

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



MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LOS FLUJOS DE ESCORRENTÍA PLUVIAL QUE DRENAN A TRAVÉS DE UNA RÁPIDA ESCALONADA EN LA URBANIZACIÓN “VALLE ALTO” (C-2) DE CANTAURA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR LOS BACHILLERES ORTIZ B., ROBERTO A. Y YÁNEZ R., HELIANY M. PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO.

CIUDAD BOLÍVAR, AGOSTO 2022



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

ACTA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, titulado: “**MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LOS FLUJOS DE ESCORRENTÍA PLUVIAL QUE DRENAN A TRAVÉS DE UNA RÁPIDA ESCALONADA EN LA URBANIZACIÓN “VALLE ALTO” (C-2) DE CANTAURA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.**” presentado por los bachilleres: **ORTIZ B., ROBERTO A.** de cédula de identidad No **26.249.814** y **YÁNEZ R., HELIANY M.** de cédula de identidad No **24.707.679**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre y Apellido	Firmas
Profesor Dafnis J. Echeverría _____ (Asesor)	_____
Profesor Francisco Monteverde _____ (Jurado)	_____
Profesor Juan España _____ (Jurado)	_____
_____ Profra. Berenice Sandoval Jefe de Depto. de Ing. Geológica	_____ Prof. Francisco R. Monteverde S. Director de Esc. de Ciencias de la Tierra

Ciudad Bolívar, Agosto de 2022

DEDICATORIA

Este logro va dedicado especialmente a mis padres que estuvieron conmigo a lo largo de la carrera quienes me apoyaron y motivaron para que este sueño se hiciera realidad.

También se lo dedico a mi hermana por su ayuda a lo largo de este tiempo, igualmente se lo dedico a mis amigos y compañeros con los cuales compartí durante estos años de mi carrera universitaria.

Estoy enormemente agradecido con Dios por su ayuda y sabiduría para salir adelante y ayudarme a sacar el título de ingeniero geólogo.

Roberto Antonio Ortiz Bellizia

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor a mis padres Héctor Yánez y Maritza Rodríguez por incentivar me siempre a mirar al futuro, a intentarlo, a seguir y no desistir, a continuar y no renunciar, a soñar con un mejor mañana donde mi preparación académica es fundamental para cumplir mis metas, gracias Padres por su apoyo y bendiciones a diario.

A mi hermanita Camila Yánez para que le sirva de estímulo y continúe luchando por sus sueños.

A mis ángeles del cielo, mi Abuela Clara, mi abuelo Rafael y ti tía Noris quienes anhelaron ver materializado este triunfo pero lamentablemente tuvieron que irse sin celebrar conmigo esta victoria, para ustedes donde quiera que estén.

A mis amigos y compañeros presentes y pasados, quienes compartieron conmigo risas y penas, en los momentos especiales.

A todos ustedes les dedico mi Victoria.

Heliany Maritzel Yánez Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Nuestro profundo agradecimiento primeramente a Dios, nuestro ayudador, ya que sin su bendición y densa cobertura nada es posible en nuestras vidas, por lo tanto agradecemos que su Espíritu Santo sea escudo alrededor nuestro y nos permita su respaldo en cada paso que damos.

A nuestro tutor Prof. Dafnis Echeverría porque con sus sabias y acertadas asesorías y enseñanzas se ha ganado nuestro respeto y aprecio, brindándonos cada día herramientas de aprendizaje inspiradoras.

A nuestra Magna Casa de Estudios, la Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar por habernos acogido en sus espacios y designarnos docentes de la más alta calidad para guiarnos en la etapa universitaria.

A nuestros compañeros de estudio y todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a lograr este objetivo tan importante.

*Roberto Antonio Ortiz Bellizja
Heliany Maritzel Yánez Rodríguez*

RESUMEN

Durante la última década, la estatal petrolera decidió promover el desarrollo de conjuntos urbanísticos en diversas poblaciones ubicadas en la Faja Petrolífera del Orinoco, tal iniciativa obedecía a la necesidad de brindar alojamiento y facilidades logísticas a los trabajadores que desarrollarían el potencial energético presente en la citada zona al norte del río Orinoco. En ese sentido, se requieren diversos estudios tendientes al diseño adecuado de sistemas de drenaje para todos estos desarrollos urbanísticos, razón por la cual en la presente investigación se efectúa el modelamiento matemático de los flujos de aguas de escorrentía de carácter pluvial que drenan a través de una rápida escalonada desde la urbanización “Valle Alto” (C-2) ubicado en la población de Cantaura, en el municipio Pedro María Freites, estado Anzoátegui. En ese sentido, se analizará el comportamiento de la pluviosidad y de la escorrentía superficial dentro de la citada urbanización en la población de Cantaura. Este trabajo se enmarca en un tipo de investigación descriptiva en la cual se aplicará una estrategia de campo y documental. En primer lugar, se efectuó un reconocimiento de la zona para validar la revisión previa de las cuencas y subcuencas existentes en el área de estudio efectuadas en las cartas y mapas de la zona. Posteriormente, se recabó, a partir de las bases de datos hidrometeorológicas administradas por el INAMEH, los registros de pluviosidad de las estaciones cercanas al área de estudio. Se utilizaron las curvas IDF propuestas por el MOP (1967) y Arocha (1983). Por otra parte, se efectuó la delimitación de las cuencas urbanas la determinación de algunos de sus parámetros morfométricos tal como el área y el tiempo de concentración. Seguidamente se determinó el coeficiente de escorrentía ponderado y la determinación del caudal de escorrentía superficial que aportarán dichas subcuencas que pudieran afectar las obras civiles de drenaje urbano. De la aplicación de los procedimientos antes descritos se produjeron como resultados relevantes que el área de estudio drena las aguas pluviales en ocho (8) tramos de calles principales y 10 tramos de calles secundarias. La pluviosidad de la zona alcanza unos 1088 mm anuales. El coeficiente de escorrentía ponderado para cada una de las cinco subcuencas oscilo entre 0.32 y 0.71. La magnitud del caudal de las escorrentías aportadas por las subcuencas calculado por el método racional arrojó un total de 4.74 m³/s para todo el urbanismo. Este caudal será canalizado finalmente por una rápida escalonada que deberá vencer una altitud de 13.0 m y una distancia horizontal de 400 m en la cual se producirán flujos con velocidades dentro de lo permisible para coberturas de concreto pero que serán producto de la disipación de energía mediante escalones con una altura (h) máxima de 0.62 m y una longitud horizontal total mínima de 1.91 m.

CONTENIDO

Página

ACTA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xii
LISTA DE APÉNDICES	xiii
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	7
GENERALIDADES	7
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	7
2.1.1 Límites	7
2.2 Fauna y flora	10
2.3 Agricultura.....	10
2.4 Geología.....	11
2.5 Topografía.....	11
CAPÍTULO III	13
MARCO TEÓRICO	13
3.1. Antecedentes de la investigación.....	13
3.2 Bases Teóricas	14
3.2.1 Precipitación	15
3.2.2 Evaporación	25
3.2.3 Escurrimiento.....	26
3.2.4 Temperatura.....	30

3.2.5 Radiación solar	31
3.2.6 Humedad atmosférica	32
3.2.7 Viento	33
3.2.8 Infiltración	34
3.2.9 Caudales de drenaje	36
3.2.10 Sistemas de recolección de aguas de lluvia	37
3.3 Definición de términos básicos	39
3.3.1 Anemómetro	39
3.3.2 Atmósfera	40
3.3.3 Caudal	40
3.3.4 Convección	40
3.3.5 Cauce	40
3.3.6 Cuenca	40
3.3.7 Cuenca Hidrográfica	41
3.3.8 Ciclo Hidrológico	41
3.3.9 Coeficiente	41
3.3.10 Coeficiente de Escorrentía	41
3.3.11 Drenaje	41
3.3.12 Embalse	42
3.3.13 Hidrología	42
3.3.14 Inercia	42
3.3.15 Impermeabilidad	42
3.3.16 Lluvia	42
3.3.17 Orografía	43
3.3.18 Perfil Longitudinal	43
3.3.19 Perfil Transversal	43
3.3.20 Subcuenca	43
3.3.21 Termógrafo	44
3.3.22 Turbulento	44
3.3.23 Variable	44
3.3.24 Vertedero	44
CAPÍTULO IV	45
METODOLOGÍA DE TRABAJO	45
4.1 Tipo de investigación	45
4.2 Diseño de investigación	45
4.2.1 Investigación de campo	45
4.2.2 Investigación documental	46
4.3 Población y muestra de la investigación	46
4.3.1 Población de la investigación	46
4.3.2 Muestra de la investigación	47
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
4.4.1 Técnicas para la recolección de datos	47

4.4.1.1 Observación directa	48
4.4.2 Instrumentos para la recolección de datos	48
4.5 Flujograma de la investigación	48
4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos.....	49
4.6.1 Recopilación de la información bibliográfica.....	49
4.6.2 Caracterización pluviométrica del área de estudio	49
4.6.3 Identificar las subcuencas hidrológicas urbanas.....	50
4.6.4 Determinación del coeficiente de escorrentía ponderado	50
4.6.5 Estimación de los caudales de diseño	50
4.6.6 Caracterización geométrica e hidráulica de los flujos y elementos de drenaje final.....	50
CAPÍTULO V	51
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
5.1 Descripción de las características climatológicas de la zona de estudio .	51
5.1.1 Temperatura.....	52
5.1.2 Precipitación	52
5.1.3 Radiación solar	54
5.1.4 Humedad.....	55
5.1.5 Vientos.....	56
5.2 Delimitación de la zona de captación en el área.....	57
5.2.1 Área tributaria.....	58
5.3 Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado.....	59
5.4 Caudal de la cuenca y subcuencas.....	62
5.4.1 Intensidad de lluvia.....	62
5.5 Definir el trazado en planta y perfil longitudinal de la torrentera	64
5.6 Determinar los parámetros geométricos e hidráulicos de la torrentera ..	66
5.6.1 Ancho de la solera o base (b).....	66
5.6.2 Profundidad normal (y_n) y profundidad crítica (y_c)	66
5.6.3 Parámetros hidráulicos y geométricos de la sección transversal	67
5.6.4 Huella y contrahuella de la torrentera.....	68
CAPÍTULO VI.....	71
LA PROPUESTA	71
6.1 Objetivo de la propuesta	71
6.2 Alcance de la propuesta.....	71
6.3 Justificación de la propuesta.....	71
6.4 Metodología de trabajo	72
6.5 Propuesta de la torrentera	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
Conclusiones.....	76

Recomendaciones	77
REFERENCIAS	78
APÉNDICES	81

LISTA DE FIGURAS

Página

2.1	Ubicación nacional de la población de Cantaura.....	8
2.2	Ubicación regional del municipio Pedro María Freites.....	9
2.3	Ubicación relativa del área de estudio.....	9
3.1	Esquema de curvas IDF.....	20
3.2	Curvas IDF de la región hidrológica III.....	25
4.1	Flujograma de la investigación.....	49
5.1	Resumen climático de la zona de Cantaura (Weather Spark, 2016).	52
5.2	Temperaturas máximas y mínimas en Cantaura (Weather Spark, 2016).....	53
5.3	Promedio de horas de luz solar (Weather Spark, 2016).....	54
5.4	Promedio mensual de humedad en Cantaura (Weather Spark, 2016).	56
5.5	Velocidad promedio del viento en Cantaura (Weather Spark, 2016).	57
5.6	Esquema geométrico del urbanismo.....	58
5.7	Trazado en planta de la rápida escalonada (línea azul).....	65
5.8	Estimación de parámetros preliminares de la rápida mediante la aplicación HCANALES.....	68
6.1	Sección transversal típica de la rápida escalonada.....	72
6.2	Perfil longitudinal idealizado de la torrentera.....	73
6.3	Ejemplo negativo de torrentera socavada por las aguas de escorrentía	74
6.4	Vista lateral de la torrentera en situación de inundación con la protección de enrocado propuesta.....	74

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1 Meridianos y paralelos UTM que limitan el área de estudio en Cantaura.....	8
3.1 Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).....	29
3.2 Zonificación y Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).....	29
5.1 Identificación de sub-parcelas que drenan dentro del urbanismo.....	59
5.2 Coeficientes de escorrentía (Parcelas I a IV).....	60
5.3 Coeficientes de escorrentía (Zona V a VIII).....	61
5.4 Cálculo hidráulico de drenajes por parcela.....	64
5.5 Parámetros geométricos e hidráulicos de la sección transversal de la rápida.....	67
5.6 Valores establecidos para el cálculo de torrenteras (Camacho, 1996).	68

LISTA DE APÉNDICES

A	TABLAS Y GRÁFICAS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES.....	77
	A.1 Coeficiente de escorrentía y zonificación	78
	A.2 Curvas IDF de la región hidrológica III (MOP, 1967).....	78
B	MAPAS DEL URBANISMO.....	79
	B.1 Mapa de la propuesta urbana con curvas de nivel.....	80
	B.2 Diseño del urbanismo modelo insertado en la topografía.....	80
	B.3 Delimitación de las parcelas.....	81
	B.4 Líneas de flujo de escorrentía en el urbanismo.....	81

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de esta investigación es el de efectuar el modelamiento de los flujos de escorrentía pluvial que se producen a través de una rápida escalonada o torrencera por las aguas desalojadas desde la urbanización “Valle Alto” (C-2) en la población de Cantaura en el estado Anzoátegui. Entre los propósitos del análisis estará la delimitación de las subcuencas de drenaje, su coeficiente de escorrentía ponderado y los caudales que drenarán estas subcuencas lo cual es de vital importancia para diseñar los futuros sistemas de drenaje de aguas pluviales cónsonos con las realidades climáticas y las características volumétricas de los escurrimientos de aguas pluviales que se desarrollarían en las cuencas del área de estudio que incidirían en las condiciones de drenaje de la citada población. Finalmente, se caracterizarán los flujos que serán conducidos por la obra de drenaje tipo rápida escalonada que se propondrá para el desalojo disposición final de las aguas.

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

El Capítulo I. Situación a investigar: está conformado por el planteamiento del problema, objetivos, justificación, alcance y limitaciones 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 trabajo: trata sobre la metodología donde se describe el tipo de investigación, su diseño, la población y muestra de la investigación, el flujograma y el procedimiento para el logro de los objetivos.

En el Capítulo V. Análisis e interpretación de los resultados: se presentan los resultados de la investigación.

En el Capítulo VI, se presenta la propuesta de la torrentera con sus detalles dimensionales y geométricos.

