *et al*, 1994)..

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 atmosfera a través de pequeñas aberturas en la 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 (Chow *et al*, 1994).

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 (Chow *et al*, 1994)..

3.2.3 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 (Chow *et al*, 1994).

Antes de que ocurra el escurrimiento superficial, la lluvia debe satisfacer las demandas inmediatas de infiltración, evaporación, intercepción y almacenamientos superficiales (vasos o cauces). Algunas de esas pérdidas son menores, por ejemplo en un cultivo de maíz, que la intercepción es de 0.5 mm (1 mm 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 (Chow *et al*, 1994).

Despreciando la intercepción de la precipitación por la vegetación, el escurrimiento superficial es aquella parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración.

3.2.3.1 Estimación del coeficiente de escorrentía.

Martínez de Azagra & Navarro (1996), establece 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)

Según Bateman (2007), 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 un período de tiempo, dividido por el volumen total precipitado V_p .

$$C = \frac{V_e}{V_p} \quad (3.17)$$

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:

$$C = \frac{V_e/t}{V_p/t} = \frac{Q}{iA} \quad (3.18)$$

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

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 3.4

Tabla 3.4 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 (tabla 3.5), así.

Tabla 3.5 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

Así mismo Camacho (2004), presenta en las tablas 3.6 y 3.7 los siguientes coeficientes de escorrentía.

Tabla 3.6 Coeficientes de escorrentía (Camacho, 2004).

TIPO DE ÁREAS A DRENAR		COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
Comercial	Centro de la ciudad	0,70-0,95
	Áreas vecinales	0,50-0,70
Residencial	Unifamiliares	0,30-0,50
	Multifamiliares separadas	0,40-0,60
	Multifamiliares apareadas	0,60-0,75
	Suburbanas	0,25-0,40
	Áreas de edificios de apartamentos	0,50-0,70
Industria	Industria liviana	0,50-0,80
	Industria pesada	0,60-0,90
Parques y cementerios		0,10-0,25
Áreas deportivas		0,20-0,40
Áreas de patios ferroviarios		0,20-0,40
Áreas no mejoradas		0,10-0,30
Terrenos	Suelo arenosos: hasta 2%	0,05-0,10
	Suelo arenoso: 2 a 7%	0,10-0,15
	Suelo arenoso: 7% y más	0,15-0,20
	Suelo denso: hasta 2%	0,13-0,17
	Suelo denso: 2 a 7%	0,18-0,22
	Suelo denso: 7% y más	0,25-0,35
Calles	Asfalto	0,70-0,95
	Concreto	0,80-0,95
	Ladrillos	0,70-0,85
Veredas y caminos		0,75-0,85
Techos		0,75-0,95

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, la pendiente y de los coeficientes absolutos de cada una. (p. 204) (tabla 3.7).

Tabla 3.7 Coeficiente de escorrentía (C) (Camacho, 2004).

Coeficiente de Escorrentía "C"						
Cobertura Vegetal	Tipo de Suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
			50%	20%	5%	1%
Sin Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque Densa Vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

NOTA: Para zonas que se esperan pueden ser quemadas se debe aumentar los coeficientes así Cultivos: multiplicar por 1,10; Hierba, pastos y vegetación ligera, bosques y densa vegetación: multiplicar por 1,30

3.2.4 Temperatura

Chereque (2003) expresa 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.

3.2.4.1 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.4.2 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.4.3 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.4.4 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.5 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.5.1 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 (Chow et al, 1994).

3.2.6 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 (Chow et al, 1994).

3.2.6.1 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.6.2 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.6.3 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) (Chow *et al*, 1994).

3.2.7 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) (Chow *et al*, 1994).

3.2.8 Infiltración

En relación a la infiltración, 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 (Chow *et al*, 1994).

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 que afectan la capacidad de infiltración:

3.2.8.1 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.8.2 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.8.3 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.8.4 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.8.5 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.8.6 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 (Chow *et al*, 1994).

3.2.8.7 Estimación del coeficiente de infiltración

Schosinsky y Losilla (2000) señalan que en 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:

$$C = K_p + K_v + K_{fc} \quad (3.19)$$

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.

3.2.9 Caudales de drenaje

Erazo (2004), señala que 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.

3.2.10 Caudal aportado por una cuenca

Arocha (1983), afirma que 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.

3.2.10.1 Tiempo de concentración

Arocha (1983), menciona que 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:

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3.20a)$$

Donde:

Tc : Tiempo de concentración en minutos

L : Longitud del cauce más largo en metros

H: La diferencia de elevación entre el punto más remoto de la cuenca y la salida de la misma en metros.

O por su variante:

$$Tc = ((0,886 \times L^3) / H)^{0,385} \quad (3.20b)$$

Donde:

Tc :Tiempo de concentración en horas

L : Longitud del cauce más largo (Km)

H : Diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal (m).

3.2.10.2 Métodos de estimación del caudal

La determinación del gasto de diseño para un sistema de recolección de aguas de lluvia en zonas pobladas o rurales atiende generalmente al Método Racional o al Método del Hidrograma Triangular Unitario SCS.

- ❖ **Método Racional:** asume que el caudal máximo que se acumula en un determinado punto, como consecuencia de la escorrentía de aguas pluviales está expresado por la ecuación:

$$Q = C \times I \times A \quad (3.21)$$

Dónde:

Q= Caudal en lt/s.

C= Coeficiente de esorrentía.

I= Intensidad de lluvia (lt/s/ha) de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.

A= Área de la cuenca en ha.

O por su variante:

$$Q = (C \times I \times A) / 360 \quad (3.22)$$

Donde:

Q = Caudal máximo en m³/s

C= Coeficiente de esorrentía

I = Intensidad de lluvia en mm/h de duración igual al tiempo de concentración (T_c) de la cuenca.

A= Área de la cuenca en ha

Consideraciones:

- a. El pico de flujo se obtiene cuando toda el área está contribuyendo.
- b. La intensidad de la lluvia es la misma sobre toda el área de escurrimiento (i=cte).
- c. Esta intensidad permanece constante durante la duración de la lluvia y esta última se toma igual al tiempo de concentración (Dur=T_c).
- d. El período de retorno del pico de creciente se considera igual al período de retorno correspondiente al de la intensidad de la lluvia (Una intensidad de lluvia cuyo período de retorno es de 10 años, produce un caudal pico cuyo período de retorno es de 10 años).
- e. El coeficiente de esorrentía permanece constante para todas las lluvias y períodos de retorno.

El coeficiente de esorrentía es constante con el tiempo, ignora el efecto de almacenamiento o retención temporal en las superficies, conductos y cauces, el cual es mayor mientras más impermeable sea el área; por lo tanto el coeficiente de esorrentía sólo será constante para áreas impermeables, luego a menor extensión del área de escurrimiento, los valores obtenidos para los caudales son más precisos (Camacho, 2004).

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. (Arocha, 1983)

Se fundamenta en el modelo estadístico de valores extremos de Gumbel. Esta fórmula empírica, por su simplicidad, es utilizada para el cálculo de alcantarillas, galerías de aguas pluviales, estructuras de drenaje de pequeñas áreas, a pesar de presentar algunos inconvenientes, superados por procedimientos de cálculo más complejos. También se usa en ingeniería de carreteras para el cálculo de caudales vertientes de la cuenca a la carretera, y así poder dimensionar las obras de drenaje necesarias, siempre que la cuenca vertiente tenga un tiempo de concentración no superior a 6 horas y un área menor a 500 ha.

