



**Evaluación de los efectos de las precipitaciones en el alcantarillado pluvial de las parroquias Chigüilpe, Río Verde y Río Toachi, de la ciudad de Santo Domingo entre los años 1999 y 2019**

Cajas Quiñonez, Jairo Damian

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Masabanda Caisaguano, Marco Vinicio PhD

19 de julio del 2023

just.TESIS JAIRO DOC FINAL CORREGI...

## Scan details

Scan time:  
July 14th, 2023 at 19:37 UTC

Total Pages:  
65

Total Words:  
16082

## Plagiarism Detection



Types of plagiarism	Words
Identical	6.2% 1003
Minor Changes	0.6% 94
Paraphrased	3.1% 495
Omitted Words	0% 0

## AI Content Detection



Text coverage  
 AI text  
 Human text

## Plagiarism Results: (82)

<p> <b>UNESUM-ECUADOR-ING.CIVIL-2019-57.pdf</b> <span style="float: right;">5.1%</span></p> <p><a href="http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1726/1/u...">http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1726/1/u...</a></p> <p>RONNY ROMAN</p> <p>UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ Facultad de Ciencias Técnicas Carrera de Ingeniería Civil PROYECTO DE TITULACIÓN Previa a la obten...</p>
<p> <b>1.- CARATULAS</b> <span style="float: right;">4.9%</span></p> <p><a href="http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1187/1/t-ucsg...">http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1187/1/t-ucsg...</a></p> <p>electrohogar</p> <p>UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Trabajo de Grado Previa a la...</p>
<p> <b>NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILL...</b> <span style="float: right;">0.4%</span></p> <p><a href="https://docplayer.es/70138871-normas-de-diseno-de-sistem...">https://docplayer.es/70138871-normas-de-diseno-de-sistem...</a></p> <p>Iniciar la sesión ...</p>



Firmado electrónicamente por:  
MARCO VINICIO  
MASABANDA  
CAISAGUANO

Ing. Masabanda Caisaguano, Marco, PhD  
C.C.: 1802179190



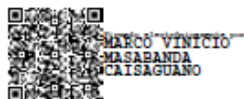
Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Evaluación de los efectos de las precipitaciones en el alcantarillado pluvial de las parroquias Chigüilpe, Río Verde y Río Toachi, de la ciudad de Santo Domingo entre los años 1999 y 2019”** fue realizado por el señor **Cajas Quiñonez Jairo Damian**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisa y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de julio del 2023



Ing. Masabanda Caisaguano, Marco, PhD

C.C.: 2300516107



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Cajas Quiñonez Jairo Damian** con cédula de ciudadanía n° 2300516107, declaro que el contenido, ideas y créditos del trabajo de titulación: **“Evaluación de los efectos de las precipitaciones en el alcantarillado pluvial de las parroquias Chigüilpe, Río Verde y Río Toachi, de la ciudad de Santo Domingo entre los años 1999 y 2019”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciado las citas bibliográficas.

Sangolquí, 19 de julio del 2023



---

**Cajas Quiñonez Jairo Damian**

C.C.: 2300516107



**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Autorización de Publicación**

Yo, **Cajas Quiñonez Jairo Damian**, con cédula de ciudadanía n° 2300516107, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“Evaluación de los efectos de las precipitaciones en el alcantarillado pluvial de las parroquias Chigüilpe, Río Verde y Río Toachi, de la ciudad de Santo Domingo entre los años 1999 y 2019”** en el Repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 19 de julio del 2023

---

**Cajas Quiñonez Jairo Damian**

C.C.: 2300516107

## **Dedicatoria**

A mis padres Ángela y Carlos, por darme su apoyo incondicional, por haber hecho posible este trabajo, son ellos quienes me educaron de manera que pudiera tomar siempre mis propias decisiones y me han acompañado en ellas hasta este punto de mi vida.

A mi hijo Demian que me ha enseñado lo que es la paternidad, lo que significa preocuparte por alguien más que por ti mismo y a mi pareja Yaritza, por permitirme recorrer con ella el bello camino de la vida.

***Jairo Damian Cajas Quiñonez***

## **Agradecimiento**

A mi madre Ángela Quiñonez por nunca dejar de presionarme para que hiciera algo con mi vida, por estar siempre presente brindándome todo su apoyo y por aconsejarme y cuidarme como si aún fuera un niño.

A mi directora de carrera Ingeniera Maribel Aldás quien semestre a semestre me ha ayudado a solucionar mis problemas dentro de la universidad lo que me ha permitido culminar mis estudios.

A Gabriela Cárdenas por haberme abierto las puertas de su hogar, haberme dado una segunda familia y por ayudarme a superar los momentos más difíciles a lo largo de mi carrera.

A todos mis docentes, aunque no haya estado de acuerdo con su manera de pensar todos me han enseñado algo útil, todos han contribuido en mi formación.

