

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



**ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE ESCORRENTÍA DE AGUAS PLUVIALES QUE APORTAN LAS CUENCAS RURALES QUE INCIDEN EN EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DRENAJE DE LA POBLACIÓN DE MAPIRE, MUNICIPIO JOSÉ GREGORIO MONAGAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LA  
BACHILLER HUARCAYA M.,  
FANNY DEL P., PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL**

**CIUDAD BOLÍVAR, ENERO DE 2018**



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

ACTA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, titulado: "ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE ESCORRENTÍA DE AGUAS PLUVIALES QUE APORTAN LAS CUENCAS RURALES QUE INCIDEN EN EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DRENAJE DE LA POBLACIÓN DE MAPIRE, MUNICIPIO JOSÉ GREGORIO MONAGAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA" presentado por la bachiller: HUARCAYA M., FANNY DEL P. ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre	Firma
Prof. Dafnis J. Echeverría	
Asesor	
Prof. (a) Stefany Deves	
Jurado	
Prof. (a) Beatriz Echeverría	
Jurado	
Prof. Pedro Gamboa	
Jefe de Depto. de Ing. Civil	Prof. Francisco Monteverde
	Director de Esc. de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, Enero de 2018

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres, por demostrarme su cariño y apoyo incondicional, quienes con consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mis hermanos por acompañarme en este camino de mi vida y compartir conmigo en los momentos buenos y malos.

De igual manera a mi profesor tutor gracias por su tiempo y por su apoyo durante todo mi trayecto de mi trabajo de grado.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar doy gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Ronald y Lourdes por la confianza, consejos y apoyo brindado en el trayecto de mi vida que me han demostrado con su amor, corrigiendo mis fallas y celebrar mis triunfos. Y sé que están orgullosos de la persona en la cual me he convertido.

A mis hermanos, que me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

A mis tíos paternos por su apoyo incondicional y por demostrarme la gran fe que tienen en mí.

A mis compañeros de la universidad por acompañarme durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

Finalmente a los profesores por cada uno de sus aportes y enseñanzas donde adquirir todo el conocimiento necesario para culminar mi carrera.

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolla bajo la justificación de la necesidad de determinar la magnitud de los caudales de aguas de escorrentía que drenan desde las cuencas que inciden en los factores de diseño de las obras de drenaje que pudieran requerirse en las áreas urbanizadas de la población de Mapire. En ese sentido, la investigación es de nivel descriptivo la cual requerirá la aplicación de una estrategia o diseño documental y de campo. La metodología utilizada incluye el reconocimiento de la zona para la verificación de las condiciones físico naturales como el relieve, suelos, y vegetación, de la zona entre otros aspectos relevantes. Se describen las características climáticas mediante la consulta de los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Mediante la revisión de los mapas hidrográficos de la zona se identificaron y delimitaron las cuencas existentes en las adyacencias de la población de Mapire que pudiesen influir en los caudales de drenaje. Posteriormente, se procedió a la caracterización morfométrica de las cuencas existentes. Una vez caracterizadas las cuencas se determinó el caudal aportado por el método racional o por el método del hidrograma unitario adimensional SCS, dependiendo de la extensión superficial de la cuenca. Los caudales calculados se estimaron considerando períodos de retorno de 25 y 50 años. Como resultados relevantes de la investigación se puede acotar que el clima del área de estudio se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge y según Koppen el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi). Se identificaron dos sectores con siete (7) subcuencas o unidades hidrográficas cada uno. Se determinó el coeficiente de escorrentía ponderado para cada subcuenca. Se determinó un caudal total drenado por las 14 subcuencas de  $777.5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este caudal se encuentra distribuido 57.7% drenado por las subcuencas del Sector 1 y 42.3% del caudal es drenado por las subcuencas del Sector 2.

# CONTENIDO

Página

<b>ACTA DE APROBACIÓN</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>v</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>i</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE APÉNDICES</b> .....	<b>viii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. SITUACIÓN A INVESTIGAR</b> .....	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	7
1.2.1 Objetivo general .....	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 Justificación de la investigación .....	7
1.4 Alcance de la investigación .....	8
<b>CAPÍTULO II. GENERALIDADES</b> .....	<b>9</b>
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio .....	9
2.3 Geología del área de estudio.....	12
2.5 Suelos del área de estudio.....	14
<b>CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
3.1 Antecedentes o estudios previos .....	16
3.2.1 Precipitación.....	17
3.2.2 Evaporación .....	30
3.2.3 Escurrimiento .....	31
3.2.4 Temperatura .....	36

3.2.5 Radiación solar.....	37
3.2.6 Humedad atmosférica .....	38
3.2.7 Viento .....	39
3.2.8 Infiltración.....	40
3.2.9 Caudales de drenaje.....	43
3.2.10 Caudal aportado por una cuenca .....	43
3.2.11 Parámetros morfométricos de una cuenca .....	55
3.3 Definición de términos básicos .....	58

## **CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 64**

4.1 Tipo de investigación .....	64
4.2 Diseño de investigación.....	64
4.3 Población y muestra de la investigación .....	65
4.3.1 Población de la investigación.....	65
4.3.2 Muestra de la investigación .....	66
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	66
4.4.1 Técnicas para la recolección de datos.....	66
4.4.2 Instrumentos para la recolección de datos .....	67
4.5 Flujograma de la investigación .....	68
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos.....	69
4.6.1 Recopilación de la información bibliográfica.....	69
4.6.2 Caracterizar climatológicamente el área de estudio .....	69
4.6.3 Caracterizar las cuencas del área de estudio .....	69
4.6.4 Tiempo de concentración y la intensidad de las precipitaciones. ....	70
4.6.5 Estimación de los coeficientes de escorrentía de las cuencas.....	70
4.6.6 Estimación de los caudales aportados por las cuencas .....	70

## **CAPÍTULO V. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ..... 71**

5.1 Determinación de las características climáticas de la zona de estudio .....	71
5.1.1 Precipitación.....	72
5.1.2 Evaporación .....	74
5.1.3 Temperatura .....	75
5.1.4. Insolación.....	77
5.1.5 Humedad Relativa .....	78
5.1.6 Vientos.....	78
5.2 Caracterización de las cuencas ubicadas en el área de estudio.....	79
5.2.1 Delimitación y definición de cuencas y subcuencas .....	80
5.2.2 Codificación de las Unidades Hidrográficas.....	80

5.2.3 Descripción de las características hidrográficas.....	82
5.2.4 Morfometría de las cuencas .....	90
5.3 Determinación de los coeficientes de escorrentía .....	95
5.4 Estimación de los caudales de escorrentía superficial .....	97
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>143</b>
Conclusiones.....	143
Recomendaciones .....	144
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>145</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>150</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación nacional del área de estudio.....	9
2.2 Ubicación regional del área de estudio.....	10
2.3 Vegetación predominante en el área de estudio.....	11
2.4 Paisaje del área de estudio.....	12
2.5 Suelos del área de estudio.....	15
3.1 Esquema de curvas IDF.....	23
3.2 Curva IDF de la Región Hidrológica II (MOP, 1967 en Arocha, 1983).....	30
3.3 Hidrograma típico aislado (Aparicio, 2001).....	48
3.4 Hidrograma Unitario Triangular. (Camacho, 2004).....	51
3.5 Representación gráfica del Hidrograma Unitario Triangular como la suma de dos triángulos A <sub>1</sub> y A <sub>2</sub> (Camacho, 2004).....	52
4.1 Flujograma de actividades.....	68
5.1 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Mapire (INAMEH, 2015).....	73
5.2 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Musinacio (INAMEH, 2015).....	73
5.3 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Uverito (INAMEH, 2015).....	74
5.4 Variación anual de la evaporación (mm). Estación Musinacio (INAMEH, 2015).....	75
5.5 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Musinacio. (INAMEH, 2015).....	76
5.6 Variación anual de la insolación (horas). Estación Musinacio (INAMEH,2015).....	77
5.7 Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Musinacio. (INAMEH, 2015).....	78
5.8 Variación anual de la velocidad del viento (m/s). Estación Musinacio. (INAMEH, 2015).....	79
5.9 Morichal San Pedro en MSP1.....	85
5.10 Cauce Morichal de Bogarín en MDB2.....	86
5.11 Cauce Morichal Cartanal en MC1.....	88
5.12 Cauce Morichal San Pedro al noroeste de la población de Mapire.....	89
5.13 Valores extremos de Gumbel para el Río Orinoco en Musinacio. Período 1970-2.016.....	94
5.14 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1).....	103
5.15 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1+MSP2).....	104
5.16 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca	

(MSP1+MSP2+MSP3).....	105
5.17 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MDB1).....	106
5.18 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MDB1+MDB2).	107
5.19 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MC1).....	108
5.20 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca del afluente sin nombre conocido del Morichal El Perro (AMP1).....	109
5.21 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MLR).....	110
5.22 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (AMSP).....	111
5.23 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MC 1 + MC2).	112
5.24 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MC1 + MC2+MC3).....	113
5.25 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4).....	114
5.26 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+MSP5).....	115
5.27 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca del Morichal San Pedro (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+MSP5+MSP6).....	116
5.28 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MSP1.....	124
5.29 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MSP1+MSP2	124
5.30 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MSP1+MSP2+MSP3.....	125
5.31 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MDB1.....	125
5.32 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MDB1+MDB2.....	126
5.33 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MC1.....	126
5.34 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca AMP1.....	127
5.35 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MLR.....	135
5.36 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca AMSP.....	135
5.37 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MC1 + MC2	136
5.38 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MC1 + MC2 + MC3.....	136
5.39 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4.....	137
5.40 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5.....	137
5.41 Hidrograma Unitario Adimensional SCS de la subcuenca MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5 + MSP6.....	138

## LISTA DE TABLAS

	Página	
2.1	Coordenadas UTM de los vértices del área de estudio. (Datum REGVEN, Huso 20, elipsoide GRS-80).....	10
3.1	Valores de $Y_n$ y $\sigma_n$ (Camacho 2004).....	28
3.2	Valores de $Y$ (Camacho, 2004).....	29
3.3	Secuencia de operaciones para obtener las curvas IDF (Camacho, 2004).....	29
3.4	Coefficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).....	33
3.5	Zonificación y Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).....	34
3.6	Coefficientes de escorrentía (Camacho, 2004).....	34
3.7	Coefficiente de escorrentía (C) (Camacho, 2004).....	35
3.8	Valores interpretativos del factor forma (Pérez, 1979).....	56
3.9	Valores interpretativos de la pendiente de la cuenca (Pérez, 1979).....	58
5.1	Características de las estaciones climatológicas utilizadas (INAMEH, 2017).....	71
5.2	Precipitación media mensual y anual (mm). Período 1971-2011 (INAMEH, 2015).....	73
5.3	Evaporación media, mensual y anual (mm). Estación Musicacio. (INAMEH, 2015).....	75
5.4	Temperatura máxima, media y mínima (°C). Período 1971-2007. (INAMEH, 2015).....	76
5.5	Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1971-2007. (INAMEH, 2015).....	77
5.6	Humedad relativa media mensual y anual (%). Período 1971-2007. (INAMEH, 2015).....	78
5.7	Velocidad media mensual y anual del viento (m/s). Período 1971-2007. (INAMEH, 2015).....	79
5.8	Parámetros morfométricos de las subcuencas del sector 1.....	90
5.9	Parámetros morfométricos de las subcuencas del sector 2.....	91
5.10	Coefficiente de escorrentía (Camacho,2004).....	95
5.11	Coefficiente de escorrentía (Camacho,2004).....	96
5.12	Atributo de la subcuenca pertenecientes al Morichal San Pedro.....	97
5.13	Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca MSP1.....	98
5.14	Atributo de las subcuenca perteneciente al Morichal de Bogarín.....	98
5.15	Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca MDB1.....	99
5.16	Atributo de las subcuenca perteneciente al Morichal Cartanal.....	99
5.17	Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca MC1.....	100
5.18	Atributo de las subcuenca perteneciente al afluente del Morichal San Pedro, sin nombre conocido.....	100
5.19	Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca AMSP.....	101

5.20	Atributo de las subcuena perteneciente al Morichal Los Rastrojos....	101
5.21	Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuena MLR.....	102
5.22	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MSP1).....	117
5.23	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MSP1+MSP2).....	118
5.24	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MSP1+MSP2+MSP3).....	119
5.25	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MDB1).....	120
5.26	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MDB1+MDB2).....	121
5.27	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MC1).....	122
5.28	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (AMP1).....	123
5.29	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MLR).....	128
5.30	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (AMSP).....	129
5.31	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MC1 + MC2).....	130
5.32	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MC1 + MC2 + MC3).....	131
5.33	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4).....	132
5.34	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5).....	133
5.35	Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuena (MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5 + MSP6).....	134
5.36	Resumen del hidrograma de diseño para cada subcuena del sector 1 por el método SCS.....	140
5.37	Resumen del hidrograma de diseño para cada subcuena del sector 2 por el método SCS.....	140
5.38	Resumen del hidrograma de diseño para cada subcuena del sector 1 por el método racional (solo para las subcuencas de menos de 500 ha).....	141
5.39	Resumen del hidrograma de diseño para cada subcuena del sector 2 por el método racional (solo para las subcuencas de menos de 500 ha).....	141

## LISTA DE APÉNDICES

	Página
A <b>CUENCAS Y SUBCUENCAS HIDROLÓGICAS</b> .....	151
A.1 Unidades hidrográficas del Sector I en el área de influencia de Mapire.....	152
A.2 Unidades hidrográficas del Sector II en el área de influencia de Mapire.....	153
B <b>DATOS Y CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUCIA DE LLUVIAS</b> .....	154
B.1 Curvas IDF. Estación Musinacio. Período 1968-2000.....	155

## INTRODUCCIÓN

Para la ingeniería y el urbanismo, el drenaje es el sistema de tuberías interconectadas que permite el desalojo de los líquidos pluviales o de otro tipo. El drenaje sanitario es aquél que lleva los desechos líquidos de las viviendas o industrias hacia plantas depuradoras, donde se realiza un tratamiento para que el líquido pueda ser vertido en un cauce de agua y siga desarrollándose el ciclo hidrológico.

En nuestro planeta contamos con un gran número de países que no están completamente desarrollados estos países tienen un gran déficit en sus sistemas de drenajes de aguas pluviales, por eso observamos en repetidas ocasiones como en muchos de los países se presentan grandes inundaciones, desnaturalización, deslaves y casos de enfermedades por aguas estancadas y todo esto es debido al mal drenaje pluvial o inexistente drenaje.

Actualmente en Venezuela la mayoría de los sistemas de drenajes son deficientes, el conjunto urbanístico en la población de Mapire, estado Anzoátegui no es la excepción ya que al presentarse precipitaciones de duración prolongada e intensidades elevadas pueden ocurrir inundaciones.

Una vez planteado lo anterior, sería necesario el desarrollo de un buen sistema de drenaje que permita a esta zona desenvolverse con normalidad en épocas de altas precipitaciones. El objetivo principal es determinar el caudal de aguas pluviales que drenan de las cuencas que incidirían en el diseño de los sistemas de drenaje de las áreas urbanizadas de la población de Mapire, municipio José Gregorio Monagas, desprendiéndose en varios objetivos.

Este documento se encuentra estructurado en cinco (5) capítulos, de la siguiente manera:

Capítulo I. Situación a investigar. Está conformado por el planteamiento del problema, los objetivos (el general y los específicos), la justificación, alcance y limitaciones que se plantean a desarrollar.

El Capítulo II. Generalidades. Trata sobre la ubicación del área de estudio y algunas generalidades de la zona tales como: la geología, la geomorfología, los suelos y aspectos bióticos (fauna y flora).

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. Análisis e interpretación de resultados. Se presentan los resultados de la investigación y por último se muestran las conclusiones y recomendaciones relevantes de la investigación.

Conclusiones y Recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema

Se observa mundialmente los efectos producidos por las lluvias torrenciales que afectan distintos lugares del planeta provocando inundaciones. Estas se deben a las fuertes lluvias y al estado de los terrenos, pero en otros casos también son causadas por un desarrollo urbano desorganizado y falta de infraestructura. Los Sistemas de Drenaje Urbano comprenden una serie de elementos que van desde el sistema de Captación de Aguas Pluviales hasta las Canalizaciones y Conductos que permiten la conducción y descarga de las Aguas de Lluvia precipitadas en el medio Urbano hasta los cauces naturales y artificiales, para su libre escurrimiento.

El desarrollo de sistemas de tuberías óptimas y funcional de drenajes pluviales es de gran importancia, constituyéndose en una prioridad para el urbanismo, ya que estas obras son de construcción de canales de un trabajo de Ingeniería donde se busca la eficiencia y economía, y abarca en forma general, la determinación de la geometría del canal, incluyendo el perfil y trazo en planta, los cálculos de pendiente de cada tramo y la magnitud de las caídas necesarias en los pozos.

Evitar la retención superficial y la infiltración, así como incrementar la velocidad de circulación del agua hacia las partes más bajas de la cuenca es de vital importancia a la hora de impedir una inundación. Cuando el desarrollo urbano se realiza desde el núcleo antiguo hacia las zonas situadas a mayor cota.

Los procesos anteriormente citados suelen dar lugar a un incremento de caudal que no es posible transportar por la red de drenaje existente en la zona urbana antigua, presentándose problemas por inundación.

En Asia en 2004 con excepción del tsunami ocurrido, muchas de las muertes y pérdidas causadas por los terremotos se han producido en las zonas urbanas. De todas las grandes catástrofes, los seísmos son los que más muertes han provocado en los últimos años, con un promedio de 50.184 personas por año de 2000 a 2008. Las inundaciones han afectado al mayor número de personas, con un promedio de 99 millones de damnificados por año entre 2000 y 2008. Si bien no sabemos cuántas personas afectadas por las inundaciones viven en las zonas urbanas, cabe suponer que se trata de una planificación de diseño y construcción de una instalación sanitarias.

El Fenómeno "El Niño" ha provocado intensos cambios climáticos en países de América Latina desde mediados del 2015, intensificando los embates de los torrenciales aguaceros que han causado inundaciones y miles de familias desplazadas. Desde Diciembre del 2015 Paraguay se declaró un estado de emergencia por 90 días, debido a las inundaciones en Asunción y otros siete departamentos: Concepción, San Pedro, Misiones; Ñeembucú, Amambay y Pdte. Hayes.

En Francia a mediados de Junio del 2016 al menos cuatro personas han muerto y otras 24 han resultado heridas desde el desde el comienzo de las inundaciones.

En enero del 2016 en Uruguay, las variaciones del Fenómeno El Niño generaron alerta naranja y amarilla por una ola de calor en los departamentos de Artigas, Salto, Paysandú, Río Negro y Soriano, en el noroeste del país y Rivera, Tacuarembó, Durazno, Florida y Colonia, que cubren todo el centro del país.

También se vio afectado por un reciente tornado que sacudió el país el 15 de abril, dejando un saldo de ocho muertos y más de 4 mil desplazados, producto de las lluvias que comenzaron a azotar al menos 19 departamentos, siendo el más perjudicado Colonia, con casi mil 400 personas sin hogar.

Perú reportó el mes de marzo la muerte de al menos 14 personas y 59 mil damnificados producto de las lluvias en el noroeste del país. Datos suministrados por el Centro de Operaciones de Emergencia (COE-FEN), indican que unas 588

viviendas se derrumbaron; mientras que más 11 mil presentaron daños menores en su estructura.

Ecuador declaró en el mes de Abril a través de la Secretaría de Gestión de Riesgos de Ecuador en 19 y 24 provincias por intensas lluvias en el país. La creciente del río Chimbilaco, generó la pérdida de vida de al menos seis personas. En la actualidad existe una evidente problemática en los sectores urbanizados de las grandes urbes pobladas en Latinoamérica, que han venido creciendo indiscriminadamente sin una planificación efectiva, pues en la mayoría de los casos las construcciones de las viviendas no cumplen con las leyes y reglamento indicada por los organismos establecidos para ello, en este caso específico, con el reglamento que estén relacionadas con la reelección, conducción y disposición de las aguas de lluvia.

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 colapso de los sistemas de drenajes, los cuales o no están establecidos o simplemente no tienen capacidad requerida para la disposición de las aguas de producto de las precipitaciones.

En los estados Miranda, Distrito Capital, Mérida, Aragua, Táchira, Carabobo, Zulia, Portuguesa y algunos más se han visto afectados por las lluvias de este año 2014 y en años anteriores, uno de los casos más significativos ha sido el de la tragedia de Vargas en el año 1999, con el pasar de los años se han registrado alrededor del país colapso de vías y puentes, deslizamientos de tierra.

En el 2016 al inicio del mes de Abril en la entidad andina estuvo marcado por fuertes lluvias que colapsaron algunos sistemas de drenaje y ocasionaron pequeños daños materiales. Por lo tanto en Valencia las precipitaciones ocurridas durante las cabeceras de las corrientes fluviales de la zona norte costera del estado Carabobo originaron el desbordamiento del río Urama, lo que causó afectaciones a 26 viviendas

y varias hectáreas de terreno con vocación agrícola en el municipio Juan José Mora (Morón) de esta entidad.

Trascendió que las comunidades afectadas por inundaciones fueron La Luna, El Charal y La Jovera donde el agua inundó algunas viviendas y sus habitantes debieron cargar con sus encerres para salvarlos de la anegación por falta de drenajes pluviales en las vías de comunicación del país.

Los sistemas de drenajes de aguas pluviales en Venezuela presentan una gran deficiencia debido al escaso mantenimiento que se les da, o en algunos casos la inexistencia de estos drenajes son las principales causas de inundaciones cuando se presentan lluvias de gran intensidad y duración.

En la población de Mapire, municipio José Gregorio Monagas, estado Anzoátegui, Venezuela, se planea llevar a cabo la construcción de un conjunto urbanístico para esto es necesario un sistema de drenajes de canales abiertos para las aguas pluviales.

Como en los demás ejemplos antes expuestos, este urbanismo no será ajeno a las precipitaciones e inundaciones, para evitar esto se determinó que es necesaria la implementación de un sistema de canales de drenaje de aguas pluviales, para llevar todo esto a cabo nos planteamos una serie de incógnitas:

¿Cómo es el clima presente en el conjunto urbanístico, en Mapire, municipio José Gregorio Monagas, estado Anzoátegui, Venezuela?

¿Cuáles son las cuencas y subcuencas que aportarán aguas de drenaje superficial al área de estudio?

¿Cuál es el caudal de la cuenca y subcuencas de la zona de estudio?

¿Cómo es el coeficiente de escorrentía ponderado de las cuencas y subcuencas que aportarán aguas al sistema de drenaje?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Estimar el caudal y coeficiente de escurrimiento de las cuencas que aportarán las aguas de escorrentía pluvial a las zonas de desarrollo urbanístico en la población de Mapire, municipio José Gregorio Monagas, estado Anzoátegui, Venezuela.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar climatológicamente el área de estudio.
2. Definir los límites de las cuencas y subcuencas de la zona de captación presentes en el área de estudio.
3. Estimar el coeficiente de escorrentía ponderado de las cuencas y subcuencas que drenarán sus aguas superficiales en la zona urbana del área de estudio.
4. Determinar el caudal de aguas de superficiales de origen pluvial que aportarán la cuenca y subcuencas del área de estudio.