- ❖ **Método del Hidrograma Unitario:** si se mide el gasto (que se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo) que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se obtendría una gráfica como la presentada en la figura 3.3.

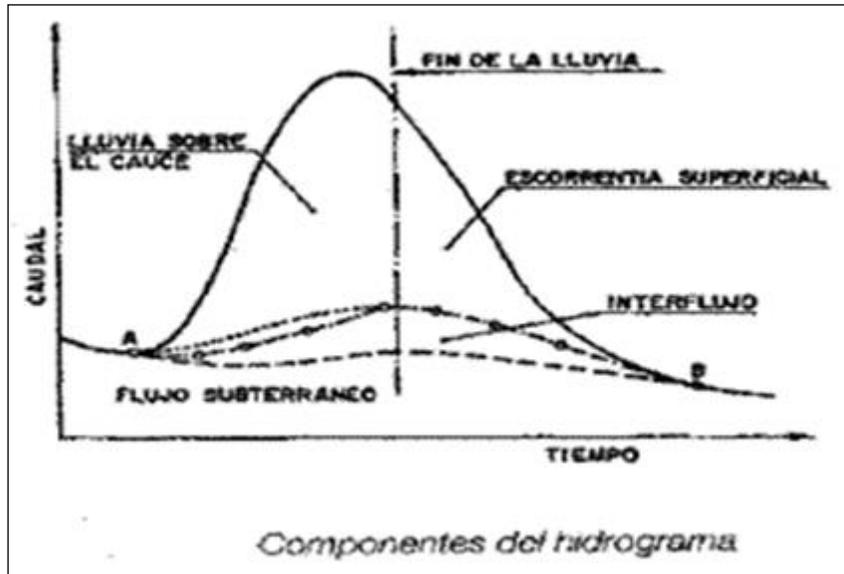


Figura 3.3. Hidrograma típico aislado (Aparicio, 2001).

El hidrograma final de escurrimiento de una cuenca es el resultado de la sumatoria de todos los hidrogramas parciales de las subcuencas infinitesimales que la conforman, modificados por efecto del almacenamiento, mientras se baja a través de la superficie de la cuenca y de sus cauces. Si las características físicas de una cuenca tales como su forma, tamaño, cobertura y pendientes, permanecen constantes, las lluvias efectivas de características semejantes producirán hidrogramas de forma similar y magnitudes de gastos proporcionales a dichas lluvias.

Estas observaciones pueden expresarse así: si sobre una misma cuenca ocurriesen dos tormentas distribuidas en forma similar en el espacio y en el tiempo, los hidrogramas resultantes de cada una de ellas serán de la misma forma, con la única diferencia de que los gastos serán proporcionales a la respectiva lámina escurrida. La duración efectiva de la precipitación que realmente genera escurrimiento, es un factor fundamental por cuanto si ella se incrementa se alargará el hidrograma y se reducirá su pico o viceversa. En consecuencia, aun manteniendo

todos los factores constantes, existe un hidrograma para cada duración efectiva de la lluvia. Basándose en el concepto anterior, se estableció la definición de hidrograma unitario para una duración efectiva dada de la lluvia de una determinada cuenca, como aquél cuya lámina escurrida es 1 mm.

En la cuenca resulta casi imposible encontrar tormentas con una distribución más o menos uniforme. Imposibilidad que se acentúa a medida que la extensión de ella se hace mayor. La obtención de un hidrograma unitario para cuencas con registros fluviométricos es sencilla. Para obtener el hidrograma total generado por una tormenta base se seguirán los siguientes pasos:

Se calcula la lluvia efectiva y se la divide en intervalos de tiempo (t_u) de intensidad aproximadamente constante.

Se calcula el hidrograma unitario tal que su duración (t_h) sea igual a (t_u).

Se multiplican los gastos del hidrograma unitario por la lluvia total efectiva de cada intervalo.

Se suman los hidrogramas obtenidos en la fórmula del método racional, desplazados entre sí. Esta suma dará como resultado el hidrograma total (Bolinaga y Franceschi, 1980).

Método del Hidrograma Triangular: La característica más resaltante del Hidrograma Unitario Adimensional del SCS es que tiene un volumen de escorrentía acumulado del 37.5% hasta el gasto máximo (q_p), para un tiempo al pico (T_p). Este hidrograma puede ser representado por un Hidrograma triangular equivalente en las mismas unidades, el cual tiene en su lado ascendente hasta el gasto pico (q_p) un volumen de escorrentía acumulado del 37.5%.

La figura 3.4 representa el Hidrograma Triangular Unitario obtenido por el Soil Conservation Service, en donde:

q_p = Caudal unitario pico en $m^3/s/mm$.

A = Área de la cuenca en km^2 .

T_p = Tiempo al pico en horas = $0.67T_c$.

T_c = Tiempo de concentración en horas.

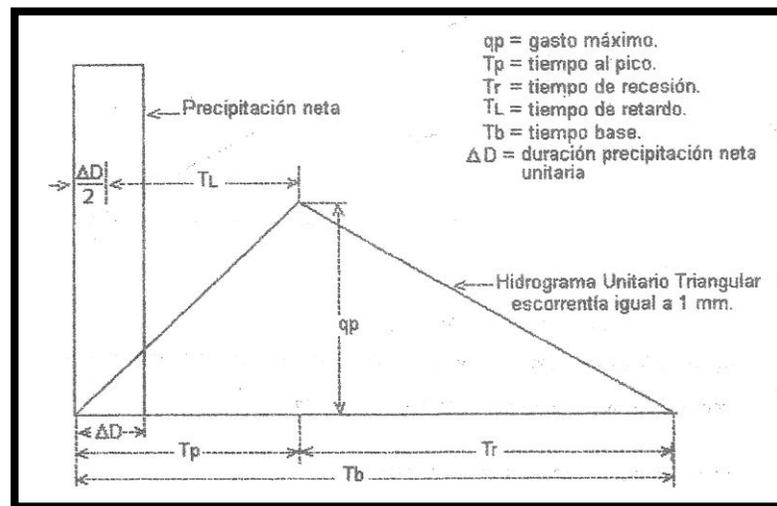


Figura 3.4 Hidrograma Unitario Triangular. (Camacho, 2004).

Encontrándose que:

$$q_p = 0.208 \cdot A/T_p \text{ (m}^3\text{/s.mm)} \quad (3.23)$$

Conociendo la precipitación efectiva: P_e (mm) podemos obtener el caudal pico (m^3/s), aplicando la expresión:

$$Q_p = q_p \cdot Pe \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (3.24)$$

También se conoce que el valor de:

$$AD = T_c/7.5 \text{ (min)} \quad (3.25)$$

$$T_p = T_c/1.5 \text{ (min)} \quad (3.26)$$

Para el tiempo base del hidrograma T_b se tiene la siguiente ecuación:

$$T_b = T_p + T_r \quad (3.27)$$

El tiempo de ocurrencia del pico a su vez puede ser expresado en función de la duración de la precipitación neta unitaria y el tiempo de retardo:

$$T_p = (AD/2) + T_L \quad (3.28)$$

El Hidrograma Unitario Triangular equivalente, puede ser representado a su vez por dos triángulos denominados A_1 y A_2 .