***Jairo Damian Cajas Quiñonez***

## Índice de Contenido

<b>Dedicatoria</b> .....	<b>6</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>7</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>16</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>17</b>
<b>Capítulo I Generalidades</b> .....	<b>18</b>
Antecedentes .....	18
Planteamiento del problema.....	19
Justificación e importancia .....	21
Objetivos.....	22
Objetivo general .....	22
Objetivos Específicos.....	23
Hipótesis .....	23
Metodología .....	23
Organización de la tesis.....	24
<b>Capítulo II Marco Teórico</b> .....	<b>24</b>
Introducción .....	24
Ciclo del agua .....	25
Análisis de precipitaciones .....	26
Registros históricos de inundaciones .....	26
Precipitaciones en el cantón Santo Domingo.....	28



Recursos hídricos .....	28
Sistemas naturales de drenaje.....	29
Análisis espacial y temporal de datos meteorológicos .....	30
Polígonos de Thiessen .....	30
Isoyetas .....	31
Curvas IDF .....	32
Red de alcantarillado pluvial .....	33
Colectores .....	33
Caudal normativo para diseño de redes pluviales .....	33
Periodos de retorno .....	34
Diámetros mínimos.....	34
Tipos de red pluvial .....	34
Velocidad de diseño para tubería pluvial .....	35
<b>Capítulo III Características del Área de estudio .....</b>	<b>36</b>
Introducción .....	36
Situación geográfica.....	36
Hidrología.....	37
Parroquias urbanas con Mayor riesgo de inundación .....	38
<b>Capítulo IV Manejo de Datos de precipitación .....</b>	<b>41</b>
Introducción .....	41
Relleno de Datos por el método de regresión lineal.....	48

	10
Precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 .....	51
Precipitación media anual utilizando los Polígonos de Thiessen.....	55
Cálculo del periodo de retorno y probabilidad de ocurrencia.....	56
Determinación de curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia) .....	59
<b>Capítulo V Identificación del sistema de Alcantarillado pluvial existente .....</b>	<b>63</b>
Catastro de la red de alcantarillado pluvial.....	63
Levantamiento de información .....	64
Sistema de alcantarillado pluvial existente.....	65
Parroquia Río Toachi .....	65
Principales elementos de la red de drenaje pluvial .....	66
Parroquia Chigüilpe.....	68
Estado de los elementos que conforman el sistema de alcantarillado pluvial existente .....	70
Parroquia Río Verde .....	74
Estado de los elementos que conforman el sistema de alcantarillado pluvial existente .....	75
<b>Capítulo VI Propuesta de diseño para la red de drenaje Pluvial.....</b>	<b>79</b>
Alcantarillado pluvial .....	79
Elementos del sistema de alcantarillado pluvial .....	80
Determinación de caudal de diseño mediante el método racional .....	83
Coefficiente de escorrentía .....	83
Intensidad de lluvia de diseño .....	86
Caudales de diseño para las parroquias Río Verde, Río Toachi y Chigüilpe .....	87

Áreas de aportación para las parroquias Río Verde, Río Toachi y Chigüilpe .....	87
Determinación de diámetros de tubería para la red de alcantarillado pluvial.....	91
Presupuesto referencial .....	93
<b>Capítulo VII Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>94</b>
Conclusiones .....	94
Recomendaciones .....	95
<b>Bibliografía.....</b>	<b>96</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Cronología de eventos meteorológicos intensos en la ciudad de Santo Domingo.....	27
<b>Tabla 2</b> Velocidades máximas a tubo lleno y coeficientes de rugosidad recomendados.....	35
<b>Tabla 3</b> Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación La Concordia .....	42
<b>Tabla 4</b> Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación El Carmen .....	43
<b>Tabla 5</b> Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación Puerto Ila .....	44
<b>Tabla 6</b> Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación Santa Anita, Vía Chone Km 10.....	45
<b>Tabla 7</b> Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación las Pampas.....	46
<b>Tabla 8</b> Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación Chiriboga .....	47
<b>Tabla 9</b> Precipitaciones mensuales de la estación M0025 y M0160.....	48
<b>Tabla 10</b> Precipitaciones mensuales completas de la estación M0025 y M0160 .....	50
<b>Tabla 11</b> Cálculo de la P media anual por el método de polígonos .....	56
<b>Tabla 12</b> Precipitación total anual del periodo 1999 a 2019 .....	57
<b>Tabla 13</b> Determinación de la del periodo de retorno y probabilidad.....	58
<b>Tabla 14</b> Datos de Precipitación diaria de la estación M0348, Febrero del 2012 .....	59
<b>Tabla 15</b> Valores De $X_m$ y $S$ para diferentes periodos .....	60
<b>Tabla 16</b> Factores de frecuencia $K_t$ .....	60
<b>Tabla 17</b> Valores de intensidad para los diferentes periodos d retorno .....	61
<b>Tabla 18</b> $T_r$ para diferentes zonas.....	62
<b>Tabla 19</b> Características del sistema de alcantarillado pluvial.....	66
<b>Tabla 20</b> Características del sistema de alcantarillado pluvial.....	69
<b>Tabla 21</b> Características del sistema de alcantarillado pluvial.....	75
<b>Tabla 22</b> Resumen de cumplimiento de parámetros mínimos de diseño para alcantarillado pluvial .....	78
<b>Tabla 23</b> Lotes vacíos por parroquia urbana .....	85

<b>Tabla 24</b> Valores típicos de Cs.....	85
<b>Tabla 25</b> Coeficientes de escorrentía para cada parroquia de estudio.....	86
<b>Tabla 26</b> Caudales de diseño para las parroquias Río Verde, Río Toachi y Chigüilpe.....	87
<b>Tabla 27</b> Presupuesto referencial para la colocación de drenaje pluvial .....	93