## **1.3 Justificación de la investigación**

En la presente propuesta se justifica debido a que se intenta determinar las posibles causas que ocasionan la problemática que se presenta en la población de Mapire, en relación con la manera que funciona actualmente el sistema de drenaje óptimo y funcional, el cual facilitara la conducción de las aguas pluviales de manera

segura, para evitar los daños que estas aguas puedan ocasionar al urbanismo y a las vías de la población en estudio.

Puede decirse que los beneficios que arrojaría el sistema de drenaje óptimo y funcional para la población de Mapire será de gran impacto para esta población, por cuanto se verán optimizados su estilo y calidad de vida, de manera que ante la presencia de ciclos lluviosos no estarán supeditados a las eventualidades relacionadas con el libre tránsito, tanto para sus habitantes como para cualquier otra persona que transite por la vías internas del urbanismo.

De igual manera, la presente propuesta servirá de referencia a futuras investigaciones relacionadas en el área de ingeniería civil, enmarcadas en el comportamiento hidrológico de cualquier zona que desee estudiar.

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

Con esta investigación se planea llevar a cabo la estimación de los caudales de escorrentía de aguas pluviales que drenan las cuencas adyacentes a la población de Mapire y que pudiesen incidir en el diseño de los sistemas de drenaje de dicha población.

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El área para la realización del estudio hidrológico, abarcó una superficie de 993,51 ha, perteneciente al municipio José Gregorio Monagas del estado Anzoátegui, en la cual se consideraron el grupo de microcuencas hidrográficas cuyos cauces drenan hacia las áreas urbanas de la población de Mapire.

El acceso a las áreas se realiza desde Pariaguán, hacia el oeste; desde esta población, el mismo se inicia por la carretera Local 9 (L009) con un recorrido de 52 km hasta el centro poblado de San Diego de Cabrutica y se recorre unos 99 km hasta la capital del municipio José Gregorio Monagas (Mapire). (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).

Punto	Este	Norte
V-1	309000,00	858100,00
V-2	309000,00	854664,00
V-3	313600,00	858100,00
V-4	313600,00	854664,00

## 2.2 Vegetación típica de la región

La vegetación en los sectores a desarrollar están dominados por sabanas y chaparrales, imperando el paisaje de gramíneas y sin la presencia notable de árboles de gran envergadura. Los chaparrales reciben su denominación por estar compuestos principalmente por árboles achaparrados (de poca altura) resistentes al fuego y a suelos pobres. Eventualmente en los cursos de ríos y caños se presentan bosques de

galería con Moriches fragmentados, que aprovechan la disponibilidad de agua para desarrollarse. (Figura 2.3).



Figura 2.3 Vegetación predominante en el área de estudio.

Entre las especies dominan: *Curatella americana* (Chaparro), *Byrsonima crassifolia* (Chaparro manteco), *Byrsonima coccolobifolia* (Manteco merey) y *Bowdichia virgilioides* (Alcornoque), mientras que el estrato herbáceo de estructura continua, interrumpido por el estrato leños, está representado por las especies como: *Solanum hirtum* (Huevo de gato), *Borreria verticillata* (Francisco) y *Trachypogon montufari* (Paja velluda).

Los Bosque de Galería, son siempre verdes que presentan alturas que varían de bajas a medias, conformado por árboles de 12 y 15 m de alto con cobertura media a rala y predominio de *Mauritia flexuosa* (Moriche) y esporádicos individuos de la especies *Licania apetala* (Mamoncillo), *Pera glabrata* (Pilon rosado), *Andira surinmensis* (Pilón) y *Coccoloba latifolia* (Uvero).

Los árboles entre 6 y 11 m de alto, entre los que se encuentran *Tapirira guianensis* (Patillo), *Mabea nitida* (Pata de paují), *Coccoloba acuminata* (Uverito), *Albizia pistaciifolium* (Hueso de pescado), *Cassia moschata* (Cañafistola), *Alibertia*

*latifolia* (Carutilla), *Lonchocarpus fendleri* (Majomo) y *Amaioua corymbosa* (Canilla de venado).

### 2.3 Geología del área de estudio

Las áreas de estudio, están representadas por la formación Mesa, constituidas por arenas no consolidadas, arcillas, calizas y limolitas, además de concreciones de hierro, grava y cuarcita provenientes del Cuaternario, y aún más jóvenes son los depósitos sedimentarios originados por las inundaciones periódicas generadas por las crecientes de los ríos; también predominan las llanuras.

### 2.4 Geomorfología del área de estudio

Fisiográficamente, los sectores se ubican en la Región Natural de los Llanos Orientales. Dentro de la misma se diferencian el paisaje de Altiplanicie de mesa, cuyo tipo de relieve es una mesa y la forma del terreno varía entre plano ha suavemente inclinado. La pendiente de esta unidad geomorfológica está entre 2% y 4%. (Figura 2.4).



Figura 2.4 Paisaje del área de estudio.

Geológicamente este paisaje está constituido por sedimentos formado por depósitos aluviales de edad Plio-pleistoceno, correspondiente a la Formación Mesa. Además, presentan un perfil topográfico rectilíneo a suavemente inclinado, sin desniveles significativos y un micro-relieve relativamente liso.

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

En términos generales, puede afirmarse que los procesos erosivos es de tipo laminar, de intensidad baja a ligera y de modalidad generalizada, presenta un balance morfodinámico casi estable, ya que constituye un medio con pocos o sin problemas de erosión. No obstante durante los períodos de lluvia en zonas desprovistas de vegetación los procesos erosivos son ligeros a moderados.

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

Puede decirse que la cantidad de lluvia es relativamente baja, la vegetación es sabana arbustiva y potreros, con pendiente entre 2% a 4%. Por lo que se concluye que la erosión es de tipo escurrimiento difuso, de intensidad ligera y de modalidad generalizada.

Estas áreas plana y suavemente inclinada, han sido intervenidas para la construcción de fundos y uso pecuario, sobre una formación vegetal de sabana graminosa.

## 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 periodos, actuando sobre superficie geomorfológica de relativo grado de estabilidad y condiciones climáticas (bajas precipitaciones y alta temperaturas), que han favorecido la ocurrencia de horizontes de iluviación de arcilla (argilico o kandico). 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.

En lo referente a la textura esta es arenosa, areno francosa y franco arenosa en los primeros estratos; tornándose franco arcillo arenosa, franco arcillosa arenosa en profundidad. Son suelos bien drenados, químicamente exhiben pH fuerte a extremadamente ácido, baja saturación con bases y baja capacidad de intercambio de cationes, condiciones que les confiere una baja a muy baja fertilidad natural.

Por último, en menor proporción, hacia los drenajes superficiales que cruzan el área de estudio, se presentan suelos de moderado desarrollo evolutivo, moderadamente profundo a profundo, de origen coluvio-aluvial, moderadamente drenado a pobremente drenado, con colores que van de marrón oscuro a grises, de textura arenosa a franco arcillo arenosa a medida que aumenta la profundidad. Son suelos que 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. (Figura 2.5).



Figura 2.5 Suelos del área de estudio.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Antecedentes o estudios previos**

En el desarrollo de la presente investigación, es necesaria la búsqueda y recopilación de información procedente de trabajos cuyo tema y objetivo tengan relación con el objeto que se desea lograr, de manera que sirvan de sustento para poder tener claros los procedimientos y técnicas necesarias. A continuación se presentaran las siguientes investigaciones:

Echeverría, B. (2015), elaboro en su trabajo de grado titulado **“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”**, el cual tenía como objetivo general proponer la ingeniería básica de un sistema de canales de drenaje de aguas superficiales para el conjunto residencial José Gregorio Monagas, en San Diego de Cabrutica, municipio José Gregorio Monagas, estado Anzoátegui, Venezuela. La metodología se desarrolló bajo el esquema de una investigación documental y de campo de tipo proyectiva se dice que la investigación es proyectiva porque intenta proponer soluciones a una determinada situación. Se utilizó información facilitada por entes como INAMEH, la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) que fueron necesarios para la determinación de datos hidrológicos e hidráulicos para el estudio.

El método para la estimación del caudal fue el Método Racional. Finalmente se propone el sistema de captación de aguas pluviales resumido en una tabla donde se muestran los caudales, elementos geométricos e hidráulicos, perfiles longitudinales de los canales y secciones transversales de los mismos.

Huarcaya, A. y Márquez, R. (2017), elaboraron en su 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:

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

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

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:

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

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.

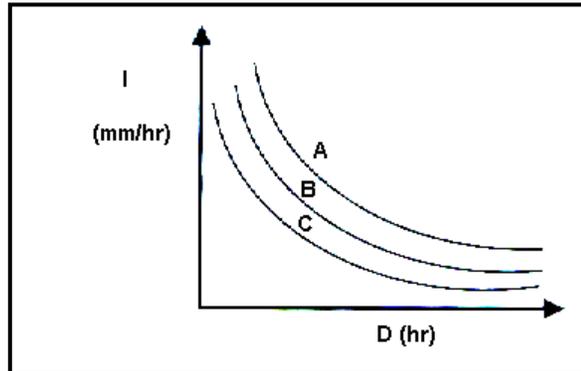


Figura 3.1 Esquema de curvas IDF

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](http://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:

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

Donde;  $u$  es  $e^{-\sigma(X-\mu)}$ ,  $X$  es el valor a asumir por la variable aleatoria y  $\sigma$ ,  $\mu$  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

$\chi$  = promedio de los valores de la muestra de los  $X_n$  (valores máximos anuales de lluvia o escurrimiento).

$\sigma_x$  = 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  $\sigma_n$  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:

$\sigma_x$  y  $X$  se determinan a partir de los datos,

$\sigma_n$  é  $Y_n$  se determinan a partir de la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Valores de  $Y_n$  y  $\sigma_n$   
(Camacho 2004).

n	$Y_n$	$\sigma_n$
7	0.4578	0.9453
10	0.4967	0.9575
11	0.5008	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	1.0362
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.	$\Sigma X$				
2.	N				
3.	$X=(1)/(2)$				
4.	$\Sigma X^2$				
5.	$X\Sigma X^2=(1).(3)$				
6.	$(4) - (5)$				
7.	$\sigma_x^2=(6)/(n-1)$				
8.	$\sigma_x=(7)^{1/2}$				
9.	$\sigma_n$				
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:

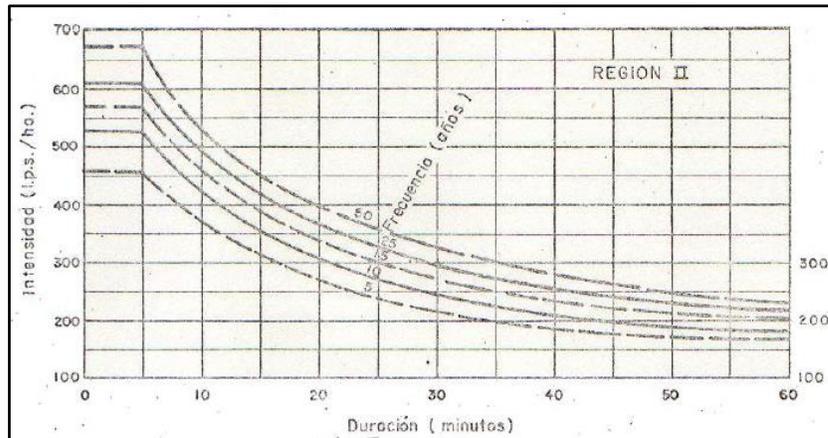


Figura 3.2 Curva IDF de la Región hidrológica II (MOP, 1967 en Arocha, 1983).

### 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 atmósfera 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, interceptión y almacenamientos superficiales (vasos o cauces). Algunas de esas pérdidas son menores, por ejemplo en un cultivo de maíz, que la interceptión es de 0.5 mm (1 mm de lámina de precipitación distribuido en 1 m<sup>2</sup> 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).

<b>Zonificación y coeficientes de escorrentía</b>	
<b>Zona</b>	<b>Coeficientes de escorrentía</b>
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).

<b>TIPO DE ÁREAS A DRENAR</b>		<b>COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA</b>
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

TIPO DE ÁREAS A DRENAR		COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA
	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/cm<sup>2</sup>/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:

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

Donde:

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:

- ❖ El tiempo que tarda la partícula más alejada en escurrir sobre la superficie.
- ❖ 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:

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

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:

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

Donde:

Q= Caudal en lt/s.

C= Coeficiente de escorrentía.

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 m<sup>3</sup>/s

C= Coeficiente de escorrentía

$I$ = 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:

- ❖ El pico de flujo se obtiene cuando toda el área está contribuyendo.
- ❖ La intensidad de la lluvia es la misma sobre toda el área de escurrimiento ( $i=cte$ ).
- ❖ Esta intensidad permanece constante durante la duración de la lluvia y esta última se toma igual al tiempo de concentración ( $Dur=T_c$ ).
- ❖ 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).
- ❖ El coeficiente de escorrentía permanece constante para todas las lluvias y períodos de retorno.

El coeficiente de escorrentía 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 escorrentía 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.

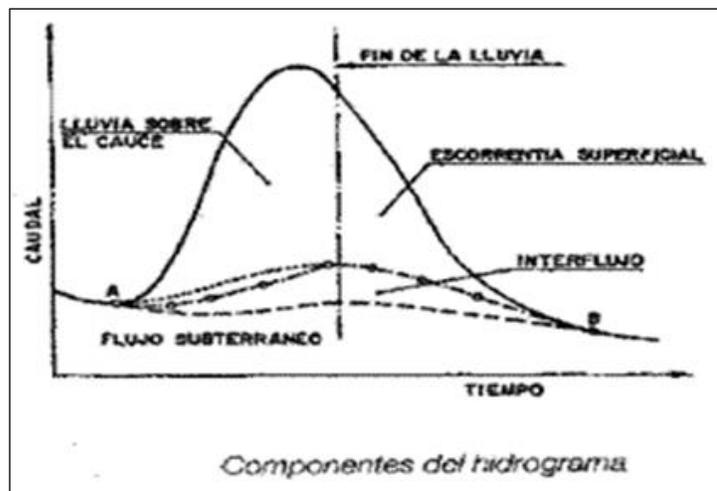


Figura 3.3. Hidrograma típico aislado (Aparicio, 2001).

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.

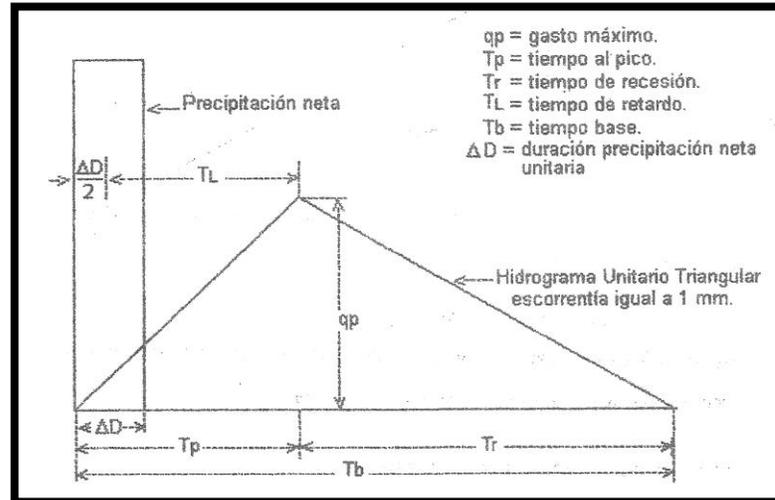


Figura 3.4 Hidrograma Unitario Triangular. (Camacho, 2004).

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 ( $\text{m}^3\text{/s}$ ), aplicando la expresión:

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

También se conoce que el valor de:

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

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

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).

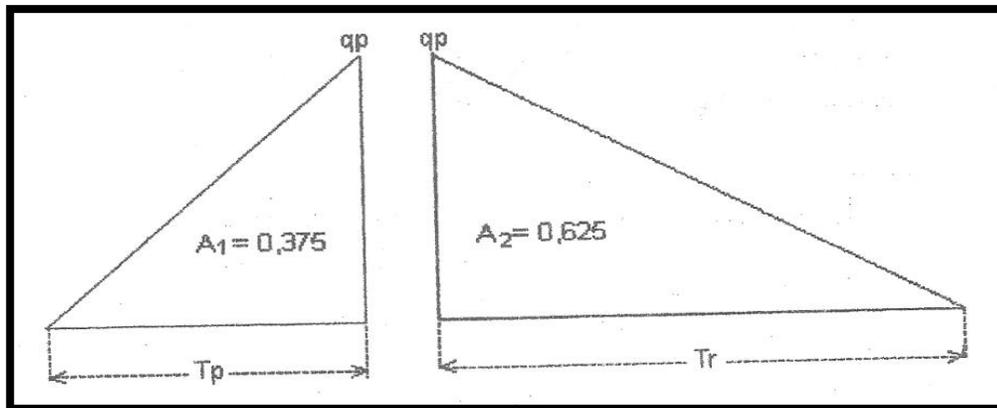


Figura 3.5 Representación gráfica del Hidrograma Unitario Triangular como la suma de dos triángulos  $A_1$  y  $A_2$  (Camacho, 2004).

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 escurrimiento  $Q$  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<sup>2</sup>.

#### **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 cercana 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 (Km<sup>2</sup>)

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 (km<sup>2</sup>)

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)

$(H^M - H^m)$  es el desnivel del cauce principal (m)

$L$  : Longitud del cauce principal (Km)

### 3.2.11.8 Pendiente media de la cuenca (Sc)

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.

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

Donde:

Sc: Pendiente media de la cuenca

$\Sigma$ li: Sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel en km

eq: 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 Km<sup>2</sup>

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**

Se tratará en este capítulo los aspectos metodológicos y procedimentales que se ameritan para llevar a feliz término la investigación.

#### **4.1 Tipo de investigación**

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

Se establece que la presente investigación es descriptiva ya que se presentarán las descripciones de las unidades hidrográficas presentes en el área de estudio. Asimismo, se describirán las características climáticas de la zona de estudio.

#### **4.2 Diseño de investigación**

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).

Según el autor Arias, F. (2012), define: la investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas.

Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (p.27).

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

Esta investigación es de campo ya que durante el reconocimiento de la zona de estudio se efectuaron registros, toma de imágenes y mediciones de aspectos vinculados con la topografía y los caracteres físicos naturales del área.

Por otro lado, la investigación es documental porque la información tal como los datos climatológicos que serán obtenidos directamente del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y la ubicación geográfica por medio de documentos (planos, mapas y cartas emitidos por Cartografía Nacional preferiblemente a escala 1:25000) 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 la que se quiere conocer o investigar alguna de sus características”. (P 126).

En el presente caso se considerará como población de la investigación toda la superficie de las cuencas que se describirán hidrológicamente, así como también

todos los parámetros climáticos registrados por el INAMEH en las estaciones climatológicas cercanas al área de estudio.

#### **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.

Se considerará que la muestra estará constituida por los registros pluviográficos correspondientes al período evaluado para la estación climatológica que se considere idónea para la extracción de sus parámetros registrados.

### **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:

- ❖ Equipo de computación (computador, impresora, escáner, memoria portátil, etc.),
- ❖ Calculadora,
- ❖ Gps,
- ❖ Cámara fotográfica,
- ❖ Fotocopiadora,
- ❖ Papelería y artículos de oficina,
- ❖ Equipos de comunicación (teléfono, internet, etc),
- ❖ Programas de ofimática,
- ❖ 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.

En dicho flujograma se han incluido las actividades que están vinculadas a los objetivos específicos, entre las que se pueden citar: la recopilación de la información cartográfica y climática de la zona de estudio, el reconocimiento del área para tomar nota de la geología, relieve y vegetación, entre otros aspectos, la identificación y caracterización de las unidades hidrográficas presentes, la construcción de las curvas IDF, el cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado, la estimación de los niveles máximos que alcanzaría el río Orinoco para diferentes períodos de retorno, la determinación de los caudales de escorrentía pluvial y la elaboración del informe final.

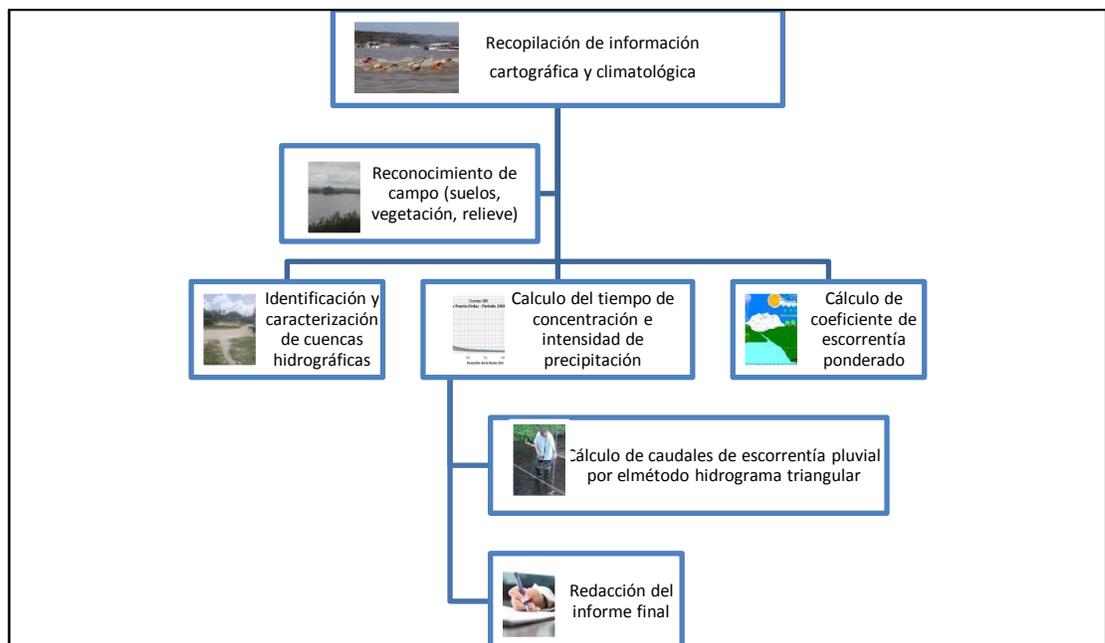


Figura 4.1 Flujograma de actividades.

## **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, geología estructural, hidrológica, entre otras.. Por otra parte se recopiló la información cartográfica de la zona.

### **4.6.2 Caracterizar climatológicamente el 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 según la base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

### **4.6.3 Caracterizar las cuencas del área de estudio**

Con base a las cartas emitidas por la Dirección de Cartografía Nacional a escala 1:25000 correspondientes al sur del estado Anzoátegui se identificaron las cuencas y/o unidades hidrográficas de la zona de estudio que estarían drenando sus aguas de escorrentía pluvial hacia las zonas urbanas de Mapire.

Posteriormente, se determinaron las características morfométricas de dichas unidades.

#### **4.6.4 Determinación del tiempo de concentración y la intensidad de las precipitaciones.**

Mediante la aplicación de la ecuación del California Culvert Practices se determinó el tiempo de concentración de la cuenca. Posteriormente, haciendo uso de las curvas de intensidad – duración y frecuencia de las precipitaciones, se determinó la intensidad de lluvia para los períodos de retorno deseados.