Finalmente, se presentan las Conclusiones y recomendaciones como resultado de los hallazgos relevantes que se obtuvieron durante la investigación

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

La problemática de las aguas de escorrentía pluvial en zonas urbanas tradicionalmente se ha enfrentado de manera de drenar y evacuar rápidamente los posibles excesos conduciéndolos mediante redes de colectores hacia el cauce natural más cercano. Recientemente se han planteado algunas observaciones ambientales a este esquema debido a los impactos que esta práctica produce en el sistema natural de drenaje hacia aguas abajo de los lugares de descarga, fundamentalmente en relación al incremento de los riesgos de inundación y el aumento de erosión y sedimentación en los cauces. Adicionalmente también se cuestiona que el enfoque tradicional afecta el balance hídrico natural, causa efectos de choque por la descarga concentrada de contaminantes, o contribuye al mal funcionamiento de unidades de tratamiento en el caso de sistemas que reciben flujos contaminados de aguas servidas y aguas lluvias. En respuesta a estos problemas algunas comunidades han propuesto un tratamiento distinto basado en la disposición local, más cerca de las fuentes de las aguas lluvias. Eso se logra infiltrando total o parcialmente las aguas lluvias, o almacenándolas para evacuarlas con posterioridad a las tormentas de manera de disminuir el volumen y los gastos máximos durante las tormentas. En el ambiente técnico este esquema se conoce como de control en la fuente.

No deja de reconocerse que aun con la mayor información disponible, la magnitud del caudal de diseño en un determinado sitio y momento puede ser superado por un suceso inesperado, ya que la estimación de la intensidad, duración y frecuencia de una lluvia, es un factor medido en términos de probabilidad de ocurrencia, medida sobre estadísticas de registros pluviométricos de la región, tomando en cuenta además, la

importancia de cada sector, los posibles daños que genere y el costo de las obras necesarias para ello.

Actualmente en la población de Cantaura, en el municipio Pedro María Freites del estado Anzoátegui se construirán dos (2) desarrollos urbanísticos denominados: “La Ciénaga” y “Valle Alto” (C-1 y C-2, respectivamente) las cuales no tienen previsto un adecuado sistema de drenaje, esta situación ha motivado llevar a cabo trabajos de grado cuyo objetivo principal esté enfocado en el diseño preliminar del sistema de drenaje que recogerá las aguas pluviales.

En esta investigación se efectuará el modelamiento matemático de los flujos de aguas de escorrentía pluvial que aportará la superficie urbanizada de la urbanización “Valle Alto” (C-2) y serán dispuestas finalmente a través de una rápida escalonada (torratera). Estas estimaciones serán fundamentales para el diseño futuro de un adecuado sistema de drenaje de las mencionadas aguas pluviales. En vista de ello, cabe plantearse las siguientes interrogantes de investigación:

Ante las situaciones antes mencionadas surgen las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son las características pluviométricas en el área de estudio que podrían afectar directa o indirectamente el proyecto?

¿Cuál es el límite de las cuencas y subcuencas urbanas que drenarán en la urbanización “Valle Alto” de la población de Cantaura?

¿Cuál es el coeficiente de escurrimiento que corresponde a la zona de captación del área en estudio?

¿Cuál será la magnitud del caudal de escorrentía de aguas pluviales que aportaría la cuenca y sub cuencas presentes en la zona?

¿Cuáles serán las condiciones de los flujos que se drenarán a través de la rápida escalonada propuesta?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Efectuar el modelamiento matemático de los flujos de escorrentía pluvial que drenarán a través de una rápida escalonada de las aguas desalojadas desde la urbanización “Valle Alto” (C-2) en la población de Cantaura, municipio Pedro María Freites, estado Anzoátegui, Venezuela.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar climáticamente el área de estudio.
2. Delimitar las cuencas y sub cuencas que aportarán aguas de escorrentía al sistema de drenaje del área en estudio.
3. Estimar el coeficiente de escorrentía ponderado de las cuencas y subcuencas urbanas presentes en el área de estudio.
4. Determinar los caudales de escorrentía pluvial con base a las características de la pluviosidad, de los tiempos de concentración y de las características físicas de las cuencas.

5. Modelar los flujos de escorrentía pluvial que se producirán a través de la obra civil de drenaje propuesta.

1.3 Justificación de la investigación

Para el buen diseño de las obras civiles de drenaje de los urbanismos, infraestructuras civiles y poblaciones en general es de vital importancia la determinación de los caudales de diseño o de drenaje de las cuencas, con base a las características de las precipitaciones y las condiciones del relieve. La inobservancia de estas condiciones acarreará sin lugar a dudas, diseños deficientes que no serán capaces de drenar adecuadamente las aguas de escorrentía de origen pluvial. Siendo este el caso específico del conjunto urbanístico “Valle Alto” (C-2) en Cantaura, el cálculo de los caudales de aguas de escorrentía de origen pluvial son de vital importancia.

1.4 Alcance de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se identificarán las cuencas hidrológicas urbanas que aportarán escorrentías de aguas de lluvia y que se encuentran en el área de estudio. Así mismo, se analizarán las características de las precipitaciones máximas ocurridas en el área de estudio durante un período aproximado de 30 años, medidas y registradas en una estación pluviográfica ubicada en las cercanías de la zona de interés. Posteriormente, se estimará el coeficiente de escorrentía ponderado de acuerdo al uso del suelo y los caudales de drenaje de aguas de lluvia que afectaran el urbanismo. Como aspecto final se modelarán los flujos que se producirán a través de la rápida escalonada propuesta.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El municipio Pedro María Freites es uno de los 21 municipios que forman parte del estado Anzoátegui, Venezuela. Está ubicado en la zona central de dicho Estado, localizado en las coordenadas geográficas: 09° 18' 40" de Latitud Norte y 64° 21' 34" de Longitud Oeste. Cuenta con una superficie total de 7.850 km²¹ de extensión territorial. Está dividido en cuatro (4) parroquias, las cuales son las siguientes: Santa Rosa, Úrica, Libertador y Cantaura; siendo Cantaura la capital del municipio, donde se establece el núcleo del Gobierno Municipal. La población total del municipio es de 89.552 habitantes,² distribuidos en 30.000 habitantes en la zona rural y 40.000 habitantes en la zona urbana, teniendo una superficie urbana de 10,30 km²

Las altitudes en el casco urbano oscilan entre los 261,64 msnm, en la Plaza Guevara y Lira, 251.00 en la Plaza Bolívar; 255.49 en el Grupo Escolar Guevara y Lira y 258.53 metros sobre el nivel del mar, en la Plaza Primero de Mayo.

2.1.1 Límites

Al norte limita con la población de Santa Rosa de Ocopi y Anaco.

Al este fronteriza con la población de Santa Rosa de Ocopi y limita con el estado Monagas.

Al sur con San Tomé, El Tigre y Guanipa.

Al oeste San Joaquín y Santa Ana.

Tabla 2.1 Meridianos y paralelos UTM que limitan el área de estudio en Cantaura

Coordenadas UTM, (elipsoide WGS-84. Huso 20)		Observaciones
Meridiano	Paralelo	Observaciones
	1031121	Límite norte
	1030746	Límite sur
351947		Límite este
352440		Límite oeste

WWW



Figura 2.1. Ubicación nacional de la población de Cantaura.

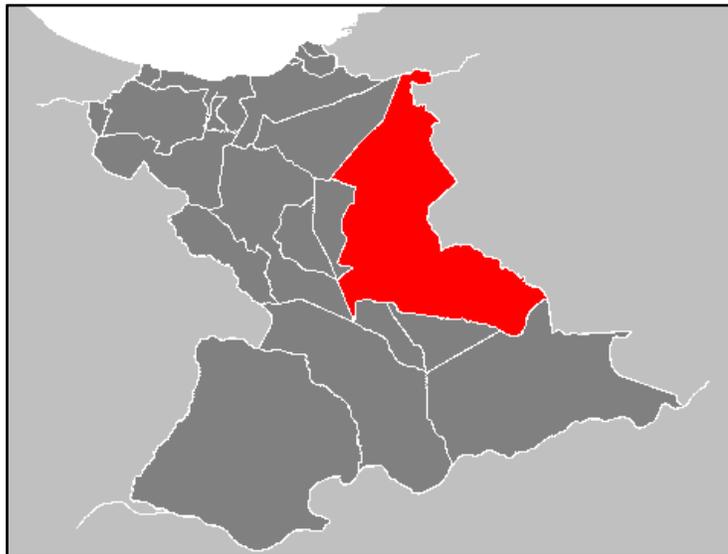


Figura 2.2. Ubicación regional del municipio Pedro María Freites.

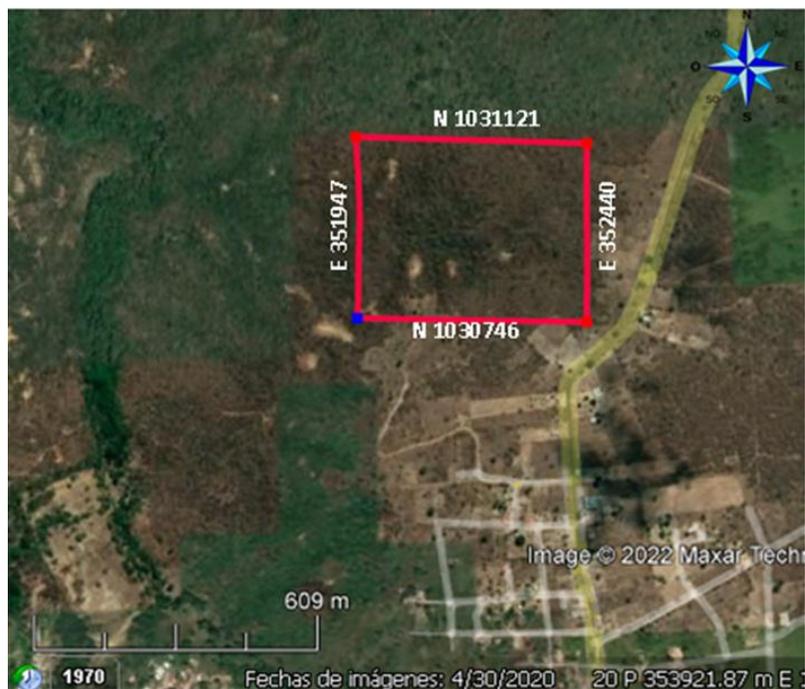


Figura 2.3. Ubicación relativa del área de estudio.

2.2 Fauna y flora

Su fauna lo constituye su gran variedad de aves, tales como: arrendajos, turpiales, pericos, loros, etc. Los animales de cacería que se encuentran en el municipio podemos nombrar: Iguanas, chigüiros, venados, lapas, acures; aunque la cacería indiscriminada mantienen a estos animales escasos en la zona. En cuanto a la flora la especie de árboles madereros, que más abundan es el aceite, pilón, algarrobo, roble y el araguaney. Entre los frutales se encuentran el merey, mango, guácimo sarrapia, merecure, querebero, entre otros.

2.3 Agricultura

El municipio Pedro María Freites, es un municipio de importancia agrícola (actualmente). La base de su economía ha sido tradicionalmente la ganadería que ocupó uno de los niveles más altos hasta llegar a ser una de las rutas ganaderas importante para embarcar el ganado que se enviaba a las islas del Caribe. A las orillas del Orinoco, tanto por el puerto de Soledad como el puerto de Botalón se embarcaron grandes cantidades de ganados provenientes de Anzoátegui, Monagas, Guárico y otras zonas del estado Bolívar. En el Municipio existe una diversidad de cultivos siendo de mayor importancia por sus mismas condiciones geográficas los cultivos de patilla, melón, algodón, frijol, además se encuentran cultivos anuales y permanentes como yuca, mango, aguacate, onoto, sarrapia, anón y otros frutales. En época de sequía escasea el pescado y la caza, dedicándose un sector importante de la población, a la agricultura en las diferentes islas que se encuentran en el río, las siembras más comunes: patilla, melón, frijol, algodón.

2.4 Geología

Según el Léxico Estratigráfico de Venezuela, publicado por el Ministerio de Energía y Minas, en (1970):

Los llanos de Venezuela Oriental presentan mayor diversidad geomorfológica por influencia de su geología. El manto pleistoceno (formación Mesa) ha sido removido por erosión en gran parte de Guárico y en Anzoátegui suroriental, y las formaciones arcillosas del Mioceno así expuestas producen una topografía caracterizada por un drenaje más complejo, reticular y dendrítico y en consecuencia, más disecada que las monótonas mesas del este, centro y sureste de Anzoátegui y Monagas sub-central.

La zona erosionada termina hacia el este en una notable línea de farallones indentados que se extiende de sur a norte, siempre mal drenadas, frecuentemente con drenaje centrípeto hacia una depresión central o axial.

Estas suelen estar bordeadas por los farallones abruptos que constituyen el cauce mayor de los morichales o de los grandes ríos, de curso generalmente oeste-este. (p. 16-17)

2.5 Topografía

Para fines de este informe, las coordenadas geográficas de Cantaura son latitud: 9,306°, longitud: -64,358°, y elevación: 263 m.

La topografía en un radio de 3 kilómetros de Cantaura contiene solamente variaciones modestas de altitud, con un cambio máximo de altitud de 64 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 239 metros. En un radio de 16 kilómetros

contiene solamente variaciones modestas de altitud (159 metros). En un radio de 80 kilómetros contiene variaciones grandes de altitud (1.471 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros de Cantaura está cubierta de pradera (58 %), árboles (18 %), tierra de cultivo (12 %) y arbustos (11 %), en un radio de 16 kilómetros de pradera (64 %) y árboles (26 %) y en un radio de 80 kilómetros de pradera (61 %) y árboles (25 %).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

Para obtener información documental del tema de investigación es necesario hacer referencias a investigaciones anteriormente realizadas, relacionados con el tema en estudio, con la finalidad de comparar y ampliar la información. A continuación se citaron los siguientes proyectos de grado:

Cedeño y Guerra (2010), en su trabajo de grado “**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RED DE AGUAS PLUVIALES ADYACENTES AL CANAL DE CINTURA EXISTENTES 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 las aguas pluviales en el canal siguiendo una metodología descriptiva utilizaron información de CVG Tecmin, C.A. a partir de estos datos pudieron conocer el material, sección transversal y perímetro mojado, con el cual se pudo calcular el radio hidráulico y el 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 hidrograma triangular según las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF), reflejando como resultado un perímetro mojado de 9.20 m, un radio hidráulico de 0.57 m y el caudal máximo de 29.95 m³/seg. 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 se considera relevante para la presente ya que pone de manifiesto el método racional para el cálculo de los caudales generados por áreas tributarias.