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Desbordamiento del río Pove, Santo Domingo .....	19
<b>Figura 2</b> Alcantarillado colapsado en Coop. 9 de Diciembre, Santo Domingo .....	20
<b>Figura 3</b> Ciclo del agua .....	25
<b>Figura 4</b> <i>Promedio de precipitaciones acumuladas mensuales de 1999 a 2019, Santo Domingo.</i> .....	28
<b>Figura 5</b> <i>Gráfico de Isoyetas</i> .....	31
<b>Figura 6</b> <i>Construcción de curva IDF</i> .....	32
<b>Figura 7</b> <i>Colector antes de ser cubierto</i> .....	33
<b>Figura 8</b> <i>Mapa de ubicación de Santo Domingo de los Tsáchilas</i> .....	37
<b>Figura 9</b> <i>Mapa de Recursos Hídricos, Sub Cuencas y Micro Cuencas</i> .....	37
<b>Figura 10</b> <i>Mapa de parroquias urbanas de Santo Domingo</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Parroquias urbanas de Santo Domingo con mayor riesgo de inundación</i> .....	40
<b>Figura 12</b> <i>Mapa de estaciones meteorológicas en la provincia de Santo Domingo de los</i> .....	41
<b>Figura 13</b> <i>Línea de tendencia de la relación entre las estaciones M0025 y M0160</i> .....	49
<b>Figura 14</b> <i>Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0160</i> .....	51
<b>Figura 15</b> <i>Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0025</i> .....	51
<b>Figura 16</b> <i>Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0026</i> .....	52
<b>Figura 17</b> <i>Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0348</i> .....	52
<b>Figura 18</b> <i>Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0362</i> .....	53
<b>Figura 19</b> <i>Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0327</i> .....	53
<b>Figura 20</b> <i>Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0160</i> .....	54
<b>Figura 21</b> <i>Precipitación de las estaciones en el periodo 1999 a 2019.</i> .....	54
<b>Figura 22</b> <i>Mapa de Santo Domingo con Polígonos</i> .....	55
<b>Figura 23</b> <i>Curvas IDF para la estación M0348.</i> .....	61
<b>Figura 24</b> <i>Alcantarillado pluvial existente en la parroquia Río Toachi</i> .....	65

<b>Figura 25</b> <i>Imágenes del estado general de los sumideros en la parroquia Río Toachi</i> .....	67
<b>Figura 26</b> <i>Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Río Toachi</i> .....	68
<b>Figura 27</b> <i>Alcantarillado pluvial existente en la parroquia Chigüilpe, sector Parque de la Juventud, Río Lelia y La Lorena.</i> .....	69
<b>Figura 28</b> <i>Imágenes del estado general de los sumideros en la parroquia Río Toachi</i> .....	70
<b>Figura 29</b> <i>Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Chigüilpe</i> .....	72
<b>Figura 30</b> <i>Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Chigüilpe</i> .....	72
<b>Figura 31</b> <i>Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Chigüilpe</i> .....	73
<b>Figura 32</b> <i>Alcantarillado pluvial existente en la parroquia Río Verde, Sectores La Chorrera</i> ....	74
<b>Figura 33</b> <i>Imágenes del estado general de los sumideros en la parroquia Río Toachi</i> .....	76
<b>Figura 34</b> <i>Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Río Verde</i> .....	77
<b>Figura 35</b> <i>Detalle constructivo de Pozo pluvial de Hormigón Simple</i> .....	80
<b>Figura 36</b> <i>Detalle constructivo de Pozo de revisión de Hormigón Simple</i> .....	81
<b>Figura 37</b> <i>Sumidero para captación de aguas lluvias</i> .....	81
<b>Figura 38</b> <i>Detalle de conexión de sumidero a pozo</i> .....	82
<b>Figura 39</b> <i>Mapa de uso de suelo Cantón Santo Domingo</i> .....	84
<b>Figura 40</b> <i>Mapa de diseño de red de drenaje pluvial para la parroquia Río Toachi</i> .....	88
<b>Figura 41</b> <i>Mapa de diseño de red de drenaje pluvial para la parroquia Chigüilpe</i> .....	89
<b>Figura 42</b> <i>Mapa de diseño de red de drenaje pluvial para la parroquia Río Verde</i> .....	90
<b>Figura 43</b> <i>Gráfico para determinación de factores de gasto</i> .....	91
<b>Figura 44</b> <i>Cuadro de rugosidad en función del material</i> .....	92

## Resumen

En el presente estudio se realizará un análisis de las precipitaciones ocurridas desde el año de 1999 hasta el año 2019 en la ciudad de Santo Domingo, siendo estas determinadas por los controles que lleva a cabo el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, poniendo especial atención en las de mayor demanda además de evaluar cuál ha sido el efecto que éstas han tenido en el alcantarillado pluvial de la ciudad en las parroquias urbanas Río Toachi, Chigüilpe y Río Verde que son las más afectadas año tras año ya que por estas atraviesa el río Pove. La investigación busca determinar si las redes de drenaje pluvial actualmente diseñadas y las diseñadas anteriormente se adaptan a la demanda producida por las lluvias. Para realizar el trabajo se obtendrán datos de precipitaciones provenientes de estaciones meteorológicas controladas por el INAMHI ubicadas en el área del cantón Santo Domingo y se realizará un análisis utilizando ya sea el método de Polígonos de Thiessen, Isoyetas o Curvas IDF para poder obtener datos de precipitaciones medias en las diferentes zonas del cantón. Luego se procederá a realizar el análisis de la influencia de estas precipitaciones en la red de alcantarillado pluvial tomando en cuenta todos los parámetros referentes al diseño como son diámetros, pendientes y materiales.

*Palabras clave:* Precipitación, alcantarillado pluvial, Polígonos de Thiessen, Curvas IDF.