#### **4.6.5 Estimación de los coeficientes de escorrentía de las cuencas**

Se determinaron las áreas internas de las cuencas y de acuerdo al tipo de cobertura, uso del suelo y pendiente media de la cuenca se asignaron para cada una los coeficientes de escorrentía. Posteriormente, se efectuó la sumatoria de los productos de cada área con su coeficiente de escorrentía específico y se dividió entre el área total de la cuenca para así obtener el coeficiente de escorrentía ponderado de la cuenca.

#### **4.6.6 Estimación de los caudales aportados por las cuencas**

Para ello se utilizará el método del Hidrograma triangular unitario SCS.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Determinación de las características climáticas de la zona de estudio

El área de estudio (sector 2) está conformada por una superficie actual de 918,59 ha , en la cual se han actualizado 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 hidrometeorológicas Mapire, Musinacio, y Uverito cuyos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). En la tabla 5.1, se muestran las características de las estaciones mencionadas y en la foto 1 se muestra la estación hidrometeorológica de Mapire.

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

Estación	Tipo	Serial	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Organismo
Mapire	Pr	2620	07°45'24''	64°43'40''	57	INAMEH
Musinacio	C1	4712	07°42'10''	64°46'30''	52	INAMEH
Uverito	PR	3752	08°07'48''	64° 43'36''	120	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 1300 mm anuales, la temperatura media anual oscila alrededor de los 28.3°C y su evaporación promedio supera los 2.500 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 1.300 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 1971-2011; con base en ellos se elaboraron las figuras 5.1, 5.2 y 5.3.

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 anua, donde 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 1971 – 2011 (INAMEH, 2015).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Mapire	11,5	6,8	11,6	61,1	148,6	247,0	250,0	218,0	172,4	100,4	76,0	28,1	1331
Musinacio	9,3	7,2	14,1	71,7	171,3	278,1	295,3	250,2	207,0	110,3	75,2	31,1	1521
Uverito	9,4	10,1	10,4	45,9	94,2	168,3	171,8	196,1	136,5	96,0	62,6	29,1	1030

Figura 5.1 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Mapire. (INAMEH, 2015).

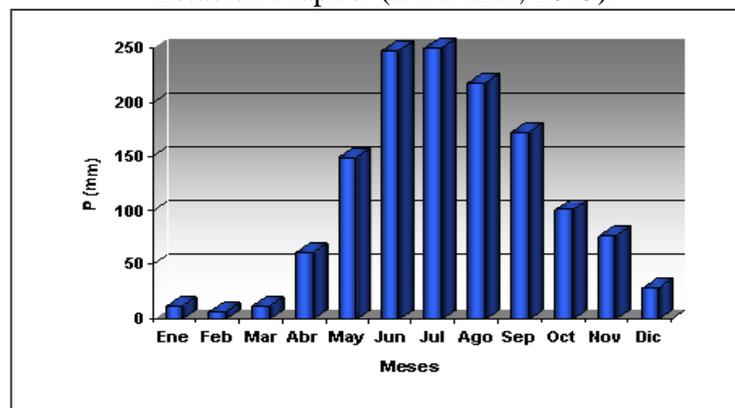


Figura 5.2 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Musinacio (INAMEH, 2017).

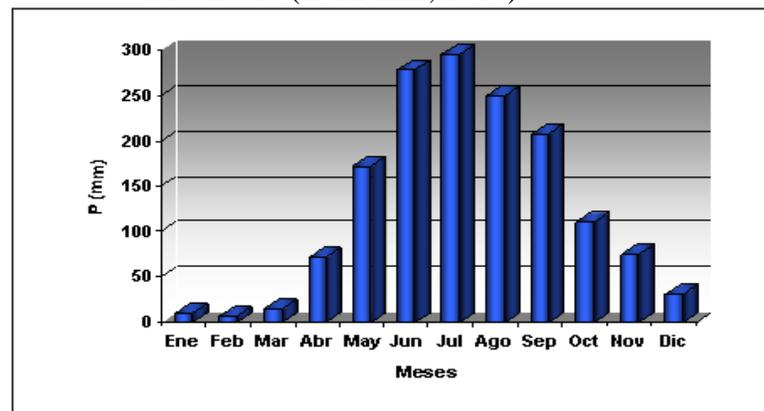
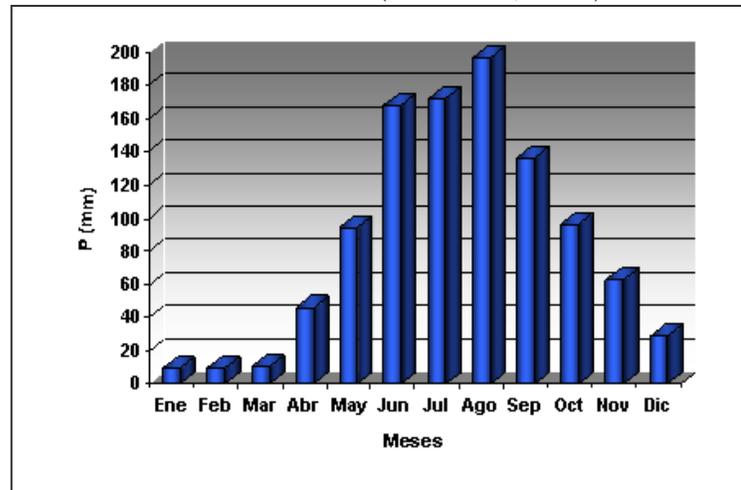


Figura 5.3 Distribución anual de la precipitación (mm).  
Estación Uverito (INAMEH, 2017).



### 5.1.2 Evaporación

La evaporación promedio anual en la zona es bastante elevada, según la estación Musinacio, se registra un valor alrededor de los 2.500 mm por año.

Este parámetro climático no tiene una variación 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.

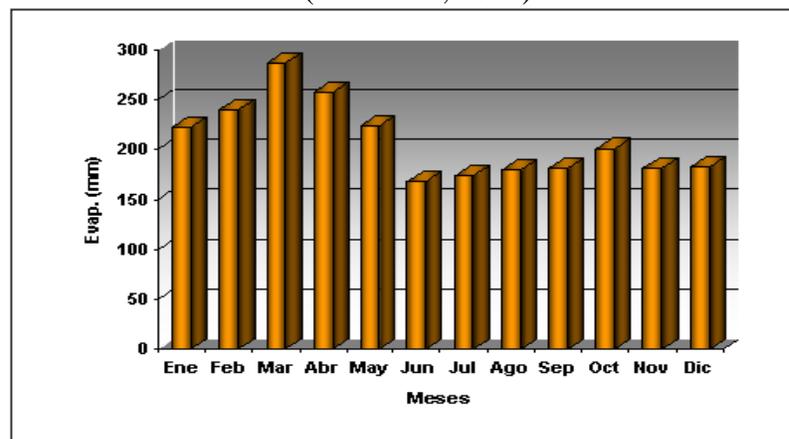
Por otra parte, la evaporación registra sus valores más bajo durante los meses de junio y diciembre, es decir en las épocas de mayor pluviosidad y menor temperatura respectivamente.

En la tabla 5.3 se indican los promedios mensuales, así como el valor total medio anual de la estación Musinacio y el figura 5.4 muestra el comportamiento anual de dicha variable.

Tabla 5.3. Evaporación media, mensual y anual (mm). Estación Musinacio. (INAMEH, 2015).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Musinacio	222	240	286	257	224	168	174	180	181	201	182	183	2.498

Figura 5.4. Variación anual de la evaporación (mm). Estación Musinacio (INAMEH, 2015).



### 5.1.3 Temperatura

En la zona, la estación más cercana (Musinacio) registra 28,3 °C respectivamente en promedio mensual. Por encontrarse en la zona tropical, se cumple la condición de isoterminia, es decir, la diferencia de los valores de temperatura entre el mes más cálido y el más frío no supera los 5 °C.

En la tabla 5.4 se indican los valores medios de temperatura para la estación Musinacio y con base en dichos valores se elaboró la figura 5.5 que muestra el comportamiento anual en la estación mencionada.

Tabla 5.4 Temperatura máxima, media y mínima (°C). Período 1971-2007 (INAMEH, 2015).

Estación	Estadístico	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Musinacio	Máxima Media	32,9	33,6	34,5	34,7	33,8	31,9	31,7	31,9	32,4	32,9	32,7	32,5	33,0
	Media	28,0	28,7	29,5	29,5	28,8	27,5	27,4	27,4	28,1	28,6	28,5	27,9	28,3
	Mínima Media	22,4	22,6	23,2	23,9	23,9	22,8	22,7	23,1	23,1	23,4	23,4	22,9	23,1

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.

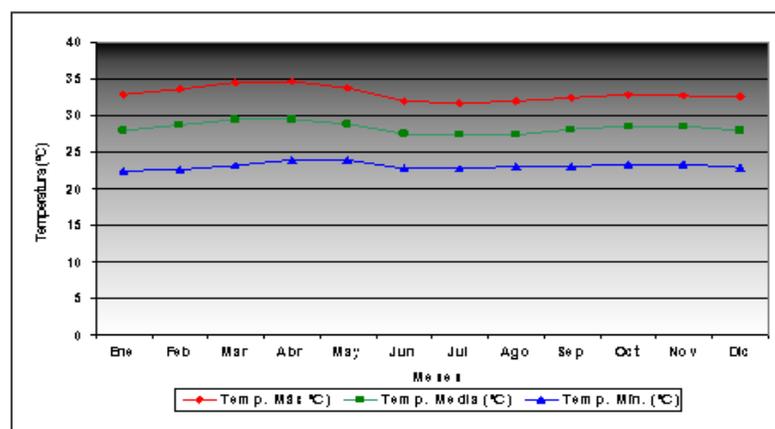


Figura 5.5 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Musinacio

### 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.

La estación Musinacio es la que registra datos de este parámetro. Con base en ello se estima que el área del proyecto recibe una insolación media anual alrededor de 7,3 horas de sol. Los valores más altos ocurren en los meses de enero a marzo y un segundo pico menos importante ocurre en el mes de noviembre. Los menores valores de brillo solar ocurren durante los meses julio y diciembre, lo que demuestra la alta nubosidad presente en la zona en dichos meses, por la temporada de lluviosa. (Tabla 5.5 y figura 5.6).

Tabla 5.5. Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1971-2007. (INAMEH, 2015).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Musinacio	8,5	8,4	8,3	7,2	6,6	5,7	6,4	6,7	7,1	7,5	7,8	7,6	7,3

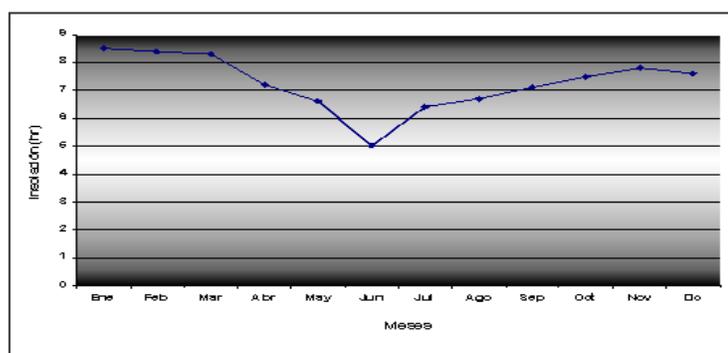


Figura 5.6 Variación anual de la insolación (horas). Estación Musinacio (INAMEH, 2015).

### 5.1.5 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual está por el orden del 65 %, según los datos de la estación Musinacio. En la tabla 5.6, se presentan los valores medios mensuales y anuales de humedad relativa para dicha estación y en la figura 5.7 se muestra su distribución en el año. De acuerdo a ello, se observa que la humedad relativa media mensual alcanza su mayor valor (71%), en el mes de máxima precipitación (junio), y el mínimo durante el mes de marzo, esto es y 55%.

Tabla 5.6. Humedad relativa media mensual y anual (%). Período 1971-2007. (INAMEH, 2015).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Musinacio	61	57	55	58	63	71	70	70	70	68	68	65	65

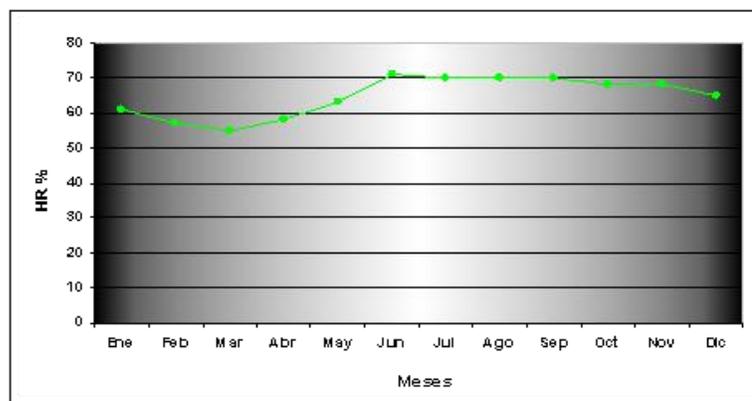


Figura 5.7 Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Musinacio (INAMEH,2015).

### 5.1.6 Vientos

La velocidad media anual del viento, estimada para la zona, está cerca de los 11 km/h, con dirección prevaleciente este-noreste (ENE), mayor en marzo y más baja en agosto.

En la tabla 5.7, se muestran los datos de las estaciones del área y en la figura 5.7 se presenta su distribución anual.

Tabla 5.7 Velocidad media mensual y anual del viento (m/s). Período 1971-2007. (INAMEH, 2015).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Musinacio	13,8	14,9	15,3	13,8	10,9	9,6	8,9	8,1	8,2	8,7	10,4	12,3	11,2

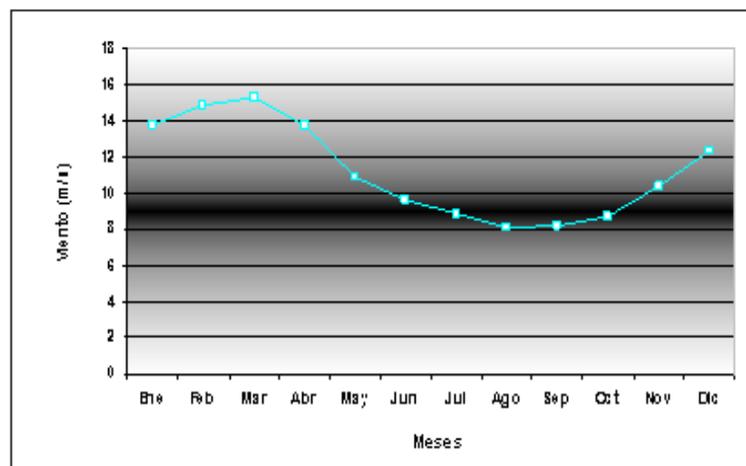


Figura 5.8 Variación anual de la velocidad del viento (m/s). Estación Musinacio (INAMEH, 2015).

## 5.2 Caracterización de las cuencas ubicadas en el área de estudio

Desde el punto de vista hidrográfico, el 84% del sector 1 se enmarca dentro de las subcuencas del Morichal San Pedro y El Perro, las cuales drenan hacia el río Mapire y este a su vez hacia al Río Orinoco; un 12% drena hacia el Morichal de Bogarín y el 4% restante escurre hacia el Morichal Cartanal, ambos aportan sus aguas al Río Orinoco por su margen izquierda.

En cuanto al sector 2, un 58,95% del área escurre hacia el río Mapire por medio del Morichal San Pedro, el 12,11% drena directamente hacia el Río Orinoco a través

del Morichal Cartanal y el resto de la zona de intercuenca entre la desembocadura de éste curso y el río Mapire.

### **5.1.1 Delimitación y definición de cuencas y subcuencas**

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

Para la delimitación de las subcuencas del Sector 1 y del sector 2, se interpretaron los mapas a escala 1:25.000 de Cartografía Nacional: Hojas 7239-II-NE, 7239-II-NO, 7239-II-SO y 7239-III-SE.

El mapa de unidades hidrográficas se muestra en el apéndice A.1.

### **5.2.2 Codificación de las Unidades Hidrográficas**

El sistema de drenaje superficial o cuenca receptora se obtuvo determinando la línea donde el gradiente de energía es nulo; allí una gota de agua sigue la dirección que le impone la pendiente topográfica local. En el caso particular del presente estudio, se delimitó el área en dos (2) sectores a saber:

Se elaboró un código para identificar las subcuencas que integran el área de estudio. Para efectos de cálculo, las subcuencas superiores a 500 ha se subdividieron en otras más pequeñas a fin de poder utilizar la fórmula racional como uno de los métodos para determinar caudales de diseño. Esto es:

### **5.2.2.1 Sector 1**

MSP1: Parte alta del Morichal San Pedro.

MSP2: Parte alta y media alta del Morichal San Pedro.

MSP3: Morichal San Pedro en su parte media.

MDB1: Parte alta de la subcuenca del Morichal de Bogarín.

MDB2: Morichal de Bogarín hasta su punto de cierre en el mapa de unidades hidrográficas.

MC1: Parte alta de la subcuenca del Morichal Cartanal.

AMP1: Subcuenca de un afluente del Morichal El Perro, sin nombre conocido.

### **5.2.2.2 Sector 2**

MSP4: Parte Media baja del Morichal San Pedro.

MSP5: Parte Media baja del Morichal San Pedro, hasta su confluencia con el Morichal Los Rastrojos.

MLR: Morichal Los Rastrojos.

AMSP: Afluente del Morichal San Pedro, sin nombre conocido.

MSP6: Parte Media baja del Morichal San Pedro, hasta su desembocadura en el Río Orinoco.

MC3: Parte baja de la Subcuenca del Morichal Cartanal.

Io: Intercuenca del Río Orinoco entre la desembocadura del río Mapire y el Morichal Cartanal.

### **5.2.3 Descripción de las características hidrográficas**

A continuación se hace una descripción de las características hidrográficas generales del área de influencia del proyecto, así como de las principales subcuencas.

#### **5.2.3.1 Características generales del río Orinoco**

El río Orinoco drena una cuenca de  $1,1 \times 10^6$  Km<sup>2</sup> compartida entre Venezuela y Colombia y tiene una longitud de 2.063 km. Su nacimiento se localiza en el estado Amazonas en la Sierra Parima Cerro Delgado Chabaud (1.047 msnm) y a partir de la confluencia del Guaviare forma frontera con Colombia hasta la confluencia con el Meta, a partir de la cual separa a los estados Apure, Guárico, Anzoátegui y Monagas a la izquierda, del estado Bolívar a la derecha. Cuando empieza el delta, se abre formando el estado Delta Amacuro, ubicado entre Monagas a la izquierda del Caño Mánamo y por el lado derecho, el estado Bolívar y la Guayana Esequiba (Guyana).

La gran cuenca del Orinoco es la más grande del país, y dentro del territorio nacional ocupa aproximadamente el 70% de esta superficie. El río Orinoco es drenado en sus dos márgenes; en su margen derecha, depositan todos los ríos correspondientes a la zona de Guayana; es decir, los que cursan por las altiplanicies del macizo, y los correspondientes a las penillanuras, entre los que se encuentran

Caroní, Caura, Aro, Pao, Cuchivero y Ventuari esta margen se identifica geográficamente al sur del Río Orinoco. Su otra margen (la izquierda), ubicada al norte del río, recauda las aguas de una gran variedad de ríos, en su mayoría, provenientes de los llanos venezolanos, con algunas excepciones correspondientes a ríos colombianos, en su nacimiento, como lo son por ejemplo, el Meta y el Arauca.

En Venezuela, los ríos que alimentan al río Orinoco por la margen norte se encuentran ubicados a lo largo de los llanos occidentales, centrales, y orientales, entre ellos destacan el Apure con tributarios del Guanare, Portuguesa y Guárico entre otros; el Cinaruco, el Cunaviche, el Capanaparo son ríos de poco caudal en épocas de sequía, pero en las temporadas lluviosas (julio-septiembre) son de gran aporte para el Orinoco.

El río Orinoco tiene una capacidad enorme de variación, que se explica no sólo por los cambios estacionales sino también por efectos derivados de la interacción entre la topografía de fondo, las riberas y la corriente del río, que favorecen o limitan las condiciones de mezcla, así como la resuspensión o hundimiento de las masas de agua y los sedimentos.

Se caracteriza por poseer una planicie de inundación muy amplia a ambas márgenes, donde el área de la planicie de inundación es mayor en la margen izquierda lo cual se atribuye a la mayor cantidad de sedimentos transportados por los ríos tributarios de la margen izquierda, en comparación con los ríos que drenan del Macizo Guayanés en la margen derecha (Hamilton y Lewis, 1990). En ellas se encuentran lagunas, las cuales están íntimamente ligadas con la dinámica fluvial del río.

Desde el punto de vista hidrológico el canal del río y su plano de inundación se consideran como una unidad, ya que el agua y los sedimentos son comunes para

ambas áreas. En los meses de Agosto y Septiembre suele haber una lámina de agua cuasi continua.

Los valores de caudales del río Orinoco tienen relevancia, ya que su dinámica estacional influye sobre el ritmo de diversas actividades económicas, tales como, la agricultura y la pesca, así como los elementos funcionales o relaciones entre las poblaciones que están afectadas por su régimen hídrico.

Una superficie de 27.8827 ha, es decir, el 21% de la poligonal de estudio, drena directamente hacia el río Orinoco, ya que se localiza en su ribera norte, aguas abajo de la desembocadura al este del río Los Pozos. En el Mapa de unidades Hidrográficas este sector aparece con el código LB3.

### **5.2.3.2 Características generales del río Mapire, afluente directo del Río Orinoco**

El río Mapire es un afluente directo del Río Orinoco por su margen izquierda, el cual desemboca en estas aguas arriba de la población que lleva su mismo nombre. El Morichal San Pedro es uno de sus contribuyentes principales en la parte baja de su cuenca.

### **5.2.3.3 Características generales del Morichal San Pedro, afluente directo del río Mapire**

Es un tributario del río Mapire que nace a unos 58 msnsm. Desde su nacimiento hasta su desembocadura, casi siempre en dirección noroeste-suroeste, el Morichal San Pedro tiene una longitud total de 12,8 Km.

Este curso de agua es de régimen permanente; sus aguas son de color té y presenta un bosque de Galería (Morichal) bastante denso sobre todo en los alrededores de su nacimiento. Su principal afluente es el Morichal Los Rastrojos, en su parte baja y poco antes de su desembocadura en el río Mapire. A la altura de la población de Mapire, el curso del Morichal San Pedro sirve como zona de esparcimiento y recreación por los pobladores al utilizarlo como Balneario.

#### **5.2.3.4 Características hidrográficas del sector 1**

##### **❖ Subcuenca parte alta y media alta del Morichal San Pedro (MSP1+MSP2+MSP3), afluente del río Mapire**

La mayor parte del sector 1 (70%), o sea 702,1 ha pertenecen a esta subcuenca que escurre sus aguas hacia el río Mapire, por su margen izquierda. Dentro del área de estudio y hasta el punto de cierre, recorre 5,52 Km, casi siempre en dirección noroeste-suroeste, atravesando en ese mismo sentido al área de estudio, seccionándola en 2 porciones.

En la figura 5.8, se observa la subcuenca del Morichal San Pedro.



Figura 5.9 Morichal San Pedro en MSP1.

❖ **Subcuenca parte alta del Morichal de Bogarín (MDB1+MDB2), afluente del Río Orinoco.**

La zona más nororiental del sector 1 (118,6 ha), que corresponde al 11,9%, drena hacia la parte alta de esta subcuenca, la cual escurre sus aguas directamente hacia el Río Orinoco, aguas abajo de la población de Mapire.