Casella (2009), en su trabajo de grado titulado “**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE AGUAS DE LLUVIA, PARA LA ZONIFICACIÓN COMPRENDIDA ENTRE LOS SECTORES DAVID MORALES Y LOS POLICÍAS, MUNICIPIO HERES, CIUDAD BOLÍVAR, ESTADO BOLÍVAR**”, evaluó la posibilidad de proyectar distintas obras de drenaje para la zona de estudio. Utilizó información facilitada por los organismos como la alcaldía del municipio Heres, la Corporación Venezolana de Guayana CVG, el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas (MPPEA) jurisdicción caracas, que fueron necesarios para la determinación de datos topográficos, pluviométricos, cartográficos e hidráulicos para el estudio de las aguas de escorrentía de las zonas. Los resultados demostraron un caudal de diseño de 14.113,74 lps, un área total de drenajes de 75,55 ha. Este concluyo que para el diseño se necesitan 288 estructuras de captación de aguas pluviales las cuales serán sumideros de ventanas que estarán localizados en brocales y 31 sumideros de rejillas en sentido vertical a los sumideros de ventana de cada tramo. La investigación citada anteriormente se relaciona con la presente ya que para ambas son necesarias datos que son proporcionados por entes públicos y privados.

3.2 Bases teóricas

Chow, V, (2000) establece expresamente como parámetros climatológicos hidrológicos vitales que intervienen en el balance hídrico, los siguientes: precipitación, evaporación. Temperatura, insolación, humedad relativa velocidad de los vientos, el escurrimiento y la infiltración, entre otras. En ese sentido, se describen a continuación cada una de estas variables.

3.2.1 Precipitación

La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masa de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre el frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica. Las celdas convectivas se originan por el calor superficial, el cual causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostienen por el calor latente de vaporización liberado a medida que el vapor del agua sube y se condensa.

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

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

3.2.1.1 Intensidad-duración y frecuencia de las lluvias.

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

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

La frecuencia se denota por tanto como

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

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

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

❖ **Intensidad de las lluvias:** la intensidad de una lluvia se define como el volumen de agua que precipita por unidad de tiempo, y generalmente se expresa en mm/h, mm/min, mm/sg/ha o lt/sg/ha. En el diseño de alcantarillados, generalmente se utiliza la unidad lt/sg/ha, sin embargo, muchas estaciones pluviográficas reportan sus datos en mm/h, por lo cual conviene tener presente el factor de conversión:

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

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

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

Las normas INOS establecen en su artículo 3.14.1 lo siguiente:

“El tiempo de duración que debe considerarse para la determinación de la intensidad de lluvia, no será inferior a 5 minutos. En cada caso se fijará el tiempo de precipitación, de acuerdo a las condiciones locales”
(p. 207)

3.2.1.2 Curva de intensidad duración y frecuencia (IDF)

Chow (1994), señala que se pueden definir como patrones de conductas pluviométricas que registra sobre un área o región específica y que resultan de unir los puntos más representativos de la intensidad media en intervalos de diferente

duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno, representando las duraciones en abscisas y las intensidades en las ordenadas. (p. 27).

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

La construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), según diversos autores, plantean distintas formas o métodos para su construcción. Para Aparicio (1997) existen dos métodos; el primero, llamado de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología.

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

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

Donde k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple, y en tanto que I y d corresponden a la intensidad de precipitación y la duración, respectivamente. Por otra parte, Chow *et al* (1994), plantean dos formas de trabajar con las curvas. La primera, utiliza un análisis de frecuencia de la lluvia, considerando para ello una función de distribución de probabilidad de valor extremo como la función Gumbel. El segundo método, expresa las curvas IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. Wenzel (1982), citado por Chow *et al* (1994), dedujo para algunas ciudades de los Estados Unidos, algunos coeficientes para utilizarlos en una ecuación (3) de la forma:

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

Donde I es la intensidad de lluvia de diseño, y T_d la duración, en tanto c , e y f son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno. Por otro lado, Varas y Sánchez, citado por EULA (1993), han propuesto otra metodología para el diseño de las curvas IDF. Dicho procedimiento plantea la siguiente expresión (4) para estimar la intensidades máximas, para distintos períodos de retorno y duraciones:

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

Donde:

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

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

$P_{10,D}$ = Lluvia Máxima diaria con 10 años de período de retorno.

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

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

Entonces, la intensidad máxima (5) de precipitación queda dada por:

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

Donde:

d = Duración en hr.

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

Otra forma o método para determinar las curvas IDF, es el que se presenta en este documento, y corresponde al que ha planteado Témez (1978), el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con el propósito de graficar la relación entre las tres variables (Intensidad- Duración –Frecuencia), y cuyo esquema de la curva IDF es el siguiente:

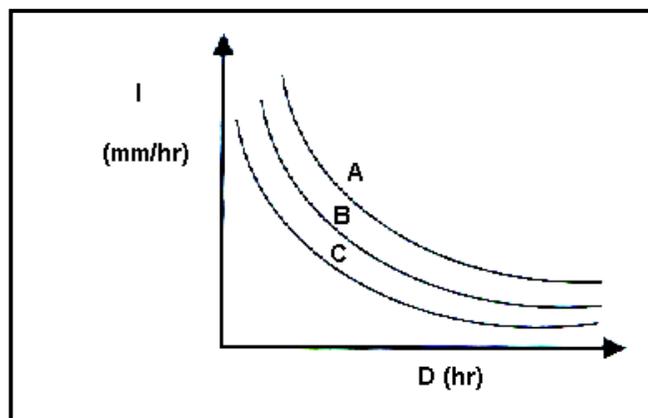


Figura 3.1 Esquema de curvas IDF

Con:

D = Duración en horas.

I = Intensidad de precipitación en mm/hr.

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

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

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

❖ Selección de las estaciones pluviográficas: en las Región Hidrológica III de Venezuela se deben seleccionar las estaciones climatológicas que se encuentren ubicadas a menos de 80 km de la zona en estudio (de acuerdo a las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial). Para la selección de estas estaciones se tomará como criterio el tipo, cantidad y periodicidad de los datos.

❖ Recolección de la información requerida: los datos pluviométricos e información necesaria para el desarrollo de esta investigación, fueron aportados por el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMEH).

Los antecedentes facilitados por dicha institución, fueron a través de los datos registrados de las precipitaciones diarias y horarias que se encuentran disponibles en la página web: www.inameh.gob.ve.

❖ Selección de intensidades máximas: en esta etapa se analizaron los registros pluviométricos de la estación San Diego de Cabrutica. , para lo cual se realizaron diversos muestreos. Se partió con mediciones de 08:00 hr de la mañana de un día hasta las 08:00 hr. del día siguiente, para una duración de 24 horas; luego, fue necesario desplazarse en intervalos de tiempo de forma discreta y estable, utilizando para ello cuñas, con el propósito de ir seleccionando para cada año los valores extremos de precipitación para tiempos de 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas, analizándose los principales chubascos diferentes observados durante el período analizado. Posteriormente, se tomaron los valores de cada una de las series y se dividirán por su duración D en (horas), obteniéndose así las intensidades en mm/ hr.

❖ Ajuste de los datos con una función de distribución de probabilidad: una vez calculadas las intensidades máximas horarias de precipitación para cada año, fue necesario asignar a cada duración de lluvia seleccionada un período de retorno, para luego ajustar dichos valores a la Función de Distribución de Probabilidad de valor

extremo tipo I como la función Gumbel. Esta función de distribución de probabilidad se define en la ecuación (1) como:

$$F(X) = \text{IP}(E \leq X) = e^u \quad \wedge \quad u = -e^{-\sigma(X-\mu)}; \quad (3.8)$$

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

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

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

❖ Análisis estadístico: una vez diseñadas las curvas IDF para la estación elegida, se procede a analizar el comportamiento de las variables involucradas en este estudio, relacionando simultáneamente las tres variables en una familia de curvas, de modo de representar la relación de la intensidad, duración y la frecuencia no sólo en forma gráfica, sino que también en forma analítica, para lo cual se utilizó la ecuación (2) propuesta por Aparicio (1997), la cual ha sufrido una modificación, quedando expresada de la siguiente forma:

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

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

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

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

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

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

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

para lo cual se utiliza la ecuación (8) propuesta por Aparicio (1997), la cual ha sufrido una pequeña modificación, a saber:

$$I = kT^m / D^n \quad (3.11)$$

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

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

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D \quad (3.12)$$

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad (3.13)$$

Donde:

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

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

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

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

Según el MOP (1967) en Arocha (1983), las curvas de intensidad –duración– frecuencia que serán utilizadas para la zona de estudio, se encuentra en la región III, la cual se muestra a continuación:

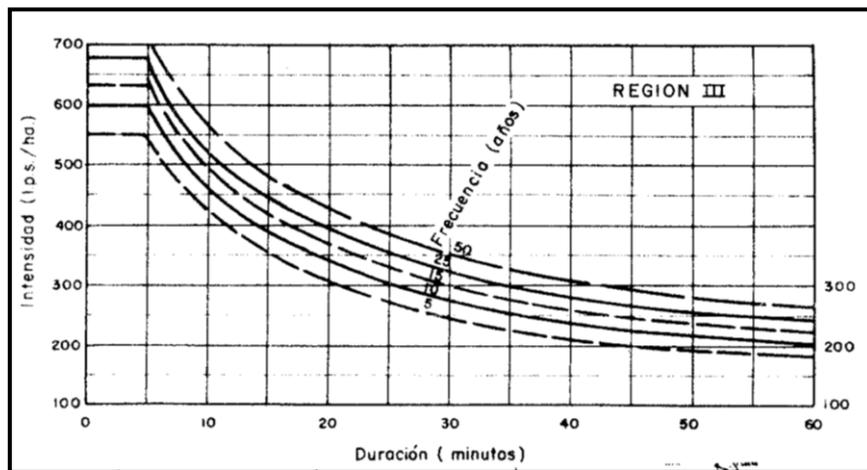


Figura 3.2 Curva IDF de la región III (MOP, 1967 en Arocha, 1983).

3.2.2 Evaporación

Los dos factores principales que influyen en la evaporación desde una superficie abierta de agua son el suministro de energía para proveer el calor latente de vaporización, y la habilidad para transportar el vapor fuera de la superficie de evaporación. La radiación solar es la principal fuente de energía calórica. La habilidad de transporte del vapor fuera de la superficie de evaporación depende de la

velocidad del viento sobre la superficie y del gradiente de humedad específica en el aire por encima de ella.

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

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

3.2.3 Esguerrimiento

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

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

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

3.2.3.1 Estimación del coeficiente de escorrentía.

Martínez de Azagra & Navarro (1996), establece que el coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo; del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, micro-relieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la intercepción que provoque; del lapso de tiempo que consideremos (minutos, duración del aguacero, horas, días, meses, un año), etcétera. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre cero y uno. (p. 41)

Según Bateman (2007), se denomina coeficiente de escorrentía C , a la relación promedio entre el volumen de agua que escurre superficialmente V_e , en una cuenca a lo largo de un período de tiempo, dividido por el volumen total precipitado V_p .

$$C = \frac{V_e}{V_p} \quad (3.14)$$

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

El volumen escurrido medio en la cuenca por unidad de tiempo es el caudal medio medido en la cuenca y t : es la duración del evento. (p. 41).

$$C = \frac{V_e/t}{V_p/t} = \frac{Q}{iA} \quad (3.15)$$

El tipo de superficie y sus pendientes, así como los porcentajes de construcción, son factores que influyen sobre el grado de impermeabilidad que facilita o retarda el escurrimiento de las aguas de lluvias que puedan concentrarse en un punto.

Por ello, al considerar la zona a proyectarse debemos medir las áreas correspondientes a cada característica.

La superficie total a considerar en el proyecto estará constituida por el área propia, más el área natural de la hoya que drena a través de ella.

Definida y medida el área a drenar, se deben determinar las diferentes características de la superficie que la constituyen.

En este sentido las Normas del Instituto Nacional de Obras Sanitarias establecen los coeficientes de escorrentía, que se presentan en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Coeficientes de Escorrentía (Arocha, 1983).

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

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

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

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

Por razones prácticas, resulta útil la determinación de un coeficiente medio, bien sea por sectores o para toda la zona en proyecto, dependiendo de la extensión del mismo.

Este coeficiente medio de escorrentía o de impermeabilidad, puede determinarse en función de área y de los coeficientes absolutos de cada una. (p. 204)

3.2.4 Temperatura

Chereque (2003) expresa que la temperatura es un factor importante del ciclo hidrológico pues interviene en todas sus etapas. Desde el punto de vista práctico, la temperatura interviene como parámetro en las fórmulas para calcular la evaporación y en las fórmulas para calcular las necesidades de agua de riego de las plantas. Como prácticamente en todas partes hay registros de temperatura, su empleo está plenamente justificado.

3.2.4.1 Gradiente vertical de temperatura

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

3.2.4.2 Inversión de temperatura

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

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

3.2.4.3 Medición de la temperatura del aire

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

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

3.2.4.4 Temperatura media mensual o anual

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

3.2.5 Radiación solar

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

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

3.2.5.1 Radiación directa y difusa

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

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

Cuando ambas radiaciones inciden sobre los objetos, una parte se refleja nuevamente al aire donde a su vez vuelve a reflejar.

El problema real no es tan sencillo; pero una descripción como la hecha puede ser suficiente con fines de ilustración.

3.2.6 Humedad atmosférica

La humedad atmosférica expresa el contenido de vapor de agua de la atmósfera, vapor de agua que proviene de la evaporación que tiene lugar en los espejos de agua, en los suelos húmedos o a través de las plantas.

La humedad atmosférica interesa a la hidrología por dos motivos: por ser el origen de las aguas que caen por precipitación y porque determina en cierto modo la velocidad con que tiene lugar la evaporación.

3.2.6.1 Tensión de vapor

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

3.2.6.2 Tensión de vapor de saturación

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

3.2.6.3 Condensación

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

3.2.7 Viento

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

El viento es muy susceptible a la influencia del relieve y de la vegetación, por lo que se tiende a estandarizar su medida a algunos metros sobre el suelo. Del viento

interesa su velocidad (se mide con los anemómetros) y su dirección (se mide con las veletas). (p. 4 a p. 9).

3.2.8 Infiltración

En relación a la infiltración Breña y Jacobo (2006) señalan que el agua precipitada sobre la superficie de la tierra, queda detenida, se evapora, discurre por ella o penetra hacia el interior. Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior.