### **Abstract**

In the present study will make an analysis of the precipitations that have occurred since 1999 to 2019 in the City of Santo Domingo, being these determined by the controls carried out by the National Institute of Meteorology and Hydrology INAMHI, will be carried out, paying special attention to those with the highest demand, in addition to evaluating the effect that this has had on the city's storm drainage system in the urban parishes of Río Toachi, Chigüilpe and Río Verde, which are the most affected year after year, since the Pove River flows through these parishes. The research seeks to determine whether the storm drainage networks currently designed and those previously designed are adapted to the demand produced by rainfall. To carry out the work, rainfall data will be obtained from meteorological stations controlled by INAMHI located in the area of the canton of Santo Domingo and an analysis will be made using either the Thiessen Polygon method, Isohyets or IDF curves to obtain data on average rainfall in the different areas of the canton. Then we will proceed to analyze the influence of this rainfall on the storm sewer network, taking into account all design parameters such as diameters, slopes and materials.

*Keywords:* Precipitation, storm sewers, Thiessen Polygons, IDF curves.

## Capítulo I

### Generalidades

#### Antecedentes

Ecuador es un país que por su ubicación geográfica se enfrenta año a año con grandes precipitaciones que históricamente han generado graves problemas como inundaciones en las ciudades de la costa y sierra causando la pérdida de bienes materiales, además estas inundaciones han destruido las zonas de cultivo lo que representa un golpe en la economía de muchos agricultores, la pregunta que surge de todas las catástrofes naturales es ¿Podemos prevenir las inundaciones?

La manera de evitar que se generen inundaciones es contar con sistemas de alcantarillado pluvial que estén diseñados de acuerdo a la intensidad real de lluvia que se presenta año tras año en varias zonas del país, y esto viene de la mano con realizar un correcto análisis de precipitaciones y construcción de curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia que son los parámetros que nos darán la mejor pauta para realizar el diseño pluvial

En la ciudad de Santo Domingo a lo largo de los años se han registrado índices de precipitación relativamente altos como sucedió en el año de 1998 en el mes de abril cuando se registró una precipitación máxima de 1021mm según datos tomados de los anuarios meteorológicos del INAMHI. Y valores similares durante los meses de enero hasta abril lo cual debería ser un llamado de atención a la empresa encargada del sistema de alcantarillado pluvial y sanitario para tomar medidas acerca del colapso que sufren los sistemas de drenaje cada vez que se enfrentan a temporadas de lluvias intensas.

El 8 de mayo de 2016 en la zona céntrica de la ciudad se evidenció la falta de un sistema de drenaje adecuado cuando el intenso temporal provocó el desbordamiento del río Pove el cual atraviesa la ciudad y es uno de los principales sistemas de drenaje natural que

tiene Santo Domingo, en esa ocasión más de 15 viviendas resultaron afectadas (El Comercio, 2016).

### **Figura 1**

*Desbordamiento del río Pove, Santo Domingo*



*Nota.* Recuperado de “El Universo”, 8 de mayo del 2016

Existen planes comunitarios de gestión de riesgo ante inundaciones en varias zonas de la ciudad y el municipio también está culminando la construcción de varios sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario pero estas obras solo resolverán una pequeña parte de este grave problema.

### **Planteamiento del problema**

En el mundo existen varios tipos de calamidades naturales que con frecuencia afectan a las áreas urbanas y unas de las principales son las de origen hidrometeorológicos, específicamente las precipitaciones intensas, las cuales, combinadas con el rápido crecimiento poblacional y un mal diseño de redes de alcantarillado pluvial y sanitario, favorecen el riesgo de inundaciones. Este problema afecta a todas las ciudades de los países tropicales donde las

personas construyen sus viviendas en zonas de riesgo como laderas y orillas de ríos, las consecuencias se manifiestan en daños materiales y humanos (Navarro, 2021).

El acelerado crecimiento demográfico a generado en las diferentes ciudades una acumulación de población en áreas geográficas relativamente pequeñas donde la falta de planificación urbana con buenas proyecciones a futuro conduce a pérdidas en la calidad de vida relacionados con la infraestructura del agua la cual muchas veces no satisface las necesidades operacionales de la zona en la que se encuentra (Morelli, 2007).

El cantón de Santo Domingo se encuentra ubicado entre las regiones costa y sierra por lo que su temperatura ambiental varía entre los 18°C y 26°C en promedio cada año, según datos obtenidos del INAMHI y sus precipitaciones acumuladas anuales rondan los 3000 mm siendo una de las altas del país. Por lo tanto uno de los problemas recurrentes en la zona es el desbordamiento de ríos y taponamiento de alcantarillas.

## Figura 2

*Alcantarillado colapsado en Coop. 9 de Diciembre, Santo Domingo*



*Nota.* Recuperado de “Radio Macarena”, 29 de abril del 2019

Como parte del plan de ordenamiento territorial elaborado por el GAD Municipal de Santo Domingo de los Tsáchilas, se construyen nuevas redes de alcantarillado pluvial en zonas propensas a inundaciones que no cuentan con ningún tipo de drenaje lo que ha ayudado a

mitigar las pérdidas tanto materiales como humanas, pero no ha sido una respuesta concluyente para este problema, ya que existen muchas zonas en las cuales sigue funcionando el alcantarillado colocado hace más de 30 años.

Santo Domingo está dividido en 7 parroquias urbanas de las cuales las parroquias; Río Toachi, Chigüilpe y Río Verde son las más afectadas por las intensas precipitaciones debido a que el río Pove cruza a través de estas 3 y al ocurrir eventos de lluvia intensa toda el agua proveniente de la escorrentía superficial es conducida por el río ocasionando que este se colapse.