Tomando como base que el volumen de escorrentía en el triángulo A_1 es del 37.5%, se tiene que el volumen de escorrentía en el triángulo A_2 es de 62.5% (figura 3.5).

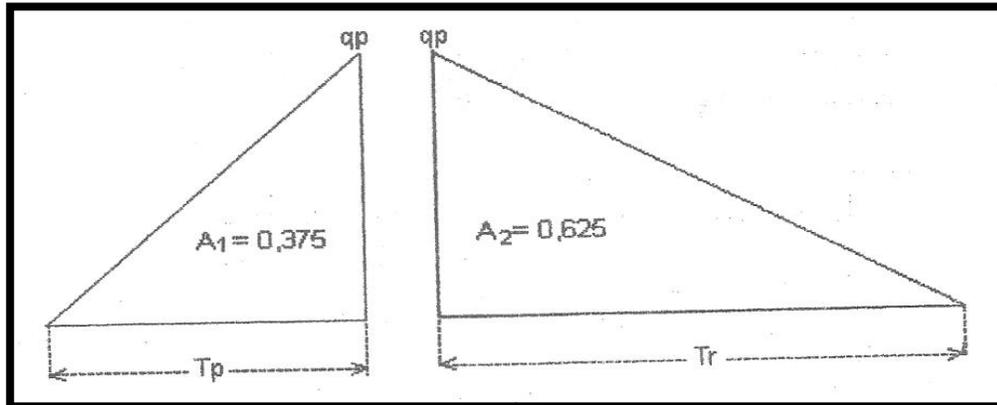


Figura 3.5 Representación gráfica del Hidrograma Unitario Triangular como la suma de dos triángulos A_1 y A_2 (Camacho, 2004).

De acuerdo con la geometría de los triángulos tenemos:

$$\text{Área del triángulo } A_1 = (T_p + q_p) / 2 = 0.375 \quad (3.29)$$

$$\text{Área del triángulo } A_2 = (T_r + q_p) / 2 = 0.675 \quad (3.30)$$

Resolviendo las ecuaciones (3.29) y (3.30) se tiene la siguiente relación entre T_r y T_p :

$$T_r = 1.67 T_p \quad (3.31)$$

Sustituyendo la ecuación (3.31) en la ecuación (3.30) tenemos para el tiempo base:

$$T_b = 2.67 T_p \quad (3.32)$$

Por definición el volumen total de escorrentía Q bajo la curva del Hidrograma Unitario Triangular es igual a 1 mm y de acuerdo a las ecuaciones podemos expresarlo como sigue:

$$Q = (q_p/2) (T_p + T_r) \quad (3.33)$$

$$q_p = 2Q / (T_p + T_r) \quad (3.34)$$

Efectuando un cambio de variable:

$$K = 2 / (1 + T_r/T_p) \quad (3.35)$$

Tenemos que

$$q_p = KQ/T_p \quad (3.36)$$

Q está en unidades de mm y el tiempo T_p en horas. Realizando la conversión de unidades de mm/hora a $m^3/s/mm$, incluyendo el área de drenaje A en km^2 , la ecuación (3.36) se transforma en:

$$q_p = KQ / 3.6 T_p \quad (3.37)$$

Sustituyendo la ecuación se obtiene un valor de $K = 0.75$, entonces la ecuación se transforma en:

$$q_p = 0.208 A / T_p \quad (3.38)$$

q_p en unidades de $m^3/s/mm$.

Dado que el volumen de escorrentía en el lado ascendente del Hidrograma Unitario Triangular, es igual al del lado curvilíneo del Adimensional, se concluye que el factor de gasto pico 0.208 de la ecuación, es válido para el Hidrograma Triangular Adimensional de SCS.

Cualquier modificación en el Hidrograma Unitario Adimensional que conlleve cambios en el porcentaje del volumen de escorrentía bajo su rama ascendente producirá variaciones en el factor de forma asociado al Hidrograma Unitario Triangular, y por lo tanto el tiempo de recesión T_r y la constante K también cambiará.

Para las cuencas analizadas por el SCS, el factor del gasto pico varió desde un valor de 0,258 en zonas de pendiente empinada, hasta un valor de 0.129 en terrenos muy planos.

De lo anterior, se deduce que si se utiliza un Hidrograma Unitario Adimensional diferente al derivado por el SCS, el factor de gasto pico cambia de valor y por consiguiente, dicho caudal será distinto del que se obtiene con la ecuación (3.38) (Camacho, 2004).

3.2.11 Parámetros morfométricos de una cuenca

Consiste en la obtención de los parámetros que ayudan a definir el comportamiento hídrico de una subcuenca, tales como:

3.2.11.1 Área

Corresponde a toda la superficie drenada por la microcuenca, la cual intercepta el cauce principal en un punto de interés. Se mide en km^2 .

3.2.11.2 Perímetro

Corresponde a la medida longitudinal en km de la línea divisoria o parteaguas.

3.2.11.3 Longitud Axial

Se expresa en km y es la distancia en línea recta medida desde la desembocadura del colector principal hasta el punto más alejado de la micro-cuenca.

3.2.11.4 Longitud del Cauce

Se refiere al recorrido en km del cauce principal de la micro-cuenca, desde su nacimiento hasta el punto de cierre. En el caso de que las cabeceras del cauce estén fuera del área de estudio, esta longitud se referirá únicamente al recorrido localizado dentro del área.

3.2.11.5 Factor forma (Ff)

Es un índice de la tendencia de las crecientes de los ríos. Dos cuencas que tengan igual área y semejantes características fisiográficas e iguales condiciones de precipitaciones, pero factores formas diferentes, presentarán diferentes crecientes. La cuenca que presente un valor del factor forma cercano a 0,785 (Ff de cuenca circular), será más propensa a producir crecientes mayores (tabla 3.8).

$$Ff = A / (Lax)^2 \quad (3.39)$$

Donde

A = Área de la cuenca (Km²)

Lax = Longitud Axial (Km)

Tabla 3.8 Valores interpretativos del factor forma (Pérez, 1979).

Valores Aproximados	Forma de la Cuenca
> 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.300	Alargada
0.300 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.450	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente Ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy Ensanchada
> 1.200	Rodeando el Desagüe

3.2.11.6 Coeficiente de Compacidad (Kc)

Consiste en comparar el perímetro de la cuenca receptora con el de un círculo que tuviera su misma superficie:

$$Kc = 0,282 (P/A^{1/2}) \quad (3.40)$$

Donde

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Kc= Siempre mayor que 1. Mientras mayor sea su valor, mayor será la irregularidad de la forma circular.

3.2.11.7 Pendiente Media del Cauce Principal (Sm)

La pendiente de los ríos influye directamente sobre la velocidad de sus aguas, es una característica muy importante para analizar la respuesta de la cuenca.

