

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



**MODELAMIENTO DE LOS FLUJOS QUE SE PRODUCIRÁN EN  
LOS CANALES DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES DE LA  
URBANIZACIÓN DIVINO NIÑO EN LA POBLACIÓN DE LOS  
BARRANCOS DE FAJARDO, MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO  
MONAGAS, VENEZUELA.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO  
PRESENTADO POR LAS  
BACHILLERES CHAPARRO  
S., MARÍA V. Y MARTÍNEZ P.,  
ALEIXILIZ M. PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO.**

**CIUDAD BOLÍVAR, ABRIL DE 2025**



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO BOLÍVAR  
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado: **MODELAMIENTO DE LOS FLUJOS QUE SE PRODUCIRÁN EN LOS CANALES DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES DE LA URBANIZACIÓN DIVINO NIÑO EN LA POBLACIÓN DE LOS BARRANCOS DE FAJARDO, MUNICIPIO SOTILLO, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA** presentado y defendido por las bachilleres **MARÍA VICTORIA CHAPARRO SIFONTES** de cédula de identidad N° 28.740.899 y **ALEXILIZ MAIRE MARTÍNEZ PÉREZ** de cédula de identidad N° 27.158.652 como requisito parcial para optar por el título: Ingeniero Geólogo, ha sido aprobado de acuerdo al reglamento de la Universidad de Oriente.

Apellido y Nombre del Prof.:

Prof. Dafnis Echeverría  
(Asesor)

Prof(a). Francisco Monteverde  
(Jurado)

Prof(a). Beatriz Echeverría  
(Jurado)

Prof. Francisco Monteverde  
Jefe del Departamento de Ingeniería  
Geológica

Firma

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

En Ciudad Bolívar a los 03 días del mes de Abril de 2025

## **DEDICATORIA**

Las situaciones más difíciles de mi vida las he podido superar por la presencia de mis seres más amados, por eso, este logro universitario se lo dedicó a mis padres Mayuliz Sifontes y Luis Chaparro, las personas que más han luchado contra toda adversidad para darme esta bendición como lo es estudiar, los amo agradezco a Dios tenerlos en mi vida.

A mí abuela Eugenia Sagaray que me dio palabras de aliento, me brindó su amor y fue importante en mi vida logrando que desarrollara amor por superarme y siempre tener en cuenta que con Dios todo se puede, a mi tío Miguel Sifontes y demás familiares que aportaron su granito de arena para yo poder cumplir esta meta.

A mis hermanos Luis Chaparro y José Alejandro Rojas por estar para mí y hacer mis días más felices compartiendo y creando recuerdos juntos, dándome apoyo y palabras de aliento y orgullo, agradezco a Dios por tenerlos en mi vida.

A los compañeros de clases que he ido conociendo a lo largo de este camino, agradezco su compañía, las risas que tuvimos y los momentos que compartimos, porque a pesar de que tomaremos caminos separados, sé que tendremos recuerdos bonitos y llenos de alegría cuando pensemos en ellos, Dios los bendiga.

María Victoria Chaparro Sifontes

## **DEDICATORIA**

A mis padres Elisa Pérez y José Martínez, cuyo amor y apoyo incondicional han sido la luz que ha guiado cada uno de mis pasos en este camino. Su sacrificio y dedicación me han inspirado a perseguir mis sueños con valentía.

Mi abuelo Manuel Felipe Pérez, que con sus sabias palabras y enseñanzas de vida, me daban fuerzas para cumplir esta meta.

A mis hermanos Aleixelez, Yelitza, Nelson y José Manuel, por ser mis compañeros de vida, mis cómplices y mis mejores amigos. Su apoyo y aliento han hecho que cada desafío sea más llevadero y cada éxito más significativo.

A mi pareja sentimental Jhanny Flores, por estar a mi lado a cada momento, brindándome amor, comprensión y motivación. Tú confianza en mí ha sido un pilar fundamental en esta travesía.

Y a mis tíos maternos, quienes siempre han estado presentes con su cariño y consejos sabios, por ser parte de mi vida y contribuir a mi crecimiento personal y académico.

Este trabajo de grado es un reflejo de todo el amor y el apoyo que he recibido de ustedes. Gracias por ser mi inspiración.

Aleixiliz Maire Martínez Pérez

## **AGRADECIMIENTOS**

Damos primeramente Gracias a Dios por permitirnos a ambas llegar a esta etapa de nuestra vida universitaria, donde estaremos marcando el inicio a nuestro primer paso como futuras profesionales en el campo de ingeniería geológica, todo esto mediante esfuerzos y sacrificios de nuestros familiares que estuvieron dándonos apoyo incondicional en cada paso que dábamos, sin embargo, esto no habría sido posible sin que diéramos lo mejor de nosotras sin importar las adversidades que se presentaban en el trayecto, la dedicación y paciencia al estudio de nuevas asignaturas en cada semestre y el labor de los profesores de la Universidad de Oriente.

Este trayecto se hace más llevadero cuando la alegría y los éxitos son compartidos con personas que te apoyan y brindan palabras de apoyo cuando te ven a punto de renunciar, por eso agradecemos a cada una de las personas que estuvieron presentes permanentemente o momentáneamente porque en su momento nos enseñaron lecciones que necesitábamos para seguir avanzando en esta etapa.

Por eso damos gracias a los compañeros que comparten este éxito con nosotras. Gracias Carmarys, Miguel, Raúl, Gustavo, Fabiangely, Deimary, Dylan, Ysabella, Luis Felipe y Juliannys Maita por estar para nosotras y hacer de esta experiencia una alegría digna de recordar, para nuestros queridos compañeros de trabajo de campo Katherine y Carlos, agradecemos el habernos unido en un grupo de estudio con una meta clara, que hoy en día veíamos lejana. Gracias a todos por su compañía, Dios los bendiga.

Aleixiliz Maire Martínez Pérez  
María Victoria Chaparro Sifontes

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolla en el urbanismo proyectado denominado “Divino Niño”, ubicado en la población de Los Barrancos de Fajardo en el municipio Sotillo, estado Monagas, Venezuela. El objetivo general de la investigación es proponer un sistema de descarga final de las aguas de escorrentía pluvial provenientes desde el conjunto residencial “Divino Niño” hasta zonas adyacentes donde no causen daños mediante torrenteras. Para ello se aplicará una estrategia o diseño de campo y documental enmarcada dentro de esta investigación de tipo proyecto factible. Entre los objetivos específicos planteados se encuentra en primer lugar, la caracterización de la pluviosidad de la zona de estudio, la estimación de los caudales de diseño, la descripción de las condiciones topográficas y geotécnicas de los taludes, determinación de las condiciones del flujo a través de los taludes y finalmente, el diseño y alineamiento en planta y perfil longitudinal de las torrenteras, así como también sus secciones transversales. Una vez realizadas estas actividades, se estimó el caudal de drenaje para el diseño de las cuatro (4) torrenteras el cual varió entre  $0.9958 \text{ m}^3/\text{s}$  y un valor de  $1.2056 \text{ m}^3/\text{s}$ . El levantamiento topográfico de los taludes indicó una pendiente aproximada de 1.7% y un recorrido o distancia inclinada para cada torrentera de 115 m, 120 m, 126 m y 132 m respectivamente. Los taludes están compuestos por un (1) estrato constituido por arena fina limosa de color naranja. El modelamiento del comportamiento de los flujos a través de los taludes mostró que se desarrollarían flujos de naturaleza supercríticos con un número de Froude alrededor de 1.2 y velocidades inferiores a 3.5 m/s. Se diseñaron las torrenteras con una base de 0.9 m en ambos tramos, altura de solera de 0.65 m, una altura vertical mínima de contrahuella de 0.5 m y una longitud horizontal mínima de huella de 1.54 m para toda las torrenteras..

## CONTENIDO

HOJA DE POSTULACION.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN.....	vi
CONTENIDO .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABLAS .....	xv
LISTA DE APÉNDICES .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR .....	3
1.1 Planteamiento del Problema .....	3
1.2    Objetivos de la investigación .....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos específicos .....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	6
1.4 Alcance de la investigación.....	6
CAPÍTULO II .....	9
GENERALIDADES .....	9
2.1 Ubicación y acceso al área de estudio .....	9

2.2 Características generales del medio físico y biótico del área .....	10
2.2.1 Geología.....	10
2.2.2 Geomorfología y suelos .....	11
2.2.3 Vegetación .....	14
2.2.4 Aspectos hidrográficos .....	15
CAPÍTULO III.....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
3.1 Antecedentes de la investigación .....	20
3.2 Fundamentos teóricos.....	23
3.2.1 Hidrología urbana .....	23
3.2.2 Sistemas de drenaje.....	23
3.2.3 Acciones del sistema de drenaje urbano .....	23
3.2.4 Objetivos de un sistema de drenaje.....	24
3.2.5 Tipos de drenaje.....	24
3.2.6 Variables hidrometeorológicas .....	26
3.2.7 Canales abiertos .....	32
3.2.8 Tipos de canales abiertos .....	33
3.2.9 Tipos de flujo en canales .....	34
3.2.10 Estados del flujo.....	36
3.2.11 Distribución de velocidades en canales .....	37
3.2.12 Geometría de canal .....	38
3.2.13 Elementos geométricos de una sección de canal .....	40
3.2.14 Ecuaciones fundamentales que rigen el flujo de un canal .....	42
3.2.15 Energía específica en un canal.....	44
3.2.17 Coeficiente de escurrimiento .....	54
3.2.18 Curvas Intensidad, duración y frecuencia.....	57

3.2.19 Trazado de canales abiertos .....	62
3.2.20 Simulación de los niveles del agua en canales abiertos.....	64
3.2.21 Torrenteras .....	65
3.3 Definición de términos básicos .....	74
3.3.1 Abrupto .....	74
3.3.2 Áreas inundables.....	74
3.3.3 Canales de drenajes.....	74
3.3.4 Cartografía .....	74
3.3.5 Cavitación .....	75
3.3.6 Climatología .....	75
3.3.7 Coeficiente de escorrentía (C) .....	75
3.3.8 Coeficiente de Manning (n) .....	75
3.3.9 Colectores .....	75
3.3.10 Cota.....	76
3.3.11 Cuenca .....	76
3.3.12 Cuenca hidrográfica.....	76
3.3.13 Datum .....	76
3.3.14 Desnivel .....	77
3.3.15 Embaulamiento .....	77
3.3.16 Escorrentía .....	77
3.3.17 Fluctuar .....	77
3.3.18 Hidrología: .....	77
3.3.19 Inundación .....	78
3.3.20 Meteorología.....	78
3.3.21 Pendiente.....	78
3.3.22 Perfil longitudinal .....	78
3.3.23 Perfil transversal .....	78
3.3.24 Pluviómetro.....	79

3.3.25 Zanjas.....	79
CAPÍTULO IV .....	80
METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	80
4.1 Tipo de investigación .....	80
4.2 Diseño de investigación.....	81
4.3 Población y muestra de la investigación .....	82
4.3.1 Población de la investigación .....	82
4.3.2 Muestra de la investigación .....	82
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	83
4.4.1 Técnicas de recolección de datos.....	83
4.4.2 Instrumentos de recolección de datos .....	85
4.5 Flujograma de la metodología de trabajo .....	85
4.5.1 Descripción de la metodología de trabajo.....	86
CAPÍTULO V .....	89
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	89
5.1 Caracterización climática del área de estudio .....	89
5.1.1 Precipitación .....	91
5.1.2 Evaporación .....	93
5.1.3 Temperatura .....	95
5.1.4 Insolación.....	97
5.1.5 Humedad Relativa.....	99
5.1.6 Vientos .....	101
5.2 Parámetros dimensionales de la zona de captación.....	102

5.2.1 Área de captación.....	102
5.3 Caudal de drenaje aportado por la cuenca.....	103
5.4 Relieve del talud a través del cual se trazará la torrentera .....	109
5.5 Definir el trazado en planta y perfil longitudinal de la torrentera .....	111
5.6 Determinar los parámetros geométricos e hidráulicos de la torrentera .....	113
5.6.1 Ancho de la solera o base (b).....	113
5.6.2 Profundidad normal y profundidad crítica.....	113
5.6.3 Parámetros hidráulicos y geométricos de la sección transversal .....	115
5.6.4 Huella y contrahuella de la torrentera.....	115
 CAPÍTULO VI.....	 117
LA PROPUESTA .....	117
6.1 Objetivo de la propuesta.....	117
6.2 Alcance de la propuesta.....	117
6.3 Justificación de la propuesta.....	117
6.4 Metodología de trabajo.....	118
6.5 Propuesta de la torrentera .....	118
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 122
Conclusiones .....	122
Recomendaciones .....	124
 REFERENCIAS.....	 125

APÉNDICES..... 130

## LISTA DE FIGURAS

		Página
2.1	Ubicación nacional de Los Barrancos de Fajardo.....	9
2.2	Ubicación regional de Los Barrancos de Fajardo.(CVG Tecmin, C.A., 2.016).....	10
2.3	Relieve típico.....	11
2.4	Relieve de la zona de estudio.....	11
2.5	Suelos del área de estudio (CVG Tecmin, 2016).....	13
2.6	Suelos del área de estudio (CVG Tecmin, 2016).....	13
2.7	Vegetación dominante del área de estudio.....	15
2.8	Río Orinoco.....	18
2.9	Laguna Bombeadero.....	18
3.1	Abaco para estimación del tiempo de concentración en cuencas rurales (Arocha, 2012).....	52
3.2	Torrentera en gradería (Aristizabal et al,2013).....	67
3.3	Torrentera en gradería con bloques en el fondo (Aristizábal et al, 2013).....	67
3.4	Régimen de flujo saltante sobre un canal en gradería (Mejía, 1999)	68
4.1	Flujograma de la investigación (Lanz, 2019).....	83
5.1	Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Macagua. (CVG Tecmin, C.A., 2.016).....	88
5.2	Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Puerto Ordaz R-A. ( CVG Tecmin, C.A., 2.016).....	88
5.3	Variación anual de la evaporación (mm). Estación Macagua (CORPOELEC, 2017).....	89
5.4	Variación anual de la evaporación (mm). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).....	90
5.5	Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Macagua. (CORPOELE, 2017).....	91
5.6	Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Puerto Ordaz R-A (INAMEH, 2017).....	91
5.7	Variación anual de la insolación (horas). Estación Macagua (CORPOELEC, 2017).....	92
5.8	Variación anual de la insulación (horas). Estación Puerto Ordaz (INAMEH,2017).....	93
5.9	Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Macagua. (CORPOELEC, 2017).....	94
5.10	Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Puerto Ordaz. (INAMEH,	94

2017).....	
5.11 Variación anual de la velocidad del viento (m/s). Estación Macagua. (ORPOELEC, 2017).....	95
5.12 Detalle de área de drenaje del urbanismo.....	96
5.13 Curvas IDF de la Región Hidrológica II (MOP, 1967).....	98
5.14 Puntos de descarga en el urbanismo .....	102
5.15 Imagen de satélite Landsat del 13/05/2019 de Google Earth del área de ubicación de las torrenteras .....	103
5.16 Curva de distribución granulométrica de la muestra M1 .....	104
5.17 Alineación de las torrenteras y punto de muestreo .....	105
6.1 Esquema de la sección transversal de la torrentera .....	112
6.2 Perfil longitudinal de la torrentera.....	113
6.3 Sección transversal de la torrentera con protección de enrocado .....	114

## LISTA DE TABLAS

	Página
3.1 Velocidades de escurrimiento en laderas. Cobertura Vegetal (V= m/min).....	52
3.2 Coeficiente de escurrimiento (Bolinaga, 1979).....	54
3.3 Coeficientes de escurrimiento de acuerdo a la zonificación del uso de tierra. (Bolinaga, 1979) .....	55
3.4 Factores de incremento de “C” (Bolinaga, 1979) .....	56
3.5 Coeficientes de escorrentía para su uso en taludes (Japan Road Association, 1984) .....	70
3.6 Parámetros hidráulicos del canal rápida .....	71
5.1 Características de las estaciones utilizadas. (INAMEH, 2.016) .....	87
5.2 Precipitación media mensual y anual (mm). Período 1950-2011. (INAMEH, 2.016).....	88
5.3 Registros de Precipitación mensual (mm) para para ubicación de la estación Macagua. Período 1981 -2022. Fuente: POWER - NASA	90
5.4 Evaporación media, mensual y anual (mm). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	91
5.5 Temperatura máxima, media y mínima (°C). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	92
5.6 Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	95
5.7 Humedad relativa media mensual y anual (%). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	96
5.8 Registros de Humedad relativa a dos metros (%). Período 1981 – 2022. Fuente POWER – NASA (octubre 2024) .....	97
5.9 Velocidad media mensual y anual del viento (m/s). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).....	98
5.10 Velocidad del viento (m/s) a 2 metros en la ubicación de la estación Macagua. Período 1981 – 2022. Fuente POWER – NASA (2024)	99
5.11 Distribución de áreas en el urbanismo según su cobertura).....	100
5.12 Coeficiente de escorrentía ponderado (Cep) de la cuenca).....	101
5.13 Caudales aportados por parcelas A, B, C y D .....	103

5.14	Caudales aportados por parcelas E, F, G y H .).....	104
5.15	Caudales aportados por cada tramo y subcuenca .....	105
5.16	Ubicación de la muestra de suelos .....	107
5.17	Características de ubicación de las torrenteras.....	108
5.18	Ancho de solera (Lanz, 2019).....	110
5.19	Estimación de la profundidad crítica para cada torrentera .....	111
5.20	Parámetros geométricos e hidráulicos de la sección transversal para las torrenteras (Lanz, 2019).....	111
6.1	Dimensiones de las torrenteras .....	115

## LISTA DE APÉNDICES

	Página
APÉNDICE A. GRÁFICOS PARA EL CÁLCULO DE TORRENTERAS	126
A.1    Profundidad normal. Secciones rectangulares (Camacho, 1996).....	127
A.2    Estimación de disipación por caída. (Camacho, 1996).....	128
APÉNDICE B. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS	129
B.1    Resultados de los análisis granulométricos de la muestra M1 y M2.....	130

## INTRODUCCIÓN

Un canal de drenaje es aquel por donde se transportan los fluidos generalmente de agua y a diferencia de las tuberías, es abierto a la atmósfera. Es por ello que este proyecto tiene como finalidad diseñar un sistema de drenaje que conduzca las aguas de lluvias mediante canales abiertos revestidos de concreto para brindar bienestar y salubridad a los habitantes y usuarios de la proyectada urbanización “Divino Niño”, en Los Barrancos de Fajardo, estado Monagas. Sin embargo, las aguas pluviales, una vez encauzadas dentro del urbanismo deberán ser conducidas hasta una ubicación final donde no causen daños a las infraestructuras y personas.

Debido a la ubicación que tendrá el urbanismo “Divino Niño” existirá una significativa diferencia de altura entre este y el lugar de disposición final de las aguas pluviales drenadas que será un lote baldío adyacente al urbanismo. En vista de ello, se deberán proponer en esta investigación las obras civiles de drenaje para la conducción de las aguas de escorrentía pluvial desde el urbanismo hasta el citado lote, como lugar más cercano al urbanismo que ofrece condiciones aparentemente ideales como receptáculo de todas las aguas drenadas.

Dentro del término “aguas pluviales” quedan comprendidas no solamente aquellas originadas por las precipitaciones que caen directamente sobre las áreas urbanizadas que conforman la población, sino también aquellas que provienen de otros sectores y discurren a través de la ciudad. Para el desarrollo de esta investigación, clasificada como proyecto factible, se aplicará una metodología o estrategia de tipo de campo y documental.

El objetivo primordial o básico es evitar al máximo posible los daños que las aguas puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano. De la

misma manera, debe garantizar el normal funcionamiento de la vida diaria en las poblaciones, permitiendo un apropiado tráfico de personas y vehículos durante y después de la ocurrencia de precipitaciones.

El documento presente está estructurado en seis (6) capítulos:

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

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

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

El Capítulo IV. Metodología de investigación: 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 y presentación de resultados: se presentan los resultados de la investigación.

Capítulo VI. Propuesta, contiene el objetivo de la propuesta, su justificación, alcance, el desarrollo de la propuesta y finalmente los aspectos más importantes de la misma.

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

# CAPÍTULO I

## SITUACIÓN A INVESTIGAR

### 1.1 Planteamiento del problema

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

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

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

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

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

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

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

En el estado Monagas por su parte según (Informe21.com, 2013) el período de lluvia dejó inundaciones que alcanzaron alturas de hasta 55 centímetros en sectores como Brisas del Orinoco y Alto Sucre; mientras que por otro lado fue afectada la infraestructura vial que en el caso del puente del municipio Santa Bárbara casi fue rebasado en su totalidad por el río Amana.

En vista de que en la actualidad se hace necesario el uso de un buen sistema de drenaje; para el conjunto urbanístico “Divino Niño” en Los Barrancos de Fajardo, municipio Sotillo, del estado Monagas se propone en esta investigación las

estructuras hidráulicas (torretera) que sirvan para la descarga final de las aguas de escorrentía pluvial del citado urbanismo.

En ese sentido, cabe plantearse las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cómo es la pluviometría del área de estudio que produciría las aguas de escorrentía pluvial en el urbanismo?

¿Cuáles son los límites de la cuenca y subcuencas de drenaje del área de estudio?

¿Cuál es la magnitud del caudal que drenará a través de la urbanización “Divino Niño”?

¿Cómo es el relieve del talud a través del cual deberá conducirse el agua drenada por el urbanismo para su descarga final?

¿Cómo sería el trazado en planta y el perfil longitudinal de la torretera?

¿Cuáles serían las características geométricas, dimensionales e hidráulicas de la torretera?

## **1.2 Objetivos de la investigación**

### **1.2.1 Objetivo General**

Proponer una torretera para la descarga de los flujos pluviales provenientes del conjunto urbanístico “Divino Niño” en Los Barrancos de Fajardo, municipio Sotillo, estado Monagas, Venezuela.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar climatológicamente el área de estudio

2. Definir los parámetros dimensionales de la zona de captación en el área de estudio
3. Determinar el caudal de la cuenca de drenaje del área de estudio
4. Caracterizar el relieve del talud a través del cual se trazarán las torrenteras
5. Definir el trazado en planta y perfil longitudinal de las torrenteras
6. Determinar los parámetros geométricos e hidráulicos de las torrenteras.

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

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

Es de vital importancia realizar la investigación para que la comunidad que habitará los nuevos desarrollos urbanísticos y sus cercanías no corran peligro de sufrir daños físicos ni estructurales en su entorno.

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

En esta investigación se plantea hacer una propuesta para el encauzamiento final de las aguas de escorrentía pluvial que drenará la cuenca urbana de los nuevos

desarrollos habitacionales mediante un sistema de canal de drenaje torrentera en la población de Los Barrancos de Fajardo.

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

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES

#### 2.1 Ubicación y acceso al área de estudio

El área inicial para la realización del estudio hidráulico complementario, abarcó una superficie de 16.75 ha, localizada en el Bloque Carabobo, en una zona perteneciente al municipio Sotillo del estado Monagas y en la cual se consideran las unidades hidrográficas cuyos cauces drenen hacia y desde el área de la poligonal.

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



Figura 2.1. Ubicación nacional de Los Barrancos de Fajardo.

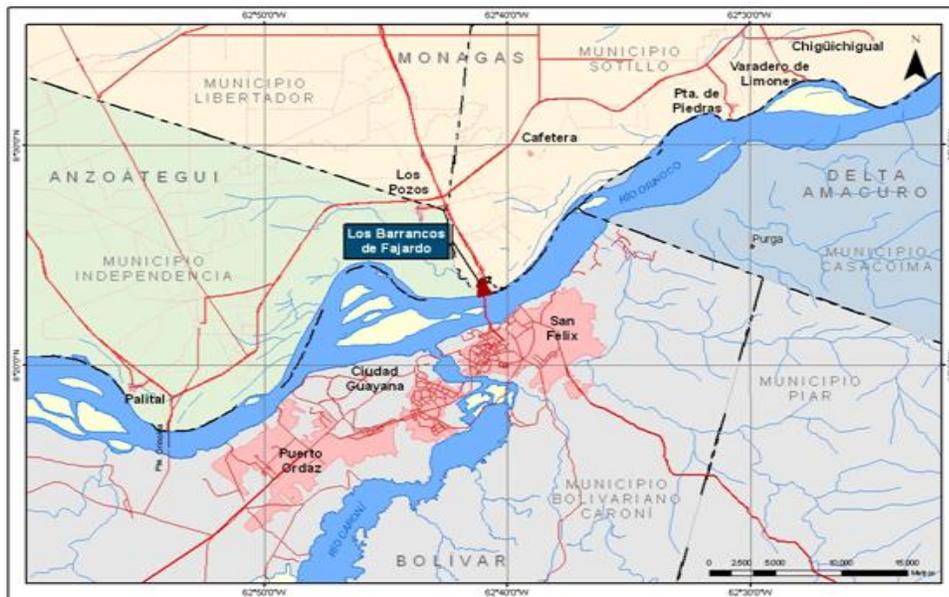


Figura 2.2 Ubicación regional de Los Barrancos de Fajardo. (CVG Tecmin, C.A., 2016).

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

### 2.2.1 Geología

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

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

### 2.2.2 Geomorfología y suelos

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



Figura 2.3 Relieve típico



Figura 2.4 Relieve de la zona de estudio.

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

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

Por lo que se concluye que la erosión es de tipo escurrimiento difuso, de intensidad ligera y de modalidad generalizada. Sin embargo, el área conformada por el valle del río Orinoco, se considera una superficie morfodinámicamente activa de significativa inestabilidad por estar afectada anualmente por frecuentes e intensos eventos de inundación, que aportan nuevos sedimentos a la superficie de estas geoformas y construyen gradualmente por socavación geo-formas menores como canales o meandros y lagunas, de configuración variable en el tiempo.