Siguiendo el recorrido del río por la avenida podemos observar aguas estancadas, calles intransitables y proliferación de malos olores, lo que indica en algunos sectores el mal estado del sistema de alcantarillado y falta del mismo en otros casos, es por esto que resulta necesario conocer mediante un estudio cuales han sido los cambios en los niveles de precipitación a los que se ha enfrenta la ciudad en los últimos 20 años y cual a sido el efecto que estos han tenido sobre el sistema de alcantarillado pluvial mismo que ahora parece ser insuficiente para garantizar una correcta evacuación de las aguas lluvias.

### **Justificación e importancia**

Las inundaciones han sido un problema de gran importancia en el Ecuador, el crecimiento urbanístico acelerado combinado con una mala planificación por parte de los municipios ha aumentado el riesgo de desastres relacionados con las precipitaciones, por tanto, un correcto estudio en el tiempo de las precipitaciones y posterior análisis de su influencia en el sistema de alcantarillado pluvial ayudará a crear planes de contingencia en zonas donde la intensidad de lluvia es mayor y por tanto tienen un riesgo más alto de inundación y a mejorar o cambiar donde se lo requiera la infraestructura del alcantarillado.

El GAD de Santo Domingo ha presentado muchos planes de mejoramiento urbano orientados a mejorar los sistemas de alcantarillado y la planificación urbana, pero estos

proyectos no están complementados con un estudio de precipitaciones que delimite las áreas de influencia a partir de un conjunto de estaciones meteorológicas con determinados valores de precipitación para tener una idea clara de cuáles son los puntos donde se han dado a través de los años las lluvias más intensas y cuál ha sido la influencia en las redes de alcantarillado.

Este estudio podría a futuro brindar una referencia más clara a los diseñadores de cuáles son las zonas que requieren de un mayor cuidado al momento de dimensionar infraestructuras destinadas al drenaje de aguas de origen pluvial, una de las grandes fallas en cuanto a planificación es que gran parte de los ingenieros están desactualizados con respecto a la visión ambiental en la solución de los problemas urbanos y generalmente buscan soluciones que no contemplan la alteración al ambiente y terminan cubriendo quebradas que conducían el agua de manera natural lo cual favorece el riesgo de inundaciones.

En los últimos años la sociedad ha estado atravesando por graves problemas relacionados con elementos esenciales para la vida como la contaminación ambiental y mal manejo de los sistemas hídricos, el ciclo hidrológico natural está constituido por distintos procesos que cuando son intervenidos por el hombre sufren grandes alteraciones algunas veces irreversibles todas estas razones avalan la necesidad de realizar el presente estudio el cual busca ser de ayuda para la comunidad y para los proyectistas urbanos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar un análisis temporal de las precipitaciones entre 1999 y 2019, en las parroquias Chigüilpe, Río Verde y Río Toachi, de la ciudad de Santo Domingo, para evaluar los efectos en la red de alcantarillado pluvial.

## **Objetivos Específicos**

Analizar los datos de precipitación media entre 1999 y 2019, mediante métodos gráficos.

Construir hietogramas de precipitación, curvas de duración, Precipitación vs Tiempo para el posterior análisis de los efectos de la lluvia sobre el sistema de alcantarillado pluvial.

Evaluar los efectos de las precipitaciones del periodo 1999 a 2019 sobre el sistema de alcantarillado pluvial.

Presentar una alternativa para mejorar el sistema de alcantarillado pluvial de las parroquias de estudio.

## **Hipótesis**

Mediante un análisis temporal de las precipitaciones se prevé analizar y disminuir el impacto de las aguas lluvia en los sistemas de alcantarillado En la ciudad de Santo Domingo.

## **Metodología**

Para el desarrollo del estudio de precipitaciones se utilizarán los datos provenientes de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la ciudad de Santo Domingo y también las de sus alrededores, las cuales son monitoreadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, debido a que no existen suficientes estaciones dentro del cantón será necesario realizar estimaciones de las precipitaciones en ciertos puntos utilizando métodos de interpolación simple.

Entre los métodos gráficos para el análisis de precipitaciones medias dentro de la zona de estudio tenemos los Polígonos de Thiessen los cuales nos permiten determinar las áreas de influencia de las cuales recogen datos las estaciones y con los cuales determinaremos una precipitación media para toda el área de Santo Domingo.

Las curvas IDF nos servirán para determinar las precipitaciones pluviales extremas y la duración de la misma, estos datos son necesarios en el posterior diseño de cualquier red de

alcantarillado pluvial y servirá para comparar el diseño existente de la red de drenaje pluvial, con lo cual determinaremos si el mismo se encuentra en capacidad de satisfacer las demandas de precipitación existentes.

### **Organización de la tesis**

Este estudio investigativo está separado por capítulos. El capítulo 2 presenta el sustento teórico de todo lo referente a recopilación y manejo de datos de precipitación, uso de métodos de análisis como lo son los polígonos de Thiessen, las Isoyetas y las Curvas IDF. En el capítulo 3 se describe a profundidad la zona de estudio su situación geográfica y cuáles son las parroquias con más alto riesgo de inundaciones. El capítulo 4 se detalla el proceso de manejo de datos y uso de los métodos de análisis, la construcción de las curvas IDF. En el capítulo 5 se realiza el levantamiento del catastro del sistema pluvial existente. El capítulo 6 presenta la propuesta del nuevo sistema incluido el presupuesto referencial. En el capítulo 7 las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo del proyecto de investigación.