El Morichal de Bogarín nace de una laguna localizada al norte del área a 60 msnm aproximadamente y su curso principal recorre 3,8 Km hasta su punto de cierre, en dirección predominantemente noroeste-sureste.

El curso del Morichal Bogarín, de aproximadamente 1,5 m de ancho, es de régimen permanente y en su recorrido aparece rodeado de un denso bosque de galería (Morichal); sus aguas son de color oscuro.

En la figura 5.10 se muestra el cauce del Morichal de Bogarín.



Figura 5.10 Cauce Morichal de Bogarín en MDB2.

❖ **Subcuenca sin nombre conocido (AMP1), afluente del Morichal El Perro**

El extremo oeste de la poligonal del sector 1 (136 ha), que corresponde al 13,7 % del área, drena hacia este afluente sin nombre conocido que nace dentro del área a unos 48 msnm y que aporta sus aguas hacia el Morichal El Perro, que a su vez escurre hacia el río Mapire.

Su colector principal tiene una orientación de este a oeste. Durante las visitas de campo realizadas a la zona, no fue posible llegar hacia su cauce por no existir vías de acceso.

❖ **Subcuenca parte alta del Morichal Cartanal (MC1), afluente del Río Orinoco**

Hacia esta subcuenca escurre un 3,7% del área del Sector 1, es decir 36,9 ha. El Morichal Cartanal drena directamente hacia el Río Orinoco, aguas abajo de la población de Mapire.

Se trata de un morichal de régimen permanente, cuyas aguas son utilizadas para la irrigación de plantaciones en algunas de las fincas que atraviesa a su paso. El cauce del Morichal Cartanal aparece rodeado de un bosque de galería y su orientación es predominantemente norte-sur. La longitud del cauce principal en su parte alta es de unos 2 Km.

En la figura 5.11 se muestra el cauce del Morichal Cartanal.



Figura 5.11 Cauce Morichal Cartanal en MC1.

#### 5.2.3.5 Características hidrográficas del sector 2

❖ **Subcuenca del Morichal Los Rastrojos (MLR), directo del Morichal San Pedro**

Apenas un 0,55 % del Sector 2 (5,07ha) drenan hacia este curso de agua que nace al noroeste del área, a unos 59 msnm. Esta subcuenca ocupa un espacio total de 422,09 ha y su curso principal recorre 4,19 km de régimen permanente hasta su desembocadura en el Morichal San Pedro, con una dirección predominante noroeste – suroeste.

❖ **Subcuenca sin nombre conocido (AMSP), afluente directo del Morichal San Pedro.**

Su colector principal nace fuera del área del sector 2, a 61,5 msnm y abarca una superficie total de 315,10 ha. Una pequeña parte del Sector 2 de aproximadamente 12,65 ha, es decir un 1,38%, drena hacia esta subcuenca. Tiene un régimen de drenaje

permanente, su recorrido tiene dirección predominante norte – sur y una longitud de 3,4 km desde su nacimiento hasta que tributa sus aguas al Morichal San Pedro.

❖ **Subcuenca parte baja del Morichal Cartanal (MC3), afluente directo del Río Orinoco**

Hacia la parte baja de esta subcuenca escurre un 12,11% del sector 2, lo que equivale a 111,21 ha. La subcuenca completa comprende un área de 1239 ha.

❖ **Subcuenca parte baja y media baja del Morichal San Pedro (MSP4+MSP5+MSP6), afluente del río Mapire**

Se refiere a la parte baja de la subcuenca del Morichal San Pedro, hacia donde drenan 286,22 ha del sector 2, lo que representa el 31,12 %. En esta parte el cauce se ensancha hasta alcanzar más de 10 metros. Su divisoria prácticamente divide en dos el área de estudio y bordeando la población de Mapire. La subcuenca abarca un área de 3.246,22 ha.

En la figura 5.12, se observa el cauce del Morichal San Pedro en este sector.



Figura 5.12 Cauce Morichal San Pedro al noroeste de la población de Mapire.

### ❖ Intercuenca de la margen izquierda del Río Orinoco (Io)

Lo conforma el área entre la desembocadura del río Mapire y el río Cartanal en el Orinoco, hacia donde drena un 28,9 % del Sector 2, lo que equivale a 265,87 ha. Se trata de la margen izquierda del Río Orinoco, en cuya área se encuentra asentada la población de Mapire. Presenta una gran pendiente en dirección a la planicie de inundación en donde pueden observarse pequeños drenajes de régimen intermitente.

#### 5.2.4 Morfometría de las cuencas

A continuación se presentará en las tablas 5.8 y 5.9 los parámetros morfométricos de las cuencas identificadas:

Tabla 5.8 Parámetros morfométricos de las subcuencas del sector 1.

Cuenca, subcuenca o microcuenca	Código de la unidad	Área (ha)	Long. Cauce (km)	Coefficiente Compacidad (kc)	Factor forma (Ff)	Drena a
Morichal San Pedro en su parte alta y media alta	MSP1	316,8	1,90	1,12	0,47	Morichal San Pedro
Morichal San Pedro en su parte alta y media	MSP1+MSP2	875,7	3,79	1,15	0,46	Morichal San Pedro
Morichal San Pedro hasta el punto de cierre en MSP3	MSP1+MSP2+MSP3	1428,5	5,52	1,28	0,42	Río Mapire
Morichal de Bogarín en su parte alta	MDB1	294,1	2,20	1,11	0,52	Morichal de Bogarín
Morichal de Bogarín en su parte alta y media	MDB1+MDB2	951,3	4,16	1,11	0,59	Río Orinoco
Morichal Cartanal en su parte alta	MC1	329,0	3,8	1,07	0,52	Río Orinoco
Qda. Sin nombre conocido afluente del Morichal El Perro.	AMP1	575	2,56	1,15	0,52	Morichal El Perro

Tabla 5.9 Parámetros morfométricos de las subcuencas del sector 2.

Cuenca, subcuenca o microcuenca	Código de la unidad	Área (ha )	Long. Cauce (km)	Coefficiente Compacidad (kc)	Factor forma (Ff)	Drena a
Morichal Los Rastrojos	MLR	422,09	4,19	1,23	0,55	Río Orinoco
Quebrada Sin nombre conocido, afluente del Morichal San Pedro	AMSP	315,10	3,42	1,20	0,36	Morichal El Perro
Morichal Cartanal en su parte alta y media	MC1+MC2	986,86	5,12	1,14	0,10	Morichal Cartanal
Morichal Cartanal	MC1+ MC2+ MC3	1239,86	10,9	1,22	0,09	Río Orinoco
Morichal San Pedro hasta su parte media baja	MSP1+ MSP2+ MSP3+ MSP4	1873,90	8,1	1,50	0,21	Morichal San Pedro
Morichal San Pedro hasta su parte media baja y baja.	MSP1+ MSP2+ MSP3+ MSP4+ MSP5	2574,46	10,3	1,47	0,19	Morichal San Pedro
Morichal San Pedro	MSP1+ MSP2+ MSP3+ MSP4+ MSP5+MSP6	3246,22	12,8	1,56	0,17	Río Mapire
Intercuenca del Río Orinoco	Io	265,82	---	---	---	Río Orinoco

#### 5.2.4.1 Consideraciones generales sobre la morfometría de las subcuencas y su capacidad para producir eventos extraordinarios

##### Sector 1

- ❖ La subcuenca del Morichal San Pedro hasta MSP3 el punto de cierre, aguas abajo del límite sur de la poligonal del sector 1 y hacia donde drena el 70% del área a urbanizar, (MSP1+MSP2+MSP3) arroja un Factor forma (Ff) de 0,42, lo que indica que no es productora de grandes crecientes. Su densidad de drenaje es baja y el Coeficiente de Compacidad (Kc) es de 1,28 lo que expresa el alejamiento de la subcuenca de la forma circular, es decir, la superficie no contribuye simultáneamente con el escurrimiento superficial. El Tiempo de Concentración es de 2,20 horas y su pendiente es de 0,003m/Km.
- ❖ La parte alta y media del Morichal de Bogarín, (MDB1+MDB2), hacia la que drena un 11,9% del área tiene valores altos de Factor forma y Coeficiente de Compacidad;

esto es 0,59 y 1,11 respectivamente, lo que indica que toda la subcuenca contribuye con el escurrimiento de manera simultánea por efecto de la forma cuasi circular de la misma, produciendo respuestas rápidas y posibilidad de ocurrencia de grandes crecientes. El Tiempo de concentración es de 1,20 horas y la pendiente media del cauces 0,007 m/km.

- ❖ La parte alta de la subcuenca del Morichal Cartanal, identificada en el mapa de Unidades Hidrográficas como MC1 y hacia la que escurre un 3,7% del área de estudio, presenta al igual que la subcuenca del Morichal de Bogarín, una forma redondeada, lo que le confiere características similares en cuanto a la respuesta hidrológica rápida, lo cual queda evidenciado en el valor del Factor forma 0,52 y en el del Coeficiente de compacidad, 1,07. El tiempo de concentración es bastante bajo (0,70 horas) y la pendiente media del cauce principal es de 0,009 m/Km.
- ❖ Finalmente, un 13,7% del área drena hacia la subcuenca AMP1, la cual presenta datos morfométricos semejantes a las subcuencas descritas anteriormente. Esto corresponde a un Factor forma de 0,53 y un Coeficiente de compacidad de 1,16. El tiempo de concentración es de 0,8 horas y la pendiente media del cauce es de 0,010m/Km, Estos datos revelan que la subcuenca es propensa a producir grandes crecientes y que tiene una respuesta hidrológica rápida; sin embargo su densidad de drenaje es bastante baja.

## Sector 2

- ❖ La subcuenca del Morichal de Los Rastrojos, (MLR), hacia la que drena un 0,55% del sector 2 tiene valores de Factor forma de 0,55 y Coeficiente de Compacidad de 1,23, lo que indica que toda la subcuenca contribuye con el escurrimiento de manera simultánea por efecto de la forma cuasi circular de la misma, produciendo respuestas rápidas y posibilidad de ocurrencia de grandes crecientes. El Tiempo de concentración es de 0,93 horas y la pendiente media del cauces 0,003 m/km.

- ❖ Un 1,38% del área drena hacia la subcuenca AMSP. Los datos morfométricos que corresponden a esta subcuenca son de un Factor forma de 0,36 y un Coeficiente de compacidad de 1,20. El tiempo de concentración es de 1,05 horas y la pendiente media del cauce es de 0,009 m/Km, Estos datos revelan que la subcuenca es propensa a producir grandes crecientes y que tiene una respuesta hidrológica rápida; sin embargo su densidad de drenaje es bastante baja.
  
- ❖ La subcuenca del Morichal Cartanal, (MC1+ MC2+ MC3) y hacia la que escurre un 12,11% del área de estudio, presenta una forma alargada, lo que le confiere una respuesta hidrológica lenta, lo cual queda evidenciado en el valor del Factor forma de 0,09 y en el del Coeficiente de compacidad, 1,22. El tiempo de concentración es de 0,49 horas y la pendiente media del cauce principal es bastante baja, 0,001 m/Km.
  
- ❖ El 31,12% del sector 2 escurre hacia el Morichal San Pedro (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+ MSP5+MSP6). Esta subcuenca se aleja de la forma circular, por lo que no contribuye de forma simultánea al escurrimiento. Su factor forma es de 0,17, el coeficiente de compacidad resultó ser de 1,56, el tiempo de concentración es de 1,17 horas y la pendiente media del cauce principal es de 0,001 m/Km.
  
- ❖ Especial atención merece la zona de Intercuenca del Río Orinoco (Io). Un 28,9 % del área del proyecto se enmarca aquí, por lo que debe considerarse la dinámica estacional de su régimen hídrico. Así mismo, debe tomarse en cuenta la ocurrencia de los eventos que pudieran producirse, tales como crecientes extraordinarias, que impliquen riesgos significativos para el proyecto. Por lo antes expuesto, se estimó, con los datos de niveles máximos registrados en la estación Musinacio, los valores extremos de Gumbel para diferentes períodos de retorno. Con base en ellos se tiene que el nivel máximo que alcanzará el Río Orinoco para una creciente de 50 años de

período de retorno es de 28,5 m y para la creciente centenaria el río alcanzará los 29,0 metros, por lo que no se recomienda urbanismos por debajo de esta cota.

En la figura 5.13 se muestran los valores extremos de Gumbel para el Río Orinoco, en la estación Musinacio, aguas arriba del área de estudio.

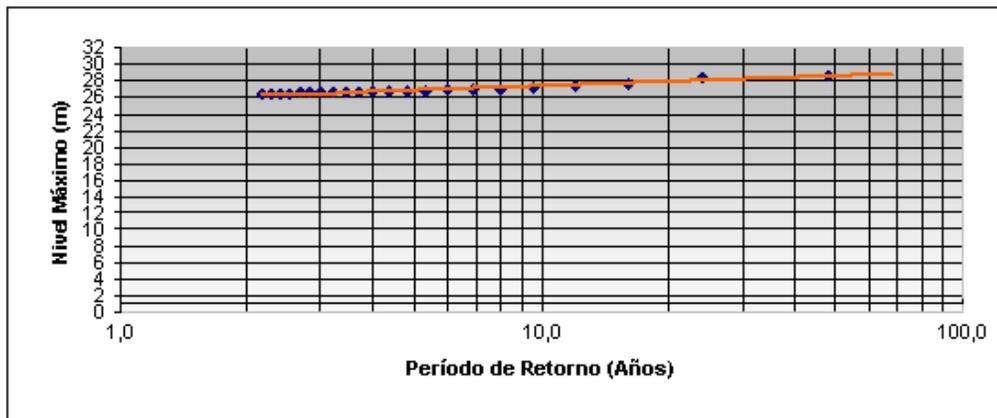


Figura 5.13 Valores extremos de Gumbel para el Río Orinoco en Musinacio. Período 1970-2.016.

#### 5.2.4.2 Curvas de intensidad duración y frecuencia de las precipitaciones

Con base a los datos pluviométricos de la estación Musinacio correspondiente al período 1968 al 2000, Donatti, K. (2017) construyó las curvas IDF para la región de la población de Mapire. Dichas curvas se utilizarán en esta investigación para la determinación de las intensidades de lluvia (I) que posteriormente permitirán la determinación de los caudales que drenarán las subcuencas presentes en el área de estudio.

Tanto los datos para su construcción como las curvas propiamente dichas se pueden observar en el apéndice B.1 de este documento.

### 5.3 Determinación de los coeficientes de escorrentía para las áreas cubiertas por las cuencas existentes en el área de estudio

Para la estimación del coeficiente de escorrentía ponderado para cada cuenca se determinará el área ocupada por cada tipo de uso del suelo dentro de cada cuenca y se multiplicará cada superficie por el coeficiente de escurrimiento correspondiente de acuerdo a las tablas 5.10 y 5.11 de coeficientes de escorrentía de Camacho (2004). La sumatoria de estos productos se dividirá entre el área total de la cuenca.

Tabla 5.10. Coeficiente de escorrentía (Camacho, 2004)

Tipo de área 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
Áreas deportivas	-	0,20
Áreas de patios ferroviarios	-	0,20
Áreas no mejoradas	-	0,10
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

Tipo de área a drenar		Coefficiente de escorrentía
	Ladrillos	0,70-0,85
Veredas y caminos	-	0,75-0,85
Techos	-	0,75-0,95

Tabla 5.11 Coeficiente de escorrentía C (Camacho, 2004).

Cobertura Vegetal	Tipo de Suelo	Pendiente del Terreno				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
			50%	20%	5%	1%
Sin Vegetación	Impermeable	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
	Semipermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Permeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
Cultivos	Impermeable	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5
	Semipermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Permeable	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45
	Semipermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Permeable	0,35	0,3	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4
	Semipermeable	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
	Permeable	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
Bosque Densa Vegetación	Impermeable	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
	Semipermeable	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25
	Permeable	0,25	0,2	0,15	0,1	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

De la observación en las imágenes de satélite PDVSA determinó que las superficies de las subcuencas identificadas se encuentran con dos tipos de uso del suelo: vegetación arbustiva y bosque de galería; en vista de ello, proponen el uso de

de un coeficiente de escorrentía de 0.47 para todas las subcuencas dada la uniformidad de uso del suelo en todas ellas.

#### 5.4 Estimación de los caudales de escorrentía superficial aportados por las cuencas y unidades hidrográficas

##### 5.4.1 Estimación de caudales por el método racional

A continuación se determina el Caudal máximo para diferentes períodos de retorno (25 y 50 años), utilizando la Fórmula Racional para las subcuencas menores a 500 ha, perteneciente al sector 1. Estas son: MSP1, MDB1 y MC1.

En la tabla 5.12 se muestran los atributos de la subcuenca para el cálculo del caudal de diseño por la Fórmula Racional para la subcuenca parte alta del Morichal San Pedro (MSP1).

Tabla 5.12 Atributo de la subcuenca pertenecientes al Morichal San Pedro.

Subcuenca	Código	Área (ha)	Coefficiente Escorrentía.	Tc (h)
Parte alta Morichal San Pedro	MSP1	316,8	0,47	0,46

Aplicando la Fórmula Racional se tiene que:

Para la subcuenca (MSP1) y  $Tr = 25$  años:

$$Q_{\text{máx}} = (0,47 \times 161,7 \text{ mm/h} \times 316 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx.}} = 66,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para la subcuenca (MSP1) y  $Tr = 50$  años:

$$Q_{\text{máx}} = (0,47 \times 184,2 \text{ mm/h} \times 316 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx}} = 75,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla 5.13, se presenta el caudal de diseño para diferentes períodos de retorno de la subcuenca (MSP1).

Tabla 5.13 Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca MSP1.

Unidad	Tr (años)	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Subcuenca parte alta del Morichal San Pedro (MSP1)	10	133,1	54,9
	25	161,7	66,7
	50	184,2	75,9

En la tabla 5.14 se muestran los atributos para el cálculo del caudal de diseño por la Fórmula Racional para la subcuenca parte alta del Morichal de Bogarín (MDB1).

Tabla 5.14 Atributo de las subcuenca perteneciente al Morichal de Bogarín.

Subcuenca	Código	Área (ha)	Coefficiente Escorrentía.	Tc (h)
Parte alta Morichal de Bogarín	MDB1	294,1	0,47	0,73

Para la subcuenca (MDB1) y Tr = 25 años:

$$Q_{\text{máx.}} = (0,47 \times 120,4 \text{ mm/h} \times 395 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx.}} = 62,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para la subcuenca (MDB1) y Tr = 50 años:

$$Q_{\text{máx.}} = (0,47 \times 137,4 \text{ mm/h} \times 395 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx.}} = 70,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla 5.15, se presenta el caudal de diseño para diferentes períodos de retorno de la subcuenca (MDB1).

Tabla 5.15 Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca MDB1.

Unidad	Tr (años)	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Subcuenca parte alta del Morichal de Bogarín (MDB1)	10	98,7	50,9
	25	120,4	62,0
	50	137,4	70,8

En la tabla 5.16 se muestran los atributos para el cálculo del caudal de diseño por la Fórmula Racional para la subcuenca parte alta del Morichal de Cartanal (MC1).

Tabla 5.16 Atributo de las subcuenca perteneciente al Morichal Cartanal.

Subcuenca	Código	Área (ha)	Coefficiente Escorrentía.	Tc (h)
Parte del Morichal Cartanal	MC1	329	0,47	0,70

Para la subcuenca (MC1) y Tr = 25 años:

$$Q_{\text{máx.}} = (0,47 \times 123,5 \text{ mm/h} \times 329 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx}} = 53,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para la subcuenca (MC1) y Tr = 50 años:

$$Q_{\text{máx.}} = (0,47 \times 141,0 \text{ mm/h} \times 329 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx}} = 60,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla 5.17, se presenta el caudal de diseño para diferentes períodos de retorno de la subcuenca (MC1).

Tabla 5.17 Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca MC1.

Unidad	Tr (años)	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Subcuenca del Morichal	10	101,4	43,6
	25	123,5	53,0
Cartanal	50	141,0	60,6

A continuación se determina el caudal máximo para diferentes períodos de retorno, utilizando la Fórmula Racional para las subcuencas menores a 500 ha, perteneciente al sector 2. Estas son: AMSP y MLR (Tabla 5.18).

Tabla 5.18. Atributo de las subcuenca perteneciente al afluente del Morichal San Pedro, sin nombre conocido.

Subcuenca	Código	Área (ha)	Coefficiente Escorrentía.	Tc (h)
Quebrada sin nombre conocido, afluente del Morichal San Pedro	AMSP	315,10	0,47	1,05

Para la subcuenca (AMSP) y Tr = 25 años:

$$Q_{\text{máx}} = (0,47 \times 95,6 \text{ mm/h} \times 315,10 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx}} = 39,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para la subcuenca (AMSP) y Tr = 50 años:

$$Q_{\text{máx}} = (0,47 \times 109,3 \text{ mm/h} \times 315,10 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx}} = 45,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla 5.19 se presenta el caudal de diseño para diferentes períodos de retorno de la subcuenca (AMSP).

Tabla 5.19 Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca AMSP.

Unidad	Tr (años)	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Quebrada sin nombre conocido, afluyente del Morichal San Pedro	10	77,9	32,2
	25	95,6	39,3
	50	109,3	45

En la tabla 5.20 se muestran los atributos para el cálculo del caudal de diseño por la Fórmula Racional para la subcuenca del Morichal Los Rastrojos (MLR).

Tabla 5.20 Atributo de las subcuenca perteneciente al Morichal Los Rastrojos.

Subcuenca	Código	Área (ha)	Coefficiente Escorrentía.	Tc (h)
Morichal Los Rastrojos	MLR	422,09	0,47	1,30

Para la subcuenca (MLR) y Tr = 25 años:

$$Q_{\text{máx.}} = (0,47 \times 83,4 \text{ mm/h} \times 422,09 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx}} = 45,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para la subcuenca (MLR) y Tr = 50 años:

$$Q_{\text{máx}} = (0,47 \times 95,5 \text{ mm/h} \times 422,09 \text{ ha}) / 360$$

$$Q_{\text{máx}} = 52,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la tabla 5.21, se presenta el caudal de diseño para diferentes períodos de retorno de la subcuenca del Morichal Los Rastrojos (MLR).

Tabla 5.21 Caudal de diseño por fórmula racional para la subcuenca MLR.

Unidad	Tr (años)	I (mm/h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Morichal Los Rastrojos (MLR)	25	83,4	45,9
	50	95,5	52,4

#### 5.4.2 Estimación de caudales por el método del hidrograma unitario triangular SCS

Con la finalidad de construir el hidrograma unitario triangular SCS, se procederá a continuación al cálculo de los parámetros involucrados de acuerdo a lo establecido en las ecuaciones 3.23 a la 3.38, para todas las subcuencas localizadas dentro del área de estudio.