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

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

Estos suelos exhiben un avanzado desarrollo pedogenético (Fotos de las figuras 2.5 y 2.6), debido a los intensos procesos de intemperización, a través de prolongados periodos, actuando sobre superficie geomorfológica de relativo grado de estabilidad y condiciones climáticas (bajas precipitaciones y alta temperaturas), que han favorecido la ocurrencia de horizontes de iluviación de arcilla (argílico o kándico).



Figura 2.5 Suelos del área de estudio (CVG Tecmin, 2016).



Figura 2.6 Suelos del área de estudio (CVG Tecmin, 2016).

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

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

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

### **2.2.3 Vegetación**

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

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

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



Figura 2.7 Vegetación dominante del área de estudio.

#### 2.2.4 Aspectos hidrográficos

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

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

### **2.2.4.1 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 Chalbaud (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 re-suspensión 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 casi 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.

En la figura 2.7, se muestra el río Orinoco a la altura de la población de Los Barrancos de Fajardo.



Figura 2.8 Río Orinoco

#### 2.2.4.2. Laguna Bombeadero

A orillas del amplio cauce del río Orinoco se localiza la planicie de inundación conformada por sedimentos recientes. En ellas se localizan lagunas permanentes, que se remueven por las crecidas periódicas del Orinoco.

Entre estas lagunas tenemos: Las Curiaras y Bombeadero. Hacia esta última drena un 22% del área de estudio, que corresponde a 290.752 ha, ya que la carretera Los Barrancos-Los Pozos atraviesa longitudinalmente toda el área y actúa como divisoria de agua. En la figura 2.9 se muestra una panorámica de la laguna Bombeadero.



Figura 2.9 Laguna Bombeadero.

#### **2.4.4.3. Planicie de inundación del río Los Pozos**

La planicie de inundación del río Los Pozos se enmarca a su vez dentro de la gran planicie de inundación del río Orinoco. Hacia este sector escurre más de la mitad del área de la poligonal (57 %); esto es 754.933 ha, que corresponde a la parte centro oriental de la zona, desde la carretera Los Barrancos-Los Pozos, que funge como divisoria de agua.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

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

Hernández, C. y Polanco, A. (2006), elaboraron su trabajo de grado titulado **“SANEAMIENTO HIDRÁULICO DEL SECTOR EL DESESPERO Y LÁGRIMAS VERDES DE LA POBLACIÓN DE CARRASQUERO, MUNICIPIO MARA, ESTADO ZULIA”** cuyo objetivo general fue planteado como sanear hidráulicamente el sector Lagrimas Verdes y el Desespero de la población de Carrasquero, municipio Mara del estado Zulia. En dicho trabajo de grado se aborda el diseño de canales de aguas pluviales, incluyendo entre ellos el diseño de torrenteras. En vista de ello, la metodología del diseño de tales obras civiles de drenaje de aguas de lluvia, puede ser aplicada a la investigación proyectiva que se trata en este documento.

Rubén R, (2009), estudiante del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño Extensión Barinas. En su trabajo especial de grado titulado **“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE SUPERFICIAL EN LA VIALIDAD RURAL DE SANTA LUCIA – JACOA, (FUNDO ZAMORANO) DEL MUNICIPIO BARINAS ESTADO BARINAS”** fundamentó su proyecto de tipo factible, apoyado en la modalidad de investigación documental y de campo. El mismo consistió en proporcionar una solución a la problemática planteada el cual permitirá por medio de la topografía demarcar la posición exacta del drenaje a utilizar de acuerdo a su condición de uso (longitudinal o transversal); de igual manera se determinan las nuevas estructuras hidráulicas acordes a las nuevas secciones correspondientes al diseño. Este trabajo es relevante para el presente porque posee las herramientas necesarias para guiarnos en el trazado de los canales del sistema de

drenaje por el cual circularan las aguas pluviales, tomando en cuenta la topografía del lugar.

Cedeño y Guerra (2010), en su trabajo de grado titulado **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RED DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES ADYACENTES AL CANAL DE CINTURA EXISTENTE DESDE LA PROGRESIVA 0+000 HASTA LA 1+235 EN CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR**, determinaron la capacidad hidráulica del sistema de drenaje en estudio y delimitaron las áreas tributarias que descargan aguas pluviales en el canal. Siguiendo una metodología descriptiva utilizaron información de la Corporación Venezolana de Guayana “C.V.G”, C.V.G. Tecmin, a partir de estos datos pudieron conocer el material, sección transversal y perímetro mojado, con el cual se pudo calcular el radio hidráulico y coeficiente de rugosidad ponderado que constituye la sección del canal de Cintura, los caudales generados por cada área tributaria, se estudiaron por los métodos racional, Chow y el del Hidrograma Triangular según las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (I.D.F.) reflejado como resultado un perímetro mojado de 9,20 metros, un radio hidráulico de 0,57 metros, y el caudal máximo de 29,95 metros cúbicos/segundo. Concluyendo así, que debido al aumento de tamaño de la ciudad se van incorporando nuevas aguas de escorrentía a dicho canal provocando así las inundaciones.

Esta investigación es de importancia para el presente, porque nos permite guiar en la determinación del caudal de la cuenca y subcuencas en el área de estudio a través del método racional, así como también los parámetros geométricos e hidráulicos en los canales de drenaje propuestos.

También es de importancia destacar que los autores consideraron en sus cálculos y análisis de resultados el posible crecimiento de la ciudad para así evitar futuros problemas en el sistema.

Martínez (2023) en el trabajo de grado “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES DEL AFLUENTE UBICADO EN LA CUENCA URBANA OESTE DE LA CIUDAD DE JULIACA, CON MODELOS DE FLUJO BIDIMENSIONAL PERMANENTE Y UNIDIMENSIONAL NO PERMANENTE” plantea evaluar la capacidad de drenaje de aguas pluviales, del afluente ubicado en la cuenca urbana oeste de la ciudad de Juliaca, considerando que tiene un crecimiento urbano importante, lo que incrementa zonas impermeables y por ende disminuye la capacidad de infiltración del suelo, generando mayores volúmenes de agua a drenar. Entre los hallazgos, se obtuvo una precipitación proyectada para un tiempo de retorno de 25 años de 63.74 mm/día; una infiltración de 38.22 mm/día, en calles de tierra y de 5.83 mm/día en calles pavimentadas; un caudal a la salida del afluente de 5.00 m<sup>3</sup>/s y de 8.10 m<sup>3</sup>/s en condición de uso actual y futuro del suelo respectivamente. La conclusión más relevante es que con la recuperación de la sección natural del cauce, (ancho= 4.00 m y alto= 1.50 m), no se produciría desbordamiento, pero para la situación futura, con el incremento de calles pavimentadas y más viviendas, sí se producirá desbordamiento del cauce, en una parte de la zona de estudio, debiendo mejorar las condiciones hidráulicas del afluente, por lo que se plantea como solución la optimización de la capacidad hidráulica del afluente, esto se logra con el revestimiento con concreto pulido en toda la sección, aguas arriba de la salida del afluente. En este trabajo de grado se aborda el análisis del diseño de canales de aguas pluviales en áreas urbanas con zonas impermeables lo cual es vinculante con la presente investigación.

## **3.2 Fundamentos teóricos**

### **3.2.1 Hidrología urbana**

Es la rama de la hidrología que estudia la hidrología de las zonas urbanas y metropolitanas, y describe los procedimientos utilizados en la determinación de los escurrimientos para la planificación y proyecto de sistemas de drenaje urbano (Chow, 2000).

### **3.2.2 Sistemas de drenaje**

Se entenderá por sistema de drenaje un conjunto de acciones, materiales o no, destinadas a evitar en la medida de lo posible que las aguas pluviales causen daños a las personas o a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana, es decir, dirigidas al logro de los objetivos establecidos.

Dentro del término “aguas pluviales” quedan comprendidas no solamente las aguas originadas por las precipitaciones que caen directamente sobre las áreas urbanizadas que conforman la población, sino también aquellas que provienen de otros sectores y discurren a través de la ciudad, bien sea por cauces naturales, conductos artificiales o simplemente a lo largo de su superficie (Chow, 2004).

### **3.2.3 Acciones del sistema de drenaje urbano**

Las acciones a que se refiere la definición de sistema de drenaje urbano pueden ser de dos tipos: Preventivas, que disminuyen los daños mediante la administración adecuada de los usos de las áreas potencialmente sujetas a ellos; y Correctivas, que alivian esos daños en las áreas donde las medidas de tipo preventivo

son insuficientes. Como un ejemplo práctico podemos decir que las acciones que impliquen la construcción de una obra hidráulica, u otras cuyas dimensiones y características se modifiquen por razones hidráulicas, son correctivas, y las restantes se consideran preventivas (Chow, 2004).

### **3.2.4 Objetivos de un sistema de drenaje**

Un sistema de drenaje urbano debe de estar dirigido al logro de unos objetivos, es decir los fines o intenciones hacia los cuales se dirigen las acciones a llevar a cabo.

Estos objetivos son dos uno básico, que evita al máximo posible los daños que las aguas de lluvia puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano; y un objetivo complementario, que propone garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las poblaciones, permitiendo un apropiado tráfico de personas y vehículos durante la ocurrencia de precipitaciones (Chow, 2004).

### **3.2.5 Tipos de drenaje**

#### **3.2.5.1 Drenaje superficial**

Comprende las acciones correctivas constituidas por el conjunto de facilidades naturales y artificiales que conducen al escurrimiento superficial, desde el lugar de caída de las aguas de lluvia hasta su entrada en un cauce natural o en un conducto artificial, disminuyendo las molestias al tráfico de personas y vehículos (Chow, 2004).

### **3.2.5.2 Drenaje secundario**

Es el conjunto de acciones correctivas constituidas por los conductos y obras conexas construidas por el hombre, las cuales permiten garantizar que las aguas no obstaculicen el normal desenvolvimiento del tráfico de personas y vehículos en las áreas de escurrimiento (Chow, 2004).

### **3.2.5.3 Drenaje primario**

Es el conjunto de acciones correctivas constituido por los cauces naturales, los conductos artificiales y obras conexas, dirigidas a salvaguardar la vida de las personas y evitar el daño a las propiedades existentes en las áreas de escurrimiento. Sin embargo, en la práctica lo anterior se traduce en que el drenaje primario debe ser concebido principalmente en forma tal, que conjuntamente con las acciones preventivas cumpla con el objetivo básico, comprobándose su funcionamiento para el complementario; y en el caso del drenaje superficial y secundario debe verificarse en primer lugar el objetivo complementario y luego comprobar para el básico.

Una manera sencilla de distinguir el drenaje primario del secundario, es asociándolo al caso de un conducto artificial. Si las dimensiones del conducto establecidas de acuerdo a la función complementaria permanecen sin modificaciones y garantizan el grado de protección requerido en la función básica, entonces el conducto es un drenaje secundario, pero si por el contrario existe la necesidad de aumentar esas dimensiones para garantizar el buen funcionamiento del sistema, entonces estamos en presencia de un drenaje primario.

Asimismo, la secuencia del escurrimiento no es necesariamente del drenaje superficial, al secundario y luego al primario, pues el drenaje secundario puede ser parcial o totalmente descartado (Chow, 2004).

### **3.2.6 Variables hidrometeorológicas**

#### **3.2.6.1 Caudal.**

- a. La precipitación sobre la cuenca.
- b. Las características geológicas, edafológicas y topográficas de la cuenca.
- c. La cobertura vegetal (Chow, 2004).

#### **3.2.6.2 Evaporación**

Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en un estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible.

También se requiere que la humedad de la atmósfera sea menor que la superficie de evaporación (a 100% de humedad relativa no hay evaporación).

Generalmente se expresa en mm por unidad de superficie, por unidad de tiempo, y es directamente influenciada por:

- a. El viento.
- b. La temperatura del agua y del aire.

c. La humedad del aire (Chow, 2004) .

### **3.2.6.3 Evapotranspiración**

Se expresa en milímetros por unidad de tiempo. Es directamente influenciada por:

- a. El tipo de cobertura vegetal.
- b. La disponibilidad de humedad (agua libre) en el suelo.
- c. La profundidad del manto freático.
- d. La radiación solar.
- e. La temperatura (Chow, 2004).

### **3.2.6.4 Precipitación**

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión.

La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental. Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del

vapor de agua atmosférico. Generalmente se expresa en mm, y es directamente influenciada por:

- a. Los vientos.
- b. La topografía del área.
- c. Presión atmosférica.
- d. Presencia de frentes.
- e. Temperatura (Chow, 1994).

### **3.2.6.5 Humedad**

La cantidad de vapor de agua presente en el aire, se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad. La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.

La humedad del aire es un factor que sirve para evaluar la comodidad térmica del cuerpo vivo que se mueve en cierto ambiente. Sirve para evaluar la capacidad del aire para evaporar la humedad de la piel, debida a la transpiración fundamentalmente. También es importante, tanto la del aire, como la de la tierra, para el desarrollo de las plantas. Generalmente se expresa en %, y es directamente influenciada por:

- a. La temperatura.

- b. La radiación solar.
- c. El viento.
- d. La disponibilidad de humedad en el suelo.
- e. El tipo de vegetación.
- f. La proximidad o no de grandes superficies líquidas como el mar o lagos.
- g. Temperatura.

La temperatura es una propiedad física que se refiere a las nociones comunes de calor o ausencia de calor, sin embargo, su significado formal en termodinámica es más complejo.

La temperatura está íntimamente relacionada con la energía interna y con la entalpía de un sistema: a mayor temperatura mayor será la energía interna y la entalpía del sistema.

La temperatura es una propiedad intensiva, es decir, que no depende del tamaño del sistema, sino que es una propiedad que le es inherente y no depende ni de la cantidad de sustancia ni del material del que este compuesto (Chow, 1994).

### **3.2.6.6 Radiación Solar**

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen la pérdida de masa que se transforma en energía.

Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar (Chow, 1994).

### **3.2.6.7 Viento**

El viento es el flujo de gases a gran escala. En la Tierra, el viento es el movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal. Generalmente se expresa en km/h, y es directamente influenciada por: Presencia de frentes (Chow, 1994).

### **3.2.6.8 Presión atmosférica**

La presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire sobre la superficie terrestre.

La presión atmosférica en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera.

Como la densidad del aire disminuye conforme aumenta la altura, no se puede calcular ese peso a menos que seamos capaces de expresar la variación de la densidad del aire  $\rho$  en función de la altitud  $z$  o de la presión  $p$  (Chow, 1994).

### **3.2.6.9 Transpiración.**

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de

los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración (Chow, 1994).

#### **3.2.6.10 Nubes**

Una nube es un hidrometeoro que consiste en una masa visible formada por cristales de nieve o gotas de agua microscópicas suspendidas en la atmósfera. Las nubes dispersan toda la luz visible y por eso se ven blancas (Chow, 1994) .

Sin embargo, a veces son demasiado gruesas o densas como para que la luz las atraviese, cuando esto ocurre la coloración se torna gris o incluso negra.

#### **3.2.6.11 Neblina.**

La neblina es un fenómeno meteorológico, concretamente un hidrometeoro, que consiste en la suspensión de muy pequeñas gotas de agua en la atmósfera, de un tamaño entre 50 y 200 micrómetros de diámetro, o de partículas higroscópicas húmedas, que reducen la visibilidad horizontal a una distancia de un kilómetro o más. Ocurre naturalmente como parte del tiempo o de la actividad volcánica. Es común en atmósfera fría debajo de aire templado (Chow, 1994).

#### **3.2.6.12 Interceptación**

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.

La interceptación, juntamente con el agua que permanece retenida en las pequeñas pozas, y la humedad del suelo (agua retenida en los poros, sin llegar a

saturarla), constituyen la humidificación del suelo, y no contribuyen al escurrimiento superficial ni al subterráneo (Chow, 1994).

### **3.2.7 Canales abiertos**

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua, fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial. En los canales naturales influyen todos los tipos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes, y estuarios de mareas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes en las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelvan manejables mediante tratamiento analítico de la hidráulica teórica.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenaje, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras etc., así como canales de modelos de laboratorio con propósitos experimentales; las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados.

La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirán, por tanto, resultados bastantes similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseños (Chow, 2008).

### **3.2.8 Tipos de canales abiertos**

Los canales abiertos pueden ser clasificados como naturales o artificiales. La terminología de canal natural se refiere a todos los canales que han sido desarrollados por procesos naturales y que no han tenido una mejoría significativa por parte de los humanos. Dentro de esta categoría están los riachuelos, grandes y pequeños ríos y los estuarios. La teoría de canales artificiales incluye todos los canales que han sido desarrollados por el esfuerzo humano. Dentro de esta categoría están los canales de navegación, canales de fuerza e irrigación, cunetas y asequias de drenaje. En este caso, se van a desarrollar los tipos de canales abiertos artificiales, dentro de la amplia categoría los canales abiertos tienen la siguiente subdivisión (Chow, 2008):

#### **3.2.8.1 Prismáticos**

Un canal prismático es el que tiene constantes tanto la forma transversal como la pendiente del fondo. Los canales que no entran en este criterio son los llamados no-prismáticos (Chow, 2008).

#### **3.2.8.2 Canal**

El término canal se refiere a un gran conducto abierto de pendiente suave. Estos conductos abiertos pueden ser no revestidos o revestidos con concreto, cemento, pasto, madera, materiales bituminosos, o una membrana artificial (Chow, 2008).

#### **3.2.8.3 Medidor de régimen crítico**

En la práctica el término medidor de régimen crítico se refiere a un canal construido sobre la superficie del terreno para conducir un flujo a través de una depresión. Estos medidores usualmente se construyen de madera, metal, mampostería o concreto. El término medidor de régimen crítico es también aplicado a canales construidos en el laboratorio para estudios básicos y de aplicación (Chow, 2008).

#### **3.2.8.4 Caída y disipadores**

Una caída es un canal de pendiente fuerte. Un canal disipador también tiene una pendiente fuerte pero mucho menor que una caída (Chow, 2008).

#### **3.2.8.5 Alcantarilla**

Una alcantarilla fluye solo parcialmente llena, y se trata de un canal abierto principalmente utilizado para drenar carreteras, caminos y calles (Chow, 2008).

### **3.2.9 Tipos de flujo en canales**

#### **3.2.9.1 Flujo permanente**

Un flujo permanente es aquel en el que las propiedades fluidas, son constantes en el tiempo, a pesar de que las mismas no lo sean en el espacio.

Las características de este tipo de flujo se pueden describir como: Velocidad (V), Caudal (Q), y Calado (h), estas son independientes del tiempo, pero podrían variar a lo largo del canal (Chow, 2008).

### **3.2.9.2 Flujo transitorio o no permanente**

Es el que presenta cambios en sus características al paso del tiempo, para estudiar el comportamiento del canal (Chow, 2008).

### **3.2.9.3 Flujo Uniforme**

Este es el que se da en un canal recto, cuya sección es de pendiente constante, y se encuentra a una distancia considerable de los puntos en que se realizan las mudanzas de sección transversal, puede ser de forma, de rugosidad, cambio de la pendiente o en una variación del caudal (Chow, 2008).

### **3.2.9.4 Flujo gradualmente variado**

Es cuando la profundidad de flujo cambia a través de la longitud del canal. Este puede ser permanente o no permanente. Se clasifica en rápidamente variado o gradualmente variado, dependiendo de la profundidad del agua (Chow, 2008).

### **3.2.9.5 Flujo subcrítico o flujo lento**

Es el nivel efectivo del agua en una determinada sección (Chow, 2008).

### **3.2.9.6 Flujo crítico**

Cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad (Chow, 2008).

### **3.2.9.7 Flujo Supercrítico**

En el caso de flujo supercrítico, también denominado flujo veloz, el nivel del agua efectivo en una sección determinada está condicionado a la condición de contorno situada aguas arriba (Chow, 2008).

### **3.2.10 Estados del flujo**

El estado o comportamiento del flujo en un canal abierto es gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad relativa a las fuerzas de inercia del flujo.

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia, el flujo puede ser laminar, turbulento o de transición (Chow, 2008).

#### **3.2.10.1 El flujo es laminar**

Si las fuerzas viscosas son tan fuertes comparadas con las fuerzas de inercia, que la viscosidad juega un papel importante para determinar el comportamiento del flujo. En flujo laminar, las partículas del fluido parecen moverse en recorridos calmados definidos, o líneas de corriente, y las capas infinitesimalmente delgadas del fluido parecen deslizarse sobre las capas adyacentes (Chow, 2008).

#### **3.2.10.2 El flujo es turbulento**

Si las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia. En el flujo turbulento, las partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, los cuales no son ni calmados ni determinados, pero en su conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente total.

Entre los estados laminar y turbulento de la corriente, hay un estado mixto o estado de transición. El efecto de viscosidad relativo al de inercia puede representarse por el número de Reynolds. En la mayor parte de los canales abiertos el flujo laminar ocurre muy raramente. En efecto, el hecho de que la superficie de una corriente parezca lisa y tersa para un observador no es en ningún modo una indicación de que el flujo sea laminar; más probablemente, ello indica que la velocidad de la superficie es más baja que la requerida para que se formen ondas capilares.

El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad. Esta relación es conocida como el Número de Froude.

- a. Si el Número de Froude es mayor a la unidad ( $F > 1$ ), el flujo se denomina supercrítico.
- b. Si el Número de Froude es menor a la unidad ( $F < 1$ ), el flujo se denomina subcrítico.
- c. Si el Número de Froude es igual a la unidad ( $F = 1$ ), el flujo se denomina crítico (Chow, 2008).

### **3.2.11 Distribución de velocidades en canales**

Debido a la presencia de la superficie libre y a la fricción a lo largo de las paredes del canal, las velocidades en un canal no están uniformemente distribuidas en su sección. La máxima velocidad medida en canales normales a menudo ocurre por debajo de la superficie libre a una distancia de 0,05 a 0,25 de la profundidad, cuanto más cerca de las bancas, más profundo se encuentra este máximo. En una corriente

ancha, rápida, y poco profunda o en un canal muy liso, la velocidad máxima por lo general se encuentra en la superficie libre.

La rugosidad del canal causa un incremento en la curvatura de la distribución vertical de velocidades. El viento en la superficie tiene muy poco efecto en la distribución de velocidades. En canales abiertos anchos, la distribución de velocidades en la región central de la sección es en esencia la misma que existiría en un canal rectangular de ancho infinito, los lados del canal no tienen prácticamente ninguna influencia en la distribución de velocidades en la región central. Un canal abierto ancho es similar a un canal rectangular cuyo ancho es mayor que diez veces la profundidad del flujo.

La distribución de velocidades en una sección de canal depende también de otros factores, entre ellos la forma inusual de la sección, la presencia de curvas a lo largo del canal, etc. En una curva, la velocidad se incrementa de manera sustancial en el lado convexo, debido a la acción centrífuga del flujo (Chow, 2008).

### **3.2.12 Geometría de canal**

El término sección de canal se refiere a la sección transversal de un canal tomado en forma perpendicular a la dirección del flujo. Una sección vertical de canal, sin embargo, es la sección vertical que pasa a través del punto más bajo de la sección de canal. Para canales horizontales, por consiguiente, la sección del canal es siempre una sección vertical de canal.

Las secciones de canales naturales son, por lo general, muy irregulares, y a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecientes frecuentes, el canal puede constar de una

sección principal del canal que conduce los caudales normales y una o más secciones laterales de canal para acomodar los caudales de desborde.

Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares. La tabla 1 relaciona seis formas geométricas utilizadas comúnmente. El trapecio es la forma más común para canales con banquetas en tierra sin recubrimiento, debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad. El rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecio. Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales estables, como mampostería, roca, metal o madera. La sección triangular solo se utiliza para pequeñas acequias, cunetas a lo largo de carreteras y trabajos de laboratorio. El círculo es la sección más común para alcantarillados y alcantarillas (culverts) de tamaños pequeños y medianos. La parábola se utiliza como una aproximación a secciones de canales naturales de tamaños pequeño y mediano. El rectángulo con esquinas redondeadas es una modificación del rectángulo. El triángulo con fondo redondeado es una aproximación de la parábola; esta es la forma creada a menudo con la utilización de excavadoras.

Secciones geométricas cerradas diferentes del círculo se utilizan con frecuencia en alcantarillados de aguas negras, de manera particular para alcantarillas suficientemente grandes que permiten la entrada de un hombre. Estas secciones reciben diferentes nombres de acuerdo con su forma; pueden ser en forma de huevo, ovoides, semi-elípticas, en forma de U, catenaria, herradura, manija de canasto, etc. Los rectángulos y cuadrados completos, también son comunes en alcantarillados grandes. Las dimensiones y propiedades de secciones de alcantarillas se encuentran en textos sobre alcantarillados.

Una sección geométrica especial, conocida como lintearia, es la forma de la sección transversal de un canal compuesto por hojas flexibles que se suponen de peso

insignificante, lleno con agua hasta la parte superior de la sección y firmemente soportado en los extremos superiores de los lados, pero sin efecto de fijación.

La catenaria hidrostática ha sido utilizada para diseño de algunas canaletas elevadas de irrigación. Estas canaletas se construyen utilizando laminas metálicas tan delgadas, que su peso es insignificante, las cuales se unen firmemente a vigas en los extremos superiores (Chow, 2008).

### **3.2.13 Elementos geométricos de una sección de canal**

Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad de flujo. Estos elementos son muy importantes y se utilizan con amplitud en el cálculo de flujo. Para secciones de canal regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección. Para secciones complicadas y secciones de corriente natural, sin embargo, no se puede escribir una ecuación simple para expresar estos elementos, pero pueden prepararse curvas que representen la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo para uso en cálculos hidráulicos.