## **Capítulo II**

### **Marco Teórico**

#### **Introducción**

En el presente estudio se realizará un análisis de las precipitaciones ocurridas a lo largo de los últimos 20 años en la ciudad de Santo Domingo además de evaluar cuál ha sido el efecto que éstas han tenido en el alcantarillado pluvial de la ciudad en sus diferentes sectores, para determinar si las redes de drenaje pluvial actualmente diseñadas se adaptan a la demanda producida por las lluvias.

Para realizar el trabajo se obtendrán datos de precipitaciones provenientes de estaciones meteorológicas controladas por el INAMHI ubicadas en el área del cantón Santo Domingo y se realizará un análisis utilizando ya sea el método de Polígonos de Thiessen



Isoyetas y Curvas IDF para poder obtener datos de precipitaciones medias en las diferentes zonas del cantón. Luego se procederá a realizar el análisis de la influencia de estas precipitaciones en la red de alcantarillado pluvial tomando en cuenta todos los parámetros referentes al diseño como son diámetros, pendientes y materiales.

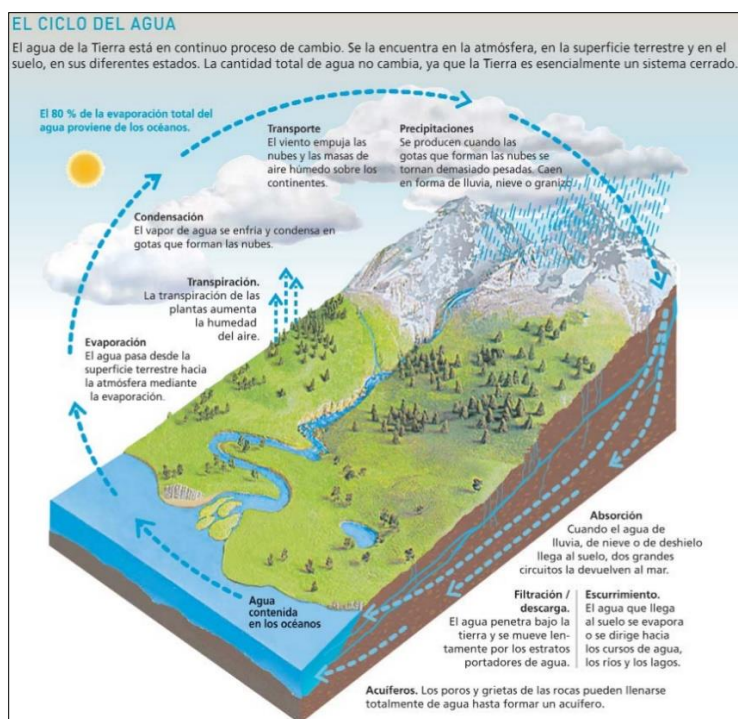
### Ciclo del agua

El concepto básico de ciclo hidrológico que todos tenemos es, un proceso mediante el cual el agua pasa por sus diferentes estados desde el líquido que encontramos en ríos, mares y lagos evaporándose hasta convertirse en masas de agua menos pesadas que el aire flotando en forma de nubes para finalmente caer en forma de lluvia sobre la tierra.

Estos procesos de transporte son indefinidos o permanentes debido a que el sol proporciona para evaporar el agua y la gravedad genera que se precipite sobre la superficie.

### Figura 3

#### Ciclo del agua



Nota. Recuperado de "El ciclo del agua" (Vera & Camilloni, 2016).

## **Análisis de precipitaciones**

Se conoce como precipitación a la condensación de las nubes en forma de lluvia sobre la tierra. Las precipitaciones mismas están diferenciadas según su origen, las ciclónicas son las provocadas por los frentes asociados a una borrasca o ciclón, la mayor parte de las precipitaciones recogidas en una cuenca hidráulica son de este tipo. Las de convección se producen por el ascenso de bolsas de aire caliente y por último las precipitaciones orográficas son las que se presentan cuando una masa de aire húmedo es obligada a ascender al encontrar una barrera montañosa (Sánchez, 2016)

El análisis de precipitaciones se lo realiza con el objetivo de descubrir a profundidad cuales son los factores desencadenantes de las inundaciones, la metodología a utilizarse se basa en un estudio meteorológico con datos provenientes de estaciones de control. El estudio de precipitaciones es de vital importancia en la evaluación y posterior predicción de un posible desastre natural como inundaciones o desbordamientos en el área de estudio, para llegar a una predicción acertada es necesario un previo análisis de las precipitaciones pasadas y sobre la influencia que las mismas han tenido sobre los sistemas de drenaje pluvial natural o artificial (SNET, 2001) .

## **Registros históricos de inundaciones**

El cantón de Santo Domingo se encuentra en una zona geográfica con características climáticas de tipo subtropical, clima cálido húmedo, con temperaturas que fluctúan entre 18°C y 26°C, además de precipitaciones intensas que han alcanzado los 80 mm solamente en horas (GAD MUNICIPAL DE SANTO DOMINGO, 2015). A lo largo de estos 20 años se han suscitado varios eventos hidrometeorológicos con precipitaciones intensas que han ocasionado inundaciones en la ciudad los cuales son presentados en la siguiente tabla.