El cálculo de la pendiente media del cauce principal se realizó utilizando la fórmula para cuencas relativamente llanas:

$$S_m = (H^M - H^m) / 1000 * L \quad (3.41)$$

Donde:

S_m = Pendiente media del cauce principal (m/km)

$(H^M - H^m)$ = Desnivel del cauce principal (m)

L = Longitud del cauce principal (Km)

3.2.11.8 Pendiente media de la cuenca (S_c)

En la medida en que los valores de este parámetro se incrementan mayor será la posibilidad de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa en aquellas cuencas que presenten valores altos de pendientes, caso contrario ocurre cuando la pendiente media del cauce principal y la pendiente media de la cuenca presentan valores bajos, los cuales contribuyen a que los picos de crecidas sean menos violentos.

$$S_c = \left(\frac{\sum l_i * e_q}{A} \right) 100$$

Donde:

S_c = Pendiente media de la cuenca

$\sum l_i$ = Sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel en km

E_q = Equidistancia entre curvas en km. Por ejemplo en un mapa a escala 1:25000 la equidistancia será igual 0.1 Km, debido a la separación de las curvas cada 100 metros.

A= Área de la cuenca en Km²

Tabla 3.9 Valores interpretativos de la pendiente de la cuenca (Pérez, 1979).

Pendiente media (%)	Terrenos
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

3.3 Definición de términos básicos

3.3.1 Anemómetro

Instrumento que sirve para medir la velocidad o la fuerza del viento (Real Academia Española. 2012)

3.3.2 Atmósfera

Es la capa gaseosa que rodea al planeta tierra formada por aire (Chow *et al*, 1994).

3.3.3 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).

3.3.4 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 (Chow *et al*, 1994).

3.3.5 Cauce

Lecho de los ríos y arroyos (Real Academia Española. 2012)

3.3.6 Cuenca

Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar (Real Academia Española. 2012).

3.3.7 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).

3.3.8 Ciclo Hidrológico

Circulación general del agua desde los océanos a la atmosfera, de esta al suelo y de aquí al océano (Chow *et al*, 1994).

3.3.9 Coeficiente

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

3.3.10 Coeficiente 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).

3.3.11 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 (Chow *et al*, 1994).

3.3.12 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).

3.3.13 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).

3.3.14 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)

3.3.15 Impermeabilidad

Característica de un cuerpo que no puede ser atravesado por un fluido (Chow *et al*, 1994).

3.3.16 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).

3.3.17 Orografía

Parte de la geografía física que trata de la descripción de las montañas ((Real Academia Española. 2012)

3.3.18 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 (Chow *et al*, 1994).

3.3.19 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 (Chow *et al*, 1994).

3.3.20 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).

3.3.21 Termógrafo

Aparato que registra gráficamente la temperatura (Real Academia Española, 2012)

3.3.22 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)

3.3.23 Variable

Es una propiedad o elemento que puede tomar valores (Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú, 2011).

3.3.24 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, (Chow *et al*, 1994).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo de investigación

De acuerdo a 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”.

Se afirma que la presente investigación es descriptiva por cuanto se darán las características de la pluviosidad desde el punto de vista estadístico y de sus implicaciones físicas sobre el área de estudio.

4.2 Diseño de investigación

4.2.1 Investigación de campo

Según los autores Palella y Martins (2010), definen: 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)

Esta investigación es de campo ya que los datos topográficos serán tomados directamente de la zona de estudio.

4.2.2 Investigación documental

Según el autor Arias, F. (2012), define que 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)

Asimismo, se dice que es una investigación documental porque la información climatológica será obtenida directamente del Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología (INAMEH) y la representación geo-referenciada de los eventos se realizará por medio del apoyo de documentos (cartas, planos, mapas) provenientes de los entes competentes.

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

La población según Balestrini, M. (1997), se define como "cualquier conjunto de elementos de lo 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 urbanizar susceptible de captar aguas pluviales.

4.3.2 Muestra de la investigación

La muestra según Balestrini, M. (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.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas para la 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 a utilizar para la recolección de datos.

4.4.1.1 Observación directa

Según Arias, F. (2006), la observación “es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno y situación que se produzcan en la naturaleza o en la sociedad, en función a los objetivos de investigación preestablecidos”.

4.4.1.2 Revisión bibliográfica

Para el desarrollo de este proyecto es necesario acudir a fuentes bibliográficas que permitan ampliar los conocimientos hacer del tema en estudio.

Esta técnica se basa en la obtención de información mediante la revisión de material bibliográfico tales como: tesis, texto, manuales de la organización, e informes.

4.4.2 Instrumentos para la recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos incluyen la utilización de los siguientes:

1. Computadora,
2. Calculadora,
3. Gps,
4. Cámara fotográfica,
5. Impresora,
6. Fotocopiadora,
7. Memoria magnética portátil (pendrive),
8. Papelería y artículos de oficina,
9. Internet,
10. Programas de ofimática,
11. Programas de diseño asistido por computador y de estadística; entre otros.

4.5 Flujograma de la investigación

A continuación en la figura 4.1 se presenta el flujograma de actividades que corresponde a esta investigación:

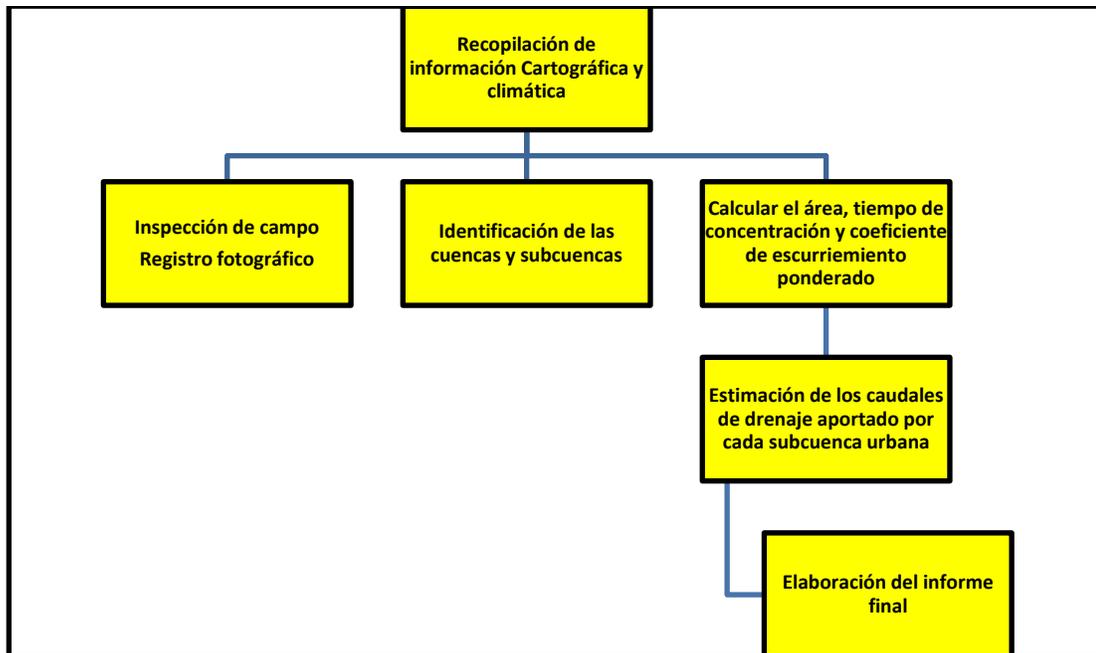


Figura 4.1 Flujograma de actividades.

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

4.6.1 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, hidrológica, entre otras. Por otra parte se recopiló la información cartográfica de la zona.

4.6.2 Identificar las subcuencas hidrológicas urbanas del área de estudio

Con base al diseño del urbanismo S-1 de la población de Soledad en el estado Anzoátegui se delimitan las cuencas y subcuencas de la zona de estudio que estarían afectadas por las precipitaciones del área y que drenarían sus aguas de escorrentía en los futuros canales de drenaje que se diseñen.