A continuación, se muestran las definiciones de elementos geométricos de importancia básica:

El área mojada  $A$  es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección de flujo. El ancho superficial  $T$  es el ancho de la sección del canal en la superficie libre. El perímetro mojado  $P$  es la longitud de la línea de intersección de la superficie del canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección de flujo. El radio hidráulico  $R$  es la relación del área mojada  $A$  con respecto a su perímetro mojado  $P$ .

$$R = A/P \quad (3.1)$$

Dónde:

R: Radio Hidráulico.

A: Área mojada.

P: Perímetro mojado.

La profundidad hidráulica  $D$  es la relación entre el área mojada  $A$  y el ancho en la superficie  $T$ .

$$D = A/T \quad (3.2)$$

Dónde:

D: Profundidad hidráulica.

A: Área mojada.

T: Ancho superficial.

El factor de sección para el cálculo de flujo crítico  $Z$  es el producto del área mojada  $A$  y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica  $D$ .

$$Z = A/\sqrt{D} \quad (3.3)$$

Dónde:

Z: Factor sección.

A: Área mojada.

D: Profundidad hidráulica.

La profundidad de flujo,  $y$ , es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre, y esta se determina a partir de mediciones directas en el canal de estudio o de tablas establecidas. A menudo este término se intercambia con la profundidad de flujo de la sección,  $d$ . En efecto, la profundidad de flujo de la sección es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de este, o la altura de la sección del canal que contiene el agua. Para un canal con un ángulo de pendiente longitudinal  $\theta$ , puede verse que la profundidad de flujo es igual a la profundidad de sección de flujo dividida por  $\cos \theta$ . En el caso de canales empinados, por consiguiente, los dos términos deben utilizarse de manera discriminada. El nivel es la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia o datum hasta la superficie libre. Si el punto más bajo de la sección de canal se escoge como el nivel de referencia, el nivel es idéntico a la profundidad de flujo. (Chow, 2008).

### **3.2.14 Ecuaciones fundamentales que rigen el flujo de un canal**

En varios flujos de canales abiertos de importancia práctica, el número de Reynolds excede a 12500 y el régimen del flujo es turbulento. La aparente naturaleza aleatoria de la turbulencia ha llevado a muchos investigadores a suponer que este fenómeno puede ser descrito en términos estadísticos. Con base en esta suposición, es conveniente definir la velocidad instantánea en términos de una velocidad de tiempo promedio y una fluctuación de componente aleatorio. Para un sistema de coordenadas cartesianas, las velocidades instantáneas en las direcciones  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , son respectivamente:

$$\begin{aligned}
 u &= \bar{u} + u' \\
 v &= \bar{v} + v' \\
 w &= \bar{w} + w'
 \end{aligned}
 \tag{3.4}$$

Nota: Las velocidades promedio utilizadas arriba pueden ser determinadas promediando sobre el tiempo en un punto en el espacio o sobre un área horizontal a un punto en el tiempo. Desde este punto y en adelante, las estadísticas pertinentes se definirán únicamente en la dirección  $x$  con el entendimiento tácito de que estas definiciones se aplican también a las dos direcciones remanentes de las coordenadas cartesianas. La velocidad de tiempo promedio es definida como:

$$\bar{u}T = \frac{1}{T} \int_0^T u \, dt
 \tag{3.5}$$

Dónde:

T: Indica una escala de tiempo que es mucho mayor que la escala de tiempo de turbulencia.

La velocidad promedio espacialmente es dada por:

$$\bar{u} = \frac{1}{A} \iint_A u \, dA
 \tag{3.6}$$

Entonces, cuando las fluctuaciones de la velocidad turbulenta sean aleatorias en términos de un tiempo promedio, se utilizará:

$$\bar{u}' = \frac{1}{T} \int_0^T u' \, dt
 \tag{3.7}$$

Los parámetros estadísticos de interés son:

1. Raíz cuadrada media (rcm) del valor de las fluctuaciones de velocidad.

$$rcm(u') = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T (u')^2 dt \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

2. Energía cinética promedio (EC) de la turbulencia por unidad de masa.

$$\frac{(EC)promedio\ de\ turbulencia}{Masa} = \frac{[(u')^2 + (v')^2 + (w')^2]}{2} \quad (3.9)$$

3. Correlaciones entre variables que miden el grado en que dos (2) variables son interdependientes. En el caso de las fluctuaciones de velocidad en el plano  $xy$ , el parámetro siguiente mide la correlación que existe entre  $u'$  y  $v'$ . En un fluido cortante turbulento,  $\overline{u'v'}$  es finito: por lo tanto, se concluye  $u'$  y  $v'$  están correlacionados.

$$\overline{u'v'} = \frac{1}{T} \int_0^T u' v' dt \quad (3.10)$$

(Chow, 2008).

### 3.2.15 Energía específica en un canal

Un principio central en cualquier tratamiento de la hidráulica de flujo en canales abiertos debe ser la ley de conservación de energía. Recuérdese de la mecánica de fluidos elemental, que la energía total de una porción de agua viajando sobre una línea de corriente está dada por la ecuación de Bernoulli o:

$$H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} \quad (3.11)$$

Dónde:

H: Energía específica.

z: Elevación de la línea de corriente sobre un plano de referencia.

p: Presión.

$\gamma$ : Peso específico del fluido.

$p/\gamma$ : Carga de presión.

u: Velocidad de la línea de corriente.

$u^2/2g$ : Carga de velocidad.

g: Aceleración local de la gravedad.

La suma  $z + (p/\gamma)$  define la elevación de la línea de gradiente hidráulico sobre el plano de referencia; en general, el valor de esta suma varía de punto a punto a lo largo de la línea de corriente. Para examinar la variación de esta suma bajo diversas circunstancias, considérese una partícula de área en la sección transversal  $\delta A$ , longitudinal  $\delta s$ , densidad  $\rho$ , y masa  $\rho \delta A \delta s$  moviéndose a lo largo de una línea de corriente arbitraria en la dirección +S (Fig. X). Si se supone que el fluido es sin fricción, entonces no hay fuerzas cortantes, y únicamente la fuerza gravitacional del cuerpo y las fuerzas en la superficie sobre los límites de la partícula, deben de ser considerados. La fuerza gravitacional es  $\rho g \delta A \delta s$ , la fuerza de presión sobre la cara que está aguas arriba es  $p \delta A$ , y la fuerza de presión sobre la cara aguas abajo es  $[p + (\delta p/\delta s)\delta s] \delta A$ . Aplicando la segunda ley de movimiento de Newton en la dirección del flujo, se obtiene:

$$F_s = a_s \delta m$$

O de igual manera:

$$\rho a_s \delta A \delta s = p \delta A - \left( p + \frac{\partial p}{\partial s} \delta s \right) \delta A - \rho g \delta A \delta s \cos \theta$$

Dónde:

$a_s$ : Aceleración de la partícula del fluido a lo largo de la línea de corriente.

Simplificando esta ecuación tenemos:

$$\frac{\partial p}{\partial s} + \rho g \frac{\partial z}{\partial s} + \rho a_s = 0$$

Y notamos que  $\frac{\partial z}{\partial s} = \cos \theta$

Produce

$$\frac{\partial}{\partial s}(p + \gamma z) + \rho a_s = 0 \quad (3.12)$$

La ecuación (3.12) es conocida como la ecuación de Euler de movimiento a lo largo de una línea de corriente. Si  $a_s = 0$ , la ecuación (3.12) puede ser integrada para obtener la ley hidrostática; i.e., la presión varía en forma lineal con respecto a la profundidad.

Las implicaciones de la ecuación (3.12) en el flujo de canales abiertos son significativas. Primero, se ignoran fluctuaciones menores producidas por la turbulencia y las líneas de corriente no tienen componentes de aceleración en el plano de la sección transversal, i.e., las líneas de corriente no tienen curvatura sustancial ni divergencia, entonces el flujo se denomina paralelo y prevalece una distribución de presión hidrostática. En la práctica, muchos flujos uniformes y flujos gradualmente variados pueden ser considerados como flujos paralelos con distribuciones de presiones hidrostáticas en donde la divergencia y curvatura de las líneas de corriente son despreciables. En un flujo paralelo, la suma  $z + p/\gamma$  es constante e igual al tirante

del flujo  $y$ , si el plano de referencia es tomado como el fondo del canal. Entonces, por definición, la energía específica de un flujo en el canal abierto relativo al fondo del canal es:

$$E = y + \alpha \frac{\bar{u}^2}{2g} \quad (3.13)$$

Dónde:

A: Factor de corrección de energía cinética que es usado para corregir la no-uniformidad del perfil de velocidad.

$\bar{u}$ : Velocidad promedio del flujo. ( $\bar{u} = Q/A$  dónde  $A$  es el área hidráulica y  $Q$  es el gasto).

a. La suposición inherente en la ecuación (3.13) es que la pendiente del canal es pequeña, o  $\cos \theta \simeq 1$ , y  $y \simeq d \cos \theta$ . En general, si  $\theta < 10^\circ$  ó  $S < 0.018$  donde  $S$  es la pendiente del canal, la ecuación (3.13) es válida.

b. Si  $\theta$  no es pequeña, entonces la distribución de presiones no es hidrostática cuando el tirante vertical del flujo es significativamente diferente del tirante medido perpendicularmente al fondo del canal. Además, en canales de gran pendiente, e.g., caídas rápidas, el flujo contiene aire lo que cambiara tanto la densidad como el tirante del fluido. En el material subsecuente, a menos que se especifique otra cosa, debe suponerse que la pendiente del canal es tal que existe una distribución de presión hidrostática.

c. Además si  $a_s \neq 0$ , entonces las líneas de corriente de un flujo cualquiera tendrán una cantidad significativa de curvatura o divergencia, y el flujo se

denominara curvilíneo. Tal situación puede ocurrir cuando el fondo del canal esta curvado, en compuertas, y en cascadas a caídas libres. En tales casos, la distribución de presiones no es hidrostáticas, y debe estimarse un factor de corrección de presión. En situaciones de flujo cóncavo, las fuerzas resultantes de la curvatura de las líneas de corriente refuerzan las fuerzas de gravedad. En el caso de flujo convexo, las fuerzas resultantes de la curvatura de las líneas de corriente actúan contra las fuerzas gravitacionales. Si un canal tiene un perfil longitudinal curvado

d. o, entonces la desviación de la distribución de presiones a partir de la condición hidrostática puede estimarse desde una aplicación de la segunda ley de Newton.

$$c = \frac{y}{g} \frac{\overline{u^2}}{r} \quad (3.14)$$

Dónde:

r: Radio de curvatura del fondo del canal. La verdadera distribución de presiones en una sección es entonces:

$$p = y \pm \frac{y}{g} \frac{\overline{u^2}}{r} \quad (3.15)$$

Los signos más o menos son usados respectivamente, con flujos cóncavos o convexos. En muchos casos, es conveniente definir un coeficiente de presión tal que, la carga de presión en un flujo curvilíneo pueda definirse como  $\alpha'$  y donde  $\alpha'$  sea igual al coeficiente de presión. Puede demostrarse que:

$$\alpha' = 1 + \frac{1}{Qy} \iint_A cu \, dA \quad (3.16)$$

Dónde:

Q: Gasto total.

dA: Un incremento de área.

Entonces,  $\alpha' > 1$  para flujo cóncavo,  $\alpha' = 1$  para flujo paralelo, y  $\alpha' < 1$  para flujo convexo. Para flujos curvilíneos complejos, la distribución de presiones puede estimarse a partir de mallas o redes de flujo o con pruebas de modelos (Chow, 2008).

### **3.2.16 Determinación de caudal de captación de un canal y caudal de diseño de una cuenca.**

#### **3.2.16.1 Estimación de gastos máximos. Método Racional**

Este método es el más utilizado en todo el mundo sin dejar de lado a Venezuela donde actualmente se utilizan en proyectos de ingeniería vial, sanitaria e hidrológica. El método supone que, si sobre un área determinada cayese una precipitación de intensidad uniforme en el tiempo y en el espacio, llegará un momento en el que la cantidad de agua que cae equivale a la que sale del área, siempre y cuando esta sea impermeable (áreas urbanizadas).

Su uso debe limitarse a áreas pequeñas (100 a menos hectáreas) y para lluvias de duración superior a unos 15 minutos. Su aseveración fundamental radica en decir que el gasto pico es directamente proporcional al producto del área de la cuenca por la intensidad de la lluvia.

El tiempo al cual se alcanza la equivalencia es el denominado tiempo de concentración  $t_c$ . Aun en el caso de que el área fuese totalmente impermeable, existirían pérdidas por evaporación y almacenamiento en depresiones, por ello la constante de proporcionalidad, llamada Coeficiente de Escurrimiento  $C$  ajusta la

relación entre el volumen precipitado por unidad de tiempo  $i A$ , al volumen escurrido por unidad de tiempo; cubriendo según la fórmula, todos los otros factores involucrados en el ciclo hidrológico incluyendo la amortiguación por tránsito decrecientes; es decir,  $C$  es una relación de precipitación – escurrimiento.

El cálculo del gasto se hace de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360} \quad (3.17)$$

Dónde:

$Q$ : Gasto máximo en m<sup>3</sup>/s.

$C$ : Coeficiente de escorrentía.

$A$ : Área tributaria en hectáreas.

$i$ : Intensidad de la lluvia en mm/h para una duración igual al tiempo de concentración  $t_c$  del área tributaria.

La fórmula también puede ser expresada de la siguiente forma:

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (3.18)$$

Dónde:

$Q$ : Gasto máximo en litros/s.

$i$ : Intensidad de la lluvia en litros/seg/hectáreas.

$A$ : Área tributaria en hectáreas.

$C$ : Coeficiente de escorrentía.

El método tiene una serie de limitaciones a saber:

1. La lluvia es uniforme en el tiempo; es decir, su intensidad es constante, lo cual, en la práctica, es solo verdad para duraciones muy cortas.

2. La lluvia es uniforme en el espacio; es decir, tiene la intensidad al mismo tiempo sobre toda el área tributaria. Esto es prácticamente válido para áreas muy pequeñas.

3. Ignora el efecto de almacenamiento o retención temporal en las superficies, conductos, cauces, etc., el cual es mayor mientras menos impermeable sea el área.

4. El coeficiente de escorrentía es constante, lo cual es solo cierto para áreas impermeables.

5. Supone que el gasto calculado tiene la misma frecuencia de la precipitación, lo cual es más cierto en áreas impermeables, donde las condiciones previas de humedad del subsuelo no influyen significativamente en la escorrentía.

Las limitaciones anteriores llevan a la conclusión de que la fórmula racional puede arrojar resultados aceptables solo si el área es pequeña y tiene un alto porcentaje de impermeabilidad, siendo además el  $t_c$  corto. Cuando estas recomendaciones no se observen la tiende a dar valores mayores que los reales. El procedimiento de aplicación de la fórmula se reduce básicamente a encontrar los valores adecuados de  $t_c$  y  $C$ .

**Tiempo de concentración:** Se define como el tiempo que toma la primera gota en llegar desde el punto más alejado de la hoya correspondiente, 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:

1. El tiempo de escurrimiento, que es el tiempo que tarda la partícula más alejada en escurrir sobre la superficie ( $t_e$ ).

2. El tiempo de traslado que tomara el caudal, en desplazarse en una longitud de colector comprendida entre dos captaciones consecutivas ( $t_t$ ).

El primero, tiempo de escurrimiento en la superficie, a través de laderas, cunetas, canales o sobre las zonas de escurrimiento natural, puede ser estimado o calculado para las distintas características del suelo.

El tiempo que tarda el agua en escurrir en laderas puede estimarse en base a las velocidades recomendadas en el Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas (1967).

Nota: En el presente solo se tomará en cuenta el primer caso que tiene relación en el diseño de canales abiertos.

Tabla 3.1. Velocidades de escurrimiento en laderas.  
Cobertura Vegetal ( $V= m/min$ ). (Arocha,  
R., 2012).

COBERTURA VEGETAL			
Pendiente de la ladera (%)	Vegetación densa o de cultivos	Pastos o vegetación ligera	Ninguna vegetación

0 – 5	25	40	70
5 – 10	50	70	120
10 – 15	60	90	150
15 – 20	70	110	180

No se deberán considerar tiempos de concentración menores de cinco minutos.

$$T_C = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (3.19)$$

Dónde:

L: Longitud del cauce más largo, en metros.

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

En el caso de cunetas 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. En este sentido el Manual de Drenaje del Ministerio de Obras Públicas (MOP) presenta la figura 3.1.

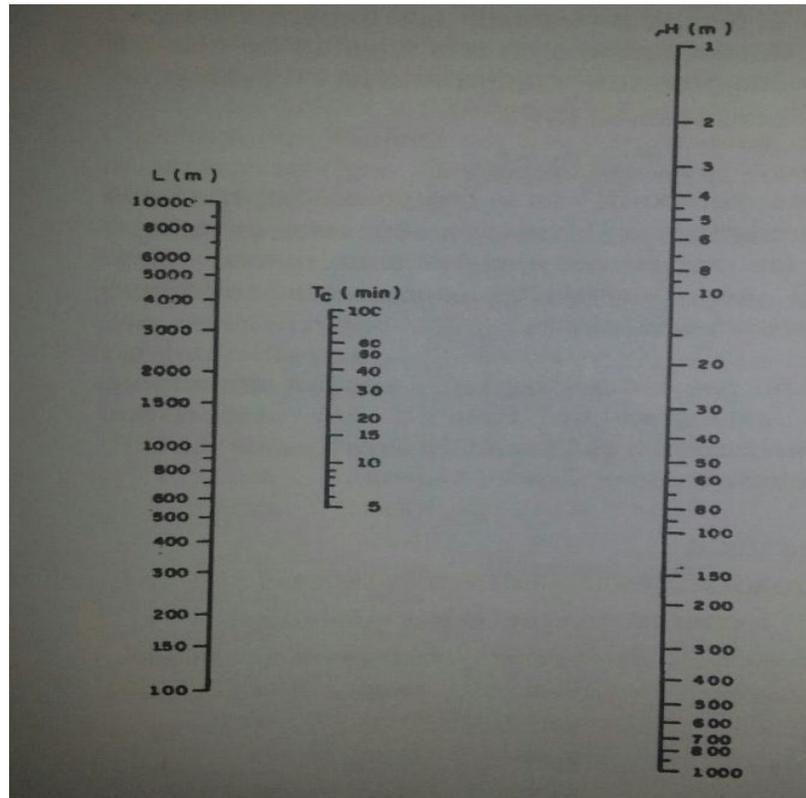


Figura 3.1. Abaco para estimación del tiempo de concentración en cuencas rurales (Arocha, 2012).

### 3.2.17 Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento  $C$  representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y toma valores entre cero y uno, varía apreciablemente entre una cuenca y otra, y de una tormenta a otra, debido a las condiciones de humedad iniciales. Sin embargo, es común tomar valores de  $C$  representativos de acuerdo con ciertas características de las cuencas como la vegetación, pendientes del terreno y uso de suelos.

$$C = \frac{\text{Volumen escorrentia superficial}}{\text{Volumen total precipitado}} \quad (3.20)$$

Una forma de visualizar el significado del Coeficiente de Escorrentía es tratarlo en términos de porcentaje de lluvia.

Por ejemplo, un Coeficiente de Escorrentía de 0,85 conduciría a pensar en una escorrentía que representa el 85% de la lluvia total asociada.

Dicho de otra forma, por cada 100 litros por metro cuadrado precipitados en una cuenca hidrográfica, 85 litros por metro cuadrado se convertirán en flujo superficial.

Los coeficientes de escorrentía recomendados por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, ofrece valores para usos indicativos de la tierra y para tipos de superficie.

Se calcularon valores de C adaptados a los usos de tierras comunes en Venezuela (tipo de zonificación), de acuerdo a planes de desarrollo urbano; estos valores provienen de un cálculo de las superficies impermeables y no impermeables de cada tipo de uso, se ha tratado de simplificar la selección del coeficiente (Arocha, R., 2012).

La selección del coeficiente C para uso multifamiliar, industrial y comercial depende fundamentalmente del grado de ocupación con superficies impermeables y no impermeables y no de la pendiente del terreno; es por esto que solo se indican límites para el coeficiente (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Coeficiente de escurrimiento (Bolinaga, 1979)

TIPO DE ÁREA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO "C"
<b>a) Comercial</b>	
Centro de la Ciudad	0.70 a 0.95
Alrededores	0.50 a 0.70
<b>b) Residencial</b>	
Unifamiliar	0.30 a 0.50
Multifamiliar separado	0.40 a 0.60
Multifamiliar agrupado	0.60 a 0.75
Sub-Urbana	0.25 a 0.40
<b>c) Industrial</b>	
Liviana	0.50 a 0.80
Pesada	0.60 a 0.90
<b>d) Otros</b>	
Parques y cementerios	0.10 a 0.25
Parques para juegos	0.20 a 0.35
TIPO DE SUPERFICIE	VALORES DE "C"
<b>a) Pavimentos</b>	
Asfalto o concreto	0.70 a 0.95
Ladrillo	0.70 a 0.85
<b>b) Techos y azoteas</b>	0.70 a 0.95
<b>c) Caminos de grava</b>	0.30
<b>d) Áreas de suelo arenoso</b>	
Llanas (2%)	0.05 a 0.10
Medianas (2 a 7%)	0.10 a 0.15
Inclinadas (7% o más)	0.15 a 0.20
<b>e) Áreas de suelo pesado</b>	
Llanas (2%)	0.13 a 0.17
Medianas (2 a 7%)	0.18 a 0.22
Inclinadas (7% o más)	0.25 a 0.35

Tabla 3.3. Coeficientes de escurrimiento de acuerdo a la zonificación del uso de tierra. (Bolinaga, 1979)

USO DE TIERRA	DENOMINACIÓN ZONIFICACIÓN*	VALOR DE "C" PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO		
		SUAVE 2%	MEDIA 2-7%	FUERTE > 7%
RESIDENCIAL UNIFAMILIAR	R1	0,40	0,45	0,50
	R2 y R3	0,45	0,50	0,55
	R4 y R5	0,48	0,58	0,65
MULTIFAMILIAR	R4, R5, R6, y R7	0,65 a 0,85		
	R8, R9 y R10	0,70 a 0,95		
INDUSTRIAL	-----	0,75 a 0,95		
COMERCIAL	-----	0,75 a 0,95		
PARQUES	-----			
PARQUES ZONAS VERDES		0,25	0,30	0,35
		0,15	0,20	0,35

(\*) Los usos residenciales tienen las siguientes densidades brutas en habitantes por hectáreas:

Unifamiliares: R1: 20 a 25; R2: 40 a 45; R3: 70 a 80; R4 y R5: 110 a 115

Multifamiliares: R4: 175 a 210; R5: 185 a 225; R6: 210 a 280; R7: 220 a 300; R9 y R10: Más de 280.

Los coeficientes de las tablas (anteriores) deben modificarse de acuerdo al grado de protección. La tabla 3.4 muestra el factor por el cual podrían ser multiplicados los referidos coeficientes, para hallar el coeficiente final de acuerdo al criterio anterior.

Tabla 3.4 Factores de incremento de “C” (Bolinaga, 1979).

PERÍODO DE RETORNO (Años)	FACTOR
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Nota: Si “C” da mayor que 1,00 se adopta este último valor.

### 3.2.18 Curvas Intensidad, duración y frecuencia

Con respecto a las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), es importante señalar que éstas son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno.

Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos a considerar, como son la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia

de un determinado evento. Además, es de suma importancia tener claro el concepto de cada una de estas variables, de modo de tener una visión más clara de las mismas.

**Intensidad:** En este sentido se debe destacar que la intensidad, según Chow et al (1994), se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la altura de agua de precipitación por unidad de tiempo (mm/hr ó pulg/hr), y ésta se expresa como:  $i = P / T_d$ .

Donde P es la altura de agua de precipitación en mm o pulgadas, y T<sub>d</sub> es la duración de la lluvia, dada usualmente en hr. Es importante señalar, que cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, es evidente que en general sólo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas. Como se comprenderá, esta información puede inducir a grandes errores por defecto, por cuanto las lluvias de corta duración son en general las más intensas. Es natural entonces que las determinaciones de intensidades de lluvia se hagan a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos.

**Probabilidad de excedencia:** Se define como la probabilidad de que un cierto valor a asumir por la variable aleatoria sea superado. Se define por  $1 / T$ , en donde T es el período de retorno; por consiguiente, la probabilidad de excedencia sirve para estimar riesgos en obras civiles en general, y poder tener una aplicación a largo plazo en el sector productivo. Además, dentro de las aplicaciones de la estadística, usadas comúnmente en la hidrología, está la determinación de la probabilidad o del período de recurrencia de determinado suceso.

**Frecuencia:** La frecuencia se expresa en función del período de retorno (T), que es el intervalo de tiempo promedio (expresado en años) entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño.

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

- a. Para zonas residenciales, de 2 a 3 años
- b. Para zonas comerciales y de valor elevado, de 5 a 15 años, dependiendo de su justificación económica.
- c. Para obras de canalizaciones de cursos naturales, ríos o quebradas, 50 años o más. (Arocha, R., 2012)

### **3.2.19 Área de captación y cuenca de drenaje.**

Debemos entender por cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje, que es un territorio drenado por un sistema de drenaje natural. Las cuencas hidrográficas son delimitadas por una línea de cumbres, también llamadas divisoria de agua o divisoria topográfica.