A medida que el agua infiltra desde la superficie, las capas superiores del suelo se van humedeciendo de arriba hacia abajo, alterando gradualmente su humedad. En cuanto al aporte de agua, el perfil de humedad tiende a la saturación en toda la profundidad, siendo la superficie el primer nivel a saturar.

Normalmente la infiltración proveniente de precipitaciones naturales no es capaz de saturar todo el suelo, sólo satura las capas más cercanas a la superficie, conformando un perfil típico donde el valor de humedad decrece con la profundidad.

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

Se destacan los siguientes factores que afectan la capacidad de infiltración:

3.2.8.1 Lámina de agua dispuesta en la superficie del terreno

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

3.2.8.2 Conductividad hidráulica de la superficie del terreno

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

3.2.8.3 Contenido de agua en los estratos de suelo someros

Si el contenido de humedad del estrato más somero del suelo está cercano a la saturación, la capacidad de infiltración será baja. En el caso de que los estratos a mayor profundidad muestren una conductividad hidráulica menor que en los estratos superiores, entonces la saturación se lleva a cabo desde la superficie.

3.2.8.4 Pendiente de la superficie y rugosidad

Si la pendiente de la superficie es considerable, se desarrollará el flujo superficial sobre el terreno impidiendo que la lámina de agua sobre el suelo alcance los valores que se esperan cuando las pendientes son pequeñas. La rugosidad de la superficie influirá en la velocidad que puede alcanzar el escurrimiento superficial sobre el terreno: a mayor rugosidad, el escurrimiento será más lento y la oportunidad

de infiltración aumenta; si la superficie está menos accidentada, el escurrimiento será más rápido, disminuyendo la capacidad de infiltración.

3.2.8.5 Características químicas de la superficie del suelo

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

3.2.8.6 Propiedades físicas y químicas del agua

El cambio de temperatura en un suelo provoca un cambio en la conductividad hidráulica. Esto se debe a la dependencia de las propiedades físicas del agua con la temperatura: a mayor temperatura, valores mayores de conductividad.

Por su parte, es importante recalcar que si el agua posee altos contenidos de sólidos disueltos, es posible que parte de estos se depositen en los intersticios del medio poroso, disminuyendo con el tiempo la conductividad hidráulica. (p. 161).

3.2.9 Caudales de drenaje

Erazo (2004), señala que la estimación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno, es uno de los principales procedimientos en Hidrología, que tiene como fin la determinación del caudal de diseño para una determinada estructura hidráulica o para el trazado de mapas de inundación.

La meteorología más común para la determinación de estos caudales máximos, es la meteorología estadística, la cual ajusta de los datos registrados en una estación

hidrométrica a una función de distribución y determina los valores para diferentes períodos de retorno. (p. 5).

3.2.10 Sistemas de recolección de aguas de lluvia

Arocha (1983) afirma que las aguas pluviales, provienen de los techos y patios interiores de las edificaciones, aunadas a las que reciben las calles directamente, constituirán un problema para la comunidad, que a veces toman proporciones económicas de cierta consideración, por lo cual es preciso determinar la magnitud de estos caudales que se van acumulando en calles y avenidas, y cuyo incremento progresivo de la pendiente de la calle llegaría a constituir serios problemas, que el proyectista debe evitar mediante un diseño eficiente.

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

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

3.2.10.1 Tiempo de concentración

Arocha (1983), menciona que el tiempo de concentración se define como el tiempo máximo que tarda la partícula más alejada del área, drenando hasta el punto de recolección.

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

- a) El tiempo que tarda la partícula más alejada en escurrir sobre la superficie.
- b) El tiempo de traslado que existe en una cierta longitud de colector, comprendida entre dos sumideros consecutivos.

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

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

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3.17)$$

3.2.10.2 Estimación del caudal

La determinación del gasto de diseño para un sistema de recolección de aguas de lluvia en zonas pobladas atiende generalmente al Método Racional.

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

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

Dónde:

Q= Caudal en l/s.

C= Coeficiente de esorrentía.

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

A= Área en ha.

El método considera la intensidad de lluvias, para una duración igual al tiempo de concentración, ya que se estima que habrá un incremento de caudal a medida que se incrementa el área, puesto que la disminución en intensidad con el tiempo es compensado con el mayor incremento de área. Cuando toda el área ha contribuido, ésta permanece constante pero habrá disminución de intensidad a mayor tiempo, y por tanto el gasto disminuiría. (p. 209 a 210)

3.3 Definición de términos básicos

3.3.1 Anemómetro

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

3.3.2 Atmósfera

Es la capa gaseosa que rodea al planeta tierra formada por aire (Garreaud, R. 2005).

3.3.3 Caudal

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

3.3.4 Convección

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

3.3.5 Cauce

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

3.3.6 Cuenca

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

3.3.7 Cuenca Hidrográfica

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

3.3.8 Ciclo Hidrológico

Circulación general del agua desde los océanos a la atmosfera, de esta al suelo y de aquí al océano (Jiménez, H. 1986).

3.3.9 Coeficiente

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

3.3.10 Coeficiente de Escorrentía

Relación entre el agua de lluvia que cae en una zona determinada y el agua que corre; diferencia entre el agua caída y el agua filtrada (Real Academia Española. 2012).

3.3.11 Drenaje

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

3.3.12 Embalse

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

3.3.13 Hidrología

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

3.3.14 Inercia

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

3.3.15 Impermeabilidad

Característica de un cuerpo que no puede ser atravesado por un fluido (Sánchez, J. 2014).

3.3.16 Lluvia

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

3.3.17 Orografía

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

3.3.18 Perfil Longitudinal

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

3.3.19 Perfil Transversal

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

3.3.20 Subcuenca

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

3.3.21 Termógrafo

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

3.3.22 Turbulento

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

3.3.23 Variable

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

3.3.24 Vertedero

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

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este apartado del presente documento, se detallan algunos aspectos clasificatorios de la investigación y las características de sus partes integrantes-

4.1 Tipo de investigación

Se dice que una investigación se considera de tipo descriptiva cuando “se encarga de buscar la caracterización de los hechos mediante las relaciones de causa – efecto” (Arias, F., 2006).

La presente investigación se considera descriptiva por cuanto se determinarán las características de los flujos que se producirán a través de las obras civiles de drenaje.

4.2 Diseño de investigación

La investigación tratada en este documento, se considera como documental y de campo; en virtud de ello, se describirá cada uno de estos tipos de investigación y la motivación que permite afirmar que esta investigación es de los tipos mencionados:

4.2.1 Investigación de campo

Arias (2012) define que la investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables.

Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta. (Palella y Martins, 2010), (p.88).

Esta investigación es de campo ya que los datos del relieve, fauna, flora, suelos y geología, entre otros, serán tomados directamente de la zona de estudio.

4.2.2 Investigación documental

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

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

4.3 Población y muestra de la investigación

4.3.1 Población de la investigación

La población se define como "cualquier conjunto de elementos de lo que se quiere conocer o investigar alguna de sus características". (Balestrini, M., 1997) (P 126)

En el presente caso se considerará como población de la investigación toda la superficie de la zona que se desea urbanizar susceptible de captar aguas pluviales.

4.3.2 Muestra de la investigación

La muestra, se define como: “una parte o subconjunto de la población”; ésta podrá representar o no en buena forma a la población y su tamaño dependerá del tipo de estudio que se desee realizar y de acuerdo a la profundidad del mismo, donde hay que considerar varios factores entre ellos el tipo de distribución y el nivel de significación estadística, para poder seleccionarla, lo cual forma parte de la estadística inferencia (Balestrini, M., 1997).

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

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Técnicas para la recolección de datos

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

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

4.4.1.1 Observación directa

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

4.4.1.2 Revisión bibliográfica

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

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

4.4.2 Instrumentos para la recolección de datos

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

4.5 Flujograma de la investigación

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

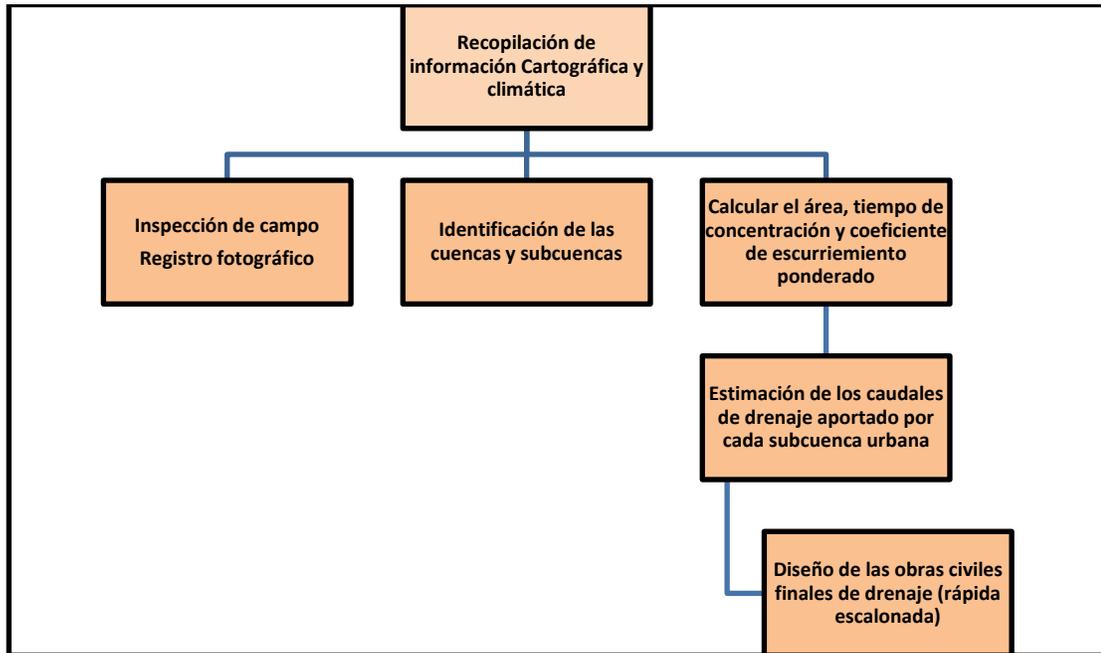


Figura 4.1 Flujograma de la investigación.

4.6 Procedimiento para el logro de los objetivos

4.6.1 Recopilación de la información bibliográfica

Para el desarrollo de este proyecto se llevó a cabo la recopilación de información necesaria que consistió en una revisión bibliográfica de trabajos realizados en el área de estudio, como tesis de grado, información de avances, registros de pluviosidad de la zona, geología general, ambientes sedimentarios, hidrológica, entre otras. Por otra parte se recopiló la información cartográfica de la zona.

4.6.2 Caracterización pluviométrica del área de estudio

Se recopilaron los registros de la pluviometría correspondientes de las estaciones más cercanas al área de estudio.

4.6.3 Identificar las subcuencas hidrológicas urbanas

Con base al diseño del urbanismo C-1 de la población de Cantaura en el estado Anzoátegui se delimita la cuenca de la zona de estudio que estaría afectada por las precipitaciones del área y que drenaría sus aguas de escorrentía en los futuros canales de drenaje que se diseñen.

4.6.4 Determinación del coeficiente de escorrentía ponderado

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

4.6.5 Estimación de los caudales de diseño

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

4.6.6 Caracterización geométrica e hidráulica de los flujos y elementos de drenaje final

Se estimarán los elementos geométricos y dimensionales de la rápida escalonada para el drenaje del total de las aguas desalojadas por el conjunto residencial “Valle Alto”. Asimismo, con el programa HEC RAS se efectuará el modelamiento de los flujos que se producen en la torrentera o rápida escalonada.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Descripción de las características climatológicas de la zona de estudio

Para establecer las características del clima se efectuó un análisis cuantitativo, con base en los datos de los promedios mensuales y anuales de los parámetros registrados en las estaciones cercanas al área de estudio cuyos datos fueron suministrados por Weather Spark (2016). En la tabla 5.1, se muestra a continuación un resumen de las características climáticas de acuerdo a las estaciones:

- a. Aeropuerto Internacional General José Antonio Anzoátegui (SVBC, 63 %, 96 km, norte, Cambio de altitud de -256 m).

- b. Aeropuerto Internacional José Tadeo Monagas (SVMT, 37%, 141 km, este, Cambio de altitud de -195 m)

En Cantaura, la temporada de lluvia es opresiva, la temporada seca es bochornosa y ventosa y es muy caliente y mayormente nublado durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 20 °C a 35 °C y rara vez baja a menos de 18 °C o sube a más de 37 °C.

Los datos que se presentan a continuación ilustra el clima típico en Cantaura, basado en un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora y reconstrucciones de modelos del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016.

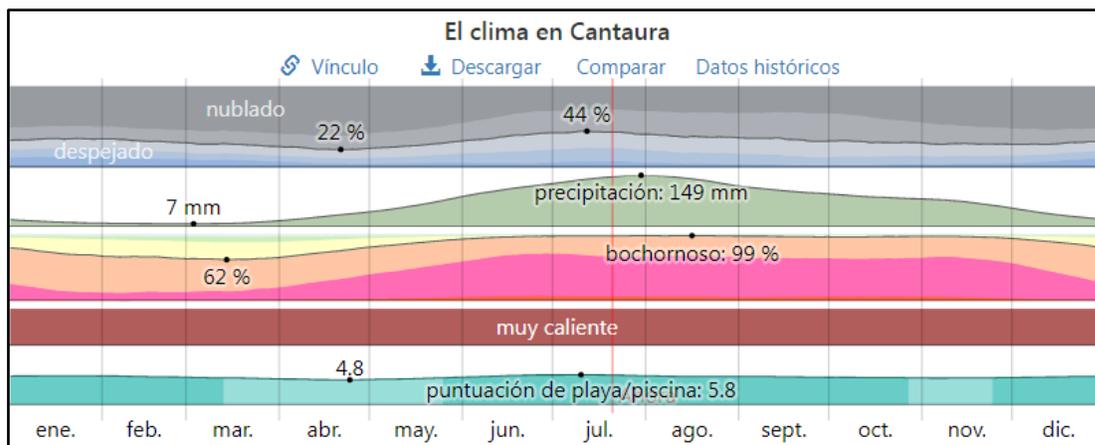


Figura 5.1 Resumen climático de la zona de Cantaura (Weather Spark, 2016).

5.1.1 Temperatura

La temporada calurosa dura 2,1 meses, del 27 de febrero al 30 de abril, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 34 °C. El mes más cálido del año en Cantaura es abril, con una temperatura máxima promedio de 35 °C y mínima de 22 °C.