4.6.3 Caracterización climatológica del área de estudio

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.

4.6.4 Determinación del coeficiente de escorrentía ponderado para las subcuencas

Considerando el tipo de cobertura de los suelos y el área afectada por tales coberturas en la zona urbana (según sea pavimento, zona verde, viviendas, área comercial, etc.) se determinará el coeficiente de escorrentía ponderado.

4.6.5 Estimación de los caudales aportados por las subcuencas urbanas

Para ello se utilizará el método racional, calculando las intensidades de lluvia mediante las curvas IDF existentes.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Características climáticas generales de la zona de estudio

El área de estudio está conformada por una superficie actual de 131,87 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 las estaciones meteorológicas Macagua y Puerto Ordaz, cuyos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y CORPOELEC. En la tabla 5.1, se muestran las características de las estaciones mencionadas.

Tabla 5.1 Características de las estaciones climatológicas utilizadas (INAMEH, 2017).

Estación	Tipo	Serial	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Organismo
Macagua	C1	8106	08°17'29''	62°39'21''	79	CORPOELEC
Puerto Ordaz R-A	C2	3813	08°19'00''	62°43'00''	51	INAMEH

El área del proyecto se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge.

En el área de estudio se recibe una pluviosidad promedio alrededor de los 1.088 mm anuales, la temperatura media anual oscila alrededor de los 27°C y su

evaporación promedio supera los 2.200 mm por año. De acuerdo con esto, el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi), caracterizado por presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, con una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C.

5.1.1 Precipitación

El valor promedio anual de precipitación para la zona del proyecto es de 1.100 mm, el cual fue estimado a partir de los promedios anuales de las estaciones localizadas alrededor del área de estudio. En la tabla 5.2, se muestran los promedios mensuales y el total anual de precipitación para el período 1950-2011; con base en ellos se elaboraron las figuras 5.1 y 5.2.

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 (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 más del 54% 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).

Tabla 5.2. Precipitación media mensual y anual (mm). Período 1950-2011 (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Macagua	47,2	41,5	23,3	31,3	130	232,7	242,2	181,1	97,1	110,4	111,8	90,5	1.317
Puerto Ordaz R-A	36,3	27,3	21,5	28,7	89,9	179,3	162,6	133,9	83,7	81,6	83,2	69,3	997,4

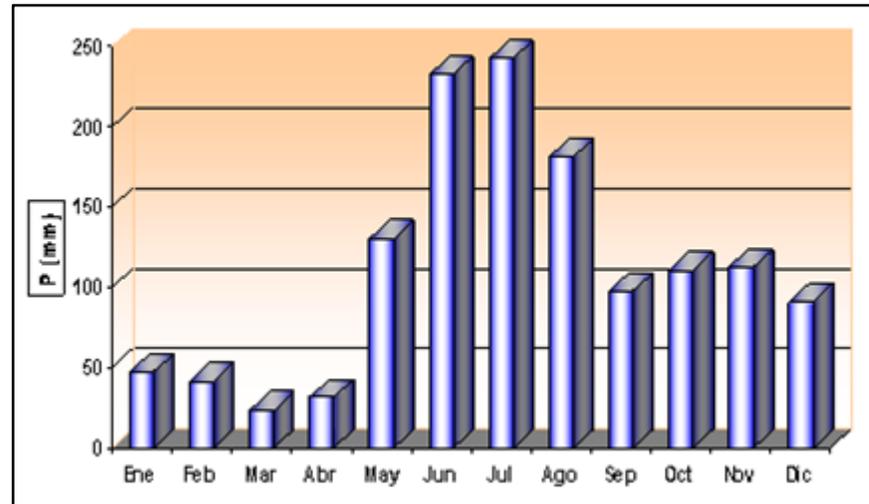


Figura 5.1 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Macagua (Corpoelec, 2017).

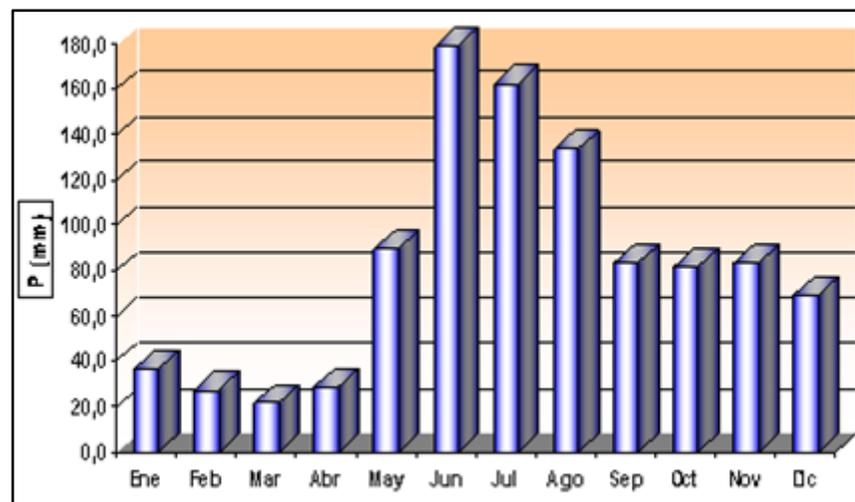


Figura 5.2 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).

5.1.2 Evaporación

La evaporación promedio anual en la zona es bastante elevada, esto es alrededor de 2.150 mm/ año. Esta variable climática no tiene una oscilación anual de alto rango, sin embargo es posible diferenciar en su comportamiento temporal, dos

épocas donde ocurren los valores más altos, lo cual casi coincide con las épocas de equinoccio de primavera y otoño.

En estos meses (marzo y octubre) ocurren altas temperaturas, mayor cantidad de horas de brillo solar, baja humedad relativa, así como, un aumento de la velocidad del viento. Por otra parte, la evaporación registra sus valores más bajo durante los meses de julio y diciembre, es decir en las épocas de mayor pluviosidad y menor temperatura respectivamente.

En la tabla 5.3, se indican los promedios mensuales, así como el valor total medio anual de las estaciones Macagua y Puerto Ordaz R-A y las figuras 5.3 y 5.4 muestran el comportamiento anual de dicha variable.

Tabla 5.3. Evaporación media, mensual y anual (mm). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Macagua	175	196	251	254	212	162	159	162	184	192	162	155	2.249
Puerto Ordaz R-A	173	182	225	219	197	149	157	158	177	183	173	149	2.139

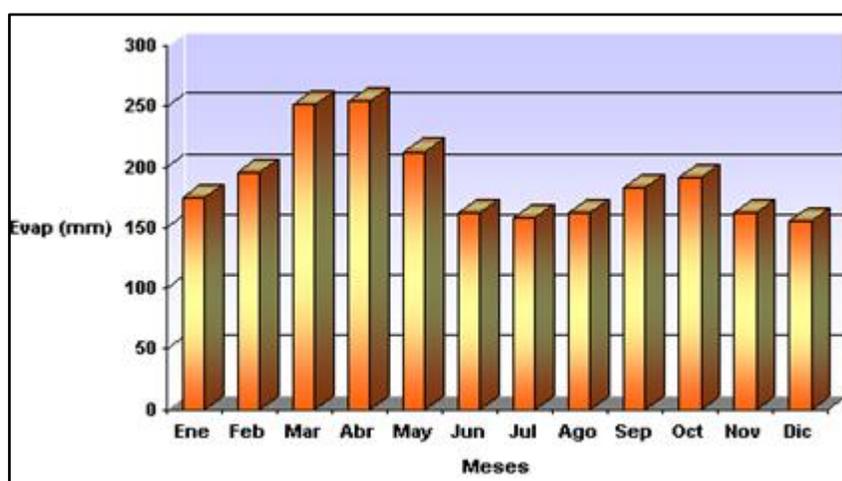


Figura 5.3. Variación anual de la evaporación (mm). Estación Macagua (CORPOELEC, 2017).