En ese sentido, tenemos los siguientes resultados:

##### 5.4.2.1 Hidrogramas Unitario Triangular SCS para subcuencas del Sector1

###### ❖ Para las subcuencas del Morichal San Pedro

*Subcuenca (MSPI).*

Considerando un área total de la cuenca de 3,168 Km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 0,46 horas, se tiene:

$$T_p = 0,31 \text{ horas} = 18,6 \text{ min.}$$

$$T_b = 0,83 \text{ horas} = 49,8 \text{ min.}$$

$$T_r = 0,52 \text{ horas} = 31,2 \text{ min.}$$

$$TL = 16,8 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 3,6 \text{ min.}$$

$$qp = 2,12 \text{ m}^3/\text{s}.\text{mm.}$$

En ese sentido, se dispone a continuación en la figura 5.14, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca parte alta del Morichal San Pedro (MSP1).

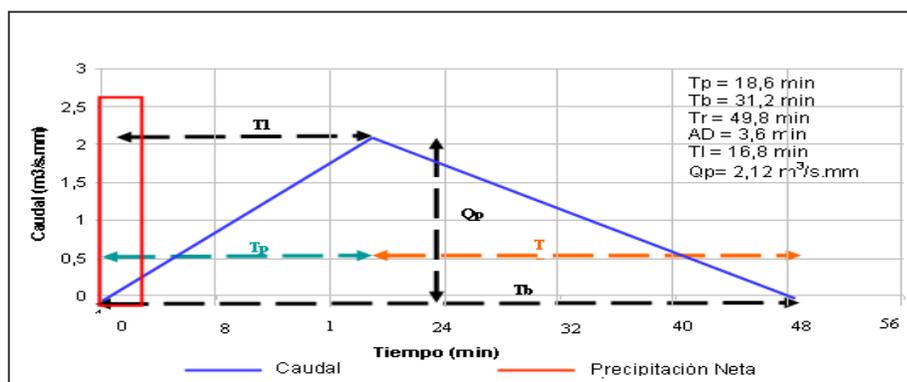


Figura 5.14 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1).

#### *Subcuenca (MSP1+MSP2)*

Considerando un área total de la cuenca de 8,75 Km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 1,65 horas, se tiene:

$$Tp = 1,1 \text{ horas} = 66 \text{ min.}$$

$$Tb = 0,82 \text{ horas} = 49,2 \text{ min.}$$

$$Tr = 1,83 \text{ horas} = 110,2 \text{ min.}$$

$$TL = 59,4 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 13,2 \text{ min.}$$

$$qp = 1,65 \text{ m}^3/\text{s}.\text{mm.}$$

En ese sentido, se dispone a continuación en la figura 5.15, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca parte alta y media del Morichal San Pedro ((MSP1+MSP2).

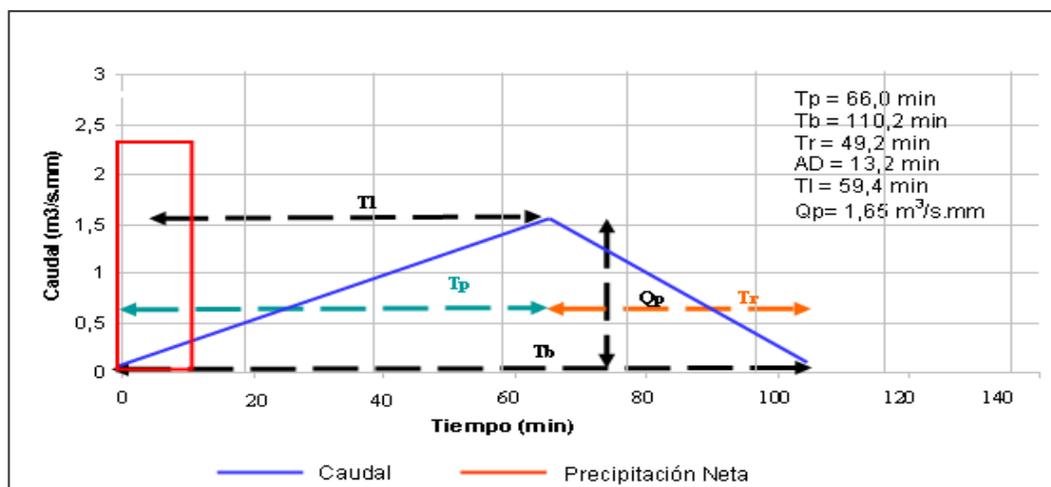


Figura 5.15 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1+MSP2).

#### *Subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3)*

Considerando un área total de la cuenca de  $14,285 \text{ Km}^2$  y un tiempo de concentración de 2,20 horas, se tiene:

$$T_p = 1,46 \text{ horas} = 88 \text{ min.}$$

$$T_b = 3,89 \text{ horas} = 233,9 \text{ min.}$$

$$T_r = 2,43 \text{ horas} = 146,9 \text{ min.}$$

$$TL = 81,9 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 17,6 \text{ min.}$$

$$q_p = 2,03 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

En ese sentido, se dispone a continuación en la Figura 5.16, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca del Morichal San Pedro hasta el punto de cierre (MSP1+MSP2+MSP3).

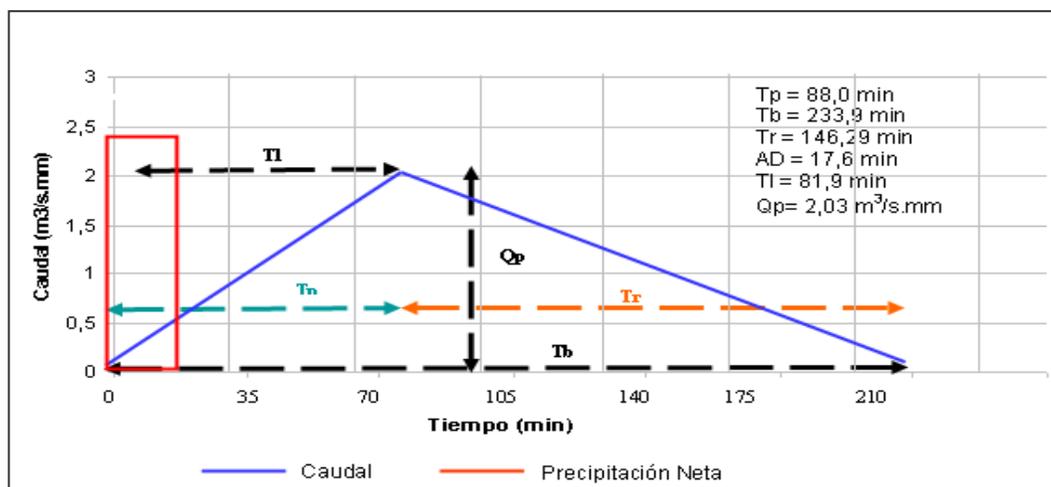


Figura 5.16 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3).

❖ **Para las subcuencas del Morichal de Bogarín:**

*Subcuenca (MDB1)*

Considerando un área total de la cuenca de  $2,941 \text{ Km}^2$  y un tiempo de concentración de 0,73 horas, se tiene:

$$T_p = 0,49 \text{ horas} = 29,2 \text{ min.}$$

$$T_b = 1,30 \text{ horas} = 78,5 \text{ min.}$$

$$T_r = 0,81 \text{ horas} = 49,0 \text{ min.}$$

$$TL = 26,4 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 5,84 \text{ min.}$$

$$q_p = 1,67 \text{ m}^3/\text{s}.\text{mm.}$$

A continuación en la figura 5.17, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca parte alta del Morichal de Bogarín (MDB1).

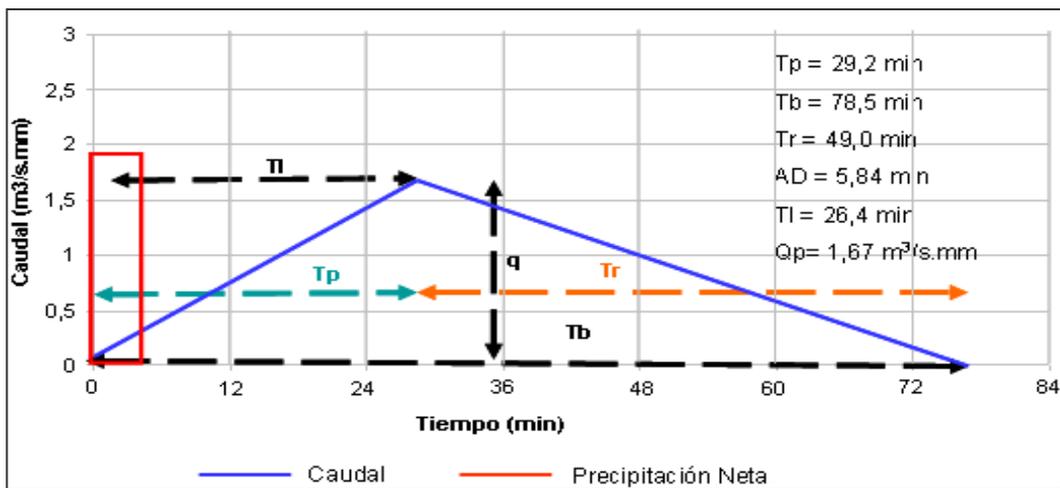


Figura 5.17 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MDB1).

#### Subcuenca (MDB1+MDB2)

Considerando un área total de la cuenca de 9,513 Km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 1,20 horas, se tiene:

$$T_p = 0,8 \text{ horas} = 48,0 \text{ min.}$$

$$T_b = 2,14 \text{ horas} = 128,4 \text{ min.}$$

$$T_r = 1,33 \text{ horas} = 80,2 \text{ min.}$$

$$T_L = 43,2 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 9,6 \text{ min.}$$

$$q_p = 2,47 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

A continuación en la figura 5.18, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca parte alta y media del Morichal de Bogarín (MDB1+MDB2).

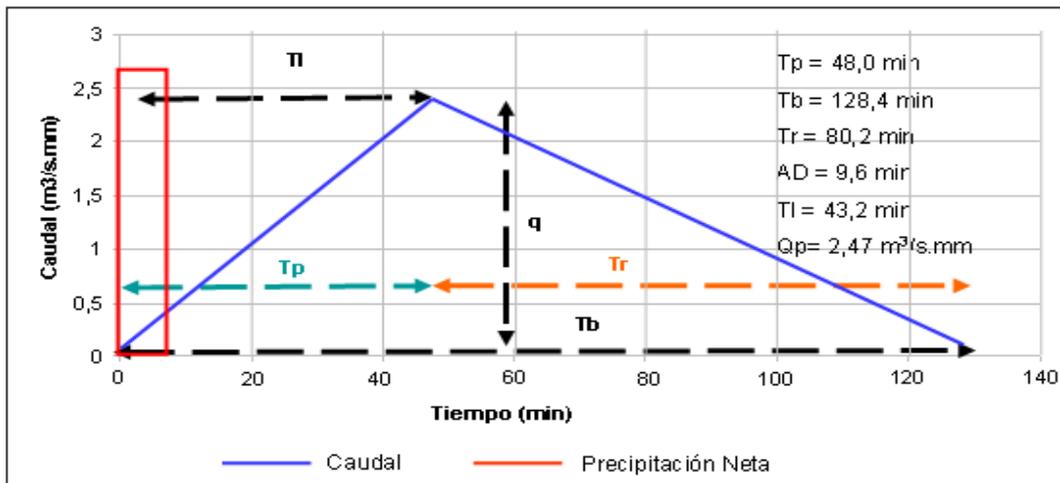


Figura 5.18 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MDB1+MDB2).

❖ **Para la subcuenca parte alta del Morichal Cartanal**

*Subcuenca (MC1)*

Considerando un área total de la cuenca de  $3,29 \text{ Km}^2$  y un tiempo de concentración de 0,70 horas, se tiene:

$$T_p = 0,46 \text{ horas} = 28,0 \text{ min.}$$

$$T_b = 1,22 \text{ horas} = 73,7 \text{ min.}$$

$$T_r = 0,77 \text{ horas} = 46,0 \text{ min.}$$

$$T_L = 24,9 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 5,6 \text{ min.}$$

$$q_p = 2,73 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

A continuación en la figura 5.19, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca parte alta del Morichal Cartanal (MC1).

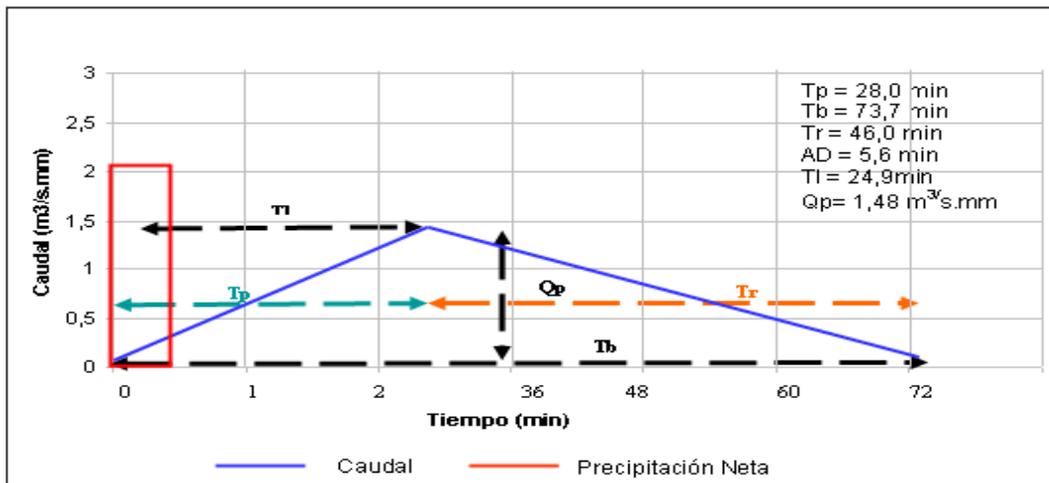


Figura 5.19 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MC1).

❖ **Para la subcuenca sin nombre conocido, afluente del Morichal El Perro:**

*Subcuenca (AMP1)*

Considerando un área total de la cuenca de 5,75 Km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 0,80 horas, se tiene:

$$T_p = 0,53 \text{ horas} = 32,0 \text{ min.}$$

$$T_b = 1,41 \text{ horas} = 84,9 \text{ min.}$$

$$T_r = 0,89 \text{ horas} = 53,1 \text{ min.}$$

$$T_L = 28,5 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 6,4 \text{ min.}$$

$$q_p = 2,23 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

A continuación en la figura 5.20, del hidrograma unitario Triangular SCS de la subcuenca del afluente sin nombre conocido del Morichal El Perro (AMP1).

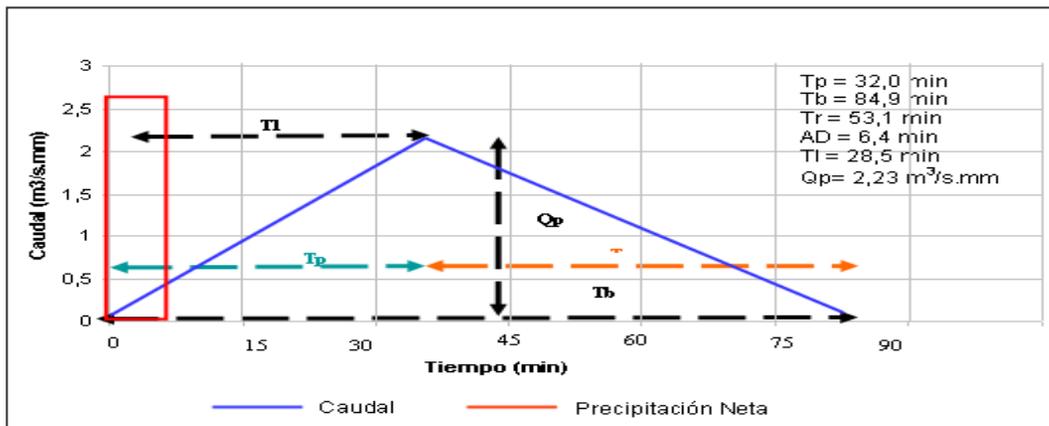


Figura 5.20 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuena del afluente sin nombre conocido del Morichal El Perro (AMP1).

#### 5.4.2.2 Hidrograma Unitario Triangular SCS para subcuencas del Sector 2

##### ❖ Para la subcuena del Morichal Los Rastrojos:

*Subcuena (MLR)*

Considerando un área total de la cuenca de 4,22 Km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 1,30 horas, se tiene:

$$T_p = 52,0 \text{ min.}$$

$$T_b = 138,8 \text{ min.}$$

$$T_r = 86,8 \text{ min.}$$

$$T_L = 46,8 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 10,4 \text{ min.}$$

$$Q_p = 1,01 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

A continuación en la figura 5.21, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuena del Morichal Cartanal (MLR).

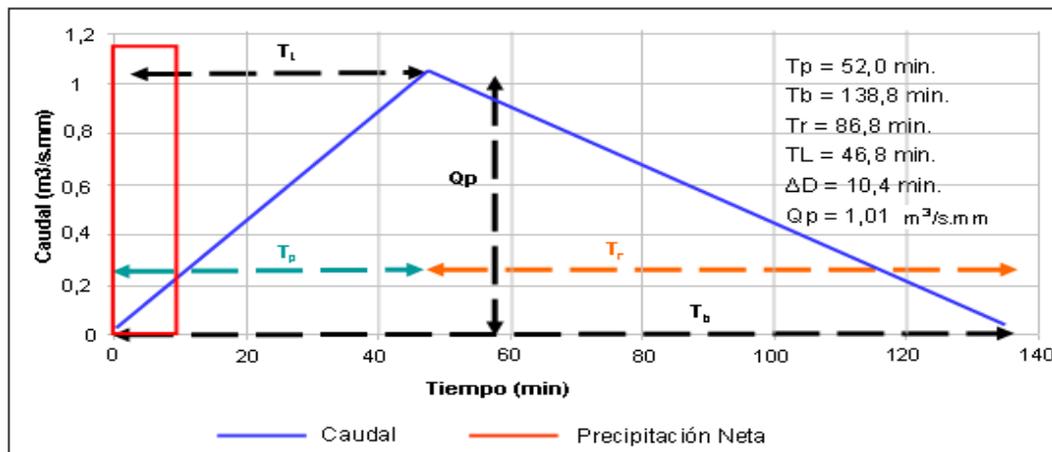


Figura 5.21 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MLR).

- ❖ **Para la subcuenca del afluente del Morichal San Pedro, sin nombre conocido:**

*Subcuenca (AMSP)*

Considerando un área total de la cuenca de  $3,151 \text{ Km}^2$  y un tiempo de concentración de 1,05 horas, se tiene:

$T_p = 42,0 \text{ min.}$

$T_b = 112,1 \text{ min.}$

$T_r = 70,1 \text{ min.}$

$T_L = 37,8 \text{ min.}$

$\Delta D = 8,4 \text{ min.}$

$Q_p = 0,94 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$

A continuación en la figura 5.22, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca afluente del Morichal San Pedro, sin nombre conocido (AMSP).

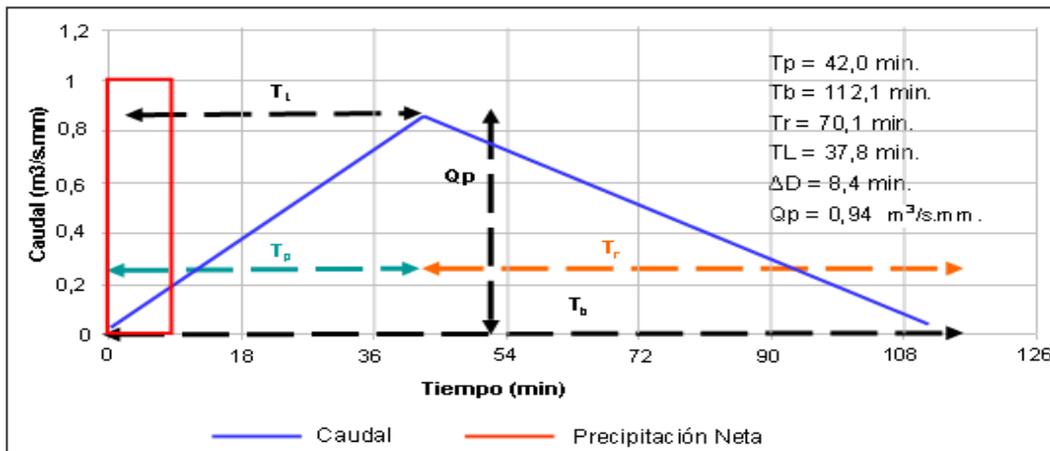


Figura 5.22 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (AMSP).

❖ **Para las subcuencas del Morichal Cartanal:**

*Subcuenca (MC1 + MC2)*

Considerando un área total de la cuenca de  $9,87 \text{ Km}^2$  y un tiempo de concentración de 0,98 horas, se tiene:

$T_p = 39,2 \text{ min.}$

$T_b = 104,7 \text{ min.}$

$T_r = 65,5 \text{ min.}$

$T_L = 35,3 \text{ min.}$

$\Delta D = 7,8 \text{ min.}$

$q_p = 3,16 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$

En ese sentido, se dispone a continuación en la figura 5.23, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca del Morichal Cartanal en su parte alta y media (MC1 + MC2).

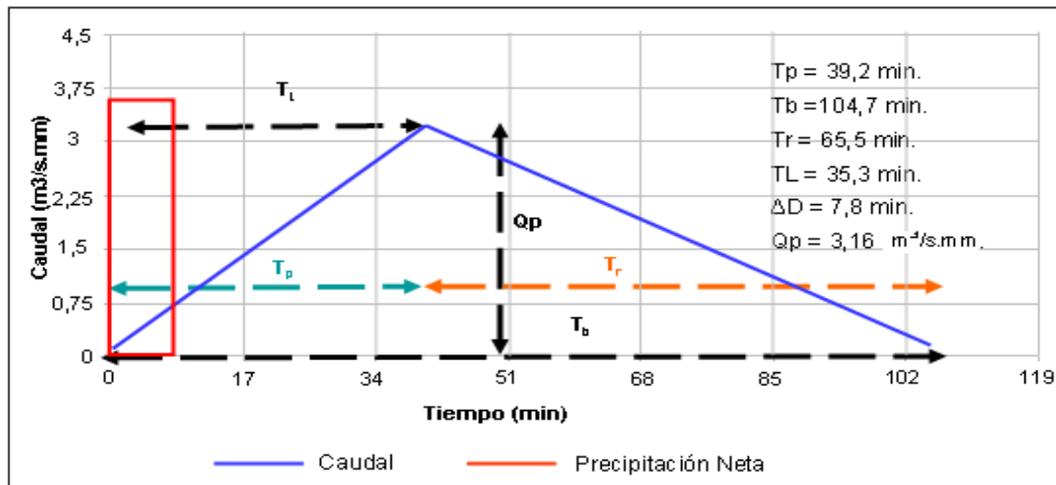


Figura 5.23 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuena (MC 1 + MC2).

*Subcuena (MC1 + MC2+MC3)*

Considerando un área total de la cuena de 12,40 Km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 0,49 horas, se tiene:

$$T_p = 19,6 \text{ min.}$$

$$T_b = 52,3 \text{ min.}$$

$$T_r = 32,7 \text{ min.}$$

$$T_L = 17,6 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 3,9 \text{ min.}$$

$$Q_p = 7,81 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

En ese sentido, se dispone a continuación en la figura 5.24, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuena del Morichal Cartanal (MC + MC2+MC3).