Según Bastidas, una cuenca es una unidad de territorio que capta la precipitación, transita el escurrimiento y la esorrentía, hasta un punto de salida en el cauce principal o igualmente, es un área delimitada por una divisoria topográfica que drena a un drenaje común.

El área de captación del agua de lluvia se obtiene con la ecuación:

$$A = a.b \quad (3.21)$$

Dónde:

A: Área de captación, m<sup>2</sup>.

a: Ancho de la casa en metros.

b: Largo de la casa en metros.

En caso de que no exista el área de captación, se diseña en función de la demanda anual de los habitantes a beneficiar y de la precipitación pluvial neta anual.

$$A_{ec} = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^{12} \bar{P}N_j} \quad (3.22)$$

Dónde:

$A_{ec}$ : Es el área de captación necesaria para abastecer la demanda de agua a una familia o comunidad, en m<sup>2</sup>.

$D_{anual}$ : Demanda de agua anual que necesita una población.

$\sum_{j=1}^{12} \bar{P}N_j$ : Suma de las precipitaciones netas medias mensuales que originan escurrimiento, en mm (Arocha, R., 2012).

### 3.2.18 Determinación de la capacidad hidráulica de una vía

La capacidad teórica de agua que puede conducir una calle se puede estimar con las características geométricas de la cuneta y la pendiente longitudinal de la calzada, aplicando la ecuación de Manning para estimar la velocidad media del flujo, con un coeficiente de rugosidad de  $n = 0,015$  para pavimentos de hormigón y asfalto:

$$V = \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} \frac{I^{0,5}}{n} \quad (3.23)$$

Dónde:

V = Velocidad media del flujo, en m/s.

A = Área de la sección del flujo en m<sup>2</sup>.

P = Perímetro mojado, en metros.

I = Pendiente longitudinal de la calle, en m/m.

n = Coeficiente de rugosidad de la superficie.

Desde el punto de vista del diseño la capacidad de conducción de aguas lluvias de las calles se considerará como el valor mínimo de las siguientes dos capacidades alternativas: considerando el ancho máximo permitido de la sección inundada, o la cuneta llena y un factor de reducción por otros usos de la calle, de acuerdo a lo que se indica a continuación:

### **3.2.18.1 Capacidad de diseño para tormentas menores**

Estas capacidades teóricas de las calles se entregan como referencia, sin embargo, la capacidad real deberá estimarse con las condiciones geométricas de terreno, considerando además que ella se ve afectada por la existencia de singularidades como badenes, lomos de toro, accesos vehiculares, encuentros de calles, reparaciones, vehículos estacionados, etc.

La capacidad teórica de las calles según el ancho máximo inundable permite reunir y conducir pequeños caudales hacia la red de drenaje o a otros cauces para tormentas menores, con períodos de retorno de 2 años (Arocha, R., 2012).

### **3.2.18.2 Capacidad máxima**

La capacidad máxima de las calles se establece para la verificación frente a tormentas mayores, con períodos de retorno de 100 años, en la cual se acepta que conduzca agua hasta el nivel superior de la solera, evitando que desborde la calle e inunde las propiedades vecinas (Arocha, R., 2012).

### **3.2.19 Trazado de canales abiertos**

Cuando se trata de trazar un canal o un sistema de canales es necesario recolectar la siguiente información básica:

- a. Fotografías aéreas, imágenes satelitales, para localizar los poblados, caseríos, áreas de cultivo, vías de comunicación, etc.
- b. Planos topográficos y catastrales.
- c. Estudios geológicos, salinidad, suelos y demás información que pueda conjugarse en el trazo de canales.

Una vez obtenido los datos precisos, se procede a trabajar en gabinete dando un trazo preliminar, el cual se replantea en campo, donde se hacen los ajustes necesarios, obteniéndose finalmente el trazo definitivo (Arocha, R., 2012).

En caso de no existir información topográfica básica se procede a levantar el relieve del canal, procediendo con los siguientes pasos:

### **1.2.19.1 Reconocimiento del terreno**

Se recorre la zona, anotándose todos los detalles que influyen en la determinación de un eje probable de trazo, determinándose el punto inicial y el punto final (georreferenciados) (Arocha, R., 2012).

### **1.2.19.2 Trazo preliminar**

Se procede a levantar la zona con una brigada topográfica, clavando en el terreno las estacas de la poligonal preliminar y luego el levantamiento con teodolito, posteriormente a este levantamiento se nivela la poligonal y se hará el levantamiento de secciones transversales, estas secciones se harán de acuerdo a criterio, si es un terreno con una alta distorsión de relieve, la sección se hace a cada 5 metros, si el terreno no muestra muchas variaciones y es uniforme la sección es máximo a cada 20 metros (Arocha, R., 2012) .

### **1.2.19.3 Trazo definitivo**

Con los datos anteriores se procede al trazo definitivo, teniendo en cuenta la escala del plano, la cual depende básicamente de la topografía de la zona y de la precisión que se desea; terrenos con pendiente transversal mayor a 25% se recomienda escala de 1:500, terrenos con pendiente transversal menor a 25% se recomienda escalas de 1:1000 a 1:2000 (Arocha, R., 2012).

### **3.2.20 Simulación de los niveles del agua en canales abiertos**

#### **3.2.20.1 Programa HEC RAS.**

Es modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interface gráfica de usuario que facilita las labores de pre-proceso y post-proceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

- ❖ Características técnicas.
  - a. Cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, etc.).
  - b. Visualización gráfica de datos y resultados.
  - c. Edición gráfica de secciones.
  - d. Ejecutable en entorno Microsoft Windows.

Para el funcionamiento de HEC-RAS debemos aportar dos tipos de datos: geométricos y de caudales.

Los datos geométricos fundamentales son diversas secciones transversales a lo largo del cauce o cauces considerados. Dichas secciones se introducen mediante la cota de varios puntos; de este modo, mediante la cota de dos secciones contiguas, separadas por una distancia conocida, el modelo calcula la pendiente de ese tramo. El caudal puede ser un solo valor constante o bien un caudal variable en el tiempo.

❖ Aplicaciones

Modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

❖ Fases de trabajo

- a. Creación de un nuevo proyecto.
- b. Datos geométricos.
- c. Datos de caudales y condiciones de contorno.
- d. Calculo.
- e. Observación de los resultados.

### **3.2.21 Torrenteras**

El agua recogida por los canales e interceptores es entregada a los canales de alta velocidad, generalmente en la dirección del talud, lateralmente a la zona inestable, mediante estructuras de disipación conocidas como torrenteras.

Las torrenteras, o rápidas escalonadas son canales con gradas o escalones donde, a la vez que se conduce el agua, se va disipando la energía cinética del flujo por impacto con los escalones, llegando el agua al pie de la rápida con la energía disipada, por lo que no se hace necesaria alguna estructura adicional, o dado el caso, una estructura pequeña (Mejía, 2008).

El sistema de graderías generalmente es más eficiente para disipar energía que otros métodos de disipación. El flujo, en este tipo de canal, es turbulento y debe construirse un muro lateral de borde libre suficiente, para permitir la salpicadura del flujo.

Ante la inexistencia de datos experimentales, los canales en gradería pueden diseñarse asumiendo una velocidad de 5.0 m/s, a través de la sección mínima en la cabeza de cada grada (Aristizabal et al,2013).

El régimen de flujo de las rápidas escalonadas, depende de las características geométricas y del caudal manejado por la estructura. Pueden analizarse dos situaciones:

#### **3.2.21.1 Régimen de flujo saltante**

En este caso, la disipación de la energía se genera independientemente, en cada escalón al romperse el chorro en el aire, al mezclarse en el escalón o por formación de resaltos hidráulicos (Mejía, 1999).

El régimen de flujo saltante se caracteriza por una sucesión de chorros en caída libre que chocan en el siguiente escalón, seguidos por un resalto hidráulico parcial o totalmente desarrollado. En este régimen la disipación de energía se produce en cada escalón. En el régimen de flujo rasante, el agua fluye sobre los escalones como una

corriente estable, rasando sobre ellos y amortiguándose por el fluido re-circulante atrapado entre los escalones.

En este último régimen la disipación de energía se produce en la formación de vórtices en las gradadas.

Los pasos fundamentales para el diseño de torrenteras son (Mejía, 2008):

- a. Estimar el caudal de diseño.
- b. Evaluar las dimensiones geométricas básicas del canal (pendiente, altura, ancho).
- c. Seleccionar la altura óptima del escalón.
- d. Calcular las características hidráulicas del flujo.

El diseño de torrenteras en régimen saltante debe verificar que el alcance del  $\square$  ro parabólico en la dirección X, producido por la corriente a la velocidad para la cual se logra el caudal de diseño para un período de retorno dado, sea menor que la longitud de la huella de diseño, y en consecuencia, el chorro saltará efectivamente escalón tras escalón disipando energía en su camino descendiente, mediante el uso de la torrentera en todos los tramos diseñados.

El movimiento parabólico de una partícula se encuentra regido por dos ecuaciones de trayectoria en el plano cartesiano: la ecuación que describe el movimiento uniforme en la dirección X, y la ecuación que describe el movimiento uniformemente acelerado en la dirección Y. Ellas son:

$$X = v \cdot t$$

Donde  $x$  es el avance en la dirección X, expresada en m;  $v$  es la velocidad constante a la cual la partícula se mueve en la dirección X, expresada en m/s;  $t$  es el tiempo que tarda la partícula en moverse una distancia “ $x$ ” a una velocidad constante  $v$ , expresada en s, y tomando convenientemente la dirección positiva del eje Y hacia abajo:

$$y = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Donde  $y$  es la altura de la lámina del agua, en m,  $g$  es la aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>,  $t$  es el tiempo que tarda la partícula en moverse una distancia “ $y$ ” bajo los efectos de la aceleración  $g$ , en s. Despejando de ambas ecuaciones la variable tiempo, e igualándolas, resulta:

$$x = 0.4515 \cdot y^{1/2} \cdot v$$

Donde para el caso de un caudal de diseño  $Q$ , descendiendo por un escalón con huella  $X_{\text{escalón}}$ , y contrahuella  $Y_{\text{escalón}}$ , se tiene que  $x$  es el avance del chorro producido por el caudal de diseño  $Q$  en la dirección X, en m;  $y$  es la altura de la lámina del agua para el caudal de diseño  $Q$  en la dirección Y, en m; y  $v$  es la velocidad a la cual desciende el caudal de diseño  $Q$  por la torrentera, en m/s.

Las dimensiones de diseño serán suficientes siempre que se cumpla que  $x < X_{\text{escalón}}$ , pues esto asegurará que el chorro descenderá escalón a escalón disipando energía en cada caída, motivo por el cual se construye el canal de torrentera en forma escalonada y no lisa. En régimen rasante el diseño de torrenteras se ciñe estrictamente al diseño de canales, en el cual se verifica que para un caudal de diseño dado, las

dimensiones propuestas permiten la evacuación de dicho caudal (Aristizabal et al,2013).

### 3.2.21.2 Diseño de estructuras en gradería

Se recomiendan los siguientes criterios básicos:

- a. Cimentar las estructuras siempre en corte y nunca sobre rellenos.
- b. Acomodar las gradas a la pendiente del terreno, evitando las gradas de gran altura.
- c. La altura del muro lateral debe ser superior a la mitad de la altura de la grada:  $D \geq 1/2H$ .
- d. Debe ser autolimpiante. (Que no permita sedimentación).
- e. Debe incluirse una estructura de disipación en el pie de la torrentera.

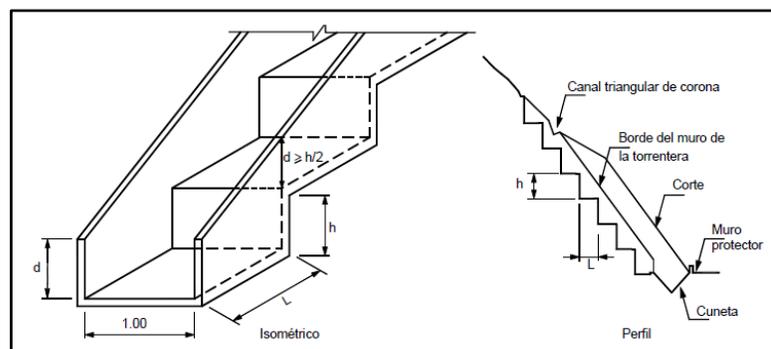


Figura 3.2 Torrentera en gradería (Aristizabal et al,2013).

### 3.2.21.3 Diseño de estructuras de control de escorrentía

Es muy importante determinar lo más exactamente posible, la intensidad máxima esperada de la lluvia y los caudales generados. La mayoría de los diseños de obras de drenaje superficial para taludes, que se realizan con procedimientos totalmente empíricos, dan como resultado obras insuficientes con secciones que no son capaces de manejar los caudales de agua que se concentran en las coronas de los taludes. La razón principal de esta falla es que las intensidades de las lluvias, que en la zona tropical con frecuencia son superiores a 50 mm/ hora, no son tenidas en cuenta.

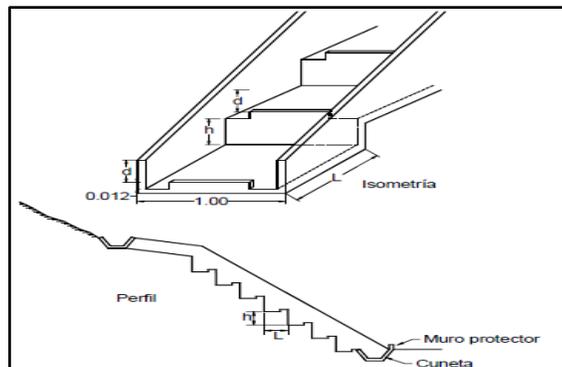


Figura 3.3 Torrentera en gradería con bloques en el fondo (Aristizábal et al, 2013).

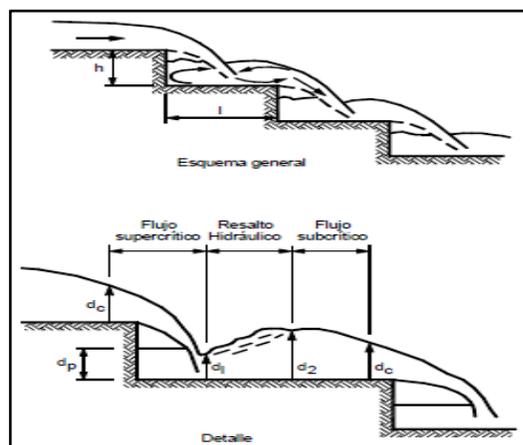


Figura 3.4 Régimen de flujo saltante sobre un canal en gradería (Mejía, 1999).

### 3.2.21.4 Dimensionamiento de las obras de drenaje

#### ❖ Criterio de velocidad mínima

La velocidad de flujo debe ser lo suficientemente grande, para que no se produzca taponamiento del canal. El gradiente mínimo de los canales está determinado por la mínima velocidad de flujo necesaria para evitar la sedimentación.

La velocidad no debe ser menor de 1.3 m/s para el flujo pico, con una frecuencia de uno en dos años. Generalmente, la pendiente mínima utilizada es del 2% para impedir la sedimentación.

Sin embargo, si existe la posibilidad de transporte de gravas o bloques, se requieren pendientes superiores.

Debe tenerse cuidado de que la velocidad no sea superior a 4 m/seg para evitar desgaste del recubrimiento de concreto y problemas de erosión (Aristizábal et al,2013).

#### ❖ Secciones

El dimensionamiento de la sección del canal puede hacerse con la ecuación de Manning, asumiendo una velocidad máxima permisible de 4 m/s y una rugosidad  $\eta$  de 0.013 para el concreto liso o mayor de acuerdo con las características del canal. Para calcular la velocidad del flujo, se puede emplear la siguiente expresión:

$$V = (1/n) \cdot (R_h^{0.67} \cdot S^{1/2})$$

Donde:

$V$  = Velocidad en m/s

$\eta$  = Factor de rugosidad

$R$  = Profundidad hidráulica media

Área/Perímetro en metros

$S$  = Pendiente promedio del canal. (Aristizábal et al,2013)

Tabla 3.5 Coeficientes de escorrentía para su uso en taludes (Japan Road Association, 1984).

Superficie	Características	Coefficiente C
Superficie de carretera	Pavimentada	0.7 a 0.95
	Destapada	0.3 a 0.7
	Suelo fino	0.4 a 0.65
Talud	Suelo grueso	0.1 a 0.3
	Roca dura	0.7 a 0.85
	Roca blanda	0.5 a 0.75
Pastizales en suelos arenosos	Pendiente 0 a 2%	0.05 a 0.1
	2 a 7%	0.1 a 0.15
	Más de 7%	0.15 a 0.25
Pastizales en suelos arcillosos	Pendiente 0 a 2%	0.13 a 0.17
	2 a 7%	0.18 a 0.22
	Más de 7%	0.25 a 0.35
Escarpes de fuerte pendiente de roca		0.75 a 0.95
Arenas intermedias		0.20 a 0.40
Parques con árboles y pastos		0.10 a 0.25
Montañas de pendientes suaves		0.30
Montañas de pendientes fuertes		0.50

### 3.2.21.5 Canal con pantallas deflectoras

Son canales de disipación de energía que atienden caudales en laderas o cauces que estén dentro de un rango entre 10 y 50% de pendiente. Estas estructuras permiten cambios de dirección y de pendiente dentro de los rangos establecidos. El dimensionado de la estructura parte de la determinación del caudal a atender. Con este se calcula el ancho de la estructura con el apoyo de las siguientes fórmulas, desarrolladas en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

$$b = 0.905 \cdot Q_D^{2/5}$$

$$v_{prom} = 4.376 \cdot Q_D^{1/5}$$

En donde:

b: Ancho del canal,

$Q_D$ : Caudal de diseño

$v_{prom}$ : Velocidad del flujo en el canal (Aristizábal et al,2013).

### 3.2.21.6 Canal de rápidas con tapa

Son canales que disipan la energía del agua en laderas y cauces con pendientes mayores a 50%. Estas estructuras permiten cambios de dirección y de pendiente dentro de los rangos establecidos. El dimensionado de la estructura se logra a partir de la determinación del caudal a atender, y con la fórmula se calcula el ancho del canal. Las fórmulas fueron desarrolladas en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Tabla 3.6 Parámetros hidráulicos del canal rápida.

$a = 0,1 \times \left[ \frac{Q_p}{4,79 \times 10^{-3}} \right]^{0,4}$
$v_{rap} = 3,01 \times \left[ \frac{Q_p}{4,79 \times 10^{-3}} \right]^{0,2}$
$v_{prom} = 1,60 \times \left[ \frac{Q_p}{4,79 \times 10^{-3}} \right]^{0,2}$

Donde:

a: es función de  $Q_p$

a: ancho del canal (m)

$Q_p$ : Caudal a atender ( $m^3/s$ )

$V_{prom}$ : Velocidad promedio en función de  $Q_p$  (Aristizábal et al,2013).

### **3.3 Definición de términos básicos**

#### **3.3.1 Abrupto**

Dicho de un terreno escarpado, quebrado o de difícil acceso. (Real Academia Española, 2012).

#### **3.3.2 Áreas inundables**

Son aquellas superficies diferentes de las planicies inundables, que pueden ser ocupadas durante un tiempo prudencialmente largo, por aguas provenientes del escurrimiento superficial. (Bolinaga J., 1979).

#### **3.3.3 Canales de drenajes**

Es una cuneta que se encuentra ubicada en la orilla de la carretera para recoger y conducir el agua superficial para drenaje alejándola del lecho de la vía. (Carciente J, 1985).

#### **3.3.4 Cartografía**

Arte de trazar mapas geográficos. (Real Academia Española, 2012).

### **3.3.5 Cavitación**

Formación de burbujas de vapor o de gas en el seno de un líquido, causada por las variaciones que este experimenta en su presión. (Real Academia Española, 2012).

### **3.3.6 Climatología**

Tratado del clima, conjunto de las condiciones propias de un determinado clima. (Real Academia Española, 2012).

### **3.3.7 Coeficiente de escorrentía (C)**

Se denomina coeficiente de escorrentía al cociente entre el caudal de agua que circula por una sección de una cuenca a consecuencia de un suceso lluvioso (lluvia neta), y el volumen de agua que ha precipitado sobre la misma (lluvia total). Es decir, se trata de la proporción de lluvia real que produce escorrentía superficial. (Gustavo A, 2003).

### **3.3.8 Coeficiente de Manning (n)**

Es un valor adimensional utilizado en la ecuación de Manning en los cálculos de capacidades de colectores, tuberías o canales que funcionan a gravedad cuya cuantía depende del material. (Gustavo A, 2003).

### **3.3.9 Colectores**

Son los cauces naturales o los conductos construidos por el hombre (canales, tuberías, etc.) que transportan las aguas y que son drenajes primarios o secundarios, según sea el caso. (Bolinaga J, 1979).

### **3.3.10 Cota**

Altura de un punto sobre el nivel de otro plano de referencia. (Real Academia Española, 2012).

### **3.3.11 Cuenca**

Es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorreica.

Cuando sus descargas llegan hasta el mar se les denominan cuencas exorreicas. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca. (Zinck A, 1977).

### **3.3.12 Cuenca hidrográfica**

El territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. (Zinck A, 1977).

### **3.3.13 Datum**

Cota tomada como base para graficar un perfil. (López, 1998).

### **3.3.14 Desnivel**

Diferencia de altura entre dos puntos. (Real Academia Española, 2012).

### **3.3.15 Embaulamiento**

Es un conducto artificial que sirve para llevar las aguas de lluvia, por lo general más eficientes hidráulicamente en la velocidad de las aguas, ya que poseen pendientes que incrementan los gastos máximos. (Carciente J, 1985).

### **3.3.16 Escorrentía**

Ocurre cada vez que la corriente de agua llega a un cauce superficial producto de haberse discurrido de los charcos y depresiones. (Carciente J, 1985).

### **3.3.17 Fluctuar**

Dicho de un cuerpo, vacilar sobre las aguas por el movimiento agitados de ellas. (Real Academia española, 2012).

### **3.3.18 Hidrología:**

También llamada hidrografía es la ciencia de la naturaleza que estudia el agua dentro del planeta Tierra, tanto en los aspectos de ocurrencia como acumulación y circulación desde el punto de vista cualitativo, cuantitativo y estadístico. (Chow T, 1994).

### **3.3.19 Inundación**

Son producto de las fuertes lluvias que a causa de la acción indiscriminada del hombre en cuencas, cauces de los ríos y quebradas y el depósito de basura que taponan drenajes naturales, son algunas de las causas por las cuales se origina este fenómeno. (Gustavo A, 2007).

### **3.3.20 Meteorología**

Ciencia que trata de la atmósfera y los meteoros. (Real Academia española, 2012).

### **3.3.21 Pendiente**

Proporción entre la distancia de cotas entre dos puntos y su longitud. (López, 1998).

### **3.3.22 Perfil longitudinal**

Es la representación gráfica de la intersección del terreno con un plano vertical que contiene al eje longitudinal de nivelación, con esto se obtiene la forma altimétrica del terreno a lo largo de la mencionada línea. (Bolinaga J, 1979).

### **3.3.23 Perfil transversal**

Es la representación gráfica de la intersección del terreno con un plano vertical perpendicular al eje longitudinal, este se realiza en cada uno de los puntos que definen al perfil longitudinal, es decir, se realiza en todos los puntos de cambio. (Bolinaga J, 1979).

### **3.3.24 Pluviómetro**

Aparato que sirve para medir la lluvia que cae en lugar y tiempo dados. (Real Academia española, 2012).

### **3.3.25 Zanjas**

Son canales abiertos que tienen como objeto recoger el agua que proviene de las plataformas de la vía. (Carciente J, 1985).

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1 Tipo de investigación**

La investigación será de proyecto factible o investigación proyectiva, por cuanto se diagnostica, se definen y describen los hechos para planificar las acciones y poder sanear hidráulicamente. La misma cuenta con todos los instrumentos y datos necesarios para ser llevada a cabo y dará soluciones a una problemática planteada.

Según Balestrini, M. (2002), “los proyectos factibles son aquellos estudios o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas, entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática planteada, la cual fue sometida con anterioridad a estudios de las necesidades a satisfacer”. (p. 9)

Esta investigación se considera proyectiva o factible porque se propone la aplicación de la ingeniería básica en el sistema de drenaje superficial para el encauzamiento final de las aguas pluviales mediante torrenteras en el conjunto urbanístico (Divino Niño) ubicado en Los Barrancos de Fajardo, municipio Sotillo, estado Monagas; esto implica aprovechar al máximo todos los conocimientos adquiridos en el área de estudio para lograr cumplir con los objetivos planteados y así brindar solución al problema que se presenta, arropando las necesidades de la comunidad en cuestión.

## **4.2 Diseño de investigación**

### **4.2.1 Investigación de campo**

Se considera una investigación de campo, dado que es preciso que la información sea recopilada de datos tomados directamente del lugar donde ocurren los hechos en observación.

Según Arias, F. (2012), “La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de todos los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variables alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico. No obstante, son los datos primarios obtenidos a través del diseño de campo, los esenciales para el logro de los objetivos y la solución del problema planteado”. (p. 31)

### **4.2.2 Investigación documental**

Esta investigación es documental, puesto que la información derivó de fuentes primarias tales como los registros de datos climáticos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) o a través de la aplicación de entrevistas con especialistas en el área, por medio de la revisión mapas topográficos del área elaborados por la CVG-Tecmin, C.A. y de la consulta, extracción y análisis de datos contenidos en libros, tesis de grado y todo material bibliográfico o electrónico que esté relacionado con el estudio a realizar.

Para Arias, F. (2006), una investigación documental es: “Aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos”. (p. 49)

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

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

En el presente caso se considerará como población de la investigación toda la superficie de la urb. Divino Niño susceptible de captar aguas pluviales, además formará parte de la población los taludes a través del cual se proyecta conducir las aguas pluviales utilizando la torrentera.