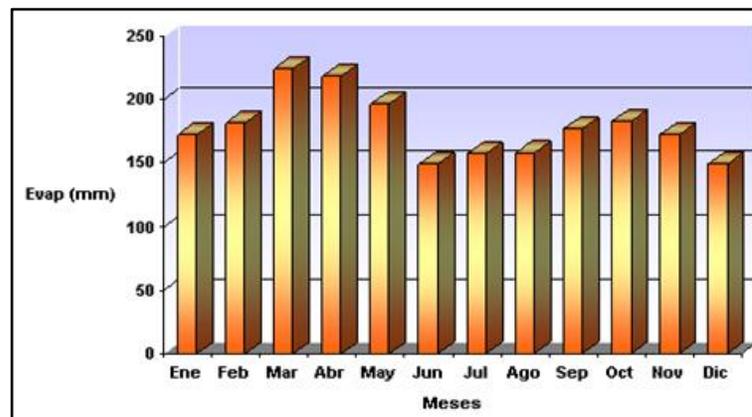


Figura 5.4 Variación anual de la evaporación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).

5.1.3 Temperatura

En la zona, la temperatura promedio anual está entre 26,4 °C y 27,4° C. Por encontrarse en la zona tropical, se cumple la condición de isoterma, 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 5.4, se indican los valores medios de temperatura para la estaciones Macagua y Puerto Ordaz R-A. Con base en dichos valores se elaboraron las figuras 5.5 y 5.6 que muestran el comportamiento anual en las estaciones mencionadas.

Tabla 5.4 Temperatura máxima, media y mínima (°C). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Estadístico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Macagua	Máxima Media	33,8	34,4	35,6	36,4	36,2	34,2	33,4	34,5	35,0	35,1	34,8	33,5	34,7
	Media	26,2	26,8	28,9	29,2	27,5	26,9	26,5	27,0	28,9	27,9	27,3	27,3	27,4
	Mínima Media	18,7	18,8	19,4	20,3	20,8	20,6	20,5	20,6	20,7	20,4	20,5	19,5	20,1
Puerto Ordaz	Máxima Media	31,1	32,0	32,9	33,4	33,1	31,4	31,4	32,1	33,0	33,1	32,7	31,2	32,3
	Media	25,5	25,8	26,8	27,4	27,4	26,4	25,9	26,3	26,7	26,8	26,4	25,3	26,4
	Mínima Media	21,3	21,0	22,0	22,7	23,1	23,0	22,0	21,8	21,6	21,7	21,7	21,0	22,0

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.

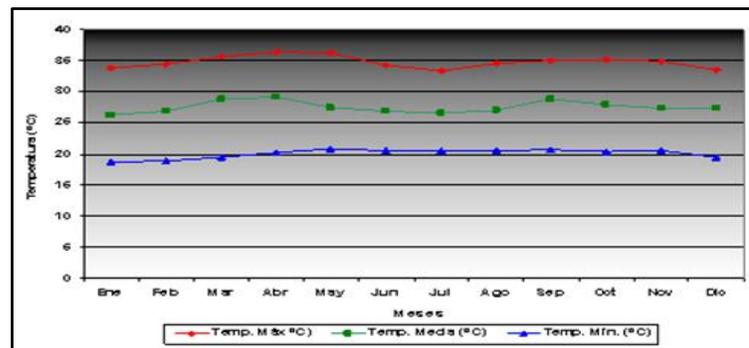


Figura 5.5 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Macagua. (CORPOELE, 2017).

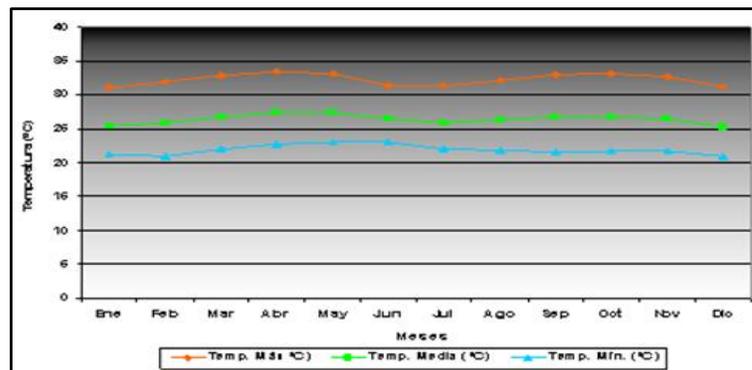


Figura 5.6 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Puerto Ordaz R-A (INAMEH, 2017).

5.1.4. 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.

Con base en las estaciones cercanas a la zona se estima que el área del proyecto recibe una insolación media anual alrededor de 7,1 horas de sol.

Los valores más altos ocurren en los meses de enero a marzo y un segundo pico menos importante ocurre en los meses de septiembre y octubre. Los menores valores de brillo solar ocurren durante los meses junio y diciembre, lo que demuestra la alta nubosidad presente en la zona en dichos meses, por la temporada de lluviosa. (tabla 5.5 y figuras 5.7 y 5.8).

Tabla 5.5. Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Macagua	6,7	7,5	7,6	7,4	6,9	5,7	6,4	7,0	7,9	7,8	7,4	6,9	7,1
Puerto Ordaz R-A	7,3	7,5	7,6	7,0	7,0	6,1	6,8	7,1	7,8	7,8	7,8	6,9	7,2

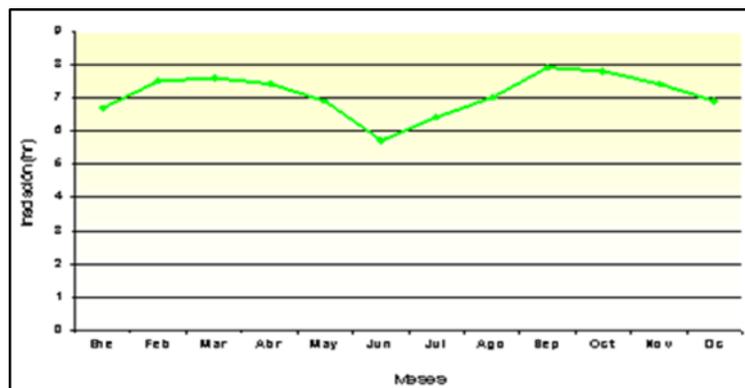


Figura 5.7 Variación anual de la insolación (horas). Estación Macagua (CORPOELEC, 2017).