La temporada fresca dura 2,7 meses, del 10 de junio al 2 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 31 °C. El mes más frío del año en Cantaura es julio, con una temperatura mínima promedio de 21 °C y máxima de 31 °C.

5.1.2 Precipitación

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Cantaura varía muy considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 6,3 meses, de 19 de mayo a 28 de noviembre, con una probabilidad de más del 33 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Cantaura es julio, con un promedio de 18,5 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 5,7 meses, del 28 de noviembre al 19 de mayo. El mes con menos días mojados en Cantaura es marzo, con un promedio de 1,8 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Cantaura es julio, con un promedio de 18,5 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 61 % el 9 de agosto.

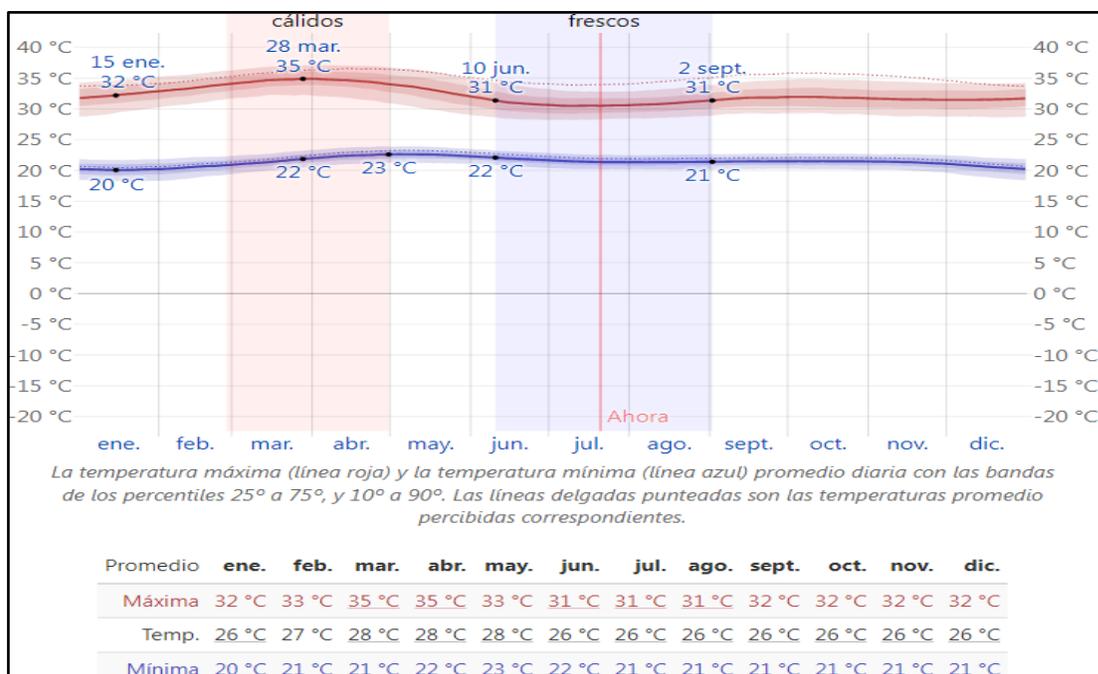


Figura 5.2 Temperaturas máximas y mínimas en Cantaura (Weather Spark, 2016).

5.1.3 Radiación solar

La duración del día en Cantaura no varía considerablemente durante el año, solamente varía 40 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2022, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 35 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 12 horas y 40 minutos de luz natural.

La salida del sol más temprana es a las 5:56 a. m. el 28 de mayo, y la salida del sol más tardía es 43 minutos más tarde a las 6:39 a. m. el 28 de enero. La puesta del sol más temprana es a las 5:52 p. m. el 15 de noviembre, y la puesta del sol más tardía es 49 minutos más tarde a las 6:41 p. m. el 13 de julio.

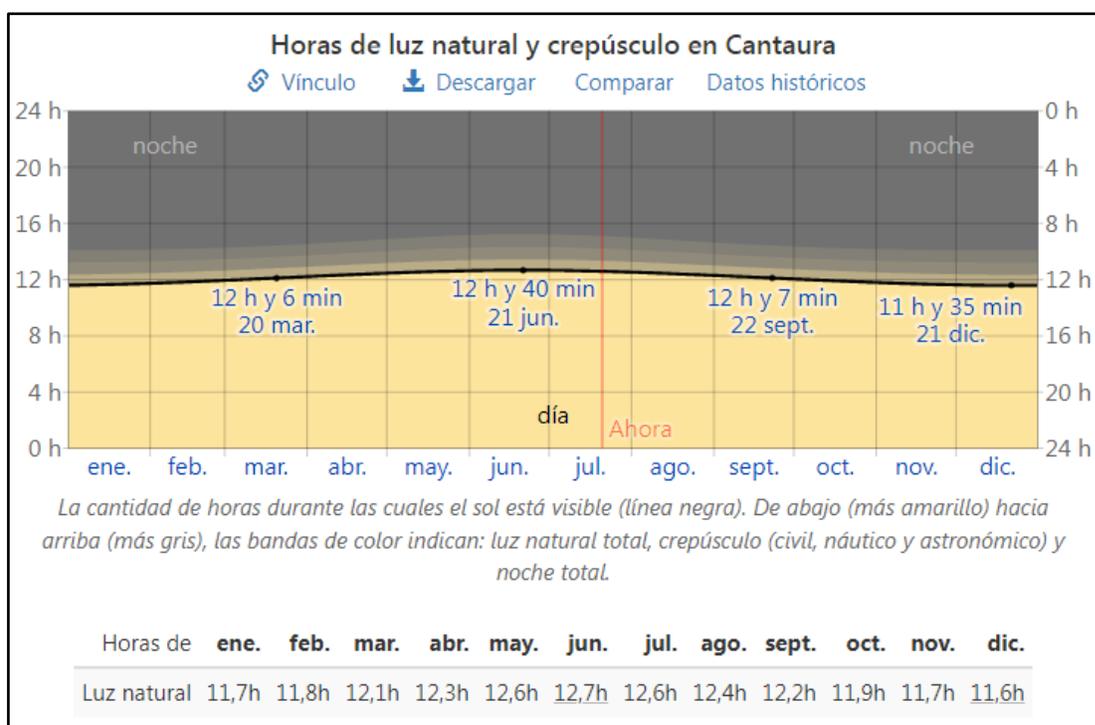


Figura 5.3 Promedio de horas de luz solar (Weather Spark, 2016).

5.1.4 Humedad

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

En Cantaura la humedad percibida varía considerablemente.

El período más húmedo del año dura 9,2 meses, del 12 de abril al 18 de enero, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es bochornoso, opresivo o insoportable por lo menos durante el 71 % del tiempo. El mes con más días bochornosos en Cantaura es agosto, con 30,5 días bochornosos o peor.

El mes con menos días bochornosos en Cantaura es febrero, con 18,4 días bochornosos o peor.

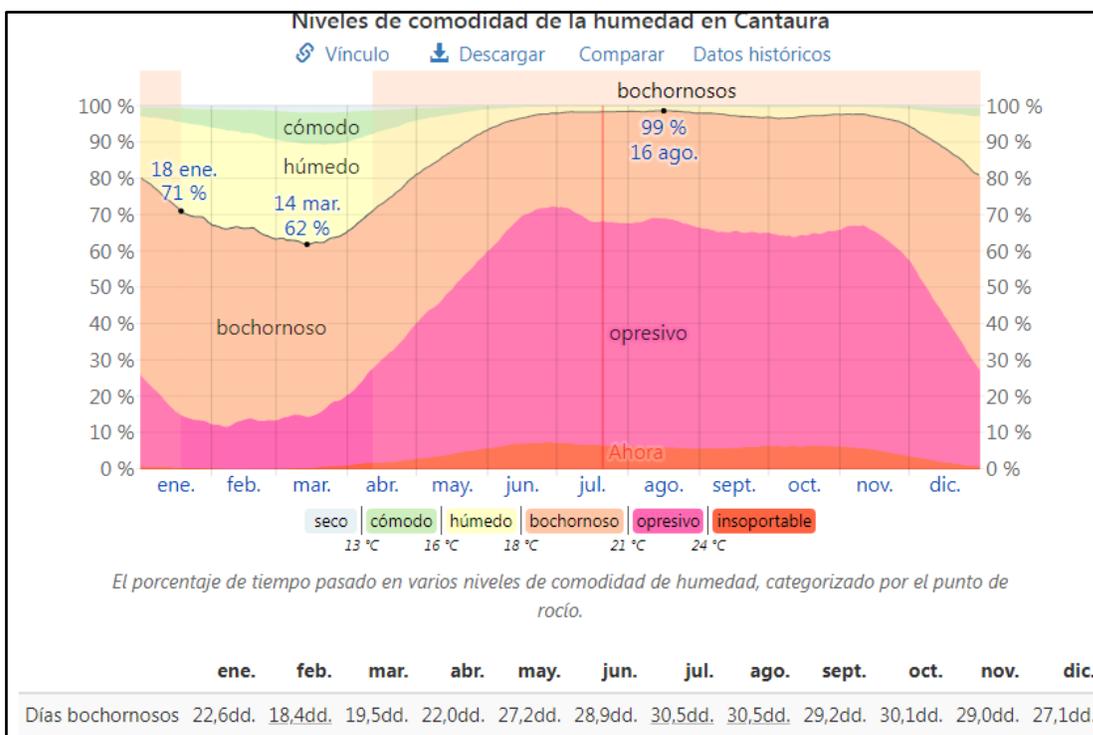


Figura 5.4 Promedio mensual de humedad en Cantaura (Weather Spark, 2016).

5.1.5 Vientos

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Cantaura tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 6,2 meses, del 25 de diciembre al 1 de julio, con velocidades promedio del viento de más de 15,2 kilómetros por hora. El mes más

ventoso del año en Cantaura es marzo, con vientos a una velocidad promedio de 18,5 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 5,8 meses, del 1 de julio al 25 de diciembre. El mes más calmado del año en Cantaura es septiembre, con vientos a una velocidad promedio de 11,9 kilómetros por hora.

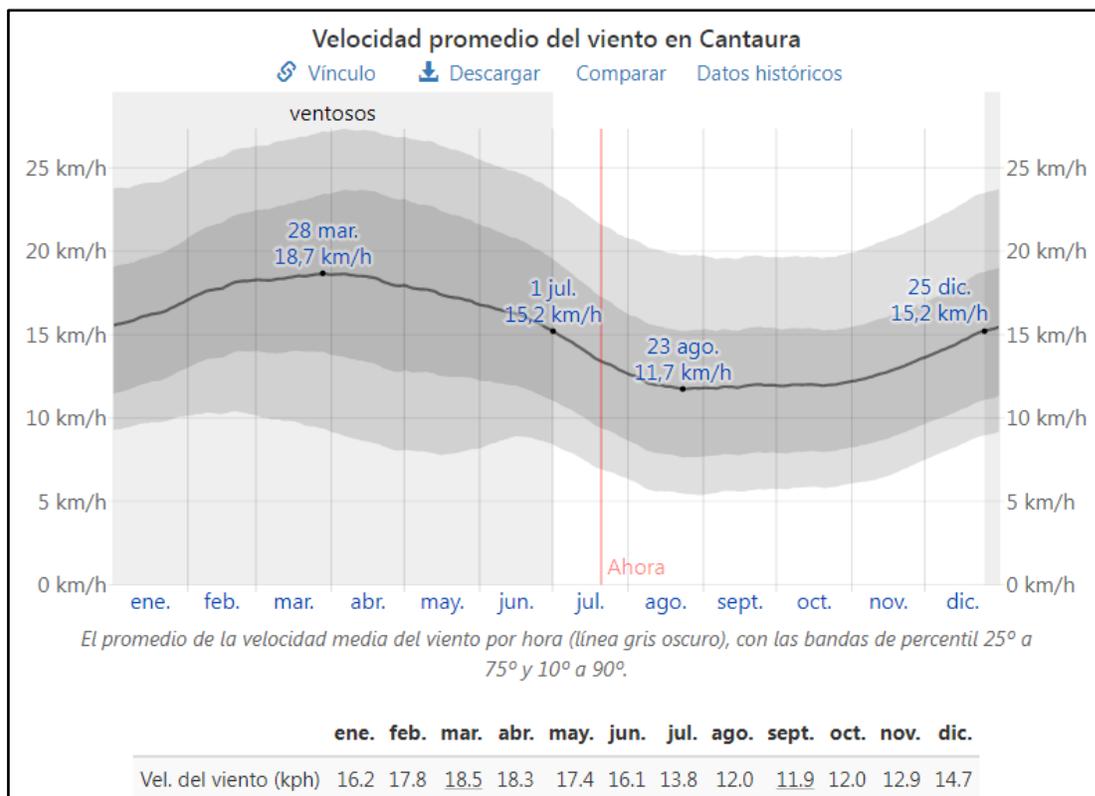


Figura 5.5 Velocidad promedio del viento en Cantaura (Weather Spark, 2016).

5.2 Delimitación de la zona de captación en el área.

El sistema de drenaje pluvial que se propondrá en el futuro para la urbanización modelo “Valle Alto” (codificada como C-2), amerita el conocimiento de los parámetros hidráulicos de la zona para establecer el sistema de recolección de aguas

de lluvia más adecuado y pertinente para la zona. La población de Cantaura debido a su topografía presenta un terreno nivelado con una pendiente transversal de 2%, condiciones que favorecen al diseño. Por lo que se establece un colector principal y siete secundarios que realizarán su descarga en la parte más baja de la urbanización, actuando a favor de la gravedad y aprovechando las condiciones del terreno.

5.2.1 Área tributaria

Para determinar el área tributaria en cada tramo, se efectuó mediante el programa AutoCAD, en base a los planos del lugar y según la dirección del flujo, mostrados en la figura 5.6. La identificación y cálculos de las áreas se muestran en la tabla 5.1.