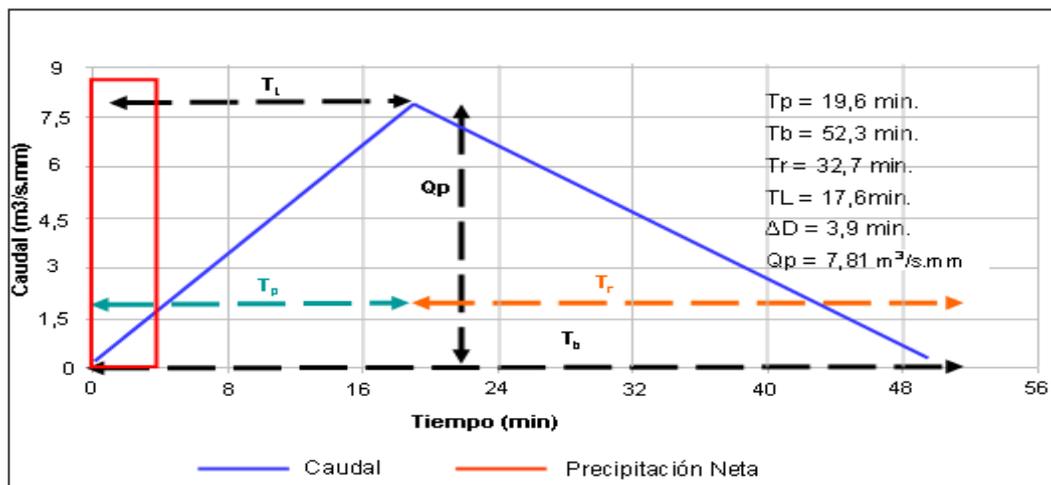


Figura 5.24 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuena (MC1 + MC2+MC3).

❖ **Para subcuencas del Morichal San Pedro:**

*Subcuena (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4)*

Considerando un área total de la cuenca de 18,74 Km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 1,09 horas, se tiene:

$$T_p = 42,0 \text{ min.}$$

$$T_b = 112,1 \text{ min.}$$

$$T_r = 70,1 \text{ min.}$$

$$T_L = 37,8 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 8,4 \text{ min.}$$

$$Q_p = 5,34 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

En ese sentido, se dispone a continuación en la figura 5.25, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuena del Morichal San Pedro hasta su parte media baja (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4).

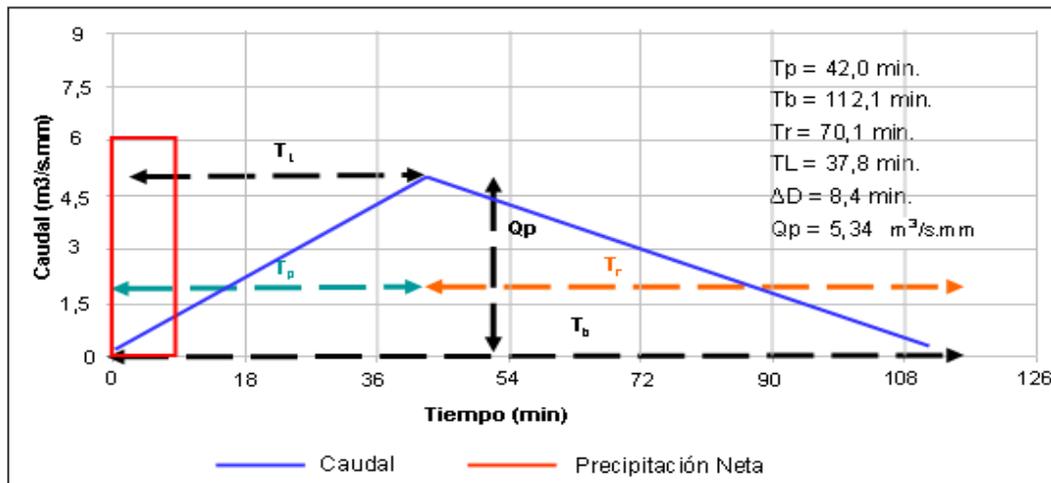


Figura 5.25 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4).

*Subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+MSP5)*

Considerando un área total de la cuenca de  $25,74 \text{ Km}^2$  y un tiempo de concentración de 1,02 horas, se tiene:

$$T_p = 40,8 \text{ min.}$$

$$T_b = 108,9 \text{ min.}$$

$$T_r = 68,1 \text{ min.}$$

$$T_L = 36,7 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 8,4 \text{ min.}$$

$$Q_p = 7,87 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

A continuación en la figura 5.26, del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca del Morichal San Pedro en su parte media baja y baja (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+MSP5).

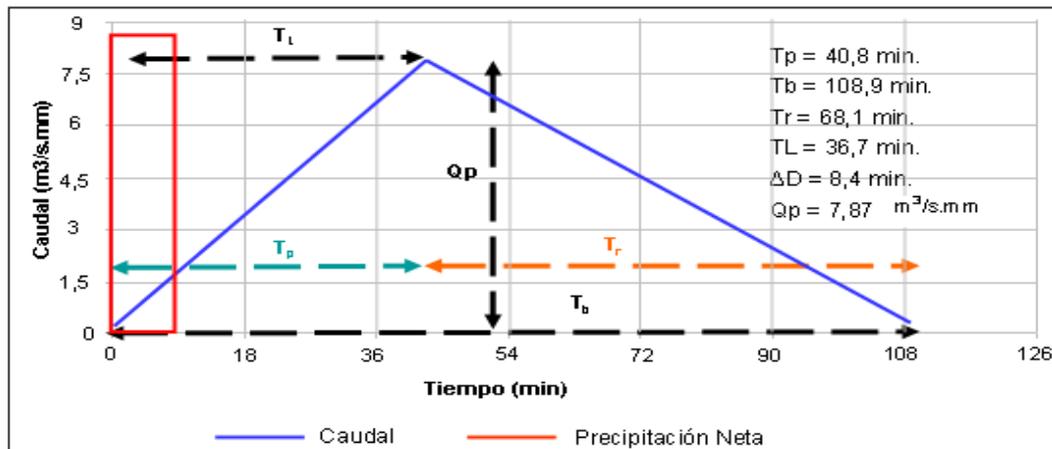


Figura 5.26 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+MSP5).

*Subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+MSP5+MSP6)*

Considerando un área total de la cuenca de 32,46 Km<sup>2</sup> y un tiempo de concentración de 1,17 horas, se tiene:

$$T_p = 46,8 \text{ min.}$$

$$T_b = 125,0 \text{ min.}$$

$$T_r = 78,2 \text{ min.}$$

$$T_L = 42,1 \text{ min.}$$

$$\Delta D = 9,4 \text{ min.}$$

$$Q_p = 8,66 \text{ m}^3/\text{s.mm.}$$

A continuación en la figura 5.27 del hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca del Morichal San Pedro (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+MSP5+MSP6).

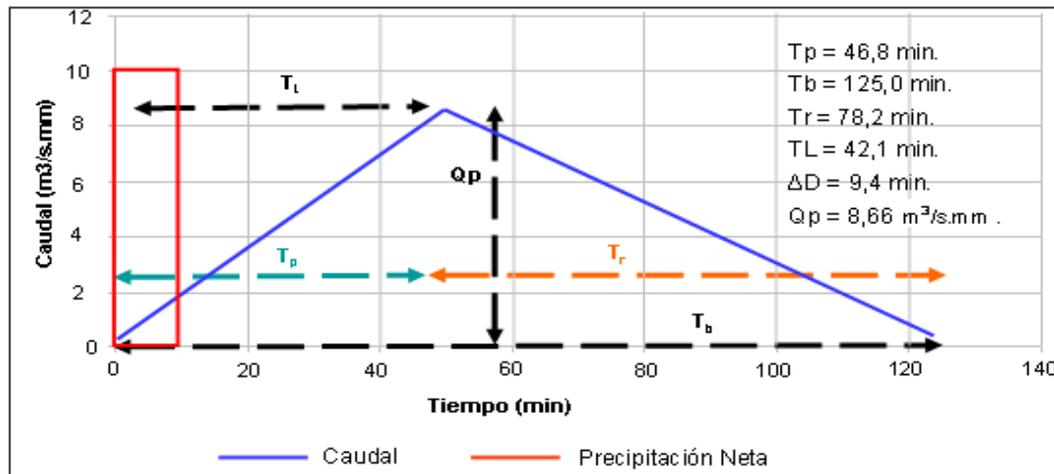


Figura 5.27 Hidrograma unitario triangular SCS de la subcuenca del Morichal San Pedro (MSP1+MSP2+MSP3+MSP4+MSP5+MSP6).

### 5.4.2.3 Hidrograma unitario adimensional SCS

Para la elaboración del hidrograma unitario adimensional se multiplicarán los valores de la columna de  $T/T_p$  por el valor de  $T_p$  y o los valores de la columna de  $q/q_p$  por el valor de  $q_p$ . de cada subcuenca.

En las tablas 5.21 a 5.27 se presentan los resultados y en las figuras 5.28 a 5.34, se muestran los hidrogramas resultantes correspondientes al Sector 1 y en las tablas 5.28 a la 5.34 y las figuras 5.35 al 5.41 se presentan los del sector 2

❖ **Coordenadas para los Hidrogramas unitario adimensional SCS de las subcuencas del Sector 1**

Tabla 5.22. Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MSP1).

<b>T/Tp</b>	<b>Q/Qp</b>	<b>T</b>	<b>Q</b>
0,00	0,00	0,00	0,0
0,10	0,02	1,86	0,04
0,20	0,08	3,72	0,17
0,30	0,16	5,58	0,34
0,40	0,28	7,44	0,59
0,50	0,43	9,30	0,91
0,60	0,60	11,16	1,27
0,70	0,77	13,02	1,63
0,80	0,89	14,88	1,89
0,90	0,97	16,74	2,01
1,00	1,00	18,60	2,12
1,10	0,98	20,46	2,08
1,20	0,92	22,32	1,95
1,30	0,84	24,18	1,78
1,40	0,75	26,04	1,59
1,50	0,65	27,9	1,38
1,60	0,57	29,76	1,21
1,80	0,43	33,48	0,91
2,00	0,32	37,20	0,68
2,20	0,24	40,90	0,51
2,40	0,18	44,64	0,38
2,60	0,13	48,36	0,28
2,80	0,09	52,08	0,19
3,00	0,08	55,80	0,17
3,50	0,04	65,10	0,08
4,00	0,02	74,40	0,04
4,50	0,01	83,70	0,02
5,00	0,00	93,00	0,00

Tabla 5.23 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MSP1+MSP2)

T/Tp	Q/Qp	T	Q
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	6,60	0,17
0,20	0,08	13,2	0,13
0,30	0,16	19,8	0,26
0,40	0,28	26,4	0,46
0,50	0,43	33,0	0,71
0,60	0,60	39,60	0,99
0,70	0,77	46,20	1,27
0,80	0,89	52,8	1,47
0,90	0,97	59,40	1,60
1,00	1,00	66,00	1,65
1,10	0,98	72,60	1,62
1,20	0,92	79,20	1,52
1,30	0,84	85,80	1,39
1,40	0,75	92,40	1,24
1,50	0,65	99,00	1,07
1,60	0,57	105,60	0,94
1,80	0,43	118,80	0,71
2,00	0,32	132,00	0,53
2,20	0,24	145,20	0,40
2,40	0,18	158,40	0,30
2,60	0,13	171,60	0,21
2,80	0,09	184,80	0,15
3,00	0,08	198,00	0,13
3,50	0,04	231,00	0,07
4,00	0,02	264,00	0,03
4,50	0,01	297,00	0,02
5,00	0,00	330,00	0,00

Tabla 5.24 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MSP1+MSP2+MSP3)

<b>T/Tp</b>	<b>Q/Qp</b>	<b>T</b>	<b>Q</b>
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	8,8	0,041
0,20	0,08	17,6	0,16
0,30	0,16	26,4	0,33
0,40	0,28	35,2	0,57
0,50	0,43	44,0	0,87
0,60	0,60	52,8	1,22
0,70	0,77	61,6	1,57
0,80	0,89	70,4	1,81
0,90	0,97	79,2	1,97
1,00	1,00	88,0	2,03
1,10	0,98	96,8	1,99
1,20	0,92	105,6	1,87
1,30	0,84	114,4	1,71
1,40	0,75	123,2	1,53
1,50	0,65	132,0	1,32
1,60	0,57	140,8	1,16
1,80	0,43	158,4	0,87
2,00	0,32	176,0	0,65
2,20	0,24	193,6	0,49
2,40	0,18	211,2	0,37
2,60	0,13	228,8	0,26
2,80	0,09	246,4	0,18
3,00	0,08	264,0	0,16
3,50	0,04	308,0	0,08
4,00	0,02	352,0	0,04
4,50	0,01	396,0	0,02
5,00	0,00	440,0	0,00

Tabla 5.25. Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MDB1)

T/Tp	Q/Qp	T	Q
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	2,92	0,03
0,20	0,08	5,84	0,13
0,30	0,16	8,76	0,27
0,40	0,28	11,68	0,47
0,50	0,43	14,60	0,72
0,60	0,60	17,52	1,00
0,70	0,77	20,44	1,29
0,80	0,89	23,36	1,49
0,90	0,97	26,28	1,62
1,00	1,00	29,20	1,67
1,10	0,98	32,12	1,64
1,20	0,92	35,04	1,54
1,30	0,84	37,96	1,40
1,40	0,75	40,88	1,25
1,50	0,65	43,80	1,09
1,60	0,57	46,72	0,95
1,80	0,43	52,56	0,72
2,00	0,32	58,40	0,53
2,20	0,24	64,24	0,40
2,40	0,18	70,08	0,30
2,60	0,13	75,92	0,22
2,80	0,09	81,76	0,15
3,00	0,08	87,60	0,13
3,50	0,04	102,2	0,06
4,00	0,02	116,8	0,03
4,50	0,01	131,4	0,02
5,00	0,00	146,0	0,01

Tabla 5.26 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MDB1+MDB2)

T/Tp	Q/Qp	T	Q
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	2,80	0,02
0,20	0,08	5,60	0,11
0,30	0,16	8,40	0,24
0,40	0,28	11,20	0,41
0,50	0,43	14,00	0,64
0,60	0,60	16,80	0,89
0,70	0,77	19,60	1,14
0,80	0,89	22,40	1,32
0,90	0,97	25,20	1,44
1,00	1,00	28,00	1,48
1,10	0,98	30,80	1,45
1,20	0,92	33,60	1,36
1,30	0,84	36,40	1,24
1,40	0,75	39,20	1,11
1,50	0,65	42,00	0,96
1,60	0,57	44,80	0,84
1,80	0,43	50,40	0,64
2,00	0,32	56,00	0,47
2,20	0,24	61,60	0,36
2,40	0,18	67,20	0,27
2,60	0,13	72,80	0,19
2,80	0,09	78,40	0,13
3,00	0,08	84,00	0,11
3,50	0,04	98,00	0,05
4,00	0,02	112,0	0,03
4,50	0,01	126,0	0,01
5,00	0,00	140,0	0,01

Tabla 5.27 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MC1)

T/Tp	Q/Qp	T	Q
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	2,80	0,03
0,20	0,08	5,60	0,12
0,30	0,16	8,40	0,24
0,40	0,28	11,2	0,41
0,50	0,43	14,0	0,63
0,60	0,60	16,8	0,89
0,70	0,77	19,6	1,14
0,80	0,89	22,4	1,32
0,90	0,97	25,2	1,44
1,00	1,00	28,0	1,48
1,10	0,98	30,8	1,45
1,20	0,92	33,6	1,36
1,30	0,84	36,4	1,24
1,40	0,75	39,2	1,11
1,50	0,65	42,0	0,96
1,60	0,57	44,8	0,84
1,80	0,43	50,4	0,64
2,00	0,32	56,0	0,47
2,20	0,24	61,6	0,36
2,40	0,18	67,2	0,27
2,60	0,13	72,8	0,19
2,80	0,09	78,4	0,13
3,00	0,08	84,0	0,12
3,50	0,04	98,0	0,06
4,00	0,02	112,0	0,03
4,50	0,01	126,0	0,01
5,00	0,00	140,0	0,00

Tabla 5.28 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (AMP1)

T/Tp	Q/Qp	T	Q
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	3,2	0,04
0,20	0,08	6,4	0,18
0,30	0,16	9,6	0,39
0,40	0,28	12,8	0,62
0,50	0,43	16,0	0,96
0,60	0,60	19,2	1,34
0,70	0,77	22,4	1,87
0,80	0,89	25,6	1,98
0,90	0,97	28,8	2,16
1,00	1,00	32,0	2,23
1,10	0,98	35,2	2,19
1,20	0,92	38,4	2,05
1,30	0,84	41,6	1,87
1,40	0,75	44,8	1,67
1,50	0,65	48,0	1,45
1,60	0,57	51,2	1,27
1,80	0,43	57,6	0,96
2,00	0,32	64,0	0,71
2,20	0,24	70,4	0,54
2,40	0,18	76,8	0,40
2,60	0,13	83,2	0,30
2,80	0,09	89,6	0,20
3,00	0,08	96,0	0,18
3,50	0,04	112,0	0,09
4,00	0,02	128,0	0,04
4,50	0,01	144,0	0,02
5,00	0,00	160,0	0,00

❖ **Hidrogramas unitario adimensional SCS del Sector 1**

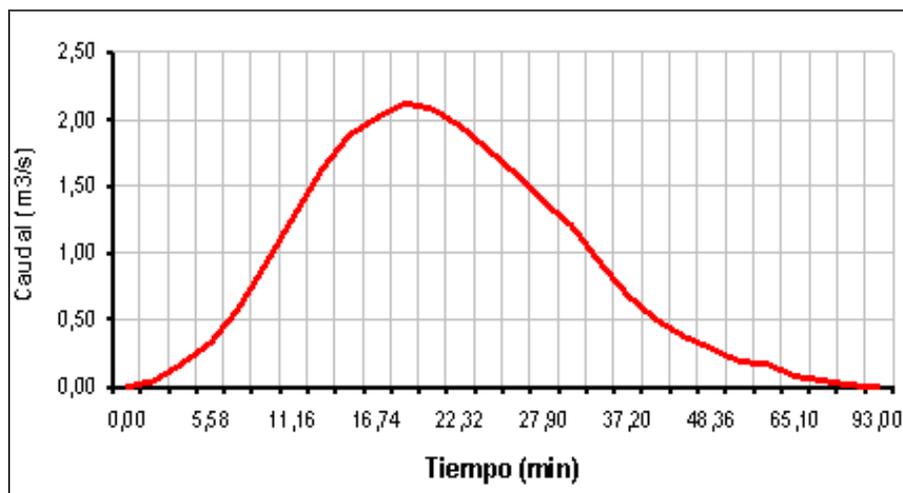


Figura 5.28 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MSP1.

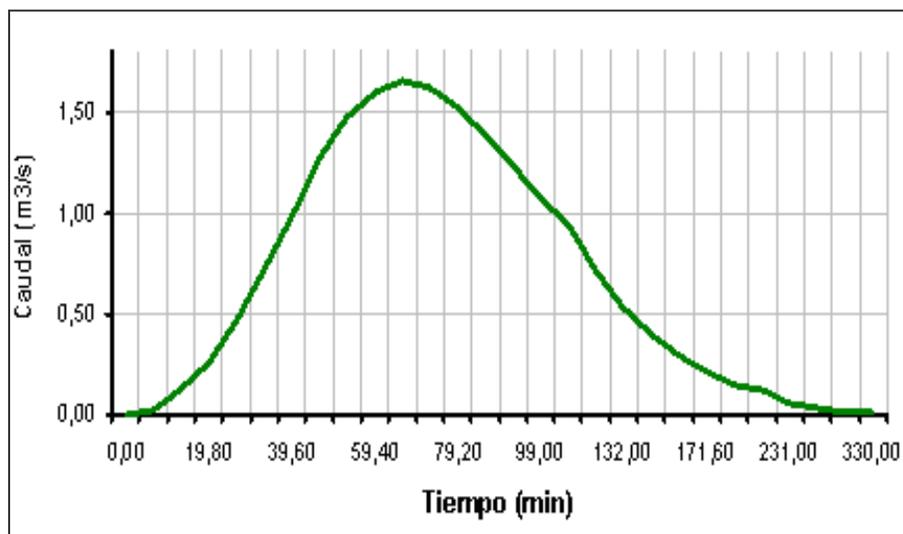


Figura 5.29 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MSP1+MSP2.

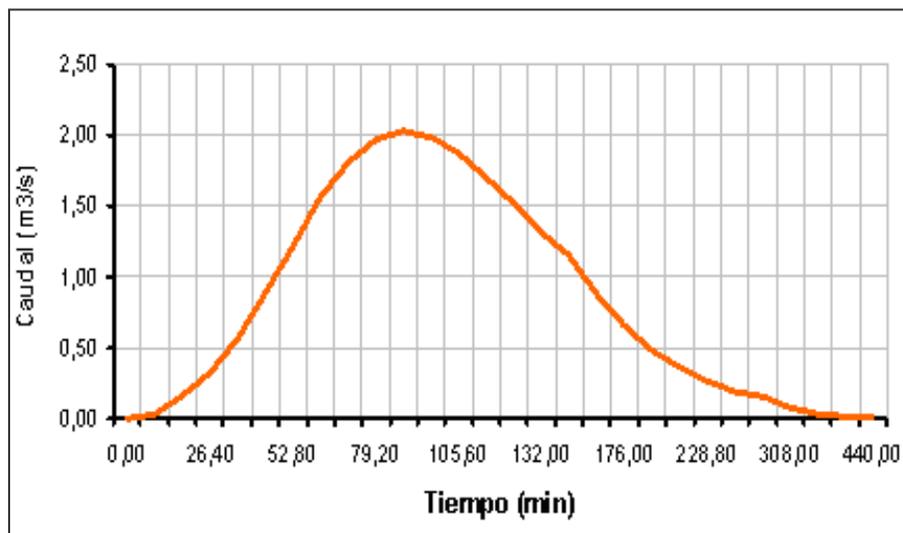


Figura 5.30 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuena MSP1+MSP2+MSP3.

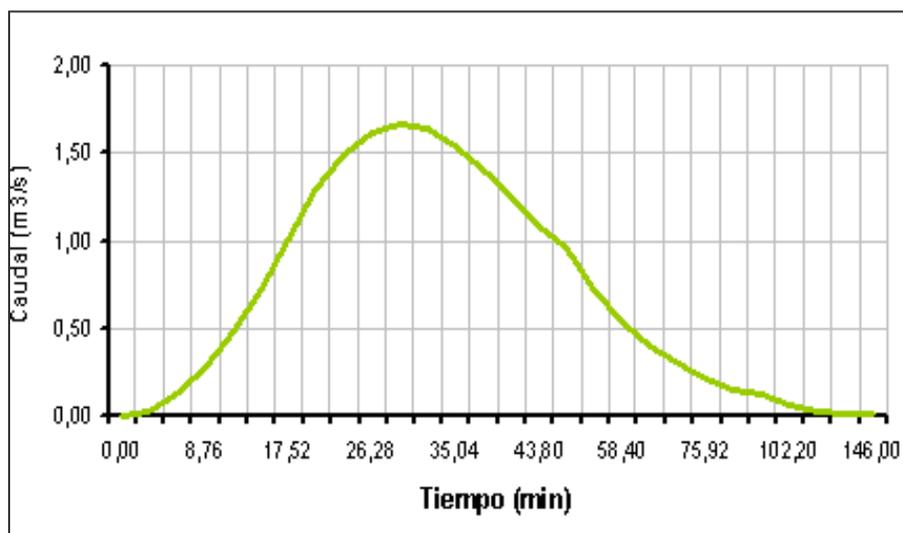


Figura 5.31 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuena MDB1.