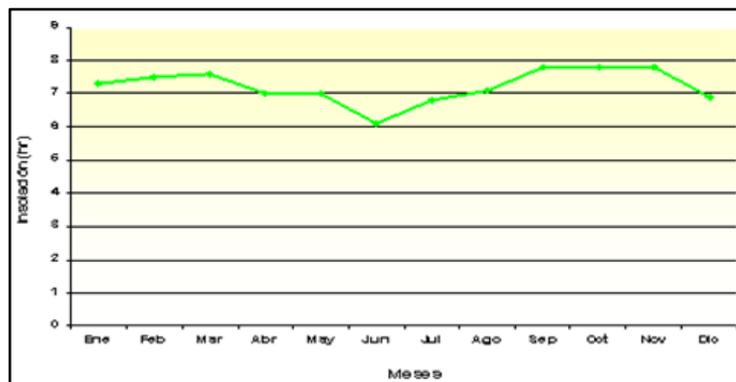


Figura 5.8 Variación anual de la insolación (horas). Estación Puerto Ordaz (INAMEH,2017).

5.1.5 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual está por el orden del 75 %, según los datos de las estaciones Macagua y Puerto Ordaz R-A.

En la tabla 5.6, se presentan los valores medios mensuales y anuales de humedad relativa para dichas estaciones y en las figuras 5.9 y 5.10 se muestra su distribución en el año.

De acuerdo a ello, se observa que la humedad relativa media mensual alcanza su mayor valor (82%), en el mes de máxima precipitación (julio-agosto), y el mínimo durante los meses de marzo y abril (66%).

Tabla 5.6. Humedad relativa media mensual y anual (%). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Macagua	76	72	66	63	71	80	82	80	77	76	79	80	75
Puerto Ordaz R-A	75	71	67	66	72	80	81	82	77	76	78	78	75

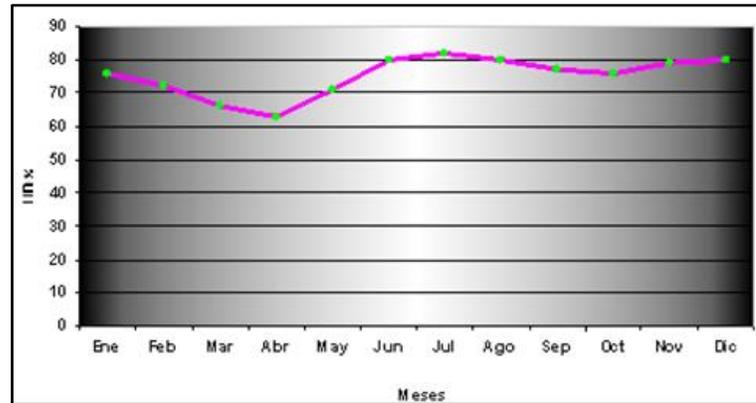


Figura 5.9 Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Macagua. (CORPOELEC, 2017).

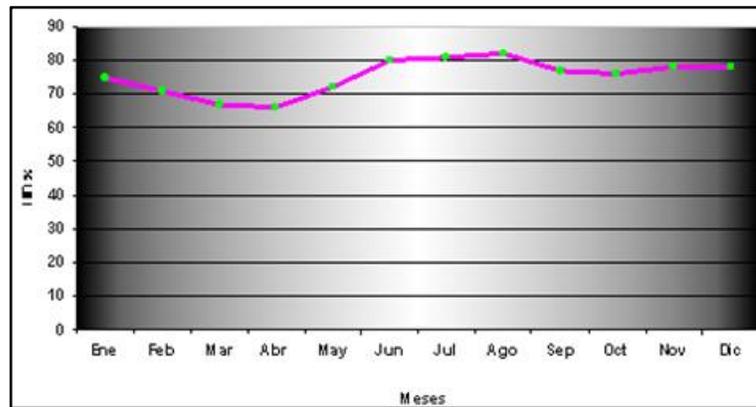


Figura 5.10 Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Puerto Ordaz. (INAMEH, 2017).

5.1.6 Vientos

La velocidad media anual del viento, estimada para la zona, está cerca de los 1,8 km/h, con dirección prevaeciente este-noreste (ENE), mayor en abril y más baja en agosto. En la tabla 5.7, se muestran los datos de las estaciones del área y en la figura 5.11 se presenta su distribución anual.

Tabla 5.7. Velocidad media mensual y anual del viento (m/s). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Macagua	2,2	2,7	2,5	2,9	2,1	1,4	1,2	1,1	1,3	1,4	1,4	1,7	1,8



Figura 5.11 Variación anual de la velocidad del viento (m/s). Estación Macagua. (CORPOELEC, 2017).

5.2 Identificación de las cuencas y subcuencas urbanas

Para el cálculo del caudal de diseño será necesario delimitar el área para la cual el mismo estará en capacidad de recolectar, por lo tanto la forma mas practica de determinar estos caudales es haciendo una repartición del caudal total del urbanismo en función de su área, al delimitar el área a servir por cada tramo podemos obtener el caudal de diseño correspondiente la cuenca y subcuencas.



Figura 5.12 Area de la cuenca.

Tabla 5.8 Area total de la cuenca

Zona	Área	
	ha	m ²
Residencial	6.42	64200
Pavimento	10.92	109205
Vegetación	0.89	8920
Total	18.23	182325



Figura 5.13 Area de los ramales secundarios.



Figura 5.14 Direcciones de flujo en cada ramal.

Tabla 5.9 Area de los Ramales secundarios.

Ramal	Zona	Área		Área total	
		ha	m ²	ha	m ²
Naranja	Residencial	3.2038	32038	6.7162	67162
	Pavimento	1,3451	13451		
	Vegetación	0.1673	1673		
Verde	Residencial	1.8025	18025	2.0694	20694
	Pavimento	2.1554	21554.1		
	Vegetación	0.1115	1115		
Azul	Residencial	3.2078	32078	7.4814	74814.5
	Pavimento	4.0362	40362.5		
	Vegetación	0.2574	2574		

5.3 Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado

Para el cálculo o determinación del coeficiente de escorrentía se considerarán los criterios dados por Aparicio (2001) de acuerdo a la zonificación del uso de la tierra.

Para esta investigación se tomó un valor medio entre el mínimo y máximo que aparecen en la tabla 5.10.

Tabla 5.10 Coeficientes de escurrimiento según la zona

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0,50	0,70
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	0,50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	0,60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	0,75
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	0,40
Zonas industriales espaciadas	0,50	0,80
Zonas industriales densas	0,60	0,90
Parques	0,10	0,25
Zonas deportivas	0,20	0,35
Estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril	0,20	0,40
Zonas suburbanas	0,10	0,30
Calles asfaltadas	0,70	0,95
Calles hormigonadas	0,70	0,95
Calles adoquinadas	0,70	0,85
Aparcamientos	0,75	0,85
Techados	0,75	0,95
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0,05	0,10
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,10	0,15
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0,15	0,20
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0,13	0,17
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0,18	0,22
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	0,25	0,35

Para las zonas residenciales (6.42 ha) el coeficiente de escurrimiento seleccionado fue 0.60, para zonas verdes o parques (0.892 ha) el coeficiente fue de 0.20 y para las zonas o calles asfaltadas o pavimentadas (10.92 ha) el coeficiente que se seleccionó fue de 0.825. como en la mayoría de las parcelas se tenía zona residencial, pavimentadas y áreas verdes el coeficiente de escurrimiento se ponderó utilizando la siguiente fórmula:

$$C_p = ((\text{Area 1} * C_e 1) + (\text{Area 2} * C_e 2)) / \text{Area total} \quad (5.1)$$

En ese orden de ideas podemos considerar que el coeficiente de escorrentía ponderado es de 0.715

5.4 Caudales de escorrentía superficial aportadas por las cuencas y subcuencas

5.4.1 Determinación del período de retorno

Se entenderá como lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada, entendiéndose esto por período de diseño el cual; debe ser seleccionado cuidadosamente para que el sistema de recolección de agua sea eficiente en la capacidad de conducción del gasto de diseño. En el caso del diseño de canales abiertos se utilizarán obras hidráulicas para canalización de aguas de lluvias en ciudades de tamaño de mediano a grande de 20 a 50 años. Estimándose la construcción de estos canales para un período de diseño de 25 años.