Según lo señalado por Balestrini, M. (2002), se llama población “Un conjunto finito o infinito de personas, cosas o elementos que presentan características comunes y para el cual serán validadas las conclusiones obtenidas en la investigación”. (p. 137)

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

La muestra de la investigación será considerada de igual tamaño que la población por disponer esta de dimensiones finitas y mensurables.

Hernández, Fernández y Baptista (1994), expresan “La muestra es, en esencia un subgrupo de la población. Digamos que es un subgrupo de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población”. (p. 212)

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

### **4.4.1 Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos pueden considerarse como la forma o procedimiento que utiliza el investigador para recolectar la información necesaria en el diseño de la investigación.

Así lo expresa Arias, F. (2006), “Son las distintas formas o maneras de obtener la información”. (p. 53)

Dada la naturaleza de esta investigación, y en función de los datos que se requerían, las técnicas que se utilizaron fueron:

#### **4.4.1.1 Revisión documental**

Para esta investigación se llevó a cabo la consulta de textos asociados, los cuales están representados por normativas, leyes, reglamentos y decretos, e información bibliográfica, etc., dado que son fuentes de información confiable y viable para el logro de los objetivos trazados durante el desarrollo de la investigación.

Según Arias, F. (2006), “Es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por los 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)

#### **4.4.1.2 Observación directa**

La observación directa consiste en el estudio de la situación en el mismo momento de su ocurrencia, mediante el uso de sus sentidos, el investigador deberá someter el resultado de estas observaciones a su interpretación y análisis para poder formular el problema planteado.

Conforme a Arias, F. (2006), define: “la observación, es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos”. (p. 69)

Según Hurtado (2008), la observación directa constituye un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información, para el cual el investigador se apoya en sus sentidos”. (p. 459)

#### **4.4.1.3 Entrevistas no estructuradas**

Según Sabino, C. (1992): “De un modo general, una entrevista no estructurada o no formalizada es aquella en que existe un margen más o menos grande de libertad para formular las preguntas y las respuestas”. (p. 118)

Mediante esta técnica es posible captar información importante basada en la experiencia y conocimiento del entrevistado. La aplicación de la misma dentro de esta investigación implica la realización de preguntas orales sin una estructura definida al personal involucrado y conocedor del tema (responsables de área, ingenieros, técnicos, entre otros).

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

Los instrumentos que se sirvieron de ayuda a la presente investigación fueron los siguientes:

- a) Calculadora,
- b) Computadora portátil,
- c) Cámara fotográfica,
- d) GPS,
- e) Internet e imágenes satelitales de la zona,
- f) Cuaderno de notas,
- g) Pendrives
- h) Textos relacionados al estudio expuesto,
- i) Nivel Abney,
- j) Brújula Brunton,
- k) Jalón topográfico,
- l) Cinta métrica, entre otros.

#### **4.5 Flujograma de la metodología de trabajo**

En la figura 4.1 se presenta el flujograma de la investigación.

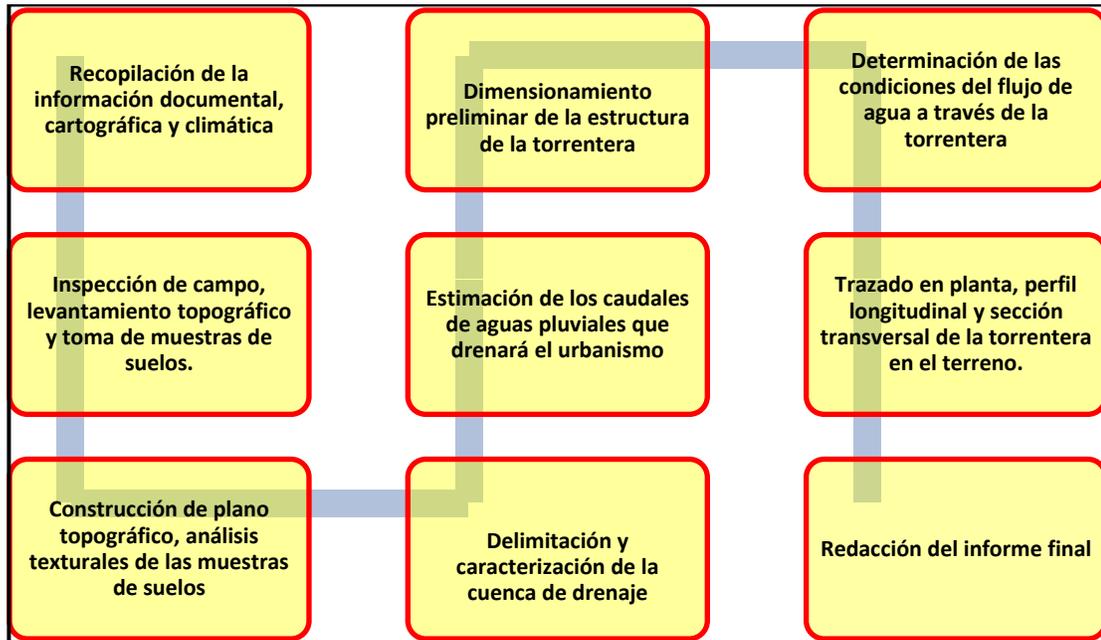


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

#### 4.5.1 Descripción de la metodología de trabajo

##### 4.5.1.1 Recolección de información

Se basa en la búsqueda de información relacionada con la investigación, de manera de ampliar los conocimientos partiendo de fuentes bibliográficas como libros, planos, trabajos de investigación, entre otros, para proceder a la selección del tema de estudio enmarcándose en la problemática de mayor índole en hidráulica de canales como lo es la construcción de sistemas de drenajes que sirvan para captar aguas de lluvias y transportarlas a puntos de descargas a fin de brindarle bienestar a una determinada población.

Al definir el tema de estudio se establecieron una serie de objetivos que ameritan ser dispuestos a cumplirse para alcanzar el objetivo general de la investigación.

#### **4.5.1.2 Trabajo de campo**

Para poder identificar el área de estudio se realizó una visita técnica a nivel general de todo el proyecto y se determinó un área específica de trabajo (talud a través del cual se deberían conducir las aguas pluviales mediante la torrentera), conociendo las características topográficas (mediante levantamiento expeditivo del talud) y físicas (toma de muestras de suelo de los taludes) de dicha zona de estudio, y finalmente, se tomaron anotaciones e imágenes fotográficas de los accidentes o eventos notables en el área (flora, entre otros) para darle veracidad a la información expuesta.

#### **4.5.1.3 Análisis e interpretación de los resultados obtenidos**

Se procesaron los datos necesarios para realizar el análisis de los elementos a ser considerados y la información obtenida. Estos fueron expresados mediante gráficos, tablas y figuras, mencionando de esta manera los aspectos relevantes que presentan el área de estudio y las medidas utilizadas para alcanzar los objetivos planteados en cuanto al diseño de la torrentera. Entre las actividades relevantes, se pueden mencionar:

Se realizaron los análisis texturales de las muestras de suelo. Se procedió a la construcción del plano topográfico respectivo del urbanismo y del talud objeto de estudio. Se efectuó un análisis preliminar de la estabilidad del talud como base para la construcción de una torrentera en dicha ladera. Se efectuó un dimensionamiento preliminar de la torrentera con base a las ecuaciones de Manning utilizando para ello el programa HCANALES. Posteriormente, se analizaron los flujos que se producirían dentro del canal torrentera utilizando las ecuaciones de Darcy y Bernoulli

(utilizando para ello el programa HEC-RAS) con la finalidad de validar o reajustar las dimensiones iniciales dadas a la estructura de drenaje.

#### **4.5.1.4 Formulación de conclusiones y recomendaciones**

Para cada objetivo específico se formuló una conclusión respectiva, lo cual conllevó a plantear una serie de recomendaciones para dar sustento a la información obtenida.

#### **4.5.1.5 Redacción del proyecto de grado final**

Al culminar con resultados exitosos cada una de las fases del tema planteado, se logró la elaboración y redacción del proyecto de grado.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1 Caracterización climática del área de estudio

El área de estudio está conformada por una superficie actual de 16.75 ha, en la cual se han estudiado las características del clima, con base en el análisis temporal de precipitación, evaporación, temperatura, insolación, humedad relativa y viento, para lo cual se utilizaron los datos registrados en las estaciones dentro del perímetro o en su área de influencia inmediata.

Para establecer las características del clima se efectuó un análisis cuantitativo, con base en los datos de los promedios mensuales y anuales de los parámetros registrados en las estaciones meteorológicas Macagua y Puerto Ordaz, cuyos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) y CORPOELEC. En la tabla 5.1, se muestran las características de las estaciones mencionadas.

Tabla 5.1 Características de las estaciones utilizadas. (INAMEH, 2.016).

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

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

En el área de estudio se recibe una pluviosidad promedio alrededor de los 1.088 mm anuales, la temperatura media anual oscila alrededor de los 27°C y su evaporación promedio supera los 2.200 mm por año. De acuerdo con esto, el área se clasifica como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi), caracterizado por

presentar un período de lluvia y otro de sequía, bien definidos, con una oscilación térmica promedio inferior a los 5 °C. Por otra parte, debido a las limitaciones de acceso a la información de parámetros climatológicos se ha recurrido a fuentes de información satelital.

### 5.1.1 Precipitación

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

El régimen pluviométrico es de tipo unimodal, es decir, se registra un solo tope de lluvia durante el año. Este ocurre en los meses del verano astronómico (junio, julio y agosto), lo cual corresponde con la época de mayor actividad de la convergencia intertropical, responsable directa de la distribución temporal de las lluvias en el territorio venezolano.

En estos tres meses se recoge más del 54% del volumen total de precipitación anual. El valor más bajo de precipitación se registra en los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo).

Tabla 5.2 Precipitación media mensual y anual (mm). Período 1950-2011. (INAMEH, 2.016).

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

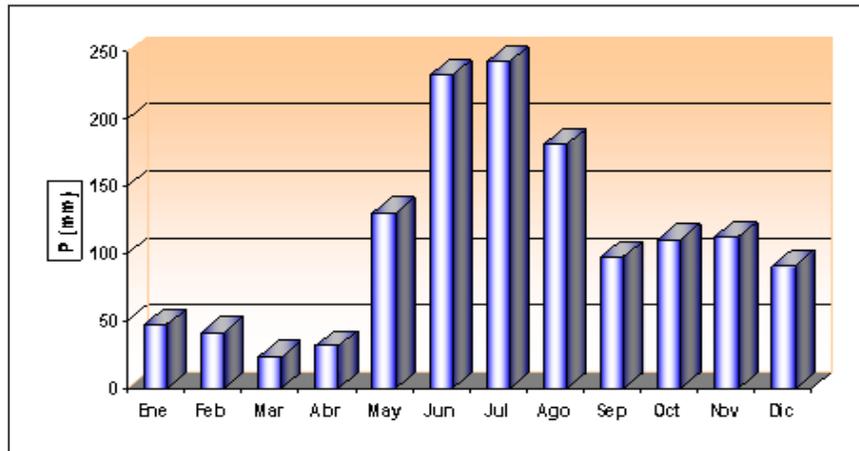


Figura 5.1 Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Macagua. (CVG Tecmin, C.A., 2016).

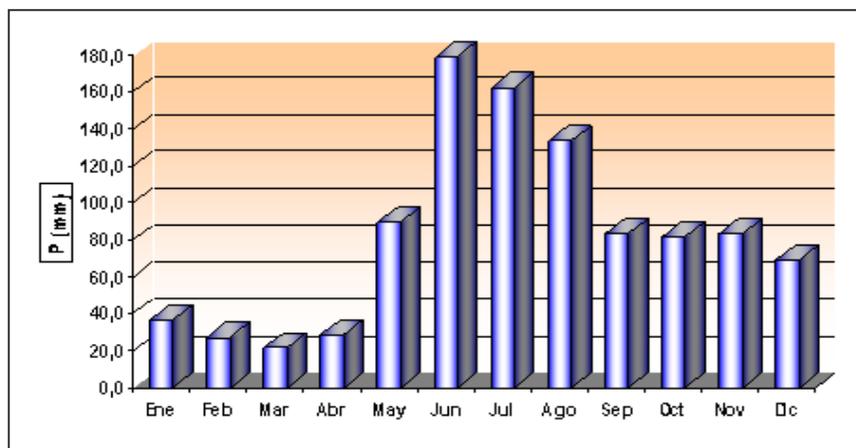


Figura 5.2. Distribución anual de la precipitación (mm). Estación Puerto Ordaz R-A. ( CVG Tecmin, C.A., 2016).

En la página oficial del portal del sistema de la Nasa Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) <https://power.larc.nasa.gov> se pueden extraer diferentes variables agroclimáticas en el visor del portal (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>); estos datos son de cobertura mundial. A continuación, en la tabla 5.3 se indican los registros de precipitación mensuales para la estación Macagua del período 1981-2022.

Tabla 5.3 Registros de Precipitación mensual (mm) para para ubicación de la estación Macagua. Período 1981 -2022. Fuente: POWER - NASA

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
1981	21.1	42.2	10.6	174.0	342.8	184.6	210.9	247.9	152.9	73.8	36.9	126.6	1624.2
1982	26.4	42.2	21.1	94.9	131.8	221.5	284.8	116.0	26.4	68.6	21.1	126.6	1181.3
1983	36.9	0.0	0.0	63.3	147.7	279.5	205.7	116.0	47.5	68.6	31.6	36.9	1033.6
1984	15.8	10.6	5.3	0.0	63.3	226.8	184.6	142.4	116.0	89.7	195.1	58.0	1107.4
1985	15.8	0.0	5.3	68.6	94.9	216.2	232.0	200.4	68.6	205.7	168.8	84.4	1360.6
1986	10.6	26.4	5.3	5.3	121.3	232.0	232.0	168.8	100.2	137.1	100.2	168.8	1307.8
1987	5.3	0.0	0.0	15.8	147.7	152.9	216.2	200.4	79.1	89.7	79.1	84.4	1070.5
1988	15.8	36.9	0.0	0.0	47.5	216.2	258.4	316.4	168.8	79.1	100.2	242.6	1481.8
1989	142.4	36.9	21.1	5.3	142.4	152.9	290.0	73.8	168.8	68.6	137.1	15.8	1255.1
1990	36.9	36.9	58.0	15.8	174.0	353.3	174.0	242.6	84.4	42.2	94.9	68.6	1381.6
1991	31.6	58.0	5.3	36.9	5.3	126.6	121.3	295.3	116.0	73.8	121.3	94.9	1086.3
1992	31.6	5.3	0.0	42.2	189.8	295.3	216.2	121.3	94.9	42.2	84.4	73.8	1197.1
1993	42.2	0.0	52.7	36.9	100.2	116.0	200.4	168.8	116.0	126.6	237.3	26.4	1223.4
1994	26.4	21.1	0.0	15.8	152.9	226.8	327.0	163.5	79.1	63.3	84.4	31.6	1191.8
1995	10.6	5.3	5.3	10.6	68.6	94.9	258.4	137.1	52.7	68.6	147.7	63.3	922.9
1996	21.1	84.4	15.8	21.1	189.8	327.0	300.6	168.8	79.1	47.5	100.2	31.6	1386.9
1997	52.7	94.9	21.1	15.8	89.7	147.7	263.7	121.3	84.4	152.9	79.1	31.6	1154.9
1998	15.8	0.0	0.0	21.1	195.1	126.6	73.8	200.4	189.8	137.1	137.1	79.1	1176.0
1999	68.6	89.7	63.3	89.7	68.6	253.1	247.9	337.5	73.8	73.8	100.2	152.9	1619.0
2000	36.9	15.8	47.5	31.6	137.1	258.4	210.9	174.0	121.3	31.6	152.9	47.5	1265.6
2001	26.4	31.6	5.3	63.3	26.4	179.3	126.6	142.4	105.5	105.5	47.5	36.9	896.5
2002	42.2	5.3	21.1	31.6	147.7	89.7	21.1	79.1	5.3	42.2	84.4	31.6	601.2
2003	0.0	5.3	0.0	0.0	126.6	163.5	269.0	84.4	116.0	26.4	42.2	36.9	870.1
2004	5.3	10.6	0.0	63.3	73.8	205.7	121.3	110.7	84.4	89.7	94.9	89.7	949.2
2005	36.9	10.6	10.6	36.9	26.4	279.5	184.6	63.3	126.6	131.8	58.0	89.7	1054.7
2006	79.1	15.8	21.1	0.0	100.2	137.1	221.5	142.4	26.4	79.1	100.2	42.2	965.0
2007	26.4	10.6	47.5	0.0	89.7	131.8	89.7	226.8	116.0	110.7	26.4	100.2	975.6
2008	73.8	84.4	5.3	94.9	52.7	168.8	184.6	100.2	52.7	89.7	52.7	10.6	970.3
2009	10.6	47.5	10.6	42.2	26.4	73.8	179.3	137.1	116.0	58.0	68.6	52.7	822.7
2010	10.6	0.0	0.0	42.2	105.5	131.8	116.0	168.8	79.1	63.3	116.0	58.0	891.2
2011	105.5	58.0	68.6	47.5	131.8	137.1	137.1	73.8	84.4	116.0	216.2	110.7	1286.7
2012	36.9	10.6	31.6	52.7	142.4	137.1	100.2	195.1	52.7	100.2	42.2	94.9	996.7
2013	21.1	0.0	0.0	68.6	73.8	116.0	68.6	79.1	89.7	94.9	105.5	94.9	812.1
2014	31.6	5.3	0.0	21.1	31.6	89.7	168.8	168.8	10.6	58.0	131.8	68.6	785.7
2015	42.2	10.6	26.4	15.8	15.8	152.9	242.6	116.0	73.8	105.5	79.1	121.3	1002.0
2016	5.3	5.3	0.0	42.2	163.5	216.2	205.7	189.8	94.9	58.0	89.7	131.8	1202.3
2017	52.7	26.4	47.5	5.3	131.8	348.1	295.3	210.9	147.7	174.0	142.4	131.8	1713.9
2018	73.8	26.4	42.2	36.9	68.6	158.2	195.1	137.1	126.6	142.4	121.3	42.2	1170.7
2019	10.6	10.6	21.1	15.8	63.3	221.5	174.0	179.3	116.0	100.2	189.8	110.7	1212.9
2020	47.5	21.1	0.0	10.6	15.8	168.8	84.4	274.2	131.8	147.7	137.1	73.8	1112.7
2021	52.7	47.5	184.6	53.8	137.5	145.9	240.3	190.8	103.7	181.8	83.2	151.0	1572.7
2022	28.3	47.2	36.8	38.9	52.1	274.9	200.2	146.3	118.8	10.1	32.1	5.3	990.9

### 5.1.2 Evaporación

La evaporación promedio anual en la zona es bastante elevada, esto es alrededor de 2.150 mm/ año. Esta variable climática no tiene una oscilación anual de alto rango, sin embargo, es posible diferenciar en su comportamiento temporal, dos épocas donde ocurren los valores más altos, lo cual casi coincide con las épocas de equinoccio de primavera y otoño.

En estos meses (marzo y octubre) ocurren altas temperaturas, mayor cantidad de horas de brillo solar, baja humedad relativa, así como, un aumento de la velocidad

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

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

Tabla 5.4. Evaporación media, mensual y anual (mm). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

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

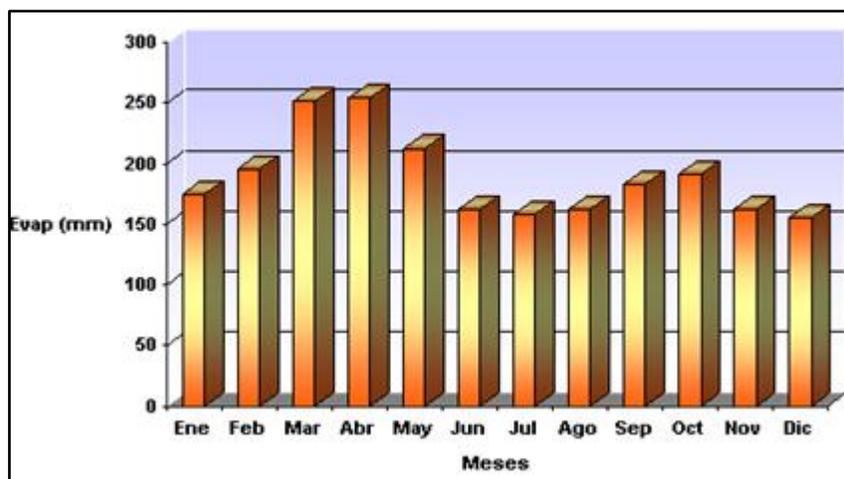


Figura 5.3. Variación anual de la evaporación (mm). Estación Macagua (CORPOELEC, 2017).

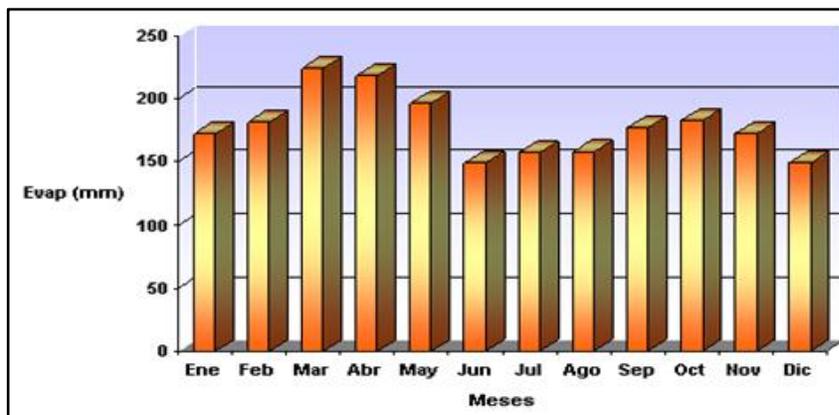


Figura 5.4 Variación anual de la evaporación (mm).  
Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).

### 5.1.3 Temperatura

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

Tabla 5.5 Temperatura máxima, media y mínima (°C). Período 1950-2011.  
(INAMEH, 2017).

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

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

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

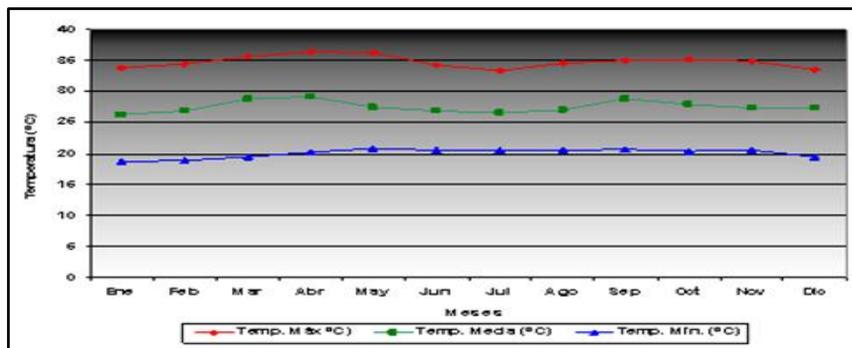


Figura 5.5 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Macagua. (CORPOELEC, 2017).

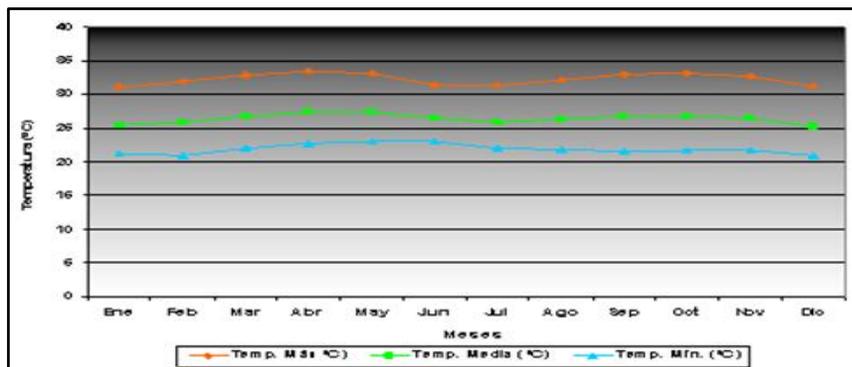


Figura 5.6 Variación anual de la temperatura máxima, media y mínima (°C) en la Estación Puerto Ordaz R-A (INAMEH, 2017).

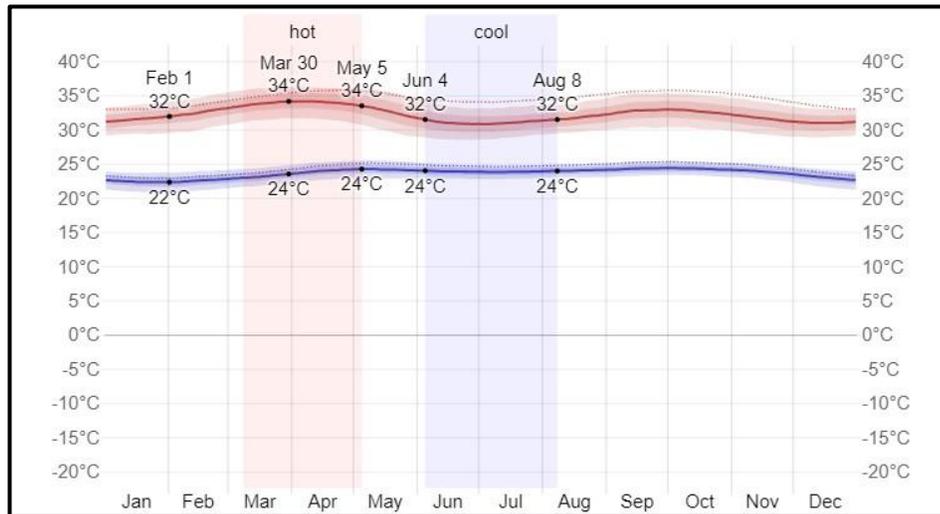


Figura 5.7 Temperatura máxima y mínima promedio en Ciudad Guayana. (<https://weatherspark.com/y/28530/Average-Weather-in-Ciudad-Guayana-Venezuela-Year-Round>).