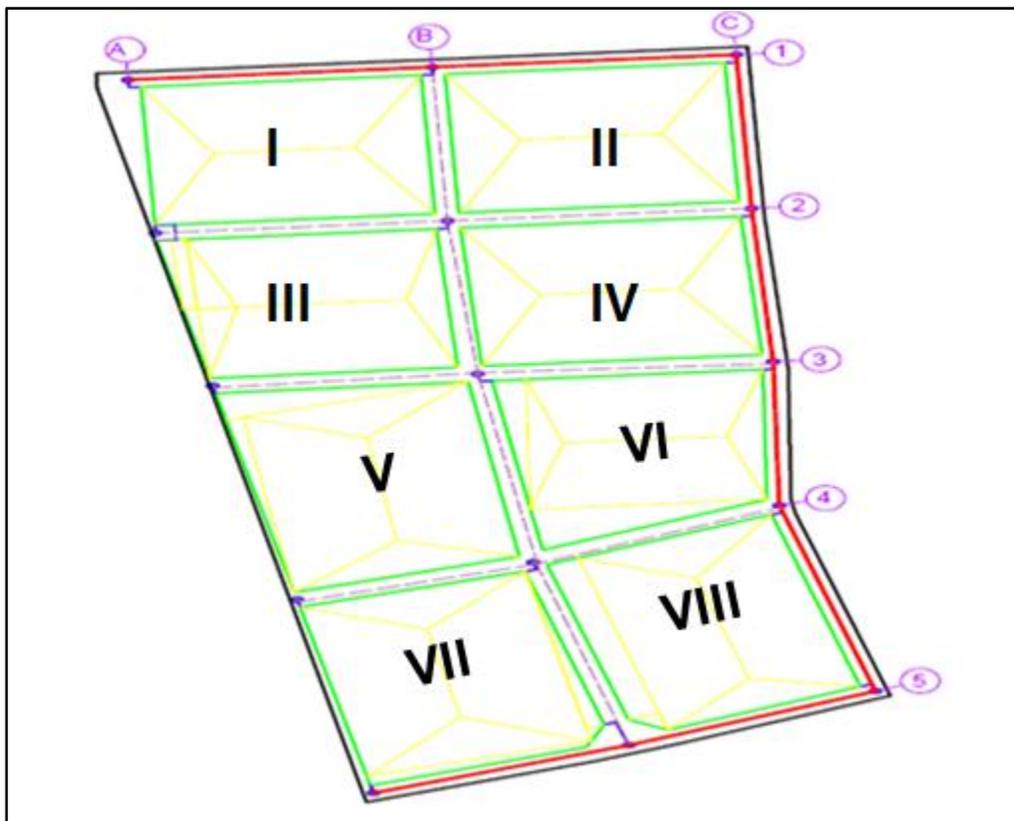


Figura 5.6 Esquema geométrico del urbanismo.

Tabla 5.1 Identificación de sub-parcelas que drenan dentro del urbanismo.

Parcela	Subparcela	Área total parcela		Áreas parciales		% de área
		(m ²)	(ha)	(m ²)	(ha)	
I	A1-B1	13656,25	1,37	5175,00	0,518	37,89
	B1-B2			3306,25	0,331	24,21
	B2-A2			5175,00	0,518	37,89
	A2-A1			No drena al interior del urbanismo		
II	B1-C1	16962,50	1,70	5175,00	0,518	30,51
	C1-C2			3306,25	0,331	19,49
	C2-B2			5175,00	0,518	30,51
	B2-B1			3306,25	0,331	19,49
III	A2-B2	14100,88	1,41	6598,13	0,660	46,79
	B2-B3			3305,25	0,331	23,44
	B3-A3			4197,50	0,420	29,77
	A3-A2			No drena al interior del urbanismo		
IV	B2-C2	16962,50	1,70	5175,00	0,518	30,51
	C2-C3			3306,25	0,331	19,49
	C3-B3			5175,00	0,518	30,51
	B3-B2			3306,25	0,331	19,49
V	A3-B3	14225,00	1,42	5227,50	0,523	36,75
	B3-B4			5276,50	0,528	37,09
	B4-A4			3721,00	0,372	26,16
	A4-A3			No drena al interior del urbanismo		
VI	B3-C3	16476,25	1,65	3802,81	0,380	23,08
	C3-C4			2889,06	0,289	17,53
	C4-B4			5927,81	0,593	35,98
	B4-B3			3856,56	0,386	23,41
VII	A4-B4	13731,63	1,37	3721,00	0,372	27,10
	B4-B5			5849,00	0,585	42,60
	B5-A5			4161,63	0,416	30,31
	A5-A4			No drena al interior del urbanismo		
VIII	B4-C4	18547,50	1,85	2889,06	0,289	15,58
	C4-C5			5173,44	0,517	27,89
	C5-B5			2889,06	0,289	15,58
	B5-B4			7595,94	0,760	40,95

5.3 Estimación del coeficiente de escorrentía ponderado

Para el análisis del coeficiente de escorrentía se realizará utilizando diferentes valores de C de acuerdo a la zonificación que presente el área tributaria, utilizando los coeficientes de escorrentía establecidos por las Normas del Instituto de Obras Sanitarias, mostradas en la tabla A.1 (Apéndice A).

Con los coeficientes de escorrentías establecidos las áreas tributarias determinadas se subdividen de acuerdo a la zonificación que presente cada una de ellas mostrando los resultados en las tablas 5.2 a 5.5.

Tabla 5.2 Coeficientes de escorrentía (Parcelas I a IV).

Parcela	Sub-parcela	Tipo de cobertura	Área de cada cobertura		Coeficiente de escorrentía	
			(ha)	% Total	Parcial	Total
I	A1-B1	Calle	0,12	23,30	0,80	0,67
		Residencial	0,33	64,08	0,70	
		zona verde	0,07	12,62	0,30	
			0,52	100,00		
	B1-B2	Calle	0,09	27,27	0,80	0,67
		Residencial	0,19	57,58	0,70	
		zona verde	0,05	15,15	0,30	
			0,33	100,00		
	B2-A2	Calle	0,11	21,15	0,80	0,69
		Residencial	0,26	50,00	0,70	
		zona verde	0,04	7,69	0,30	
		estacionamiento	0,11	21,15	0,70	
		0,52	100,00			
II	B1-C1	Calle	0,12	23,08	0,80	0,67
		Residencial	0,33	63,46	0,70	
		zona verde	0,07	13,46	0,30	
			0,52	100,00		
	C1-C2	Calle	0,09	27,27	0,80	0,67
		Residencial	0,19	57,58	0,70	
		zona verde	0,05	15,15	0,30	
			0,33	100,00		
	C2-B2	Calle	0,11	21,15	0,80	0,68
		Residencial	0,26	50,00	0,70	
		zona verde	0,05	9,62	0,30	
		estacionamiento	0,10	19,23	0,70	
			0,52	100,00		
	B2-B1	Calle	0,09	27,27	0,80	0,62
		Residencial	0,15	45,45	0,70	
		zona verde	0,09	27,27	0,30	
		0,33	100,00			
III	A2-B2	Calle	0,11	16,67	0,8	0,60
		Residencial	0,26	39,39	0,7	
		zona verde	0,19	28,79	0,3	
		Estacionamiento	0,1	15,15	0,7	
			0,66	100		
	B2-B3	Calle	0,09	27,27	0,8	0,72
		Residencial	0,23	69,70	0,7	
		zona verde	0,01	3,03	0,3	
			0,33	100		
	B3-A3	Calle	0,12	28,57	0,8	0,72
		Residencial	0,29	69,05	0,7	
		zona verde	0,01	2,38	0,3	
		0,42	100			
IV	B2-C2	Calle	0,11	21,57	0,8	0,69
		Residencial	0,26	50,98	0,7	
		zona verde	0,04	7,84	0,3	
		Estacionamiento	0,1	19,61	0,7	
			0,51	100		
	C2-C3	Calle	0,09	29,03	0,8	0,69
		Residencial	0,19	61,29	0,7	
		zona verde	0,03	9,68	0,3	
			0,31	100		
	C3-B3	Calle	0,12	26,09	0,8	0,72
		Residencial	0,33	71,74	0,7	
		zona verde	0,01	2,17	0,3	
			0,46	100		
	B3-B2	Calle	0,09	34,62	0,8	0,70
		Residencial	0,15	57,69	0,7	
		zona verde	0,02	7,69	0,3	
		0,26	100			

Tabla 5.3 Coeficientes de escorrentía (Zona V a VIII).

Parcela	Sub-parcela	Tipo de cobertura	Área de cobertura		Coef de escorrentía	
			Ha	% Total	Parcial	Total
V	A3-B3	Calle	0,1	20,41	0,8	0,69
		Residencial	0,35	71,43	0,7	
		zona verde	0,04	8,16	0,3	
			0,49	100,00		
	B3-B4	Calle	0,12	23,08	0,8	0,68
		Residencial	0,22	42,31	0,7	
		zona verde	0,06	11,54	0,3	
		estacionamiento	0,12	23,08	0,7	
			0,52			
	B4-A4	Calle	0,09	30,00	0,8	0,69
		Residencial	0,18	60,00	0,7	
		zona verde	0,03	10,00	0,3	
		0,3	100,00			
VI	B3-C3	Calle	0,11	29,73	0,8	0,70
		Educacional	0,23	62,16	0,6	
		zona verde	0,03	8,11	0,3	
			0,37	100,00		
	C3-C4	Calle	0,09	32,14	0,8	0,72
		Educacional	0,1	35,71	0,6	
		zona verde	0,01	3,57	0,3	
		estacionamiento	0,08	28,57	0,7	
			0,28	100,00		
	C4-B4	Calle	0,1	17,54	0,8	0,70
		Educacional	0,44	77,19	0,6	
		zona verde	0,03	5,26	0,3	
		0,57	100,00			
B4-B3	Calle	0,11	30,56	0,8	0,72	
	Educacional	0,24	66,67	0,6		
	zona verde	0,01	2,78	0,3		
		0,36	100,00			
VII	A4-B4	Calle	0,09	25,00	0,8	0,70
		Residencial	0,25	69,44	0,7	
		zona verde	0,02	5,56	0,3	
			0,36	100,00		
	B4-B5	Calle	0,11	19,64	0,8	0,55
		Residencial	0,09	16,07	0,7	
		zona verde	0,24	42,86	0,3	
		estacionamiento	0,12	21,43	0,7	
			0,56	100,00		
	B5-A5	Calle	0,09	21,95	0,8	0,69
		Residencial	0,29	70,73	0,7	
		zona verde	0,03	7,32	0,3	
		0,41	100,00			
VIII	B4-C4	Calle	0,1	25,64	0,8	0,69
		Residencial	0,26	66,67	0,7	
		zona verde	0,03	7,69	0,3	
			0,39	100,00		
	C4-C5	Calle	0,12	17,65	0,8	0,59
		Residencial	0,34	50,00	0,7	
		zona verde	0,22	32,35	0,3	
			0,68	100,00		
	C5-B5	Calle	0,06	15,38	0,8	0,57
		Residencial	0,19	48,72	0,7	
		zona verde	0,14	35,90	0,3	
			0,39	100,00		
B5-B4	Calle	0,11	14,29	0,8	0,66	
	Residencial	0,43	55,84	0,7		
	zona verde	0,1	12,99	0,3		
	estacionamiento	0,13	16,88	0,7		
		0,77	100,00			

5.4 Caudal de la cuenca y subcuencas.

5.4.1 Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia se determina dependiendo de la duración de la misma y de acuerdo a los registros representados por las curvas (IDF) intensidad-frecuencia-duración según la región o zona de estudio. Y además se debe considerarse el tiempo de concentración para cada área tributaria, que puede calcularse por la siguiente fórmula:

$$T_c = 0,0195 \times \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (5.1)$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (min).

L = Longitud del cauce principal (m).

H = Diferencia de elevación (m).

Sustituyendo la fórmula de acuerdo a cada área tributaria con respecto a la longitud del cauce se obtendrá la expresión de la siguiente manera:

Por ejemplo, para el punto S1

$L=129,6$ (m).

$H= 10$ (m).

$$T_c = 0,0195 \times \left(\frac{129,6^3}{10}\right)^{0,385} \quad (5-2)$$

$T_c= 2$ min.

De acuerdo a las normas INOS indica que el tiempo de duración que debe considerarse para la determinación de la intensidad de lluvia no debe ser menor a 5 min. Por lo que se establece el tiempo de concentración de 5 min para el punto S1. De esta manera se efectúan las operaciones para cada uno de los tiempos de concentración necesarios.

Una vez obtenido los tiempos de concentración se utilizan las curvas IDF de acuerdo a la zona o región de estudio que en este caso es la región hidrológica III, mostrada en la gráfica A.2 (Apéndice A).

Para determinar el valor de la intensidad de lluvia se tiene que considerar la frecuencia en años. Se asume para este estudio una frecuencia de (25 años). Una vez obtenido todos los factores se determina la intensidad de lluvia con las curvas IDF.

Inicialmente ubicando en la parte inferior el valor del tiempo de concentración, trazar una línea verticalmente para posteriormente cortar con el valor de la frecuencia que en este caso es de 25 años y finalmente trazar una línea horizontalmente hacia la izquierda para obtener el valor de la intensidad de lluvia. Para el punto S1 la intensidad de lluvia es de 610 lps/ha.

Para la determinación del caudal de diseño para cada tramo se utiliza el método racional. Es necesario tomar en cuenta todas las variables que incluye la fórmula racional, las cuales son; coeficiente de escorrentía, intensidad de lluvia y las áreas tributarias para cada colector.

Fórmula racional:

$$Q = C \times I \times A \quad (5.3).$$

Dónde:

Q = Caudal (l/s).

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad de lluvia (l/s/ha).

A = Área (ha).

Los valores determinados como; áreas tributarias, intensidad de lluvia y coeficiente de escorrentía son utilizados para calcular el gasto que le corresponde a cada uno de ellos para facilitar la comprensión se ordenan todos estos valores obtenidos en una tabla y se aprecia el gasto para cada uno de los puntos, como se puede observar en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Cálculo hidráulico de drenajes por parcela

Parcelas	Tiempo de concentración			Intensidad de lluvia		Coeficiente de escorrentía	Área drenante dentro del urbanismo (ha)	Gasto de diseño (l/s)
	L (m)	H (m)	Tc (min)	Tr. (años)	I (lps/ha)			
I	129,6	10	2	25	610	0,68	1,37	568,276
II	316,9	10	6	25	610	0,66	1,7	684,42
III	129,6	10	2	25	610	0,68	1,41	584,868
IV	300	10	6	25	610	0,7	1,54	657,58
V	162,1	10	3	25	610	0,69	1,31	551,379
VI	268,9	10	5	25	610	0,71	1,58	684,298
VII	150	10	3	25	610	0,65	1,33	527,345
VIII	1061,7	10	25	25	340	0,64	2,23	485,248
						Totales	12,47	4.743

5.5 Definir el trazado en planta y perfil longitudinal de la torrentera

La torrentera será trazada a partir de la esquina noroeste del urbanismo C-2 a una cota de 231 m snmm, con una trayectoria o rumbo Oeste franco recorriendo una distancia horizontal de 400 m.