5.4.2 Tiempo de concentración de la cuenca y subcuencas

El tiempo de concentración es uno de los criterios más importantes que deben ser tomados en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento de cualquier obra hidráulica, para estimar este valor en un determinado punto de una cuenca o

subcuenca. A tal efecto se utilizará la ecuación (3.20) del California Culvert Practice, obteniéndose los resultados presentados en la tabla 5.11.

Tabla 5.11 Tiempo de concentración de la cuenca.

Tramo	Longitud cauce (m)	Desnivel (m)	Tc	
			Minutos	Horas
Toda la Cuenca	647.6	5	18.53	0.3088

Tabla 5.12 Tiempos de concentración de ramales.

Tramo	Longitud cauce (m)	Desnivel (m)	Tc	
			Minutos	Horas
Naranja	457.1	5	12.39	0.2065
Verde	377.95	5	9.95	0.1658
Azul	448.15	5	12.12	0.2020

5.4.3 Determinación de la intensidad de lluvia

La intensidad será determinada en función de la duración y el período de retorno y el tiempo de concentración, esta intensidad será estimada con los datos suministrados por la CVG-Tecmin, C.A. (2016) presentados en la tabla 5.13.

Tabla 5.13 Intensidades de lluvia (mm/hr) dependiendo de la duración y el tiempo de retorno para estación Puerto Ordaz (CVG-Tecmin, 2016).

Duración (hr)	Tr (Años)				
	5	10	25	50	100
0,25	113,0	128,9	149,9	165,8	181,7
0,5	89,8	108,3	132,7	151,2	169,7
1	54,7	67,9	85,3	98,4	111,6
3	22,2	27,6	34,9	40,3	45,8
6	11,6	14,5	18,3	21,2	24,1
9	7,8	9,7	12,2	14,1	16,0
12	5,9	7,3	9,2	10,6	12,0
24	3,1	3,8	4,7	5,4	6,1

Tabla 5.14 Intensidad de lluvia en la cuenca estudiada.

Zona	Período de retorno Tr (años)	Tiempo de concentración Tc (hr)	Intensidad lluvia I	
			(mm/h)	(lps/ha)
Área total de la cuenca	25	0.3088	144	400.3

De acuerdo con la figura 5.13 que corresponde al área de los ramales presentamos la tabla siguiente con las intensidades correspondientes a cada ramal.

Tabla 5.15 Intensidades de los ramales.

Ramal	Período de retorno Tr (años)	Tiempo de concentración Tc (hr)	Intensidad de lluvia I	
			(mm/h)	(lps/ha)
Naranja	25	0.2065	150	417
Verde manzana	25	0.1658	150	417
Azul	25	0.2020	150	417

Recordemos que para esta investigación se decidió calcular el caudal de diseño de los canales por el método racional (ecuación 3.22), para este cálculo del caudal es necesario saber que será el producto de los coeficientes de escurrimiento, las intensidades de lluvia de la zona y las áreas respectivas.

Tabla 5.16 Caudal de la cuenca.

	Tr (años)	C pond	Intensidad lluvia (mm/hr)	Area (ha)	Caudal	
					m ³ /s	lps
Para toda la cuenca	25	0.715	145	18.2325	5.4144	5414.4

Finalmente, se presenta en la siguiente tabla los caudales generados para un período de retorno de 25 años, distribuidos en los tres (3) ramales concebidos de acuerdo al sentido de las líneas de flujo.

Tabla 5.17 Caudal de los ramales

Ramal	Tr (años)	C pond	Intensidad lluvia (mm/hr)	Área (ha)	Caudal	
					(m ³ /s)	(lps)
Naranja	25	0.715	150	6.7162	2.000	2000
Verde	25	0.715	150	4.0349	1.2020	1202
Azul	25	0.715	150	7.4814	2.2288	2228.8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De acuerdo a las magnitudes promedio de los parametros climáticos, analizadas en el área de estudio donde se pudo observar una precipitación aproximada anual de 1000 mm, temperatura promedio anual de 28,3 °c, humedad relativa promedio anual de 65%; podemos concluir que la zona de estudio posee un clima típico de bosque seco tropical.
2. Morfométricamente el área de estudio la cual debe ser drenada de las escorrentias superficiales tiene un área de 18.23 ha, como cuenca de drenaje asimismo presenta una pendiente promedio inferior a 1° por lo cual el diseño de los drenajes deberán ser construidos con pendientes promedios alrededor del 1% para mantener las velocidades mínimas permisibles. Por otro lado, la longitud del cauce principal es de 647,6 m.
3. En toda la cuenca urbana se presentaron coberturas del suelo de viviendas, pavimento y vegetación a las cuales se les asignó coeficientes de escorrentía de 0.6, 0.825 y de 0.2 respectivamente y al considerar las áreas ocupadas por las coberturas indicadas se obtuvo un coeficiente de escorrentía ponderado de 0.715.
4. La cuenca urbana de drenaje total del área de estudio deberá manejar un caudal aproximado de 5,4 m³/s para un período de retorno de 25 años, esta ha sido dividida en 3 ramales a través de las cuales se deberán trazar en el futuro los canales principales que manejarán cada uno caudales de 2.0 m³/s, 1.2 m³/s y 2,2 m³/s respectivamente.

Recomendaciones

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

REFERENCIAS

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 Y ELECTROFACIES**. 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. (p 303).

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. (pp.25 – 31).

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**, (pp 37-53).

Carvalho y Farías (2015). **PROPUESTA DE SISTEMA DRENAJE SUPERFICIAL PARA CONDUCCIÓN DE AGUAS PLUVIALES EN LAS RESIDENCIAS RÓMULO GALLEGOS, ZUATA, MUNICIPIO JOSÉ GREGORIO MONAGAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

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. (p.319)

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

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), (pp 1603-1621).

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

Echeverría, B. (2015). **INGENIERÍA BÁSICA DE UN SISTEMA DE DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES PARA EL CONJUNTO RESIDENCIAL JOSÉ GREGORIO MONAGAS, EN SAN DIEGO DE CABRUTICA, MUNICIPIO JOSÉ GREGORIO MONAGAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

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. (p.420)

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

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

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

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

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

Nichols, G. (1999). **SEDIMENTOLOGY AND STRATIGRAPHY**. Segundaedición. Oxford. United Kingdon. 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>]

Pérez, J. (1979). **FUNDAMENTOS DEL CICLO HIDROLÓGICO**. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Departamento de Meteorología e Hidrología. Caracas. (pp 01-38)

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

Real Academia Española, (2012). **DICCIONARIO**. Editorial Limusa. Madrid

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. (p 111)