#### 5.1.4. Insolación

La variación temporal de la insolación depende del movimiento anual aparente del sol, de la nubosidad, las precipitaciones y el estado de transparencia de la atmósfera.

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

Los valores más altos ocurren en los meses de enero a marzo y un segundo pico menos importante ocurre en los meses de septiembre y octubre. Los menores valores de brillo solar ocurren durante los meses junio y diciembre, lo que demuestra la alta nubosidad presente en la zona en dichos meses, por la temporada de lluviosa. (tabla 5.6 y figuras 5.8 y 5.9).

Tabla 5.6. Insolación media mensual y anual (horas de sol). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

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

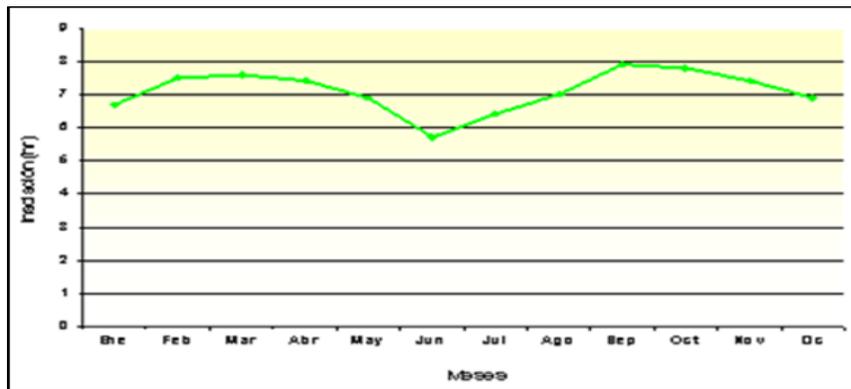


Figura 5.8 Variación anual de la insolación (horas). Estación Macagua (CORPOELEC, 2017).

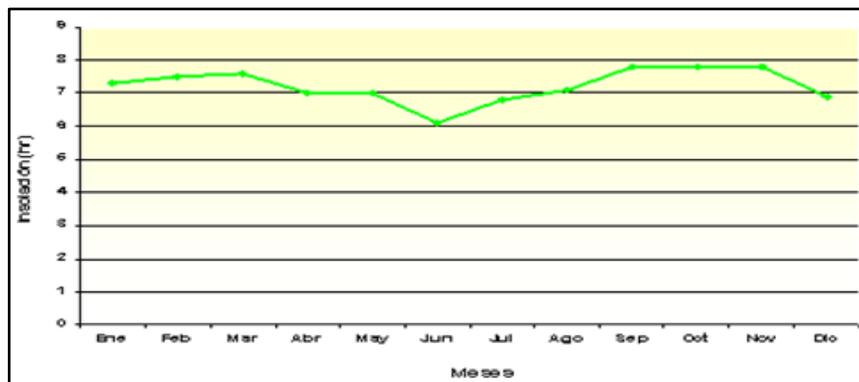


Figura 5.9 Variación anual de la insolación (horas). Estación Puerto Ordaz (INAMEH, 2017).

### 5.1.5 Humedad Relativa

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

En la tabla 5.7, se presentan los valores medios mensuales y anuales de humedad relativa para dichas estaciones y en las figuras 5.10 y 5.11 se muestra su distribución en el año.

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

Tabla 5.7. Humedad relativa media mensual y anual (%). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

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

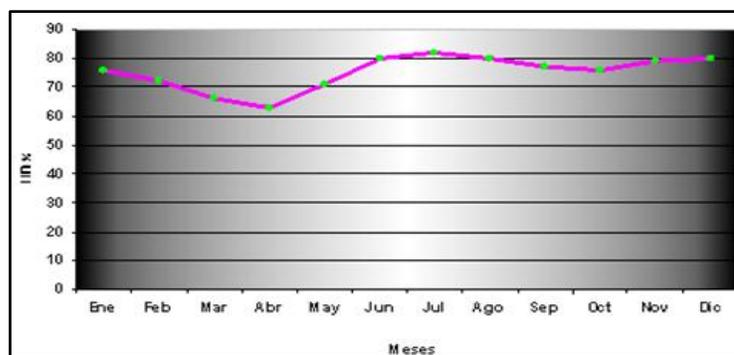


Figura 5.10 Variación anual de la humedad relativa (%). Estación Macagua. (CORPOELEC, 2017).

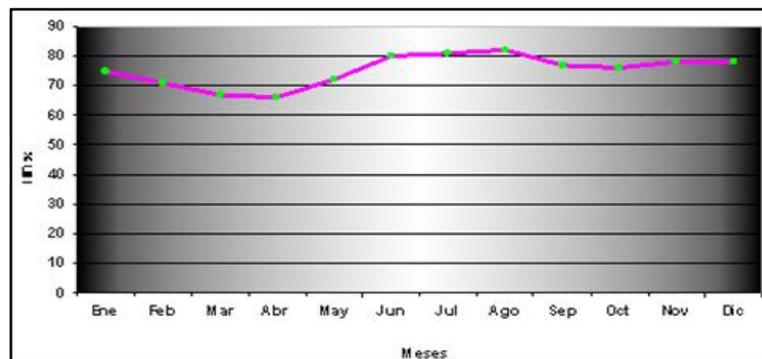


Figura 5.11 Variación anual de la humedad relativa (%).  
Estación Puerto Ordaz. (INAMEH, 2017).

Tabla 5.8 Registros de Humedad relativa a dos metros (%). Período 1981 – 2022. (POWER – NASA, octubre 2024).

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1981	74.7	68.4	59.1	74.3	85.7	87.9	86.6	87.8	85.9	85.5	79.7	83.2
1982	74.1	71.9	65.1	66.4	72.1	82.2	87.0	85.9	76.4	71.9	68.6	75.9
1983	70.6	58.8	54.3	59.8	74.8	83.6	85.4	83.6	72.8	68.3	65.8	71.1
1984	67.9	61.9	56.3	53.8	64.2	77.1	82.8	83.5	78.8	76.1	85.9	80.6
1985	69.7	63.4	60.4	59.9	70.4	81.2	84.2	84.6	81.0	83.5	87.0	85.3
1986	74.1	65.3	59.2	57.6	67.1	80.8	85.5	86.2	83.1	82.1	81.9	85.3
1987	71.1	60.5	52.9	55.8	67.6	78.3	84.1	83.3	82.1	79.6	78.0	75.1
1988	67.4	64.9	54.9	54.0	57.8	77.5	83.8	86.8	86.6	86.5	85.0	88.7
1989	87.4	79.8	67.9	60.3	66.4	80.1	85.6	83.9	80.4	77.2	81.0	72.7
1990	71.0	66.4	66.3	61.8	74.1	84.5	86.8	86.6	84.4	80.1	80.2	78.3
1991	70.5	66.4	60.9	61.9	60.6	69.4	77.1	85.9	84.5	82.8	81.4	80.3
1992	72.9	64.2	57.3	58.9	73.3	86.6	86.3	85.9	81.9	75.9	75.6	75.2
1993	72.4	60.5	62.3	58.6	71.4	75.6	76.1	86.4	83.1	80.6	88.8	81.6
1994	71.2	65.2	58.2	58.9	66.3	80.5	88.1	87.6	85.4	81.5	79.4	75.9
1995	64.1	56.3	55.6	52.7	59.6	76.1	84.1	81.9	74.2	73.2	81.3	76.7
1996	68.1	72.0	61.6	56.7	76.1	87.8	88.4	87.6	87.6	84.0	83.5	77.0
1997	72.7	77.8	65.3	59.6	66.8	78.1	84.6	85.3	80.8	79.3	81.4	71.3
1998	63.8	56.5	54.7	56.6	74.3	81.0	77.5	83.3	85.9	87.4	87.8	85.3
1999	79.4	77.4	71.3	69.4	62.7	80.6	87.3	85.8	86.6	85.4	83.3	87.8
2000	82.8	70.4	66.9	64.9	71.3	86.3	88.1	87.3	86.8	83.7	83.6	80.1
2001	68.7	64.5	55.9	58.3	63.9	74.6	81.6	83.1	79.4	76.8	74.9	75.5
2002	68.8	60.8	60.3	62.2	71.9	79.2	71.9	71.6	64.7	66.8	75.4	70.5
2003	61.4	57.9	53.9	54.7	71.5	81.2	86.3	85.3	84.3	78.8	76.3	73.6
2004	65.6	59.8	55.8	61.4	71.9	80.8	84.6	80.3	73.4	73.6	81.9	79.8
2005	77.3	63.9	55.4	60.3	62.9	85.6	87.6	83.8	76.8	82.4	82.8	79.8
2006	78.4	67.6	61.7	53.8	65.9	74.7	84.2	84.8	75.1	75.3	76.4	75.9
2007	66.8	60.6	61.3	55.1	61.6	77.9	77.7	83.4	82.8	83.1	78.4	80.1
2008	74.1	71.2	62.3	65.8	63.4	71.2	86.2	84.1	76.6	77.9	75.5	72.3
2009	67.3	69.4	61.3	58.8	60.1	65.3	78.3	80.3	76.0	74.2	69.9	71.9
2010	62.5	56.5	53.7	60.8	67.4	78.6	82.4	83.1	78.9	78.1	81.1	80.8
2011	79.2	73.8	69.6	63.9	70.0	79.9	81.2	75.3	71.8	81.3	83.9	86.6
2012	78.0	67.8	66.8	63.4	76.1	79.1	78.5	83.2	72.6	74.4	72.6	78.6
2013	71.6	61.8	55.6	61.3	67.8	79.6	74.0	72.0	70.3	73.0	77.2	79.5
2014	71.8	62.7	56.5	59.8	59.4	69.5	75.6	80.0	71.0	69.0	82.0	78.7
2015	75.6	64.1	63.1	60.1	62.4	77.6	84.5	80.9	74.8	73.6	79.2	81.2
2016	67.8	62.1	56.6	61.4	75.9	84.5	86.1	87.4	85.3	79.2	82.1	83.4
2017	79.3	69.1	67.4	58.0	71.2	87.3	87.6	87.4	87.3	88.6	88.9	88.4
2018	86.5	77.6	69.7	65.4	67.9	76.9	85.8	84.8	84.1	82.6	85.1	77.5
2019	68.4	61.9	59.3	57.9	65.3	79.4	86.0	85.2	82.6	82.8	86.2	87.1
2020	78.3	69.9	59.9	58.7	60.9	74.6	79.4	84.4	84.7	86.0	87.4	84.8
2021	78.6	70.5	72.9	75.6	80.0	83.7	88.1	86.5	85.3	87.6	85.0	87.4
2022	77.5	69.3	67.4	62.3	65.4	84.4	86.2	86.2	85.3	80.2	77.7	74.6

### 5.1.6 Vientos

La velocidad media anual del viento, estimada para la zona, está cerca de los 1,8 km/h, con dirección prevaleciente este-noreste (ENE), mayor en abril y más baja en agosto. En la tabla 5.9, se muestran los datos de las estaciones del área y en la figura 5.12 se presenta su distribución anual.

Tabla 5.9. Velocidad media mensual y anual del viento (m/s). Período 1950-2011. (INAMEH, 2017).

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



Figura 5.12 Variación anual de la velocidad del viento (m/s). Estación Macagua. (CORPOELEC, 2017).

Tabla 5.10 Velocidad del viento (m/s) a 2 metros en la ubicación de la estación Macagua. Período 1981 – 2022. (POWER – NASA, octubre 2024)

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1981	1.1	1.3	1.4	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	1.0	1.1
1982	1.2	1.3	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.1
1983	1.3	1.5	1.6	1.4	1.1	1.0	1.0	0.9	1.1	1.0	1.2	1.1
1984	1.2	1.5	1.5	1.6	1.4	1.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	1.0
1985	1.2	1.4	1.6	1.5	1.2	1.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8	1.1
1986	1.2	1.3	1.5	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	1.1
1987	1.3	1.5	1.4	1.6	1.1	1.0	1.1	0.9	0.9	0.8	0.9	1.2
1988	1.3	1.3	1.6	1.7	1.6	1.0	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0
1989	1.1	1.1	1.2	1.6	1.4	1.1	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2
1990	1.4	1.3	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	1.0	1.1
1991	1.3	1.4	1.5	1.5	1.4	1.2	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	1.1
1992	1.2	1.5	1.6	1.5	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	1.2
1993	1.3	1.4	1.5	1.5	0.9	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0
1994	1.2	1.4	1.5	1.6	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.8	1.1
1995	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.0	0.9	0.7	0.8	0.7	0.9	1.1
1996	1.2	1.2	1.5	1.6	1.1	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0
1997	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.1	1.0	1.0	0.9	1.0	1.1	1.3
1998	1.4	1.6	1.7	1.5	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0
1999	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0
2000	1.1	1.2	1.3	1.4	1.2	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	1.2
2001	1.2	1.5	1.6	1.6	1.3	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1
2002	1.3	1.6	1.5	1.3	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0	1.2	1.4
2003	1.5	1.7	1.6	1.6	1.4	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.9	1.2
2004	1.4	1.5	1.6	1.4	1.2	1.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	1.1
2005	1.2	1.3	1.6	1.5	1.2	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	1.0	1.2
2006	1.2	1.3	1.5	1.6	1.1	1.0	1.0	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2
2007	1.4	1.5	1.5	1.6	1.3	1.1	1.0	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1
2008	1.2	1.4	1.5	1.4	1.3	1.1	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2
2009	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.3	1.1	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3
2010	1.4	1.6	1.7	1.3	1.2	1.0	0.9	0.7	0.8	0.9	0.9	1.1
2011	1.2	1.3	1.2	1.3	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0
2012	1.2	1.4	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	1.1	1.1
2013	1.3	1.7	1.8	1.6	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	1.2
2014	1.3	1.5	1.7	1.6	1.6	1.3	1.2	0.9	1.2	1.1	1.1	1.2
2015	1.3	1.5	1.6	1.6	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
2016	1.3	1.7	1.7	1.4	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.1
2017	1.1	1.3	1.4	1.6	1.3	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	1.0	1.1
2018	1.1	1.2	1.4	1.4	1.4	1.2	1.0	1.0	0.9	1.0	1.1	1.2
2019	1.3	1.6	1.6	1.6	1.4	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.1
2020	1.2	1.4	1.5	1.5	1.6	1.0	0.9	0.9	0.8	0.9	1.0	1.1
2021	1.2	1.4	1.3	1.2	1.2	1.0	0.9	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1
2022	1.2	1.4	1.5	1.4	1.3	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3

## 5.2 Parámetros dimensionales de la zona de captación

### 5.2.1 Área de captación

El área de captación de la cuenca fue delimitada aproximadamente en 16.75 hectáreas, las cuales están conformadas por área urbanizada, área verde y área pavimentada. Los límites del área de captación se pueden apreciar en la figura 5.13.



Figura 5.13 Detalle de área de drenaje del urbanismo.

Las áreas dentro del urbanismo quedan distribuidas según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.11 Distribución de áreas en el urbanismo según su cobertura.

Tipo de cobertura en la cuenca	Área		Área
	ha	m <sup>2</sup>	%
<b>Residencial</b>	1.06400	10640	6.35
<b>Pavimento</b>	6.857500	68575	40.93
<b>Vegetación</b>	8.831200	88312	52.72
<b>Totales</b>	<b>16.752700</b>	<b>167527</b>	<b>100.00</b>

### 5.3 Caudal de drenaje aportado por la cuenca

La estimación del caudal de la cuenca se realizó mediante el Método Racional, para lo cual se deben determinar los tres (3) parámetros fundamentales:

### 5.3.1 Área y Coeficiente de escorrentía ponderado (Cep) de la cuenca

Se observaron tres (3) tipos de cobertura del suelo en el urbanismo: área verde, área residencial y área pavimentada. Considerando los coeficientes de escorrentía (Ce) por zonificación presentada en la tabla 3.2 (Bolinaga, 1979), se asignaron los siguientes valores de Ce, de acuerdo a los usos del suelo encontrados en la zona de estudio:

- a. Área verde o parques: 0.20
- b. Área residencial: 0.60
- c. Área pavimentada: 0.83

Aplicando la fórmula para el cálculo del Coeficiente de escorrentía ponderado (Cep) se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 5.12.

Parcela	Tipo de Cobertura del Suelo	Área Parcial		Área Total de Parcela		Coeficiente Escurrimiento	Coeficiente Escurrimiento Ponderado
		(m <sup>2</sup> )	(ha)	(m <sup>2</sup> )	(ha)		
A	Residencial	1360.00	0.136000	19538.00	1.9538	0.60	0.494
	Pavimento	8244.00	0.824400			0.83	
	Área verde	9934.00	0.993400			0.20	
B	Residencial	1360.00	0.136000	19638.00	1.9638	0.60	0.490
	Pavimento	8169.00	0.816900			0.83	
	Área verde	10109.00	1.010900			0.20	
C	Residencial	1360.00	0.136000	19396.00	1.9396	0.60	0.524
	Pavimento	9102.00	0.910200			0.83	
	Área verde	8934.00	0.893400			0.20	
D	Residencial	1360.00	0.136000	20516.00	2.0516	0.60	0.499
	Pavimento	8872.00	0.887200			0.83	
	Área verde	10284.00	1.028400			0.20	
E	Residencial	1360.00	0.136000	23391.00	2.3391	0.60	0.447
	Pavimento	8322.00	0.832200			0.83	
	Área verde	13709.00	1.370900			0.20	
F	Residencial	1120.00	0.112000	20391.00	2.0391	0.60	0.445
	Pavimento	7222.00	0.722200			0.83	
	Área verde	12049.00	1.204900			0.20	
G	Residencial	1360.00	0.136000	22616.00	2.2616	0.60	0.484
	Pavimento	9322.00	0.932200			0.83	
	Área verde	11934.00	1.193400			0.20	
H	Residencial	1360.00	0.136000	22041.00	2.2041	0.60	0.491
	Pavimento	9322.00	0.932200			0.83	
	Área verde	11359.00	1.135900			0.20	
	Subtotal	167527.00	16.752700	167527.00	16.752700		

Tabla 5.12 Coeficiente de escorrentía ponderado (Cep) de la cuenca.

### 5.3.2 Intensidad de lluvia

Será determinada a través de las curvas de intensidad – duración y frecuencia correspondientes a la Región Hidrológica II según el MOP, 1967 (figura 5.14).

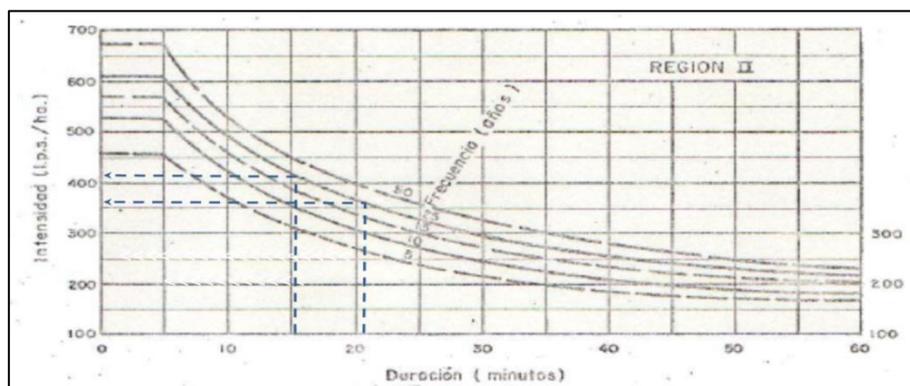


Figura 5.14 Curvas IDF de la Región Hidrológica II (MOP, 1967).

El Tiempo de concentración ( $T_c$ ) será determinado mediante la fórmula (3.3) del California Culvert Practices para cada tramo vial por donde escurrirá agua pluvial. Dicho valor permitirá, posteriormente ingresar en el gráfico de las curvas IDF correspondientes para la zona de estudio y obtener un valor de Intensidad de lluvia ( $I$ ) para un Período de retorno ( $T_r$ ) de 25 años, el cual es el recomendado para obras de drenaje.

Del plano topográfico del urbanismo se observa que la longitud de todos los tramos viales es inferior a 174 m y las diferencias de nivel entre el inicio y fin de dichos tramos es menor a 4 m.

En vista de ello, al aplicar la ecuación del California Culvert Practice, los Tiempos de Concentración ( $T_c$ ) son inferiores a 5 minutos. Al entrar con ese valor de  $T_c$  y un período de retorno ( $T_r$ ) de 25 años se obtiene una intensidad de Lluvia ( $I$ ) de 610 lps/ha (219.42 mm/hr)

### 5.3.3 Caudales por parcela y por subcuenca

Como se indicó anteriormente, se dividió el urbanismo en ocho (8) parcelas, codificadas con las letras desde la A a la H, las cuales aportaron un drenaje total de 4.957 m<sup>3</sup>/s (tablas 5.13 y 5.14).

Tabla 5.13 Caudales aportados por parcelas A, B, C y D

PARCELA	SECTOR	Usos del suelo	Área por parcela		Coeficiente Escorrentía (Ce)	Coeficiente Escorrentía Ponderado (Cep)	Intensidad Lluvia (I)	Caudal		Caudal por sector
			(A)					(l/s)	(m <sup>3</sup> /s)	
			(m <sup>2</sup> )	(ha)						
A	AI	Residencial	340	0.0340	0.60	0.474	610	9.821	0.010	0.151
		Pavimento	2061	0.2061	0.83		610	59.530	0.060	
		A. Verde	2843.5	0.2844	0.20		610	82.132	0.082	
	AII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.474	610	9.821	0.010	0.151
		Pavimento	2061	0.2061	0.83		610	59.530	0.060	
		A. Verde	2843.5	0.2844	0.20		610	82.132	0.082	
	AIII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.474	610	9.821	0.010	0.151
		Pavimento	2061	0.2061	0.83		610	59.530	0.060	
		A. Verde	2843.5	0.2844	0.20		610	82.132	0.082	
	AIV	Residencial	340	0.0340	0.60	0.474	610	9.821	0.010	0.151
		Pavimento	2061	0.2061	0.83		610	59.530	0.060	
		A. Verde	2843.5	0.2844	0.20		610	82.132	0.082	
B	BI	Residencial	340	0.0340	0.60	0.490	610	10.159	0.010	0.147
		Pavimento	2043.25	0.2043	0.83		610	61.053	0.061	
		A. Verde	2527.25	0.2527	0.20		610	75.514	0.076	
	BII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.490	610	10.159	0.010	0.147
		Pavimento	2043.25	0.2043	0.83		610	61.053	0.061	
		A. Verde	2527.25	0.2527	0.20		610	75.514	0.076	
	BIII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.490	610	10.159	0.010	0.147
		Pavimento	2043.25	0.2043	0.83		610	61.053	0.061	
		A. Verde	2527.25	0.2527	0.20		610	75.514	0.076	
	BIV	Residencial	340	0.0340	0.60	0.490	610	10.159	0.010	0.147
		Pavimento	2043.25	0.2043	0.83		610	61.053	0.061	
		A. Verde	2527.25	0.2527	0.20		610	75.514	0.076	
C	CI	Residencial	340	0.0340	0.60	0.524	610	10.861	0.011	0.155
		Pavimento	2275.5	0.2276	0.83		610	72.691	0.073	
		A. Verde	2233.5	0.2234	0.20		610	71.349	0.071	
	CII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.524	610	10.861	0.011	0.155
		Pavimento	2275.5	0.2276	0.83		610	72.691	0.073	
		A. Verde	2233.5	0.2234	0.20		610	71.349	0.071	
	CIII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.524	610	10.861	0.011	0.155
		Pavimento	2275.5	0.2276	0.83		610	72.691	0.073	
		A. Verde	2233.5	0.2234	0.20		610	71.349	0.071	
	CIV	Residencial	340	0.0340	0.60	0.524	610	10.861	0.011	0.155
		Pavimento	2275.5	0.2276	0.83		610	72.691	0.073	
		A. Verde	2233.5	0.2234	0.20		610	71.349	0.071	
D	DI	Residencial	340	0.0340	0.60	0.499	610	10.348	0.010	0.156
		Pavimento	2218	0.2218	0.83		610	67.508	0.068	
		A. Verde	2571	0.2571	0.20		610	78.252	0.078	
	DII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.499	610	10.348	0.010	0.156
		Pavimento	2218	0.2218	0.83		610	67.508	0.068	
		A. Verde	2571	0.2571	0.20		610	78.252	0.078	
	DIII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.499	610	10.348	0.010	0.156
		Pavimento	2218	0.2218	0.83		610	67.508	0.068	
		A. Verde	2571	0.2571	0.20		610	78.252	0.078	
	DIV	Residencial	340	0.0340	0.60	0.499	610	10.348	0.010	0.156
		Pavimento	2218	0.2218	0.83		610	67.508	0.068	
		A. Verde	2571	0.2571	0.20		610	78.252	0.078	
Subtotal								2436.873	2.437	2.437

Tabla 5.14 Caudales aportados por parcelas E, F, G y H.