**Tabla 1***Cronología de eventos meteorológicos intensos en la ciudad de Santo Domingo*

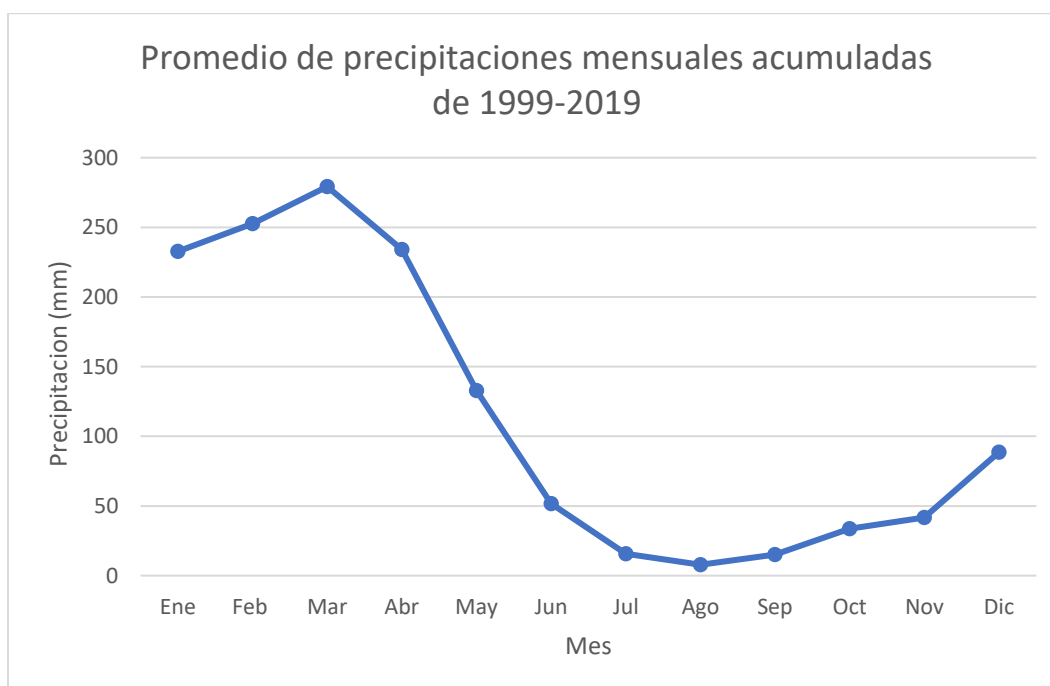
<b>Fecha</b>	<b>Evento</b>	<b>Observación</b>
Enero, 2012	Inundación	El día sábado desde las 07:00 horas se registró una precipitación de cerca de 84mm, que dejó como resultado la inundación de varias cooperativas en la ciudad de Santo Domingo, moradores cercanos al río Pove indicaron que las alcantarillas son demasiado pequeñas como para desfogar tanta agua, lo que ocasiona que las calles se inunden (La Hora, 2012).
Mayo, 2016	Desbordamiento del río Pove	Según informes presentados por el gobierno, las tres parroquias que más se vieron afectadas por el desbordamiento del río fueron; las parroquias urbanas más grandes de Santo Domingo entre ellas la Río Verde. Se pudo cuantificar los daños materiales que dejó este evento, Walter Molina indicó que "debido a las fuertes precipitaciones estas zonas siempre serán propensas a inundaciones " (El Comercio, 2016).
Febrero, 2017	Inundación	Según el informe del INAMHI emitido por el Gobierno provincial de Santo Domingo las precipitaciones registradas rondan los 40-46mm. Debido a las intensas lluvias dos sectores de Santo Domingo fueron afectados lo que ocasionó el cierre de un tramo de la vía Esmeraldas sector del terminal terrestre (El Diario, 2017).
Marzo, 2019	Desbordamiento del río Pove	Unas 45 viviendas se vieron afectadas luego del fuerte temporal que ocasionó el colapso del sistema de alcantarillado y el desbordamiento del río Pove. La noche del 22 de marzo las fuertes precipitaciones dejaron bajo el agua a varias zonas de la parroquia urbana Río Verde, Río Toachi y Chigüilpe (La Hora, 2019).
Abril, 2020	Desbordamiento del río Pove	En el sector Las Palmeras perteneciente a la parroquia urbana Río Verde se produjo el desbordamiento del río debido a la gran cantidad de basura acumulada en el cauce y el taponamiento del alcantarillado pluvial el cual la gran parte del tiempo pasa colapsado según moradores del sector (Macarena, 2020).

## Precipitaciones en el cantón Santo Domingo

La ciudad de Santo Domingo presenta fuertes precipitaciones cada año a lo largo de los meses de enero a mayo que se detallan de mejor manera en la figura 2, donde se puede apreciar picos de precipitación mensual acumulada de 279mm en el mes de marzo en promedio de los últimos 20 años.

### Figura 4

*Promedio de precipitaciones acumuladas mensuales de 1999 a 2019, Santo Domingo.*



*Nota.* Datos tomados de la página LARC de la NASA

## Recursos hídricos

Al referirnos a recursos hídricos podríamos indicar que son aquellas fuentes que nos proveen agua como las lagunas las cuales son usadas para captaciones de agua potable, los ríos que nos permiten evacuar aguas, además de ser el principal elemento de las plantas hidroeléctricas. Este recurso es uno de los más grandes del planeta indispensable para sostener la vida, su cantidad y disposición varía dependiendo de la zona geográfica en la que nos encontremos, apenas el 2.5% del agua del planeta es dulce además de este porcentaje

solamente el 30.1% se encuentra en depósitos subterráneos lo cual nos deja solamente con un 0.4% de agua dulce superficial disponible para su aprovechamiento directo (Etecé, 2021).