La torrentera tendrá su punto más bajo o de llegada en la ribera izquierda de la quebrada que se moviliza al oeste del área de estudio, específicamente en su margen de aguas altas con unas coordenadas con una cota de 218 m snmm (típicamente en el mes de Agosto). El desnivel o diferencia de altura salvado por la torrentera será de 13.0 m.

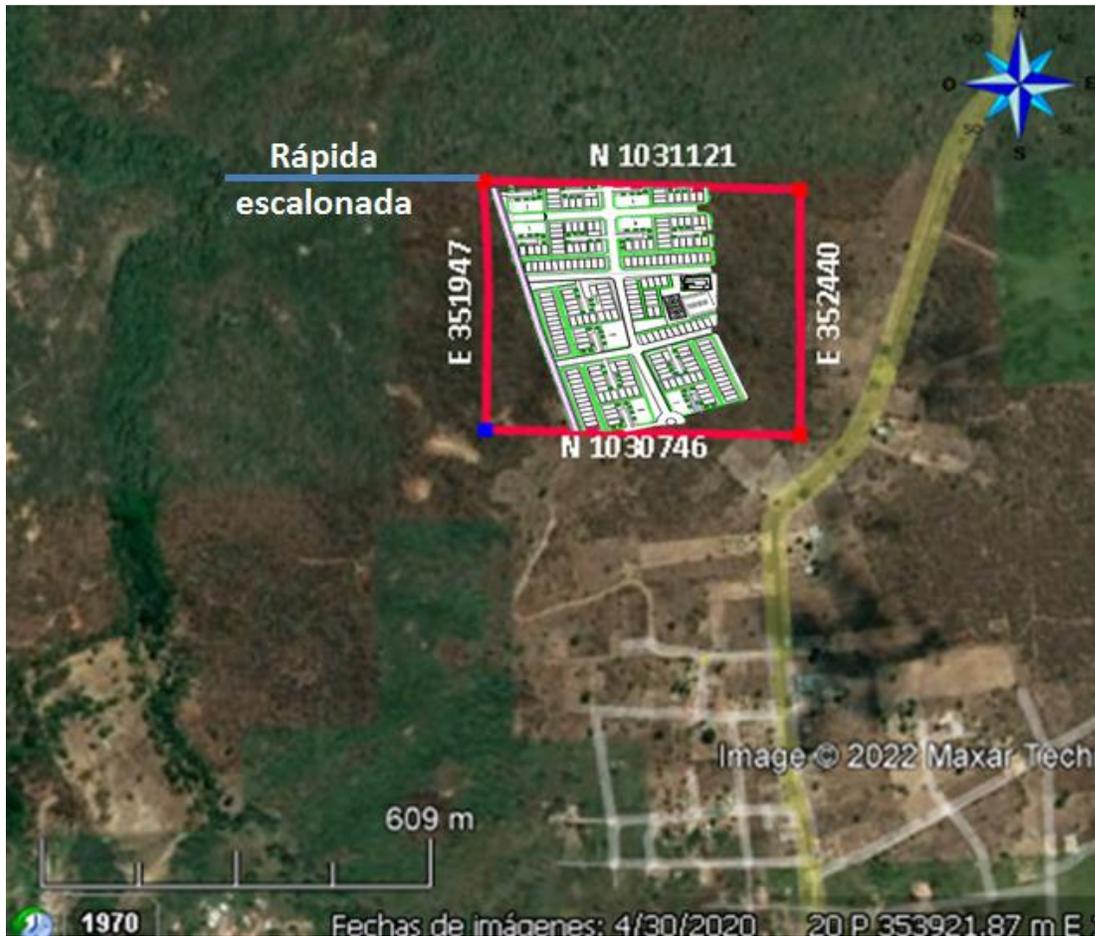


Figura 5.7 Trazado en planta de la rápida escalonada (línea azul).

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 aplicará las ecuaciones planteadas por Aristizabal, et al, (2013) para la estimación del ancho de la solera (b) en una torrentera con deflectores de corriente:

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

$$b = 0.905 \cdot (4.743 \text{ m}^3/\text{s})^{2/5} = 1.69 \text{ m}$$

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

$$b = 0.1 (Q / 4.79 \times 10^{-3})^{0.4} \quad (5.1)$$

$$b = 0.1 (4.743 \text{ m}^3/\text{s} / 4.79 \times 10^{-3})^{0.4} = 1.59 \text{ m}$$

Considerando ambos valores calculados para el ancho de la solera (b), asumiremos como un valor adecuado el más conservador o mayor de ambos para la torrentera: $b = 1.69 \text{ m}$ que pudiese ser aproximado a 1.70 m de solera.

5.6.2 Profundidad normal (y_n) y profundidad crítica (y_c)

Con base al gráfico del Apéndice A.1 de Camacho (1996), partiendo del ancho de la solera (b) igual a 1.7 m , se ubica en la escala del tercer eje de abscisas auxiliares, identificado $b=2$, se ubica el valor 1.7 obteniendo en el eje de abscisas

principales del gráfico, un valor para $Qn/S_o^{1/2}b^{8/3}$ de 0.56. Luego, interceptando la curva, en el eje de las ordenadas (de la derecha del gráfico) se obtiene un valor para $y_n/b = 1.25$.

Despejando el valor de $b=1.7$ en la relación $y_n/b = 1.25$, se obtiene un valor de $y_n=2.13$ m aplicable para la torrentera.

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:

$$y_c = ((4.743 \text{ m}^3/\text{s} / 1.7 \text{ m})^2 / 9.8 \text{ m/s}^2)^{1/3} = 0.93 \text{ m}$$

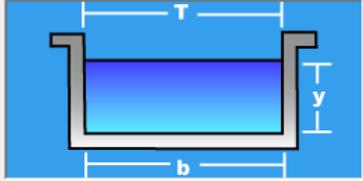
En vista de ello, como $y_c < y_n$ se dice que el flujo será subcrítico en la torrentera.

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 la torrentera, tal y como se muestran en la tabla 5.20 y figura 5.7.

Lugar:	Urb Valle Alto, Cantaura	Proyecto:	Rápida escalonada
Tramo:	Rápida final	Revestimiento:	concreto (n=0.02)

Datos:	
Caudal (Q):	4.743 m ³ /s
Ancho de solera (b):	1.7 m
Talud (Z):	0
Rugosidad (n):	0.02
Pendiente (S):	0.0325 m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	0.6152 m	Perímetro (p):	2.9304 m
Área hidráulica (A):	1.0458 m ²	Radio hidráulico (R):	0.3569 m
Espejo de agua (T):	1.7000 m	Velocidad (v):	4.5352 m/s
Número de Froude (F):	1.8461	Energía específica (E):	1.6635 m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico		

Figura 5.8 Estimación de parámetros preliminares de la rápida mediante la aplicación HCANALES.

Tabla 5.5 Parámetros geométricos e hidráulicos de la sección transversal de la rápida.

Parámetros	Tramo superior
Caudal, Q (m ³ /s)	4.743
Coefficiente rugosidad, n	0.02
Pendiente longitudinal, So (m/m)	0.0325
Ancho de solera, b (m)	1.7
Profundidad normal, y _n (m)	0.62
Profundidad crítica, y _c (m)	0.93
Área, A (m ²)	1.05
Ancho superficie, T (m)	1.7
Perímetro mojado, Pm (m)	2.93
Radio hidráulico, Rh (m)	0.36
Velocidad flujo, V (m/s)	4.54
Energía específica, Es (m.kg/kg)	1.66
Número de Froude, Fr	1.85
Tipo de flujo	Supercrítico

5.6.4 Huella y contrahuella de la torrentera

De acuerdo a la ecuación de Darcy:

$$Q = V \cdot A \Rightarrow V = Q / A \Rightarrow V = Q / (b \cdot y_n) \quad (5.4)$$

Sustituyendo:

$$V = 4.743 \text{ m}^3/\text{s} / (1.7 \text{ m} \cdot 0.62 \text{ m}) = 4.5 \text{ m/s}$$

Nótese que este valor de la velocidad es inferior al calculado por el programa HCANALES, tal circunstancia se debe a que en la ecuación de Darcy no se han considerado los parámetros que utiliza la ecuación de Manning que emplea la citada aplicación computarizada. En vista de ello, se utilizará el valor de velocidad que se determinó a través de HCANALES, es decir, $V = 4.54 \text{ m/s}$. Según el manual de drenaje del Ministerio de Obras Públicas (M.O.P) se determinó a través del número de Froude de cada canal externo la relación de h/y y Lc/y como se muestra en la tabla 5.6, para conseguir el valor de la huella y contrahuella utilizada para el diseño de los escalones de las torrenteras.

Tabla 5.6 Valores establecidos para el cálculo de torrenteras (Camacho, 1996).

VALORES APROXIMADOS											
N° FROUDE = 2				N° FROUDE = 3				N° FROUDE = 4			
h/y	Lc/y	LR/y	y2/y	h/y	Lc/y	LR/y	y2/y	h/y	Lc/y	LR/y	y2/y
1.0	2.8	9.4	1.9	1.0	3.4	18.4	3.4	1.0	3.4	28.6	5.2
1.5	3.2	9.0	1.7	1.5	4.0	17.2	3.0	1.5	4.5	27.0	4.7
2.0	3.5	8.5	1.4	2.0	4.4	15.8	2.6	2.0	5.2	25.2	4.2

NOTA: En las torrenteras, como longitud de la huella se recomienda utilizar 1.1 Lc.

En vista de ello, considerando el valor del número de Froude, de 1.85; 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.

Dado que $y = y_n$, entonces: $y_n = 0.62$ m, implica que $h = 0.62$ m. Luego, de la misma tabla anterior, se obtiene, de forma similar, para cada una de las relaciones:

$$\text{De } L_c/y = 2.8 \Rightarrow L_c = 1.74 \text{ m}$$

Ahora bien, la longitud horizontal (conocida como contrahuella) L_T se determina mediante la ecuación:

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

Sustituyendo:

$$L_T = 1.1 \times 1.74 \text{ m} = 1.91 \text{ m}$$

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 la urbanización Valle Alto (C-2), en la población de Cantaura, estado Anzoátegui, 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 C-2, en la población de Cantaura, estado Anzoátegui, 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 esorrentía 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. Valle Alto (C-2), 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 ($n = 0.02$) de sección rectangular trazada a través de la ladera o talud adyacente al urbanismo C-2 para conducir la totalidad de las aguas pluviales drenadas. La torrentera tendrá la capacidad de drenar eficientemente toda el área del urbanismo y un caudal de $4.743 \text{ m}^3/\text{s}$ y manteniendo velocidades superiores a la mínima $0,75 \text{ m/s}$ e inferiores a 5 m/s .

Las dimensiones de la torrentera serán las siguientes:

Base = 1.7 m

Profundidad = 0.62 m

Borde libre = 0.186 m

Altura de la solera = 0.62 m + 0.186 m = 0.8 m

Altura mínima de huella = 0.62 m

Longitud horizontal de contra-huella = 1.91 m

Desnivel total = 13.00 m

Distancia horizontal del trazado = 400.00 m

A continuación se presenta en las siguientes figuras la sección transversal típica de la torrentera, y el perfil longitudinal de la misma:

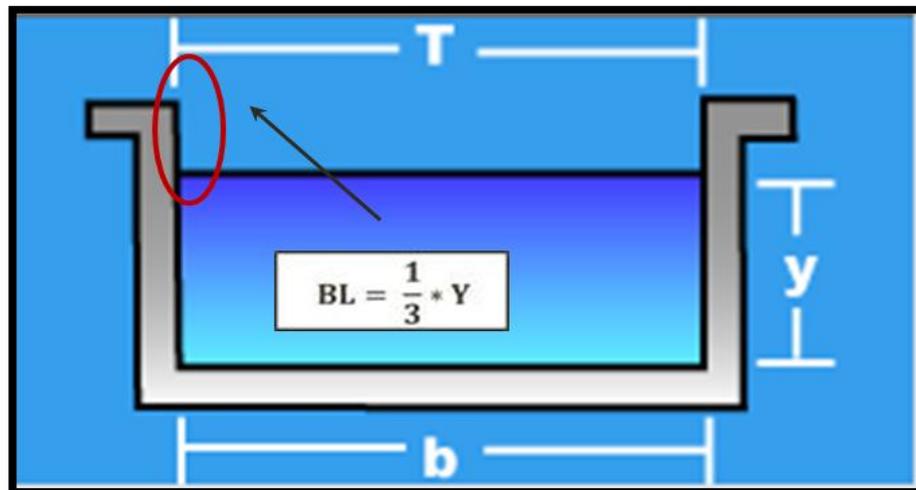


Figura 6.1 Sección transversal típica de la rápida escalonada

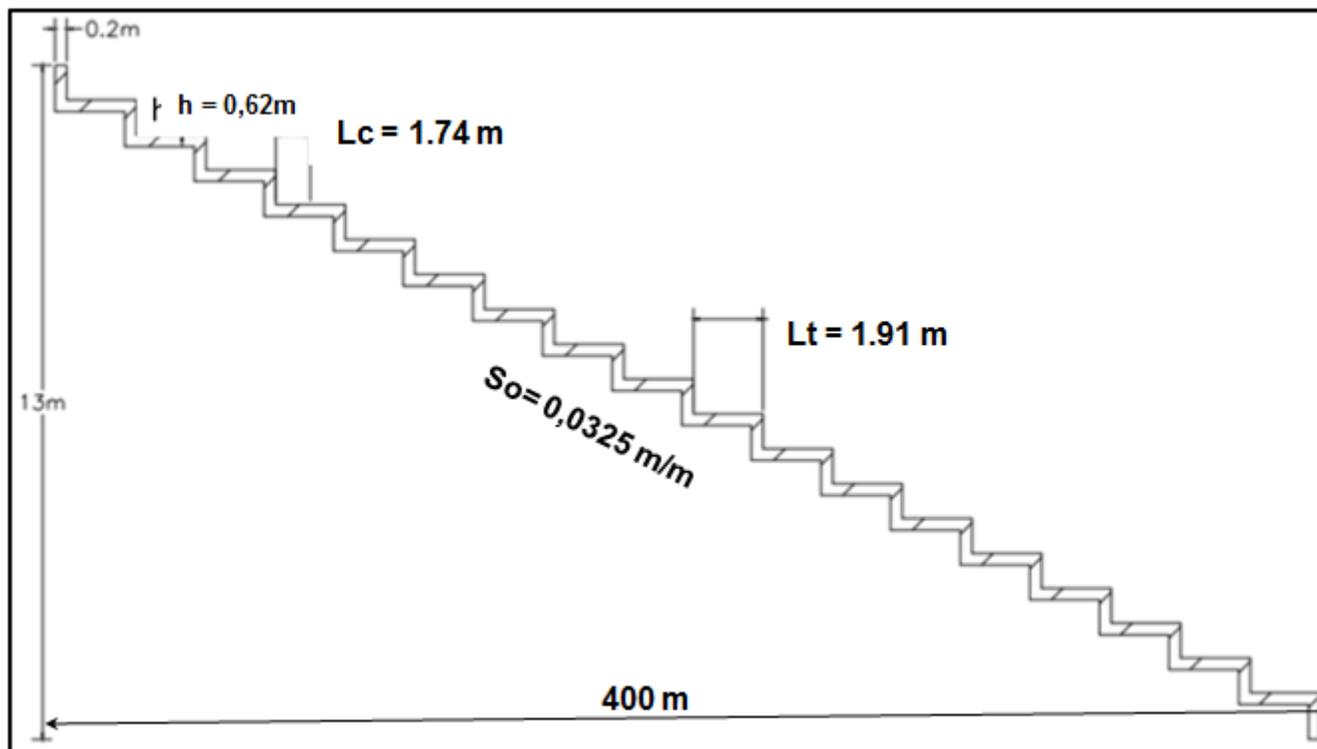


Figura 6.2 Perfil longitudinal idealizado de la torrentera

Finalmente, con el propósito de evitar la socavación que pudiese generar las escorrentías durante los períodos de alta pluviosidad, a toda la torrentera, se propone construir una protección de enrocado o con gaviones, en ambos lados de la torrentera fijadas o ancladas con concreto desde una profundidad del doble de la altura de la solera de la torrentera.