PARCELA	SECTOR	Uso del suelo	Area por parcela		Coeficiente Escorrentía	Coeficiente Escorrentía Ponderado (Cep)	Intensidad Lluvia	Caudal		Caudal por sector
			(A)					(l)	(Q)	
			(m <sup>2</sup> )	(ha)	(Ce)	(lps/ha)	(l/s)		(m <sup>3</sup> /s)	
E	EI	Residencial	340	0.0340	0.60	0.447	610	9.279	0.009	0.160
		Pavimento	2080.5	0.2081	0.83		610	56.779	0.057	
		A. Verde	3427.25	0.3427	0.20		610	93.534	0.094	
	EII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.447	610	9.279	0.009	0.160
		Pavimento	2080.5	0.2081	0.83		610	56.779	0.057	
		A. Verde	3427.25	0.3427	0.20		610	93.534	0.094	
	EIII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.447	610	9.279	0.009	0.160
		Pavimento	2080.5	0.2081	0.83		610	56.779	0.057	
		A. Verde	3427.25	0.3427	0.20		610	93.534	0.094	
	EIV	Residencial	340	0.0340	0.60	0.447	610	9.279	0.009	0.160
		Pavimento	2080.5	0.2081	0.83		610	56.779	0.057	
		A. Verde	3427.25	0.3427	0.20		610	93.534	0.094	
F	FI	Residencial	280	0.0280	0.60	0.445	610	7.602	0.008	0.138
		Pavimento	1805.5	0.1806	0.83		610	49.021	0.049	
		A. Verde	3012.25	0.3012	0.20		610	81.786	0.082	
	FII	Residencial	280	0.0280	0.60	0.445	610	7.602	0.008	0.138
		Pavimento	1805.5	0.1806	0.83		610	49.021	0.049	
		A. Verde	3012.25	0.3012	0.20		610	81.786	0.082	
	FIII	Residencial	280	0.0280	0.60	0.445	610	7.602	0.008	0.138
		Pavimento	1805.5	0.1806	0.83		610	49.021	0.049	
		A. Verde	3012.25	0.3012	0.20		610	81.786	0.082	
	FIV	Residencial	280	0.0280	0.60	0.445	610	7.602	0.008	0.138
		Pavimento	1805.5	0.1806	0.83		610	49.021	0.049	
		A. Verde	3012.25	0.3012	0.20		610	81.786	0.082	
G	GI	Residencial	340	0.0340	0.60	0.484	610	10.033	0.010	0.167
		Pavimento	2330.5	0.2331	0.83		610	68.767	0.069	
		A. Verde	2983.5	0.2984	0.20		610	88.036	0.088	
	GII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.484	610	10.033	0.010	0.167
		Pavimento	2330.5	0.2331	0.83		610	68.767	0.069	
		A. Verde	2983.5	0.2984	0.20		610	88.036	0.088	
	GIII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.484	610	10.033	0.010	0.167
		Pavimento	2330.5	0.2331	0.83		610	68.767	0.069	
		A. Verde	2983.5	0.2984	0.20		610	88.036	0.088	
	GIV	Residencial	340	0.0340	0.60	0.484	610	10.033	0.010	0.167
		Pavimento	2330.5	0.2331	0.83		610	68.767	0.069	
		A. Verde	2983.5	0.2984	0.20		610	88.036	0.088	
H	HI	Residencial	340	0.0340	0.60	0.491	610	10.186	0.010	0.165
		Pavimento	2330.5	0.2331	0.83		610	69.820	0.070	
		A. Verde	2839.75	0.2840	0.20		610	85.076	0.085	
	HII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.491	610	10.186	0.010	0.165
		Pavimento	2330.5	0.2331	0.83		610	69.820	0.070	
		A. Verde	2839.75	0.2840	0.20		610	85.076	0.085	
	HIII	Residencial	340	0.0340	0.60	0.491	610	10.186	0.010	0.165
		Pavimento	2330.5	0.2331	0.83		610	69.820	0.070	
		A. Verde	2839.75	0.2840	0.20		610	85.076	0.085	
	HIV	Residencial	340	0.0340	0.60	0.491	610	10.186	0.010	0.165
		Pavimento	2330.5	0.2331	0.83		610	69.820	0.070	
		A. Verde	2839.75	0.2840	0.20		610	85.076	0.085	
							Subtotal	2519.681	2.520	2.520

Asimismo, se determinó que cada subcuenca drenaría un caudal de 1.2056 m<sup>3</sup>/s (para la subcuenca amarilla), 1.2310 m<sup>3</sup>/s (para la subcuenca azul), 1.2259 m<sup>3</sup>/s (para

la subcuenca roja) y  $0.9958 \text{ m}^3/\text{s}$  (para la subcuenca verde) respectivamente. Cabe destacar que estos caudales serían drenados a través de cuatro (4) puntos de descarga, uno para cada subcuenca, ubicados en los puntos codificados como 4, 7, 10 y 13 (figura 5.15). El total de caudal drenado por toda la cuenca será de  $4.9566 \text{ m}^3/\text{s}$  aproximadamente (tabla 5.15).

Tabla 5.15 Caudales aportados por cada tramo y subcuenca .

Subcuenca	Tramo	Canal	Sector Contribuyente	Caudal Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Total Drenado Subcuenca
Amarilla	1-4	Derecho	NO	NO	1.2056
		Izquierdo	AIV	0.1515	
	2-5	Derecho	AII	0.1515	
		Izquierdo	BIV	0.1467	
	3-6	Derecho	BII	0.1467	
		Izquierdo	NO	NO	
	6-5	Derecho	BIII	0.1467	
		Izquierdo	DI	0.1561	
5-4	Derecho	AIII	0.1515		
	Izquierdo	CI	0.1549		
Azul	6-9	Derecho	DII	0.1561	1.2310
		Izquierdo	NO	NO	
	5-8	Derecho	CII	0.1549	
		Izquierdo	DIV	0.1561	
	4-7	Derecho	NO	NO	
		Izquierdo	CIV	0.1549	
	9-8	Derecho	DIII	0.1561	
		Izquierdo	FI	0.1384	
8-7	Derecho	CIII	0.1549		
	Izquierdo	EI	0.1596		
Roja	9-12	Derecho	FII	0.1384	1.2259
		Izquierdo	NO	NO	
	8-11	Derecho	EII	0.1596	
		Izquierdo	FIV	0.1384	
	7-10	Derecho	NO	NO	
		Izquierdo	EIV	0.1596	
	12-11	Derecho	FIII	0.1384	
		Izquierdo	HI	0.1651	
11-10	Derecho	EIII	0.1596		
	Izquierdo	GI	0.1668		
Verde	12-15	Derecho	HII	0.1651	0.9958
		Izquierdo	NO	NO	
	11-14	Derecho	GII	0.1668	
		Izquierdo	HIV	0.1651	
	10-13	Derecho	NO	NO	
		Izquierdo	GIV	0.1668	
	15-14	Derecho	HIII	0.1651	
		Izquierdo	NO	NO	
14-13	Derecho	GIII	0.1668		
	Izquierdo	NO	NO		
Fuera	3-2	Fuera	AI	0.1515	0.2982
	3-1	Fuera	BI	0.1467	
				<b>Total</b>	<b>4.9566</b>

#### 5.4 Relieve del talud a través del cual se trazará la torrentera

De acuerdo a las líneas de flujo dentro del urbanismo las cuales fueron interpretadas con base a las curvas de nivel del plano topográfico, y considerando el punto de recolección de todos los flujos (ubicado al sur-oeste del urbanismo), se procedió a definir la zona de descarga final de las aguas pluviales drenadas por el conjunto urbanístico “Divino Niño” (figuras 5.15 y 5.16)

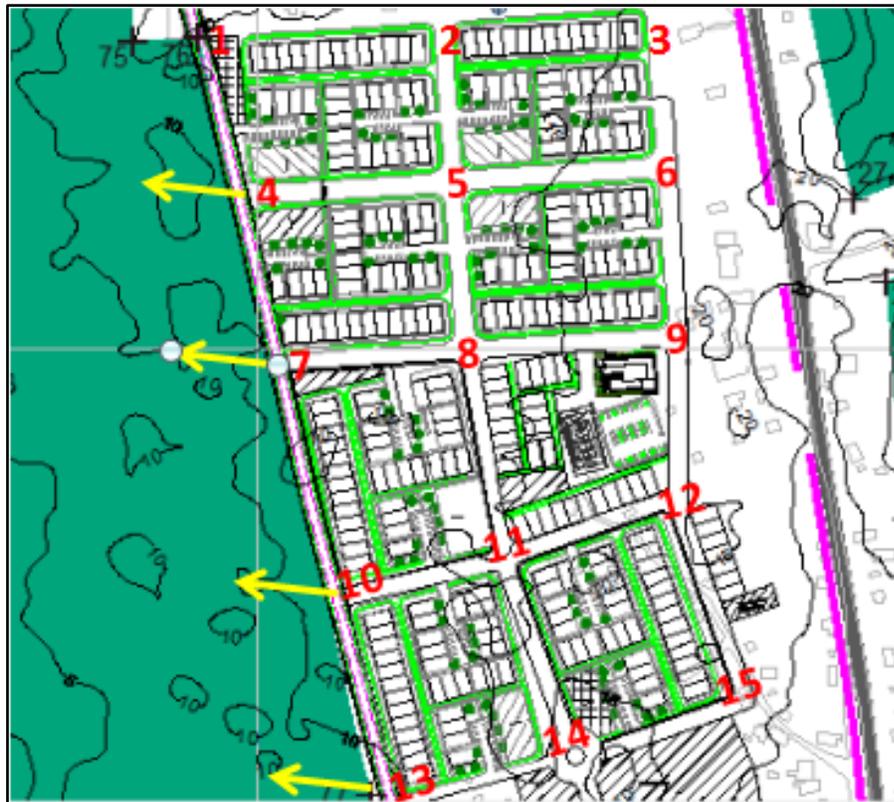


Figura 5.15 Puntos de descarga en el urbanismo



Figura 5.16 Imagen de satélite Landsat del 13/05/2019 de Google Earth del área de ubicación de las torrenceras.

#### 5.4.1 Condición de los suelos de los taludes

A lo largo de la trayectoria aproximada seguida por las torrenceras, se realizó la toma de una (1) muestra de suelos a una profundidad de 30 cm ubicada según las coordenadas presentadas en la tabla 5.16, la cual posteriormente sería trasladada y analizada en Laboratorio. Se pudo cotejar que la naturaleza de los taludes era similar en toda la extensión del talud donde estarían ubicados las torrenceras. Sin embargo, es necesario acotar que la inspección visual de los suelos ofrecía consistencia de materiales consolidados (no sueltos) que ameritaban el uso de herramientas de excavación para la toma de muestras superficiales.

Tabla 5.16 Ubicación de la muestra de suelos

Muestra	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
M1	928997	534516

El análisis de distribución granulométrica practicado a la muestra de suelos arrojó que se trataba de arenas mal gradadas, SP (figura 5.17)

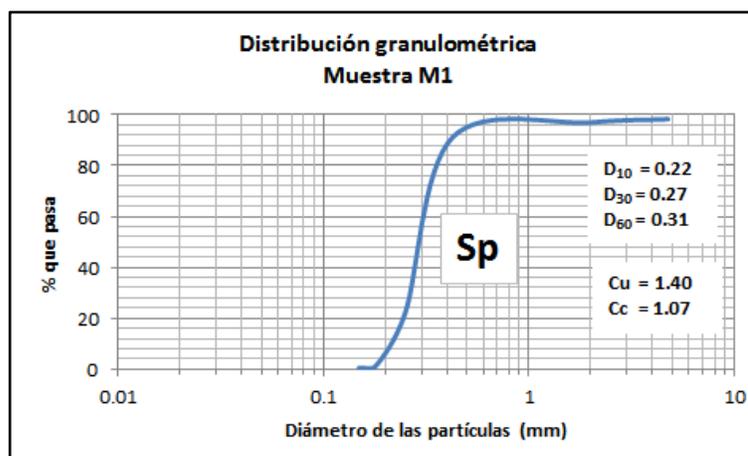


Figura 5.17 Curva de distribución granulométrica de la muestra M1

### 5.5 Definir el trazado en planta y perfil longitudinal de las torrenteras

Las cuatro (4) torrenteras serán trazadas a partir de la vialidad perimetral oeste del urbanismo “Divino Niño” de acuerdo a las coordenadas UTM de inicio y terminación, cotas de inicio y fin, trayectoria o rumbo de las alineaciones y distancia recorrida que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 5.17 Características de ubicación de las torrenteras.

Torrentera	Coord UTM Salida		Coord UTM Llegada		Cota inicio	Cota fin	Diferencia de cotas	Rumbo	Distancia (m)	Pendiente longitudinal	
	Este	Norte	Este	Norte	(msnm)	(msnm)	(m)			(m/m)	(°)
1	534581	924054	534468	929039	18	16	2	s 80 W	115.25	0.017354	1
2	534591	929004	534471	928990	18	16	2	S 82 W	120.62	0.016581	1
3	534601	928952	534476	928938	19	16	3	S 80 W	126.1	0.023791	1.4
4	534607	928903	534477	928927	19	16	3	N 80 W	132.62	0.022621	1.3



Figura 5.18 Alineación de las torrenteras y punto de muestreo.

Ahora bien, se tendrán las cuatro (4) torrenteras con pendientes similares, lo cual implica que las estimaciones de características del flujo serán similares (figura 5.20).

## 5.6 Determinar los parámetros geométricos e hidráulicos de la torrentera

### 5.6.1 Ancho de la solera o base (b)

En primer lugar, es necesario determinar el ancho adecuado o base (b) de la sección transversal para la torrentera, para lo cual se aplicarán las ecuaciones planteadas por Aristizabal, et al, (2013) para la estimación del ancho de la solera (b) en una torrentera con deflectores de corriente:

$$b = 0.905 \cdot Q^{2/5} \quad (5.2)$$

Aristizabal, et al, (2013), también plantea el cálculo del ancho de la solera de una rápida (como caso extremo de un canal en ladera de talud) mediante la fórmula siguiente:

$$b = 0.1 (Q / 4.79 \times 10^{-3})^{0.4} \quad (5.2)$$

En función a ello planteamos en la tabla siguiente las estimaciones del ancho de solera según Aristizabal (2013):

Tabla 5.18 Ancho de solera.

Torrentera	Caudal a drenar (m <sup>3</sup> /s)	Ancho solera (b) (m)	Ancho solera (b') (m)	Ancho solera promedio (m)
1	1.2056	0.975	0.913	0.944
2	1.2310	0.983	0.920	0.952
3	1.2259	0.982	0.919	0.950
4	0.9958	0.903	0.846	0.875

### 5.6.2 Profundidad normal y profundidad crítica

Con base al gráfico del Apéndice A.1 de Camacho (1996), partiendo del ancho de la solera (b) igual a 0.95 m (torrenteras 1, 2 y 3), se ubica en la escala

del primer eje de abscisas auxiliares, identificado  $b=1$ , se ubica el valor del ancho de la solera ( $b=0.95$ ) obteniendo en el eje de abscisas principales del gráfico, un valor para  $Qn/S_o^{1/2}b^{8/3}$  de 0.95. Luego, interceptando la curva, en el eje de las ordenadas (de la derecha del gráfico) se obtiene un valor para  $y_n/b = 1.7$ . Para la torrentera 4,  $b$  es igual a 0.875, se tendrá un valor para  $y_n/b = 1.5$ .

Despejando el valor de  $b=0.95$  en la relación  $y_n/b = 1.7$ , se obtiene un valor de  $y_n=1.62$  m aplicable para las torrenteras 1, 2 y 3. Para la torrentera 4, el valor de  $b=0.875$  m en la relación  $y_n/b = 1.5$ , se obtiene un valor de  $y_n=1.31$  m

De la ecuación para el cálculo de la profundidad crítica ( $y_c$ ):

$$y_c = (q^2 / g)^{1/3} \quad (5.2)$$

$$y_c = ((Q/b)^2 / g)^{1/3} \quad (5.3)$$

Sustituyendo para cada torrentera en la tabla siguiente:

Tabla 5.19 Estimación de la profundidad crítica para cada torrentera.

Torrentera	Caudal a drenar (Q) (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de solera (b) (m)	Acel. gravedad (g) (m/s <sup>2</sup> )	Profundidad crítica (y <sub>c</sub> ) (m)
1	1.2056	0.944	9.8	0.55
2	1.2310	0.952	9.8	0.55
3	1.2259	0.950	9.8	0.55
4	0.9958	0.875	9.8	0.51

En vista de ello, como  $y_c < y_n$  se dice que el flujo será sub-crítico en ambos tramos de la torrentera.

### 5.6.3 Parámetros hidráulicos y geométricos de la sección transversal

Utilizando el programa HCANALES, el cual aplica las ecuaciones: de Darcy, de Manning y de Bernoulli se determinan los parámetros geométricos e hidráulicos para ambos tramos de la torrentera, tal y como se muestran en la tabla 5.20.

Tabla 5.20 Parámetros geométricos e hidráulicos de la sección transversal para las torrenteras.

Parámetros	Torrenteras			
	1	2	3	4
Caudal, Q (m <sup>3</sup> /s)	1.2056	1.231	1.223	0.9958
Coefficiente rugosidad, n	0.016	0.016	0.016	0.016
Pendiente longitudinal, So (m/m)	0.017354	0.016581	0.023791	0.022621
Ancho de solera, b (m)	0.944	0.952	0.950	0.875
Profundidad normal, y <sub>n</sub> (m)	1.62- 0.422	1.62-0.432	1.62-0.38	1.31-0.38
Profundidad crítica, y <sub>c</sub> (m)	0.55	0.55	0.55	0.51
Área, A (m <sup>2</sup> )	0.40	0.41	0.36	0.37
Ancho superficie, T (m)	0.944	0.95	0.95	0.9
Perímetro mojado, Pm (m)	1.79	1.82	1.71	1.72
Radio hidráulico, Rh (m)	0.22	0.23	0.21	0.22
Velocidad flujo, V (m/s)	3.03	2.99	3.4	3.3
Energía específica, Es (m.kg/kg)	0.89	0.89	0.97	0.9
Número de Froude, Fr	1.48	1.45	1.77	1.7
Tipo de flujo	Super-critico	Super-critico	Super-critico	Super-critico

### 5.6.4 Huella y contrahuella de la torrentera

Considerando los valores del número de Froude, entre 1.45 y 1.77 para las cuatro (4) torrenteras, respectivamente; se asumirá un  $Fr = 2$  y una relación  $h/y = 1.0$  en la tabla para la estimación de la disipación por caída con régimen supercrítico (Apéndice A.2).

Dado que  $y = y_n$ , entonces:  $y_n = 0.5$ , implica que la altura máxima de la contrahuella será de  $h = 0.5$ . Luego, de la misma tabla del apéndice A.2, se obtiene, de forma similar, para cada una de las relaciones:

$$\text{De } Lc/y = 2.8 \quad \Rightarrow Lc = 1.4 \text{ m}$$

Ahora bien, la longitud horizontal mínima de la huella  $L_T$  se determina mediante la ecuación:

$$L_T = 1.1 L_c \quad (5.5)$$

Sustituyendo:

$$L_T = 1.1 \times 1.4 \text{ m} = 1.54 \text{ m}$$

Las magnitudes mínimas de la huella y contra-huella aquí estimadas son aplicables para las cuatro (4) torrenteras por ser de dimensiones similares.

## CAPÍTULO VI

### LA PROPUESTA

#### **6.1 Objetivo de la propuesta**

Propuesta de una torrentera como obra de drenaje para la disposición final de las aguas pluviales drenadas en la urbanización “Divino Niño”, en la población de Los Barrancos de Fajardo, municipio Sotillo, estado Monagas, Venezuela.

#### **6.2 Alcance de la propuesta**

Proyectar, calcular y diseñar una torrentera para la conducción final de todas las aguas superficiales pluviales recolectadas en el punto de drenaje oeste de la urbanización “Divino Niño”, en la población de los Barrancos de Fajardo, municipio Sotillo, estado Monagas, Venezuela.

#### **6.3 Justificación de la propuesta**

La implementación de la obra civil de drenaje para la disposición final de las aguas pluviales drenadas por el mencionado urbanismo garantizará el correcto drenaje de la escorrentía e incrementará la calidad de vida de los habitantes de las adyacencias de este urbanismo, evitando afectaciones a las viviendas y vialidades por estancamiento o mala disposición de las aguas drenadas por la urb. “Divino Niño”, e impidiendo posibles inundaciones que dificulten la ejecución de las actividades de los habitantes que habitan en las proximidades de dicho urbanismo.

## 6.4 Metodología de trabajo

Principalmente fue necesaria la delimitación el área y perímetro de la cuenca, recopilación del material técnico correspondiente a los estudios hidrológicos y topográficos, posteriormente la delimitación de la cuenca, cálculo del área y estimación del caudal mediante el Método racional.

Se evaluó la ubicación idónea para la disposición de las aguas pluviales considerando parámetros tales como pendiente del talud, distancia inclinada, altura total y la estabilidad del talud.

Habiendo obtenido el caudal total drenado por el urbanismo, se procedió al diseño preliminar de la sección transversal de la torrentera mediante la ecuación de Manning, utilizando el programa HCANALES. Habiendo definido la sección se obtuvieron los parámetros geométricos e hidráulicos.

Para finalizar, se estableció un trazado en planta y en perfil de la torrentera que cumpliera con las necesidades del sistema permitiendo un funcionamiento acorde y eficiente, permitiendo correlacionar las condiciones del terreno y de la obra de drenaje.

## 6.5 Propuesta de la torrentera

La propuesta se basa en una torrentera de concreto ( $n = 0.016$ ) de sección rectangular trazada a través de la ladera o talud adyacente al urbanismo “Divino Niño” para conducir la totalidad de las aguas pluviales drenadas. La torrentera tendrá la capacidad de drenar eficientemente las 16.75 ha del urbanismo y un caudal de  $4.957 \text{ m}^3/\text{s}$  y manteniendo velocidades superiores a la mínima  $0,75 \text{ m/s}$  y menores a la máxima  $5 \text{ m/s}$ .

Las dimensiones de las torrenteras serán las siguientes:

Tabla 6.1 Dimensiones de las torrenteras.

Torrentera	Ancho de solera	Profundidad	Borde libre	Altura	Altura máx.	Longitud mín.	Desnivel
	(b)	(y)	(Bl)	solera	huella	Contrahuella	
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	0.944	0.42	0.13	0.55	0.5	1.54	2
2	0.952	0.43	0.13	0.56	0.5	1.54	2
3	0.950	0.5	0.15	0.65	0.5	1.54	3
4	0.875	0.47	0.14	0.61	0.5	1.54	3

Las características esenciales del trazado en planta del eje de la torrentera fueron presentadas en la figura 5.15 (Capítulo V). A continuación, se presenta en la siguiente figura 6.1 la sección transversal típica de la torrentera, y en la figura 6.2 se muestra la representación del perfil longitudinal de la misma:

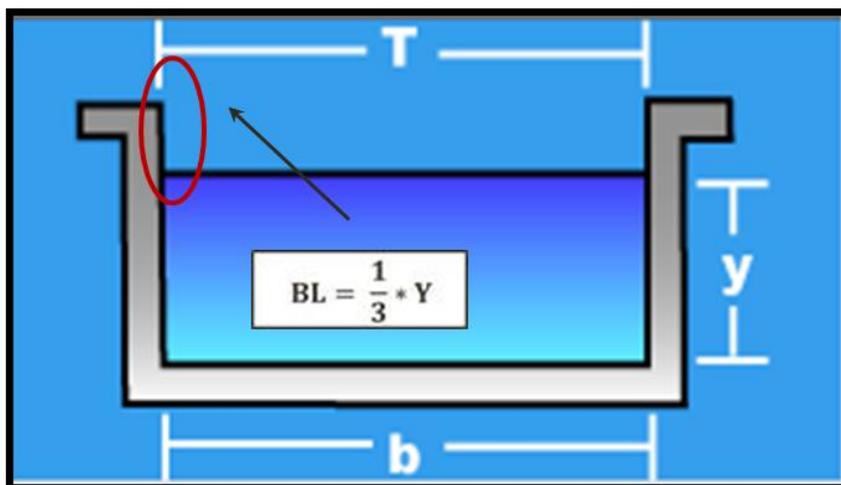


Figura 6.1 Esquema de la sección transversal de la torrentera.