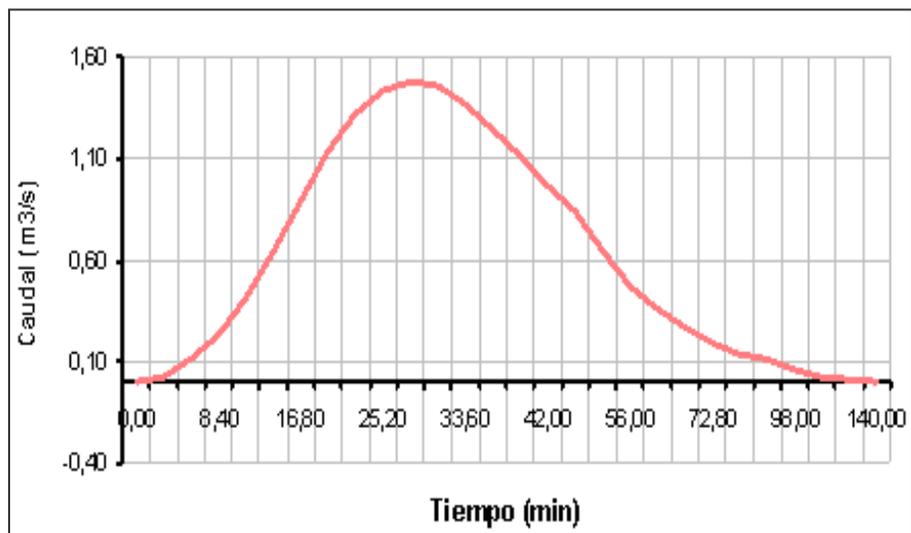


Figura 5.32 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MDB1+MDB2.

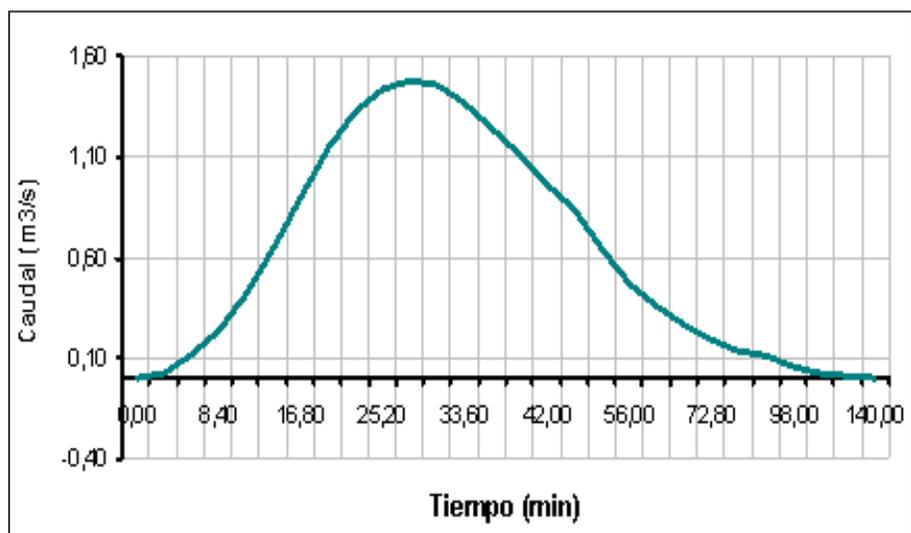


Figura 5.33 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MC1.

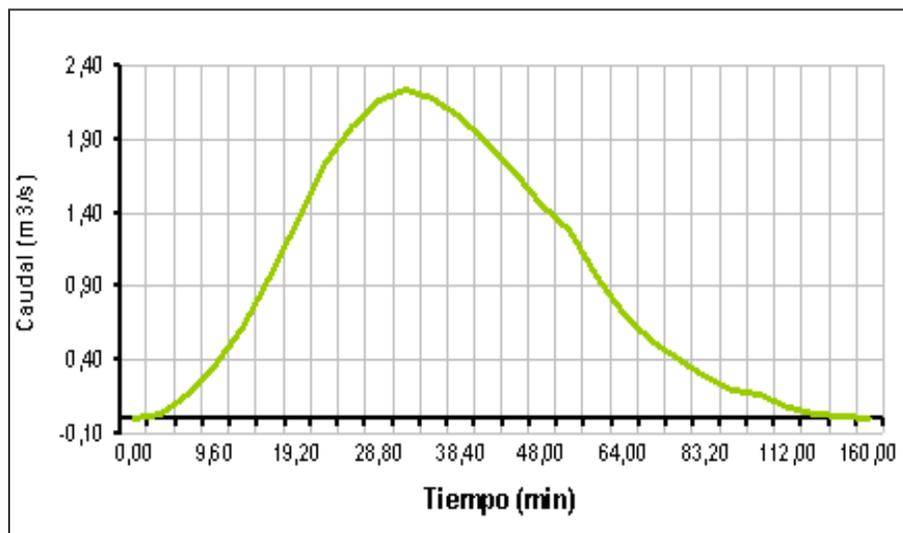


Figura 5.34 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca AMP1.

❖ **Coordenadas para los Hidrogramas unitario adimensional SCS de las subcuencas del Sector 2.**

Tabla 5.29 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MLR).

<b>T/Tp</b>	<b>Q/Qp</b>	<b>T</b>	<b>Q</b>
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	5,20	0,02
0,20	0,08	10,40	0,08
0,30	0,16	15,60	0,16
0,40	0,28	20,80	0,28
0,50	0,43	26,00	0,43
0,60	0,60	31,20	0,61
0,70	0,77	36,40	0,78
0,80	0,89	41,60	0,90
0,90	0,97	46,80	0,98
1,00	1,00	52,00	1,01
1,10	0,98	57,20	0,99
1,20	0,92	62,40	0,93
1,30	0,84	67,60	0,85
1,40	0,75	72,80	0,76
1,50	0,65	78,00	0,66
1,60	0,57	83,20	0,58
1,80	0,43	93,60	0,43
2,00	0,32	104,00	0,32
2,20	0,24	114,40	0,24
2,40	0,18	124,80	0,18
2,60	0,13	135,20	0,13
2,80	0,09	145,60	0,09
3,00	0,08	156,00	0,08
3,50	0,04	182,00	0,04
4,00	0,02	208,00	0,02
4,50	0,01	234,00	0,01
5,00	0,00	260,00	0,00

Tabla 5.30 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (AMSP).

T/Tp	Q/Qp	T	Q
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	4,20	0,01
0,20	0,08	8,40	0,07
0,30	0,16	12,60	0,15
0,40	0,28	16,80	0,26
0,50	0,43	21,00	0,40
0,60	0,60	25,20	0,56
0,70	0,77	29,40	0,72
0,80	0,89	33,60	0,84
0,90	0,97	37,80	0,91
1,00	1,00	42,00	0,94
1,10	0,98	46,20	0,92
1,20	0,92	50,40	0,86
1,30	0,84	54,60	0,79
1,40	0,75	58,80	0,71
1,50	0,65	63,00	0,61
1,60	0,57	67,20	0,54
1,80	0,43	75,60	0,40
2,00	0,32	84,00	0,30
2,20	0,24	92,40	0,23
2,40	0,18	100,80	0,17
2,60	0,13	109,20	0,12
2,80	0,09	117,60	0,08
3,00	0,08	126,00	0,07
3,50	0,04	147,00	0,03
4,00	0,02	168,00	0,02
4,50	0,01	189,00	0,01
5,00	0,00	210,00	0,00

Tabla 5.31 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MC1 + MC2).

T/Tp	Q/Qp	T	Q
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	3,92	0,06
0,20	0,08	7,84	0,25
0,30	0,16	11,76	0,51
0,40	0,28	15,68	0,88
0,50	0,43	19,60	1,36
0,60	0,60	23,52	1,90
0,70	0,77	27,44	2,43
0,80	0,89	31,36	2,81
0,90	0,97	35,28	3,07
1,00	1,00	39,20	3,16
1,10	0,98	43,12	3,10
1,20	0,92	47,04	2,91
1,30	0,84	50,96	2,65
1,40	0,75	54,88	2,37
1,50	0,65	58,80	2,05
1,60	0,57	62,72	1,80
1,80	0,43	70,56	1,36
2,00	0,32	78,40	1,01
2,20	0,24	86,24	0,76
2,40	0,18	94,08	0,57
2,60	0,13	101,92	0,41
2,80	0,09	109,76	0,28
3,00	0,08	117,60	0,25
3,50	0,04	137,20	0,13
4,00	0,02	156,80	0,06
4,50	0,01	176,40	0,03
5,00	0,00	196,00	0,00

Tabla 5.32 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MC1 + MC2 + MC3).

<b>T/Tp</b>	<b>Q/Qp</b>	<b>T</b>	<b>Q</b>
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	1,96	0,12
0,20	0,08	3,92	0,59
0,30	0,16	5,88	1,25
0,40	0,28	7,84	2,19
0,50	0,43	9,80	3,36
0,60	0,60	11,76	4,69
0,70	0,77	13,72	6,01
0,80	0,89	15,68	6,95
0,90	0,97	17,64	7,58
1,00	1,00	19,60	7,81
1,10	0,98	21,56	7,65
1,20	0,92	23,52	7,19
1,30	0,84	25,48	6,56
1,40	0,75	27,44	5,86
1,50	0,65	29,40	5,08
1,60	0,57	31,36	4,45
1,80	0,43	35,28	3,36
2,00	0,32	39,20	2,50
2,20	0,24	43,12	1,87
2,40	0,18	47,04	1,41
2,60	0,13	50,96	1,02
2,80	0,09	54,88	0,70
3,00	0,08	58,80	0,59
3,50	0,04	68,60	0,28
4,00	0,02	78,40	0,14
4,50	0,01	88,20	0,07
5,00	0,00	98,00	0,03

Tabla 5.33 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4).

T/Tp	Q/Qp	T	Q
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	4,20	0,08
0,20	0,08	8,40	0,40
0,30	0,16	12,60	0,85
0,40	0,28	16,80	1,50
0,50	0,43	21,00	2,30
0,60	0,60	25,20	3,20
0,70	0,77	29,40	4,11
0,80	0,89	33,60	4,75
0,90	0,97	37,80	5,18
1,00	1,00	42,00	5,34
1,10	0,98	46,20	5,23
1,20	0,92	50,40	4,91
1,30	0,84	54,60	4,49
1,40	0,75	58,80	4,01
1,50	0,65	63,00	3,47
1,60	0,57	67,20	3,04
1,80	0,43	75,60	2,30
2,00	0,32	84,00	1,71
2,20	0,24	92,40	1,28
2,40	0,18	100,80	0,96
2,60	0,13	109,20	0,69
2,80	0,09	117,60	0,48
3,00	0,08	126,00	0,40
3,50	0,04	147,00	0,19
4,00	0,02	168,00	0,10
4,50	0,01	189,00	0,05
5,00	0,00	210,00	0,02

Tabla 5.34. Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5).

<b>T/Tp</b>	<b>Q/Qp</b>	<b>T</b>	<b>Q</b>
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	4,08	0,12
0,20	0,08	8,16	0,59
0,30	0,16	12,24	1,26
0,40	0,28	16,32	2,20
0,50	0,43	20,40	3,38
0,60	0,60	24,48	4,72
0,70	0,77	28,56	6,06
0,80	0,89	32,64	7,00
0,90	0,97	36,72	7,63
1,00	1,00	40,80	7,87
1,10	0,98	44,88	7,71
1,20	0,92	48,96	7,24
1,30	0,84	53,04	6,61
1,40	0,75	57,12	5,90
1,50	0,65	61,20	5,12
1,60	0,57	65,28	4,49
1,80	0,43	73,44	3,38
2,00	0,32	81,60	2,52
2,20	0,24	89,76	1,89
2,40	0,18	97,92	1,42
2,60	0,13	106,08	1,02
2,80	0,09	114,24	0,71
3,00	0,08	122,40	0,59
3,50	0,04	142,80	0,28
4,00	0,02	163,20	0,14
4,50	0,01	183,60	0,07
5,00	0,00	204,00	0,03

Tabla 5.35 Coordenadas del hidrograma unitario adimensional SCS para la subcuenca (MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5 + MSP6).

<b>T/Tp</b>	<b>Q/Qp</b>	<b>T</b>	<b>Q</b>
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	4,68	0,13
0,20	0,08	9,36	0,65
0,30	0,16	14,04	1,39
0,40	0,28	18,72	2,42
0,50	0,43	23,40	3,72
0,60	0,60	28,08	5,20
0,70	0,77	32,76	6,67
0,80	0,89	37,44	7,71
0,90	0,97	42,12	8,40
1,00	1,00	46,80	8,66
1,10	0,98	51,48	8,49
1,20	0,92	56,16	7,97
1,30	0,84	60,84	7,27
1,40	0,75	65,52	6,50
1,50	0,65	70,20	5,63
1,60	0,57	74,88	4,94
1,80	0,43	84,24	3,72
2,00	0,32	93,60	2,77
2,20	0,24	102,96	2,08
2,40	0,18	112,32	1,56
2,60	0,13	121,68	1,13
2,80	0,09	131,04	0,78
3,00	0,08	140,40	0,65
3,50	0,04	163,80	0,31
4,00	0,02	187,20	0,16
4,50	0,01	210,60	0,08
5,00	0,00	234,00	0,03

❖ **Hidrogramas unitario adimensional SCS del Sector 2**

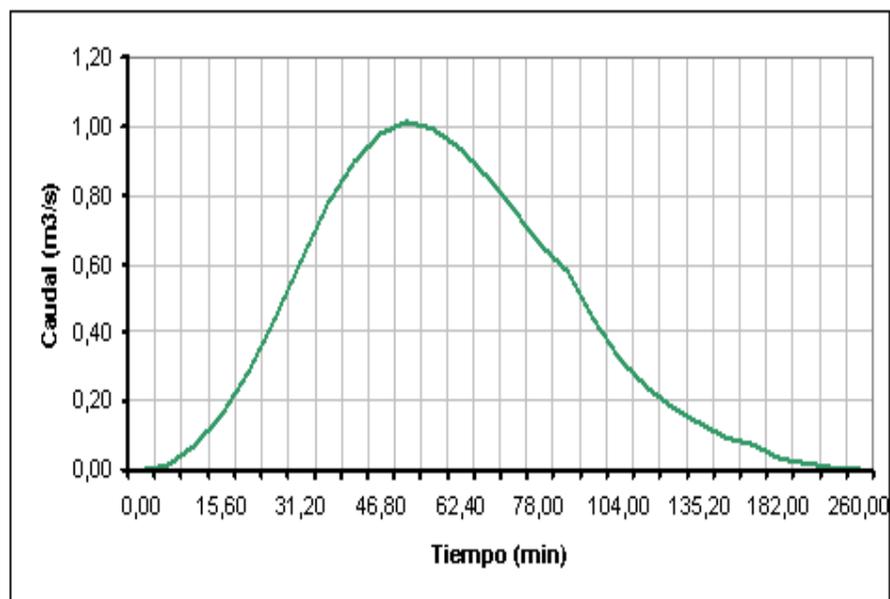


Figura 5.35 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MLR.

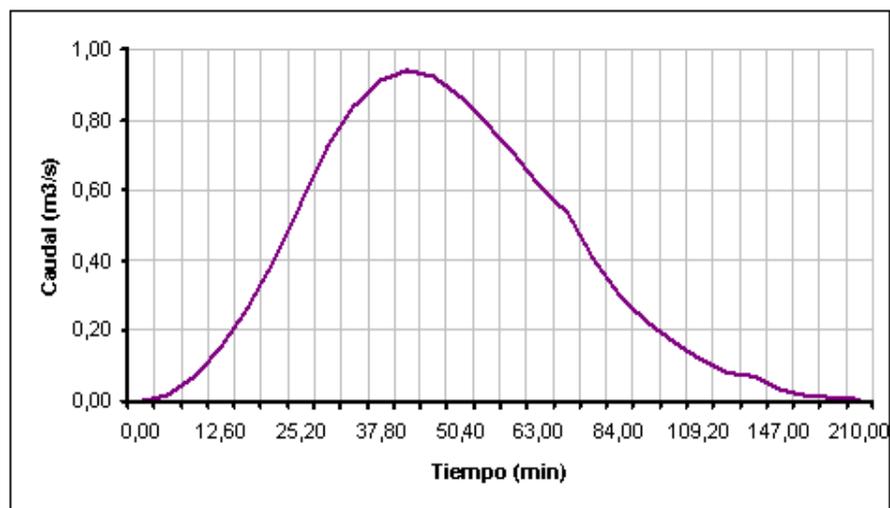


Figura 5.36 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca AMSP.

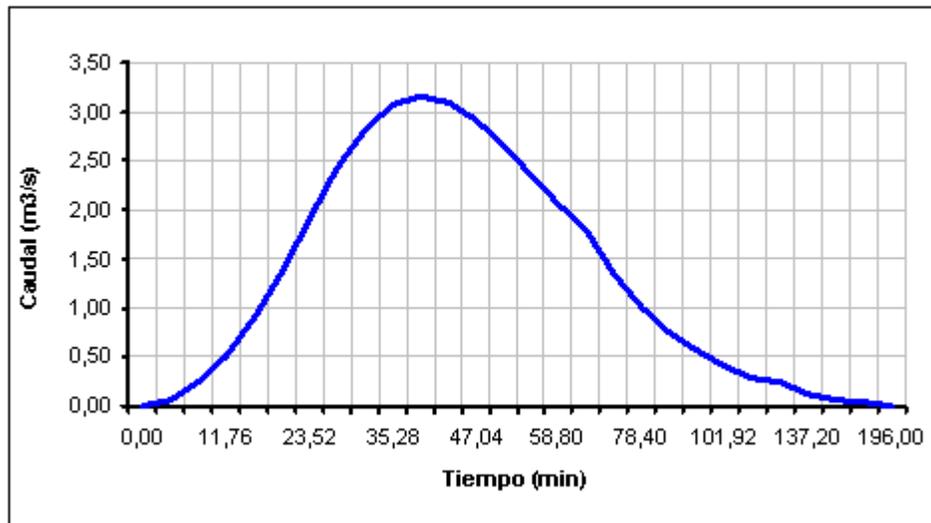


Figura 5.37 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MC1 + MC2.

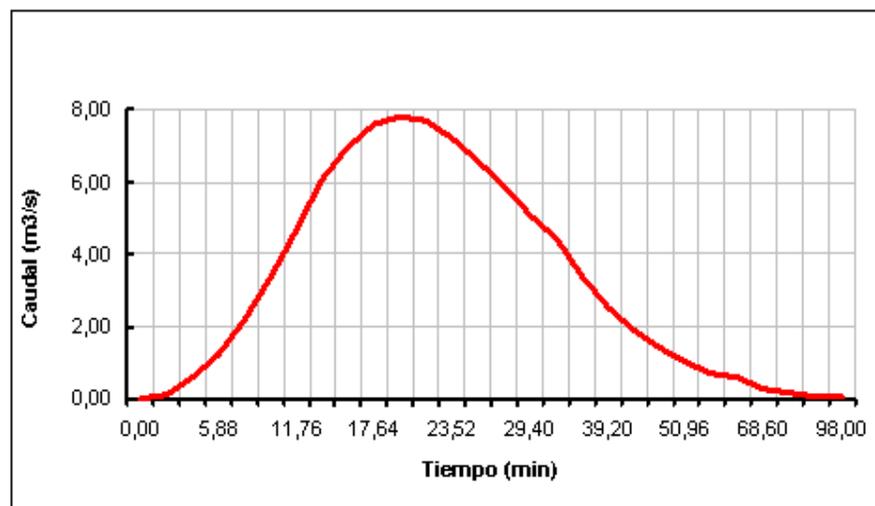


Figura 5.38. Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuenca MC1 + MC2 + MC3.

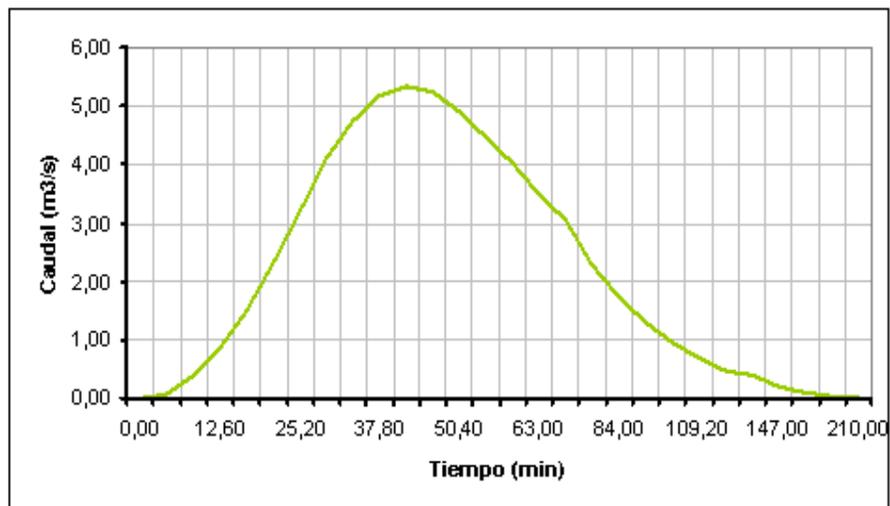


Figura 5.39 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuena MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4.

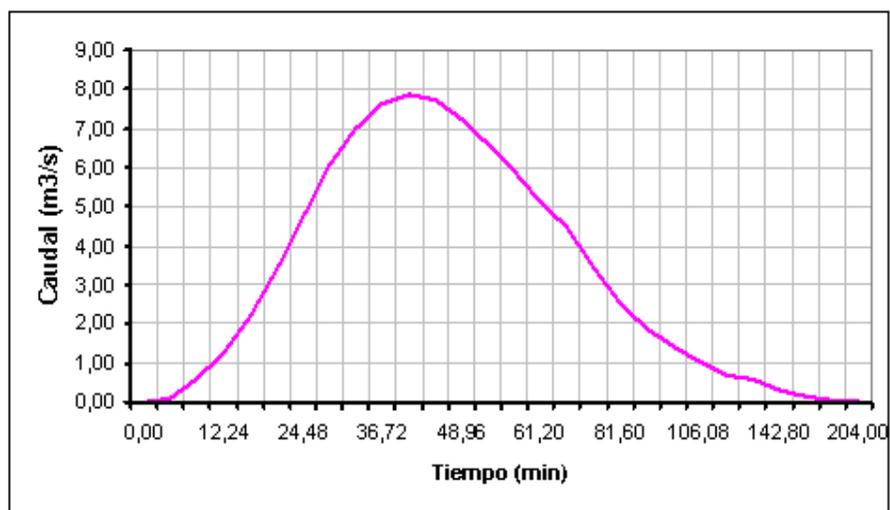


Figura 5.40 Hidrograma unitario adimensional SCS de la subcuena MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5.