Figura 6.3 Ejemplo negativo de torrentera socavada por las aguas de escorrentía.

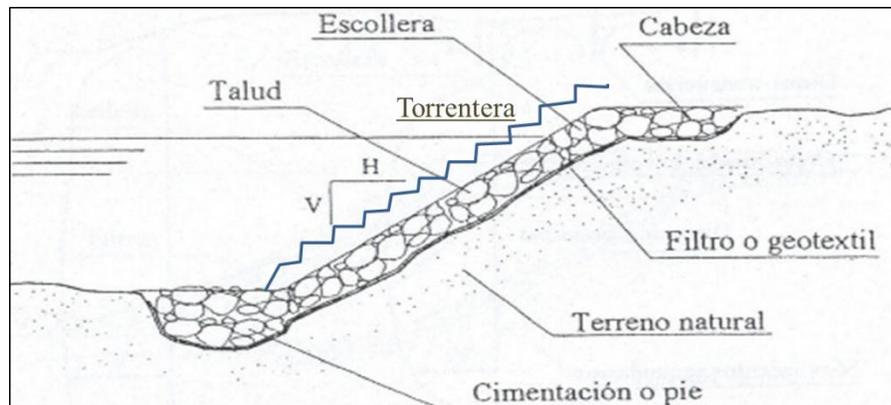


Figura 6.4 Vista lateral de la torrentera en situación de inundación con la protección de enrocado propuesta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De acuerdo a las magnitudes promedio de la precipitación aproximada anual en el área de estudio se pudo observar una magnitud de 1088 mm. Considerando que la temperatura promedio anual es de 28,3 °C y la humedad relativa promedio anual es de 65%; podemos concluir que la zona de estudio posee un clima típico de bosque seco tropical.

2. El urbanismo modelo “Valle Alto” (C-2) en Cantaura tiene una superficie drenante internamente de 12.47 ha en la cual se han identificado ocho (8) subcuencas o calles principales y diez (10) calles secundarias, y por ocho (8) parcelas

3. En el área de estudio se han identificado tres tipos de coberturas o usos del suelo: residencial, zonas verdes, y su zona pavimentada, lo cual implicó un coeficiente de escorrentía ponderado para cada una de las parcelas, el coeficiente de escorrentía ponderado variará entre: 0.55, y 0.72 respectivamente.

4. La cuenca de drenaje interna total del área de estudio deberá manejar un caudal 4.743 m³/s que estará distribuida en las ocho (8) subcuencas

5. La disposición final de las aguas drenadas por el urbanismo “Valle Alto” serán conducidas por una rápida escalonada que salvará el desnivel de 13.0 m a los largo de un trazado en planta de 400 m. Esta torrentera será de trazado transversal rectangular, recubierta de concreta, con una altura total de escalones de 0.62 m y longitud de contrahuella de 1.91 m

Recomendaciones

1. Se sugiere evaluar las alternativas de estimación del caudal de diseño del drenaje de las aguas de escorrentía pluvial mediante otros métodos como el del hidrograma triangular unitario con la finalidad de constatar la idoneidad del método elegido.

2. Se sugiere efectuar el modelamiento de las estructuras y de los flujos utilizando aplicaciones como HEC-RAS, Real Flow y Sketchup para lograr efectos renderizados realísticos.

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

REFERENCIAS

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

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

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

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

Arias, F. (2012). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**.. Editorial Episteme, Caracas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Weather Spark (2022). **RESUMEN CLIMATOLÓGICO DE CANTAURA**. Consultado el 20/07/2022. Vínculo: <https://es.weatherspark.com/y/28219/Clima-promedio-en-Cantaura-Venezuela-durante-todo-el-a%C3%B1o>

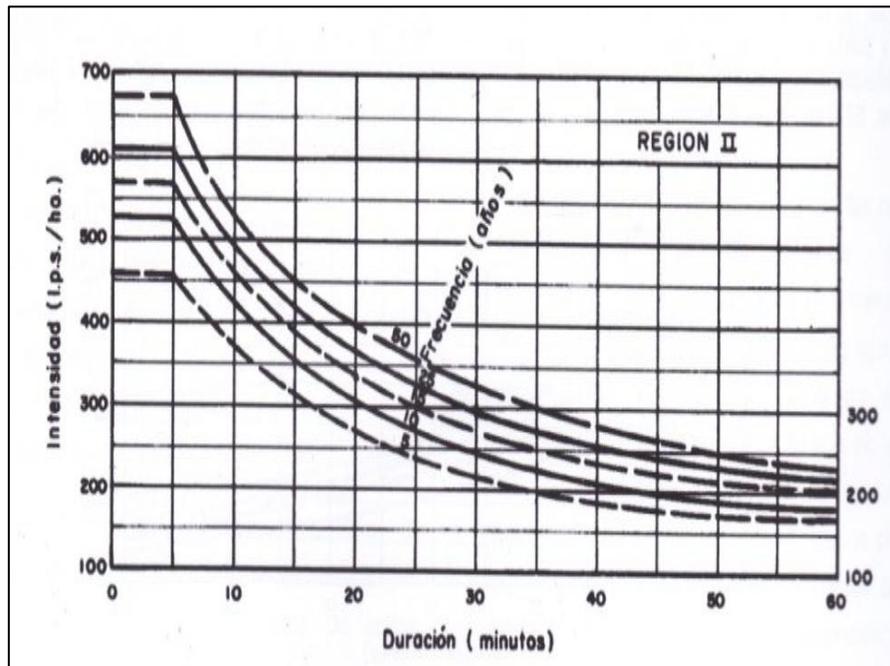
APÉNDICES

APÉNDICE A
TABLAS Y GRÁFICOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES

A.1 Coeficientes de escorrentía de acuerdo a la zonificación

ZONIFICACION Y COEFICIENTES DE ESCORRENTIA

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



A. 2 Curvas IDF de la región hidrológica II (MOP,1967).

APÉNDICE B
PLANOS DEL URBANISMO

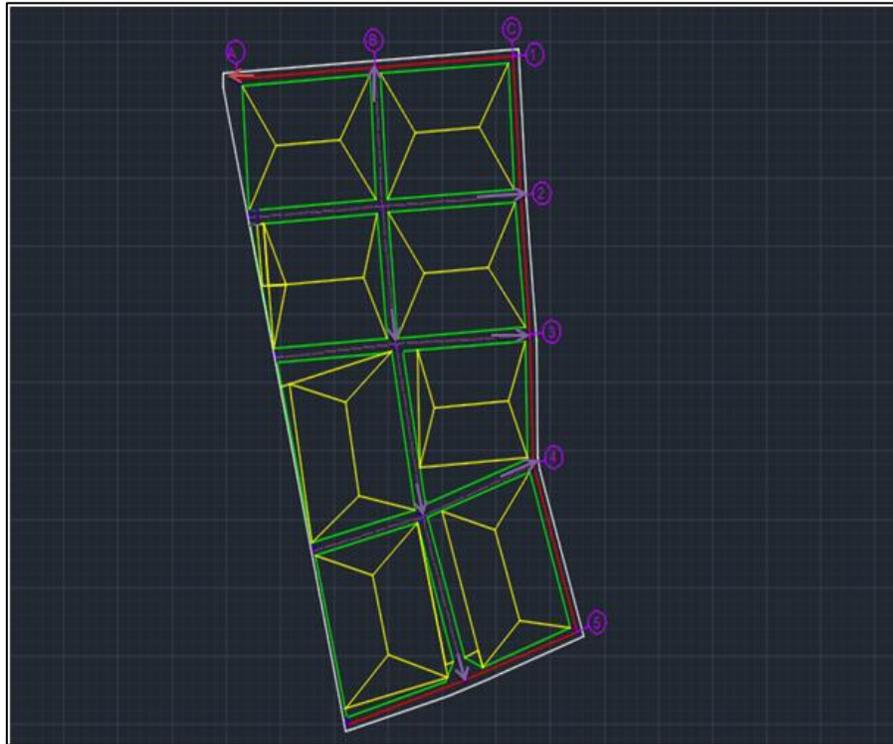


B.1 Mapa de la propuesta urbana con curvas de nivel.



B.2 Diseño del urbanismo modelo insertado en la topografía.

B.3 Delimitación de las parcelas.



B.4 Líneas de flujo de escorrentía en el urbanismo

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

Título	MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LOS FLUJOS DE ESCORRENTÍA PLUVIAL QUE DRENAN A TRAVÉS DE UNA RÁPIDA ESCALONADA EN LA URBANIZACIÓN “VALLE ALTO” (C-2) DE CANTAURA, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Ortiz Bellizia, Roberto Antonio	CVLAC	26.249.814
	e-mail	robertoortiz28@hotmail.com
	e-mail	
Yánez Rodríguez, Heliany Maritzel	CVLAC	24.707..679
	e-mail	helianymyr@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Drenaje pluvial
Rápidas escalonadas
Torrenteras
Sistema de drenaje
Hidrología de superficie

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Hidrología de superficie	Escorrentía pluvial
Obras hidráulicas	Sistemas de drenaje pluvial

Resumen (abstract):

Durante la última década, la estatal petrolera decidió promover el desarrollo de conjuntos urbanísticos en diversas poblaciones ubicadas en la Faja Petrolífera del Orinoco, tal iniciativa obedecía a la necesidad de brindar alojamiento y facilidades logísticas a los trabajadores que desarrollarían el potencial energético presente en la citada zona al norte del río Orinoco. En ese sentido, se requieren diversos estudios tendientes al diseño adecuado de sistemas de drenaje para todos estos desarrollos urbanísticos, razón por la cual en la presente investigación se efectúa el modelamiento matemático de los flujos de aguas de escorrentía de carácter pluvial que drenan a través de una rápida escalonada desde la urbanización “Valle Alto” (C-2) ubicado en la población de Cantaura, en el municipio Pedro María Freites, estado Anzoátegui. En ese sentido, se analizará el comportamiento de la pluviosidad y de la escorrentía superficial dentro de la citada urbanización en la población de Cantaura. Este trabajo se enmarca en un tipo de investigación descriptiva en la cual se aplicará una estrategia de campo y documental. En primer lugar, se efectuó un reconocimiento de la zona para validar la revisión previa de las cuencas y subcuencas existentes en el área de estudio efectuadas en las cartas y mapas de la zona. Posteriormente, se recabó, a partir de las bases de datos hidrometeorológicas administradas por el INAMEH, los registros de pluviosidad de las estaciones cercanas al área de estudio. Se utilizaron las curvas IDF propuestas por el MOP (1967) y Arocha (1983). Por otra parte, se efectuó la delimitación de las cuencas urbanas la determinación de algunos de sus parámetros morfométricos tal como el área y el tiempo de concentración. Seguidamente se determinó el coeficiente de escorrentía ponderado y la determinación del caudal de escorrentía superficial que aportarán dichas subcuencas que pudieran afectar las obras civiles de drenaje urbano. De la aplicación de los procedimientos antes descritos se produjeron como resultados relevantes que el área de estudio drena las aguas pluviales en ocho (8) tramos de calles principales y 10 tramos de calles secundarias. La pluviosidad de la zona alcanza unos 1088 mm anuales. El coeficiente de escorrentía ponderado para cada una de las cinco subcuencas oscilo entre 0.32 y 0.71. La magnitud del caudal de las escorrentías aportadas por las subcuencas calculado por el método racional arrojó un total de 4.74 m³/s para todo el urbanismo. Este caudal será canalizado finalmente por una rápida escalonada que deberá vencer una altitud de 13.0 m y una distancia horizontal de 400 m en la cual se producirán flujos con velocidades dentro de lo permisible para coberturas de concreto pero que serán producto de la disipación de energía mediante escalones con una altura (h) máxima de 0.62 m y una longitud horizontal total mínima de 1.91 m.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Echeverría Díaz, Dafnis José	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLA C	4.506.408
	e-mail	dafnisecheverria2807@gmail.com
	e-mail	
Monteverde Sevilla, Francisco Raul	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLA C	12.192.676
	e-mail	monteverdefr@gmail.com
	e-mail	
España, Juan	ROL	C <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/>
	CVLA C	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2022	08	

Lenguaje: spa

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-().docx	Application/msword
Modelamiento flujos en rápida escalonada urb C-2, Cantaura, Venezuela	

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

Alcance:

Espacial: Urb Valle Alto, Cantaura, estado Anzoátegui (Opcional)

Temporal: 2022 (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Hidrología – Diseño de obras hidráulicas

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

Derechos:

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

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

Tesista
Roberto Antonio Ortiz Bellizia
CI. No 26.249.814

Tesista
Heliany Maritzel Yanez Rodríguez
CI. No 24.707.679

TUTOR
Dafnis José Echeverría Díaz
C.I. No 4.506.408