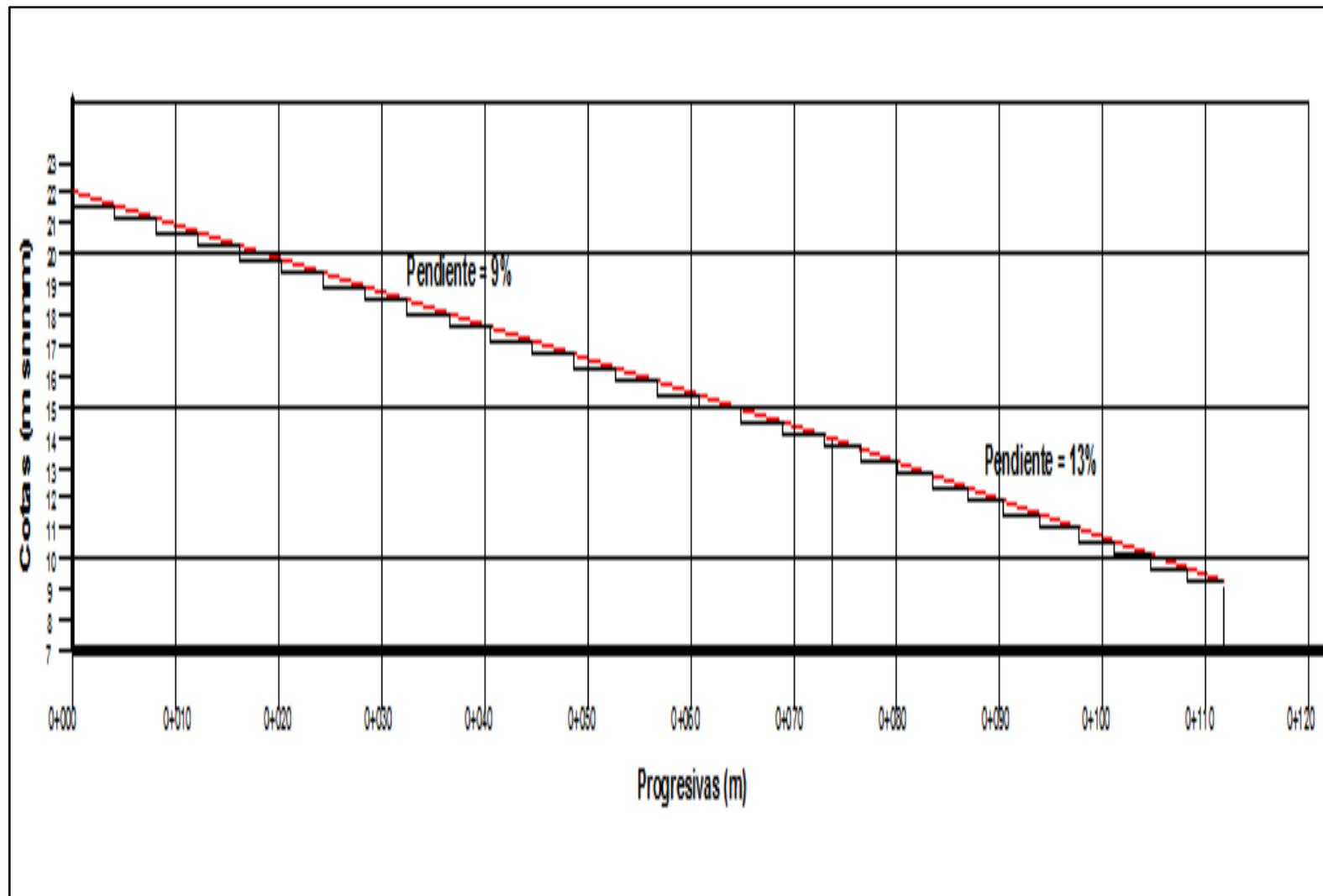


Figura 6.2 Perfil longitudinal tipo de la torrentera.

Finalmente, con el propósito de evitar la socavación que pudiese generar las escorrentías que drenen fuera de las torrenteras, se propone construir una protección de enrocado, en ambos lados de las mismas fijadas o ancladas con concreto desde una profundidad igual a la altura de la solera de cada torrentera.

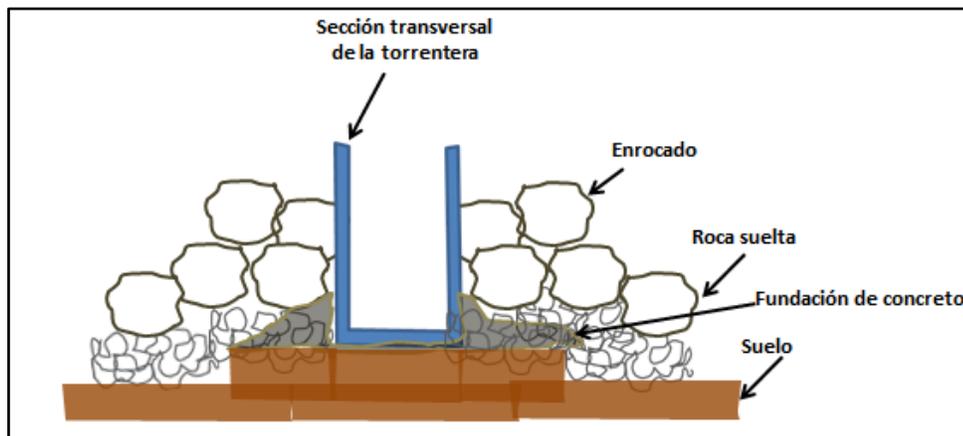


Figura 6.3 Sección transversal de la torrentera con protección de enrocado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Posterior al estudio y análisis de los cálculos correspondientes para el logro de los objetivos, se puede concluir que:

1. La zona de estudio presenta un régimen pluviométrico unimodal, definido por un tope de lluvia durante el año, ocurriendo en los meses del verano astronómico (junio, julio, agosto), asimismo la evaporación promedio anual de 1600 mm; aunado a eso la temperatura de condición de isoterma (alrededor de los 27°C); con base a ello, el área del proyecto se enmarca en la zona de vida Bosque seco Tropical (Bs-T), según la clasificación climática de Holdridge y como clima cálido tropical de sabana isotérmico (Awgi) de acuerdo a la clasificación de Koppen.
2. El área de la cuenca cuenta con 16.75 hectáreas equivalentes a 0.1675 km<sup>2</sup>. El relieve de la zona presenta sus mayores altitudes en el extremo este del urbanismo y las aguas de escorrentía seguirán patrones preferenciales de flujo en dirección hacia el oeste.

3. El caudal total drenado por el urbanismo, producto de las aguas pluviales, es de  $4.957 \text{ m}^3/\text{s}$  colectados en cuatro (4) puntos al oeste del urbanismo y que deberá ser conducido por la torrentera hasta la ubicación de su disposición final en los terrenos baldíos adyacentes al urbanismo.
4. Los parámetros hidráulicos están en función de las dimensiones de la torrentera, por lo que fue necesaria la determinación de la sección de acuerdo a los requerimientos de manejo de caudal, resultando una sección transversal rectangular que variará para cada torrentera de 0.55 m y 0.65 m y manteniendo un ancho de base (b) de 0.9 m promedio para todas las torrenteras. Asimismo, manteniendo una altura de huella de 0.5 m y una longitud de contra-huella de 1.54 m. debido al gasto que deben transportar. Finalmente, se estiman velocidades de flujo que no superaran los 3 m/s.
5. El trazado en planta de las torrenteras se realizó con el objeto de brindar el mejor desempeño para las condiciones existentes, destacando que su estructura inicia de a unas cotas entre los 18 y 19 m msnm, a una distancia entre 115 y 280 m del punto de descarga del urbanismo. Asimismo, se elaboró el perfil longitudinal que refleja las condiciones del talud el cual tiene una pendiente promedio de 0.01 m/m.

**Recomendaciones**

1. Se sugiere efectuar un estudio sobre la necesidad de construcción de una fosa disipadora de energía al pie de las torrenteras en consideración al incremento de las precipitaciones para períodos de retorno de 50 y 100 años.
2. Proponer un monitoreo y mantenimiento preventivo sistemático de la estructura de la torrentera que permita asegurar su integridad física y la capacidad hidráulica de la obra.

## REFERENCIAS

Arias, Fidas. (1999). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.55)

Arias, Fidas. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Quinta Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. (pp.143)

Aristizábal, V.; Botero, B.; Marulanda, A.; Parra, J. y Vélez, J. (2013). **DISEÑO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO DE OBRAS DE INGENIERÍA PARA PROYECTOS VIALES**. Editorial Blanecolor. Manizales, Colombia. Pp. 43 y 193

Arocha, Simón. (1983). **CLOACAS Y DRENAJES**. Ediciones Vega s.r.l. Caracas, Venezuela. (pp.263)

Bañon Blázquez, Luis (2000). **EL AGUA Y LA CARRETERA**. 4 de Abril de 2015. [[http://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/02010401.pdf](http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/02010401.pdf)]. (pp.1-4)

Bateman, Allen (2007). **HIDROLOGÍA BASICA Y APLICADA**. Grupo de Investigaciones en Transporte de Sedimentos. Colombia. (pp.70)

Beltran González, L. (2004). **HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS**. Primera edición. Editorial Ameco. Puerto la cruz, Venezuela. (p. 5)

Bolinaga, Juan. (1979). **DRENAJE URBANO**. Instituto nacional de obras. Caracas, Venezuela. (pp.399)

Breña A. y Jacobo M. (2006). **PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**. Editorial Casa Abierta al Tiempo. México. (pp.254)

Chereque, W. (2003). **HIDROLOGÍA PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL**. Segunda edición. Editorial Concytec. Lima, Perú. (pp.223)

Chow, Ven Te. (1994). **MANUAL DE HIDROLOGÍA APLICADA**. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.584)

Chow, Ven Te. (2000). **HIDROLOGÍA APLICADA**. Cuarta Edición. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.577)

Chow, Ven Te. (2004). **HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS**. Quinta Edición. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.655).

Chow, Ven Te. (2008). **HIDRÁULICA DE LOS CANALES ABIERTOS**. Editorial Nomos S.A. Colombia. (pp.655)

Comisión Estatal de Aguas de Querétaro (2000). **ALCANTARILLADO PLUVIAL**. 19 de Noviembre de 2015 [<http://www.ceaqueretaro.gob.mx>]. (pp.30).

Diccionario de la Real Academia Española (DRAE). (2012) **DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA**. 17 de abril de 2015. [<http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>]

Erazo, Adriana. (2004). [Servicio Nacional de Estudios Territoriales]. **REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS Y MEDIOS EN EL**

**SALVADOR.** 30 de septiembre de 2014.  
[<http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/caudales.pdf>]. (pp.21)

Finol M, Camacho H, (2006). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.** Universidad del Zulia. Zulia, Venezuela. (p. 77)

Garreaud, Réne (2005). **ATMÓSFERA, TIEMPO Y CLIMA.** 5 de Abril de 2015. [[http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases\\_Atmosfera/clase1\\_intro.pdf](http://mct.dgf.uchile.cl/CURSOS/Clases_Atmosfera/clase1_intro.pdf)]. (pp.12)

Hernández, C. y Polanco, A. (2006), **SANEAMIENTO HIDRÁULICO DEL SECTOR EL DESEPERO Y LÁGRIMAS VERDES DE LA POBLACIÓN DE CARRASQUERO, MUNICIPIO MARA, ESTADO ZULIA.** Trabajo de grado, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo. Pp 16 y 26.

Hernandez, M. (2003). **EL MANUAL DE TESIS DE GRADO Y ESPECIALIZACIÓN Y MAESTRÍA Y TESIS DOCTORALES DE LA UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA LIBERTADOR.** Tercera Edición. FEDUPEL. Caracas, Venezuela. (pp.245).

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). (2014). 20 de septiembre de 2014. Anzoátegui. [<http://www.inameh.gob.ve/>]

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2015). **XIV CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA DE ANZOATEGUI** 15 de febrero de 2015. [<http://www.ine.gov.ve/documentos/Demografia/CensodePoblacionyVivienda/pdf/anzoategui.pdf>]

Jiménez Escobar, Henry (1986). **HIDROLOGÍA BÁSICA.** 28 de Noviembre de 2015 [<http://www.univalle.edu.com>]. (pp.248)

Martin Domingo, Augustin (2011). **APUNTES DE TRANSMISIÓN DEL CALOR**. 3 de Abril de 2015 [ <http://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>]. (pp.53)

Martínez R., Hernán. (2023). **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES DEL AFLUENTE UBICADO EN LA CUENCA URBANA OESTE DE LA CIUDAD DE JULIACA, CON MODELOS DE FLUJO BIDIMENSIONAL PERMANENTE Y UNIDIMENSIONAL NO PERMANENTE**. Tesis de grado. Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/8217>

Martínez A. y Navarro, J. (1996). **HIDROLOGÍA FORESTAL: EL CICLO HIDROLÓGICO**. Universidad de Valladolid. Valladolid, España. (pp.286)

Ministerio de Transporte y Comunicaciones de Perú (2011). **MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRAULICA Y DRENAJE**. 2 de Diciembre de 2015 [ [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)]. (pp.222)

Rodríguez, P. (2008). **HIDRÁULICA DE CANALES**. Instituto tecnológico de Oaxaca. México. (pp 570)

Rocha, Arturo. (2002). **HIDRÁULICA DE TUBERÍAS Y CANALES**. Primera Edición. Lima, Perú. (pp 515)

Sabino, C. (1994). **COMO HACER UNA TESIS Y ELABORAR TODO TIPOS DE ESCRITOS**. Tercera Edición. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela. (pp.240)

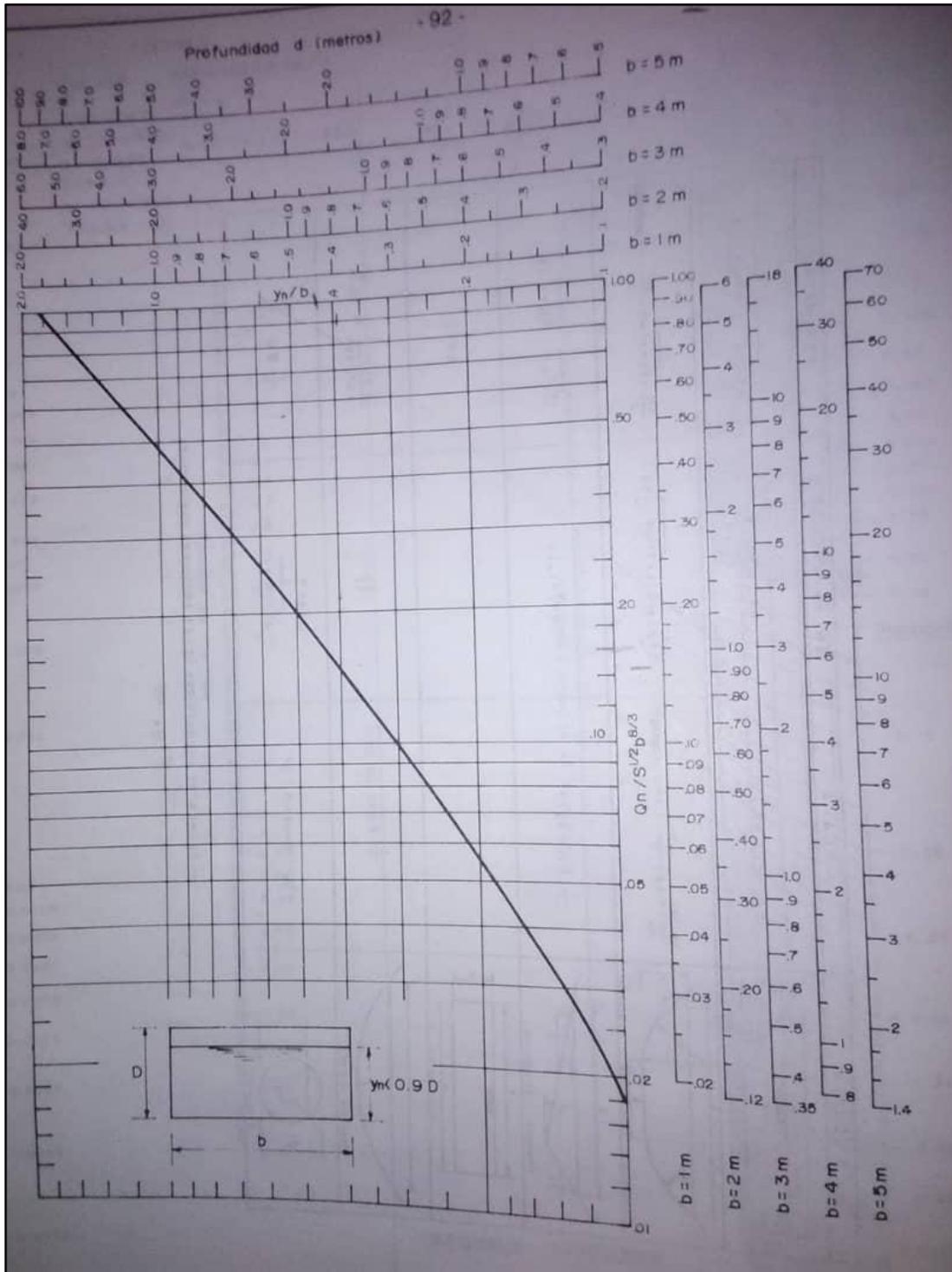
Shosinsky, G. y Losilla, M (2000). **MODELO ANALÍTICO PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN CON BASE EN LA LLUVIA MENSUAL**. [Revista Geológica de América Central] 30 de septiembre de 2014. [<http://www.latindex.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/viewFile/8579/8102>]. (pp.43-55)

Tamayo, M. (1997). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Segunda Edición. Editorial Limusa. Mexico. (pp.175)

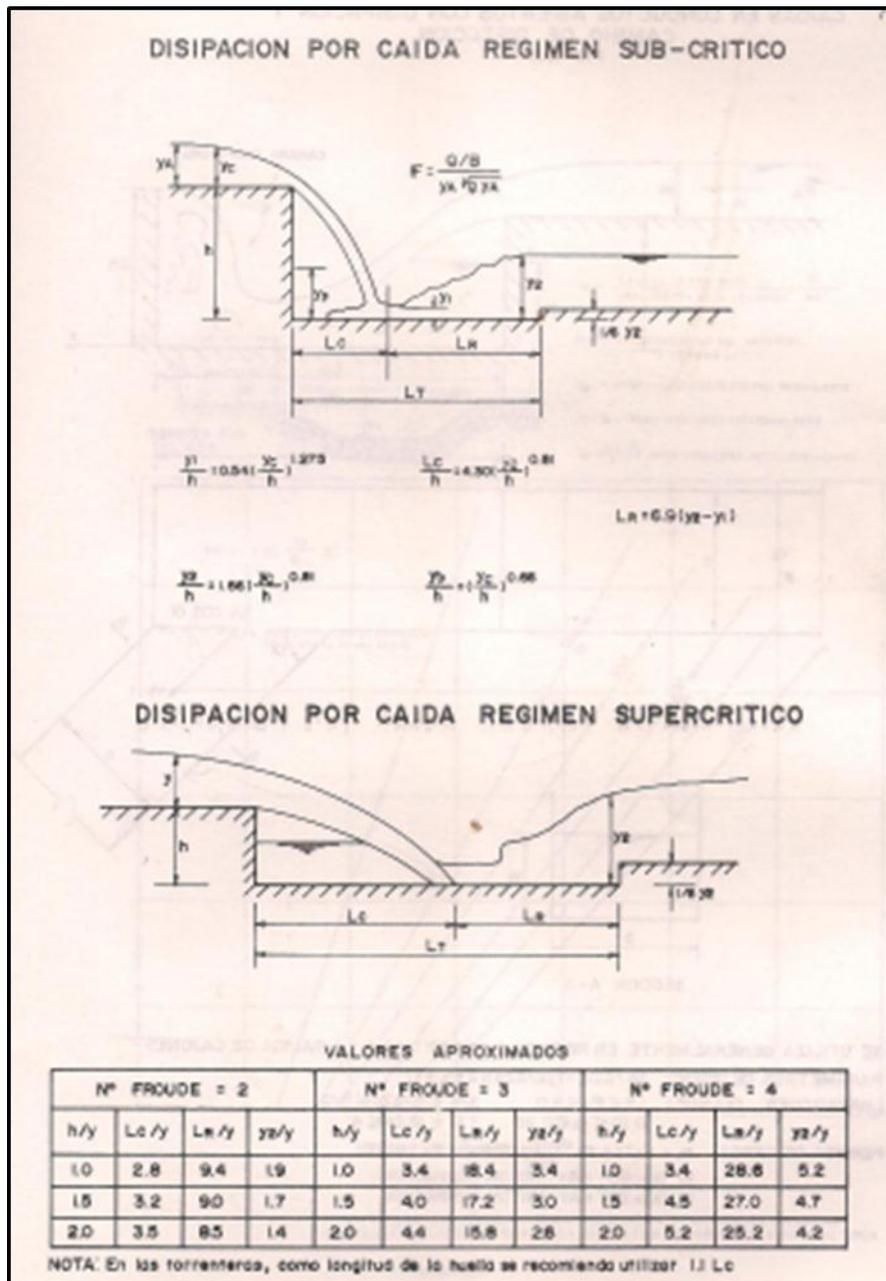
Tamayo, M. (1999). **EL PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA**. Segunda Edición. Editorial Limusa. Mexico. (pp.231)

## **APÉNDICES**

**APÉNDICE A**  
**GRÁFICOS PARA CÁLCULO DE TORRENTERA**



A.1 Profundidad normal. Secciones rectangulares (Camacho, 1996)



A.2 Estimación de disipación por caída. (Camacho, 1996)

**APÉNDICE B**  
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS**

Tabla B.1 Resultados del análisis granulométrico de la muestra M1 .

Muestra	Tamiz N°	Diametro De Tamiz (Mm)	Peso De Tamiz (Gr)	Tamiz+Suelo (Gr)	Suelo Retenido (Gr)	% Retenido	% Acumculado.	% Que Pasa
M-1	4	4.75	747.3	755.9	8.6	1.72	1.72	98.28
	10	2	643.2	649.8	6.6	1.32	3.04	96.96
	40	0.425	565.8	594.7	28.9	5.78	8.82	91.18
	60	0.25	511.7	856.7	345	69.03	77.85	22.15
	80	0.18	514.9	618.7	103.8	20.77	98.62	1.38
	100	0.149	395.7	399.9	4.2	0.84	99.46	0.54
	230	0.063	482.3	484.7	2.4	0.48	99.94	0.06
	PAN	0	483.7	484	0.3	0.06	100.00	0.00
					499.8	100.00		

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

<b>Título</b>	Modelamiento de los flujos que se producirán en los canales de drenaje de aguas pluviales de la urbanización Divino Niño en la población de Los Barrancos de Fajardo, Municipio Sotillo, Estado Monagas, Venezuela
---------------	--

### Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código ORCID / e-mail</b>	
Chaparro Sifontes María Victoria	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	mariaschaparro17@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
Martínez Pérez Aleixiliz Maire	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	martinezaleixiliz@gmail.com
	<b>e-mail</b>	

### Palabras o frases claves:

drenaje de aguas pluviales
diseño de torrenteras
drenaje urbano
modelamiento de sistema de drenaje

**Líneas y sublíneas de investigación:**

Área	Subárea
Departamento de Ingeniería Geológica	Ingeniería Geológica

**Resumen (abstract):**

**Resumen**

La presente investigación se desarrolla en el urbanismo proyectado denominado “Divino Niño”, ubicado en la población de Los Barrancos de Fajardo en el municipio Sotillo, estado Monagas, Venezuela. El objetivo general de la investigación es proponer un sistema de descarga final de las aguas de escorrentía pluvial provenientes desde el conjunto residencial “Divino Niño” hasta zonas adyacentes donde no causen daños mediante torrenteras. Para ello se aplicará una estrategia o diseño de campo y documental enmarcada dentro de esta investigación de tipo proyecto factible. Entre los objetivos específicos planteados se encuentra en primer lugar, la caracterización de la pluviosidad de la zona de estudio, la estimación de los caudales de diseño, la descripción de las condiciones topográficas y geotécnicas de los taludes, determinación de las condiciones del flujo a través de los taludes y finalmente, el diseño y alineamiento en planta y perfil longitudinal de las torrenteras, así como también sus secciones transversales. Una vez realizadas estas actividades, se estimó el caudal de drenaje para el diseño de las cuatro (4) torrenteras el cual varió entre  $0.9958 \text{ m}^3/\text{s}$  y un valor de  $1.2056 \text{ m}^3/\text{s}$ . El levantamiento topográfico de los taludes indicó una pendiente aproximada de 1.7% y un recorrido o distancia inclinada para cada torrentera de 115 m, 120 m, 126 m y 132 m respectivamente. Los taludes están compuestos por un (1) estrato constituido por arena fina limosa de color naranja. El modelamiento del comportamiento de los flujos a través de los taludes mostró que se desarrollarían flujos de naturaleza supercríticos con un número de Froude alrededor de 1.2 y velocidades inferiores a 3.5 m/s. Se diseñaron las torrenteras con una base de 0.9 m en ambos tramos, altura de solera de 0.65 m, una altura vertical mínima de contrahuella de 0.5 m y una longitud horizontal mínima de huella de 1.54 m para toda las torrenteras.

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

**Contribuidores:**

Apellidos y Nombres	ROL / Código ORCID / e-mail	
<b>Echeverría Díaz Dafnis José</b>	ROL	C <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input checked="" type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	dafnisecheverria2807@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
<b>Monteverde Francisco</b>	ROL	C <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	monteverdefr@gmail.com
	<b>e-mail</b>	
<b>Echeverría Coa Beatriz Carolina</b>	ROL	C <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/>
	<b>ORCID</b>	
	<b>e-mail</b>	beitacaro92@gmail.com
	<b>e-mail</b>	

**Fecha de discusión y aprobación:**

Año	Mes	Día
2025	04	03

**Lenguaje:** spa

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

**Archivo(s):**

<b>Nombre de archivo:</b>
NBOTTG_CSMV2025

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:** Los Barrancos de Fajardo, municipio (Opcional)  
Sotillo, estado Monagas, Venezuela.

**Temporal:** 1 año (Opcional)

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

Ingeniero Geólogo  
\_\_\_\_\_

**Nivel Asociado con el  
Trabajo:**

Pregrado  
\_\_\_\_\_

**Área de Estudio:**

Departamento de Ingeniería Geológica

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

Universidad de Oriente  
\_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

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

Estimado Profesor Martínez:

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

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



Publicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

**JUAN A. BOLANOS CUNDELA**  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Niveles, 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/YOC/manuja

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

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

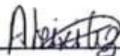
### Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y sólo podrán ser utilizadas a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización"



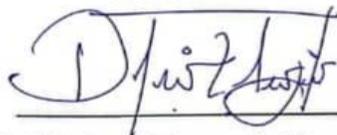
---

**María Victoria Chaparro Sifontes**  
**AUTORA**



---

**Aleixiliz Maire Martínez Pérez**  
**AUTORA**



---

**Dafnis José Echeverría Díaz**  
**TUTOR**