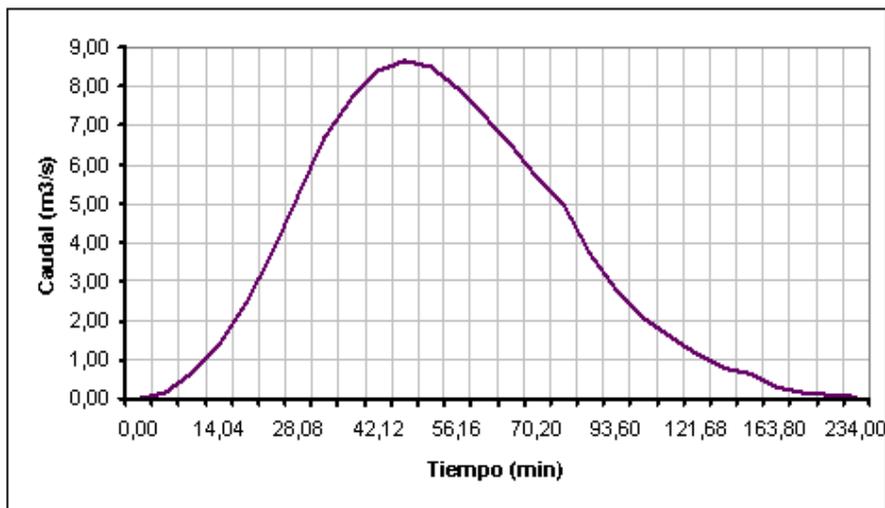


Figura 5.41 Hidrograma Unitario Adimensional SCS de la subcuenca MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5 + MSP6.

#### ❖ Elaboración de los hidrogramas de diseño

El Hidrograma de Diseño se obtuvo a partir de la aplicación de las lluvias efectivas con períodos de retorno de 25, 50 y 100 años al Hidrograma Unitario de cada subcuenca. El método utilizado para la estimación de las pérdidas o abstracciones fue SCS (Us Soil Conservation Service).

El método de abstracciones de la Soil Conservation Service (SCS), también conocido como número de curva de escorrentía CN, fue desarrollado para el cálculo de las abstracciones de una tormenta. En este método, la profundidad de escorrentía o precipitación efectiva  $P_e$  está en función de la precipitación total  $P$  y de un parámetro de abstracción referido al número de curva o CN, cuyos valores fluctúan entre 1 y 100.

La lluvia efectiva  $P_e$  viene dado por la ecuación:

$$P_e = ((P - 0,2S)^2) / (P + 0,8 S)$$

Donde:

$P_e$ : Lluvia efectiva

$P$  = Lluvia máxima

$S$  = Pérdidas máximas

$S = 25,4[(1000)/CN] - 10]$

El número de curva [CN] depende de ciertas propiedades productoras de escorrentía tales como:

- ❖ Tipo de suelo hidrológico:
- ❖ Utilización y tratamiento del suelo,
- ❖ Condiciones de la superficie del terreno, y
- ❖ Condición de humedad antecedente del suelo.

Para el caso que nos ocupa se consideró:

- ❖ El tipo de suelo hidrológico es el Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- ❖ Uso de la tierra: Sabana
- ❖ Condiciones de la superficie del suelo: 80%
- ❖ Condición de humedad antecedente: normal (II)

De acuerdo a ello  $CN = 68$  y  $S = 120$ . A continuación se resume (Tablas 5.36 y 5.37), el cálculo de los caudales de diseño utilizando el método SCS para la estimación de la lluvia efectiva para períodos de retorno de 50 años:

Tabla 5.36 Resumen del hidrograma de diseño para cada subcuenca del sector 1 por el método SCS.

Subcuenca	Unidad	Tc(hr)	Qp (m <sup>3</sup> /s.mm)	Tr	I (mm/h)	P (mm)	Pe (mm)	Q Diseño (m <sup>3</sup> /s)
Parte alta Morichal San Pedro	MSP1	0,46	2,12	25	161,7	74,4	14,9	31,6
				50	184,2	84,7	20,4	43,2
Parte alta y media Morichal San Pedro	MSP1+ MSP2	1,65	1,65	25	71,4	117,8	41,2	68,0
				50	81,7	134,8	53,1	87,6
Morichal San Pedro hasta el punto de cierre	MSP1+ MSP2+MSP3	2,20	2,03	25	59,4	130,7	50,2	101,9
				50	68,1	138,2	55,7	113,0
Parte alta del Morichal de Bogarín	MDB1	0,73	1,25	25	120,4	87,9	22,0	27,5
				50	137,4	100,3	29,7	37,1
Parte alta y media del Morichal de Bogarín	MDB1+ MDB2	1,20	2,47	25	87,5	105,0	32,6	80,5
				50	100,1	120,1	42,7	105,6
Morichal Cartanal	MC1	0,70	1,48	25	123,5	86,5	21,4	31,7
				50	141,0	98,7	28,7	42,5
Afluente sin nombre conocido del Morichal El Perro	AMP1	0,80	2,23	25	113,4	90,7	23,8	53,0
				50	129,5	129,6	49,4	110,2

Tabla 5.37 Resumen del hidrograma de diseño para cada subcuenca del sector 2 por el método SCS.

Subcuenca	Unidad	Tc(hr)	Qp (m <sup>3</sup> /s.mm)	Tr	I (mm/h)	P (mm)	Pe (mm)	Q Diseño (m <sup>3</sup> /s)
Morichal Los Rastrojos	MLR	1,30	1,01	25	55,6	72,3	13,9	14,0
				50	95,5	124,2	45,6	46,1
Quebrada sin nombre conocido, afluente del Morichal San Pedro	AMSP	1,05	0,94	25	95,6	100,4	29,7	27,9
				50	109,3	114,8	39,1	36,8
Morichal Cartanal en su parte alta y media	MC1 + MC2	0,98	3,16	25	67,1	65,7	10,8	34,1
				50	114,2	111,9	37,2	117,6
Morichal Cartanal	MC1 + MC2+ MC3	0,49	7,81	25	106,0	51,9	5,3	41,4
				50	176,8	86,6	21,5	167,9

Subcuenca	Unidad	Tc(hr)	Qp (m <sup>3</sup> /s.mm)	Tr	I (mm/h)	P (mm)	Pe (mm)	Q Diseño (m <sup>3</sup> /s)
Morichal San Pedro hasta su parte media baja	MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4	1,09	5,34	25	62,5	68,1	11,9	63,5
				50	106,7	116,3	40,1	214,1
Morichal San Pedro hasta su parte media baja y baja	MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5	1,02	7,87	25	65,3	66,3	11,0	86,6
				50	111,3	113,5	38,2	300,6
Morichal San Pedro	MSP1 + MSP2 + MSP3 + MSP4 + MSP5 + MSP6	1,17	8,66	25	49,7	69,8	12,7	110,0
				50	102,1	119,4	42,3	366,3

A continuación se coloca el resumen (Tabla 46 y 47) del Hidrograma de Diseño para cada subcuenca por el Método Racional.

Tabla 5.38 Resumen del hidrograma de diseño para cada subcuenca del sector 1 por el método racional (solo para las subcuencas de menos de 500 ha).

Subcuenca	Unidad	Tc (hr)	Tr	I (mm/h)	LL (mm)	Q Diseño (m <sup>3</sup> /s)
Parte alta Morichal San Pedro	MSP1	0,46	25	161,7	74,4	66,7
			50	184,2	84,7	75,9
Parte alta del Morichal de Bogarín	MDB1	0,73	25	120,4	87,9	62,0
			50	137,4	100,3	70,8
Morichal Cartanal	MC1	0,70	25	123,5	86,5	53,0
			50	141,0	98,7	60,6

Tabla 5.39 Resumen del hidrograma de diseño para cada subcuenca del sector 2 por el método racional (solo para las subcuencas de menos de 500 ha).

Subcuenca	Unidad	Tc (hr)	Tr	I (mm/h)	LL (mm)	Q Diseño (m <sup>3</sup> /s)
Morichal Los Rastrojos (MLR)	MLR	1,30	25	83,4	108,4	45,9
			50	95,5	124,2	52,6

Afluente del Morichal San Pedro sin nombre conocido	AMSP	1,05	25	95,6	100,4	39,3
			50	109,3	114,8	45

Con base en los resultados es posible afirmar que los caudales de diseño calculados por la Fórmula Racional en las subcuencas menores a 500 ha presentan en algunos casos un incremento de hasta el 50% con respecto a los resultados obtenidos por el método de SCS, lo cual pudiera ser producto de la diferencia en el cálculo de las pérdidas en el proceso de escurrimiento, intrínseco de cada metodología.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. De acuerdo a las características imperantes de la pluviosidad de carácter unimodal (de 1300 mm anuales), de la temperatura (28.3 °C en promedio) que solo oscila unos 5 °C y con la evaporación promedio anual que supera los 2.500 mm por año, se puede concluir que el área de estudio se enmarca en la zona de vida de Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge. Por otra parte, según la clasificación de Koppen se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi),
2. La zona de estudio abarca territorios al sur del estado Anzoátegui que incluye a la población de Mapire. Asimismo, se diferencian dos (2) sectores en los cuales se pueden distinguir varias sub-cuencas o unidades hidrográficas identificadas y codificadas como: MSP1, MSP2, MSP3, MDB1, MDB2, MC1 Y AMP1 ubicadas en el sector ; y las subcuencas MSP4, MSP5, MLR, AMSP, MSP6, MC3 e Io ubicadas en el sector 2.
3. Debido a la presencia del río Orinoco adyacente al área de estudio se evaluaron los niveles de crecidas del río para diferentes períodos de retorno utilizando el método de los valores extremos de Gumbel, obteniéndose que dichas crecidas alcanzarían niveles de 28.5 m y 29.0 m para períodos de retorno de 50 y 100 años. En vista de ello, deberá evitarse la construcción de obras civiles por debajo de esas cotas.
4. La magnitud del coeficiente de escorrentía ponderado calculado por la empresa PDVSA para la zona de estudio fue de 0.47 y se asumió para todas las subcuencas

debido a que presentaron una distribución similar de uso del suelo en las mismas (vegetación arbustiva y bosque de galería).

5. Los caudales de diseño calculados por el Método Racional y por el método del hidrograma SCS indicó que el caudal drenado estimado para la totalidad de las subcuencas considerando períodos de retorno de 25 y 50 años fue de 777.5 m<sup>3</sup>/s y 1293.3 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Los mismos estuvieron distribuidos 57.7% del caudal total drenado por las subcuencas del Sector 1 y 42.3% del caudal total sería drenado por las subcuencas ubicadas en el Sector 2.

### **Recomendaciones**

1. Considerando la fecha de publicación de las curvas IDF del Manual de Drenaje del MOP (1967), se recomienda la producción de curvas IDF actualizadas para las localidades urbanas que requieran nuevas obras civiles que ameriten el diseño de sistemas de drenaje con estimaciones de la pluviosidad más cercanas a la realidad climática del momento.

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**, 37-53 p.

Camacho R., F. (2.004). **DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE. VOLUMEN I. DRENAJE URBANO Y DISEÑO DE ALCANTARILLAS.** Fundación Juan José Aguerrevere. Colegio de Ingenieros de Venezuela. Caracas. Páginas 44, 45, 48, 49, 56, 57, y páginas 1 a 8 del Anexo.

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.

Huarcaya, A. y Márquez, R. (2017). **ESTUDIO PLUVIOMÉTRICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IDF PARA LA POBLACIÓN DE EL SALTO EN EL MUNICIPIO MATURIN, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA.** Trabajo de grado, Universidad de Oriente. Ciudad Bolívar.

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**. Segunda edición. Oxford. United Kingdom. Wiley – Blackwell. (pp. 307, 321, 329).

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

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

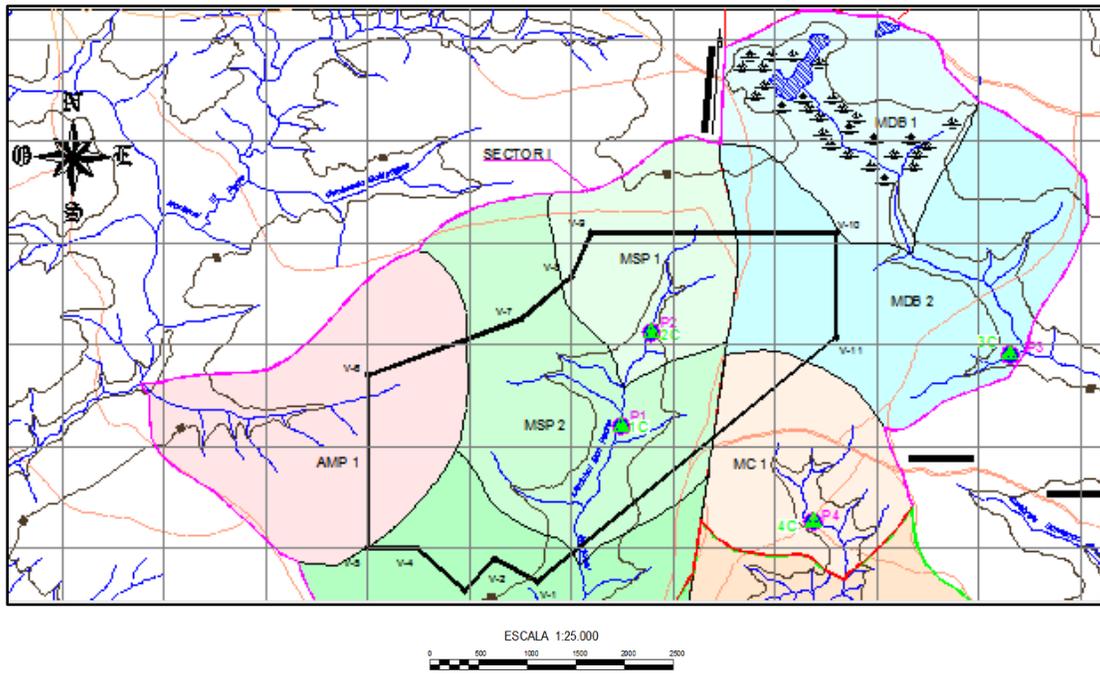
Rivadulla, R. (2004). **CARTOGRAFÍA DE SUPERFICIE Y SUBSUELO**. FundaGeominas, Ciudad Bolívar, (p. 417).

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

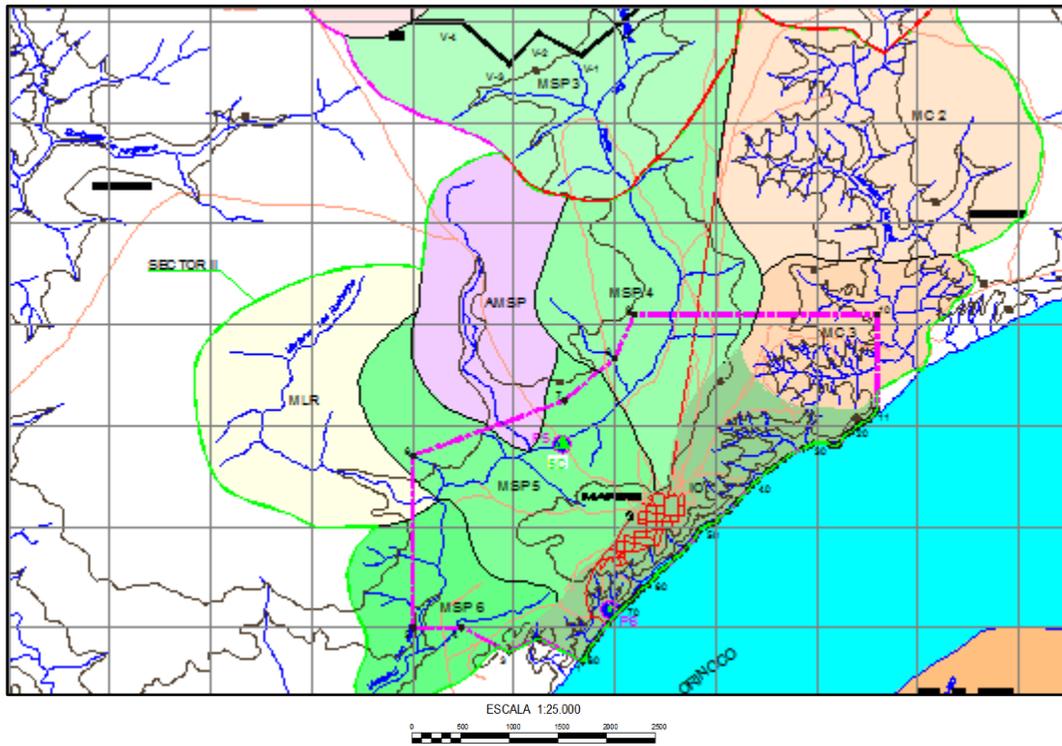
Témez, J. (1978). **CÁLCULO HIDROMETEOROLÓGICO DE CAUDALES MÁXIMOS EN PEQUEÑAS CUENCAS NATURALES**. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. 111p.

## **APÉNDICES**

**APÉNDICE A**  
**CUENCAS Y SUBCUENCAS HIDROLÓGICAS DEL AREA DE**  
**ESTUDIO**



A.1 Unidades hidrográficas del Sector I en el área de influencia de Mapire.

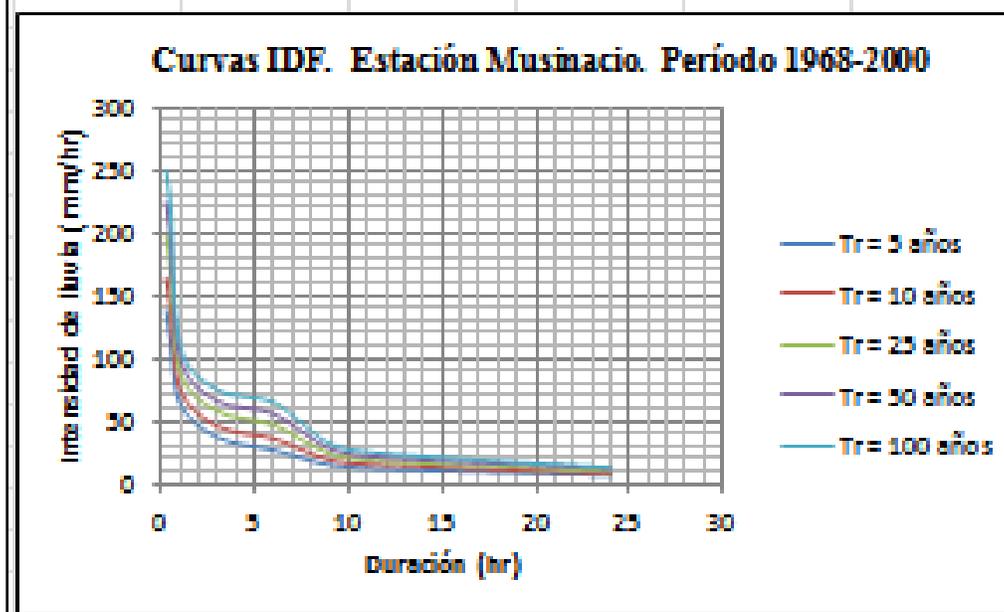


A.2 Unidades hidrográficas del Sector II en el área de influencia de Mapire.

## **APÉNDICE B**

### **DATOS Y CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA DE LLUVIAS**

Durac. (hr)	Intensidad de lluvia (mm/hr)				
	Tr - 5 años	Tr - 10 años	Tr - 25 años	Tr - 50 años	Tr - 100 años
0.25	138	164	198	224	250
0.5	113	137	169	193	218
1	64	75	89	100	110
3	37	46	58	66	75
6	27	36	47	56	65
9	15	19	24	28	32
12	12	15	18	21	24
24	7	8	10	12	13



B.1 Datos y curvas IDF, estación Mapire, período 1968 -2000.



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

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Ingeniería Civil	Ingeniería Civil

### Resumen (abstract):

La presente investigación se desarrolla bajo la justificación de la necesidad de determinar la magnitud de los caudales de aguas de escorrentía que drenan desde las cuencas que inciden en los factores de diseño de las obras de drenaje que pudieran requerirse en las áreas urbanizadas de la población de Mapire. En ese sentido, la investigación es de nivel descriptivo la cual requerirá la aplicación de una estrategia o diseño documental y de campo. La metodología utilizada incluye el reconocimiento de la zona para la verificación de las condiciones físico naturales como el relieve, suelos, y vegetación, de la zona entre otros aspectos relevantes. Se describen las características climáticas mediante la consulta de los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Mediante la revisión de los mapas hidrográficos de la zona se identificaron y delimitaron las cuencas existentes en las adyacencias de la población de Mapire que pudiesen influir en los caudales de drenaje. Posteriormente, se procedió a la caracterización morfométrica de las cuencas existentes. Una vez caracterizadas las cuencas se determinó el caudal aportado por el método racional o por el método del hidrograa unitario adimensional SCS, dependiendo de la extensión superficial de la cuenca. Los caudales calculados se estimaron considerando períodos de retorno de 25 y 50 años. Como resultados relevantes de la investigación se puede acotar que el clima del área de estudio se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge y según Koppen el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi). Se identificaron dos sectores con siete (7) subcuencas o unidades hidrográficas cada uno. Se determinó el coeficiente de escorrentía ponderado para cada subcuenca. Se determinó un caudal total drenado por las 14 subcuencas de 777.5 m<sup>3</sup>/s. Este caudal se encuentra distribuido 57.7% drenado por las subcuencas del Sector 1 y 42.3% del caudal es drenado por las subcuencas del Sector 2.

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

## Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Dafnis Echeverría	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	4.506.408
	<b>e-mail</b>	Dafnisecheverria2807@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
Beatriz Echeverría	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	21.013.748
	<b>e-mail</b>	Echeverriabcc92@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
Stefany Devera	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	23.551.572
	<b>e-mail</b>	Stefany_devera@hotmail.com
	<b>e-mail</b>	
	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

## Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2018	01	23

Lenguaje Spa

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

## Archivo(s):

Nombre de archivo
Tesis- ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES DE ESCORRENTÍA DE AGUAS PLUVIALES QUE APORTAN LAS CUENCAS RURALES QUE INCIDEN EN EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DRENAJE DE LA POBLACIÓN DE MAPIRE, MUNICIPIO JOSÉ GREGORIO MONAGAS, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA

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

## Alcance:

**Espacial :** \_\_\_\_\_ (Opcional)

**Temporal:** \_\_\_\_\_ (Opcional)

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

**Nivel Asociado con el Trabajo:** Pre-Grado

**Área de Estudio:** Departamento de Ingeniería Civil

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

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



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CU Nº 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC Nº 696/2009"**.

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

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *Martínez*

FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*Juan A. Bolanos Cuvvelo*

**JUAN A. BOLANOS CUVVELO**  
Secretario

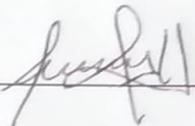


C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YGC/maruja

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

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

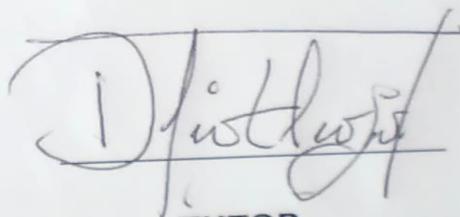


---

**AUTOR 1**

---

**AUTOR 2**



**TUTOR**