El agua sin dudas es la esencia de la vida en la tierra, el principal constituyente de los seres vivos y una fuerza que constantemente está cambiando la superficie de la tierra. Existen varias características que juntas forman los pilares fundamentales del buen desarrollo, el actual crecimiento urbano se encuentra cada vez más ligado con los problemas relacionados con el agua, El mal manejo urbanístico ha dificultado una gestión racional eficiente de los recursos hídricos lo que ha generado graves problemas tanto económicos como sociales (Díaz, Esteller, & Lopez-Vera, 2005).

### **Sistemas naturales de drenaje**

Entendemos por drenaje la forma mediante la cual el agua es desalojada de un área y los sistemas de drenaje son las estructuras naturales o artificiales que facilitaran que el escurrimiento del agua se lleve a cabo en una zona en particular, de acuerdo a su importancia los drenajes naturales se clasifican en: primarios y secundarios (Martín, 2006).

En la ciudad de Santo Domingo tenemos 11 afluentes que atraviesan el área urbana y rural de los cuales 5 se encuentra en completo estado de contaminación debido a los desechos arrojados por las personas a lo largo de los años, lo que dificulta el drenaje de aguas de origen pluvial, uno de los ríos con el mayor nivel de contaminación es el río Pove donde los sedimentos que permanecen en el fondo de este contienen altas concentraciones de mercurio, un metal pesado muy tóxico (El Diario, 2017).

De los principales sistemas de drenaje natural con que cuenta la ciudad de Santo Domingo podemos mencionar 3 que atraviesan el centro urbano de la ciudad, el Río Pove, atraviesa las parroquias urbanas Río Toachi, Río Pupusá y Chigüilpe siendo uno de los afluentes más grandes de la ciudad y uno de los más contaminados ya que por años los habitantes han arrojado toda clase de desperdicios en su cauce, actualmente se encuentra en proceso de

limpieza y recuperación.

## **Análisis espacial y temporal de datos meteorológicos**

### ***Polígonos de Thiessen***

Los polígonos de Thiessen son un proceso ampliamente utilizado al momento de realizar cálculos de precipitaciones medias dentro de zonas definidas el método se basa en obtener áreas de influencia en las cuales actúa la precipitación y luego se obtiene la Precipitación media. *“En cualquier punto de la cuenca la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano”*. (Gutiérrez & Barragán, 2019)

El método es el siguiente:

- a. Trazando líneas rectas procedemos a unir los puntos en los cuales se ubica el pluviómetro y formamos triángulos.
- b. Utilizando líneas que pasen por medio de las rectas que unen los puntos de ubicación de los pluviómetros formaremos polígonos que encerrarán las áreas donde tienen influencia los pluviómetros.
- c. Determinamos la superficie que encierra el polígono.
- d. Calculamos la precipitación media utilizando la ecuación:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i P_i}{A}$$

Donde:  $a_i$ = superficie donde influye la precipitación

$P_i$ = precipitación parcial obtenida de los datos del pluviómetro dentro del área del polígono

$A$  = Sumatoria de las superficies parciales

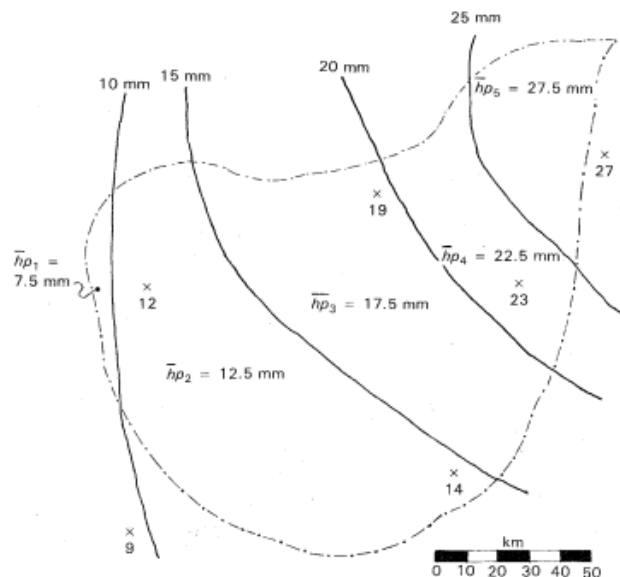
Este método nos permite introducir información de los pluviómetros cercanos a un área que no cuente con registros pluviométricos, también es sencillo y rápido de aplicar pero el lado contrario el método proporciona una distribución de lluvias discontinuas y no toma en cuenta otro tipo de factores que pueden influir en un resultado más exacto (Gutiérrez C. , 2014).

## Isoyetas

Las isoyetas son curvas trazadas a partir de los datos de los pluviómetros obteniendo una superficie con líneas similares a las que representan curvas de nivel en los planos topográficos, solo que en este caso las curvas representan precipitaciones medias. Estas líneas deben ser trazadas sobre un plano separando las zonas de precipitación basados en los valores obtenidos de las estaciones meteorológicas, estos valores determinarán el intervalo que habrá entre cada curva (Gutiérrez C. , 2014).

### Figura 5

Gráfico de Isoyetas



Nota. método de cálculo por Isoyetas, Recuperado de, (Aparicio, 1992).

Cuando logramos determinar gráficamente las isoyetas tendremos que realizar el cálculo mediante el uso de la ecuación:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m [(P_j + P_{j+1})/2] * A_j}{\sum_{j=1}^m A_j}$$

Donde:  $m$  = Número de curvas

$P_i$  = Valor de P para la curva

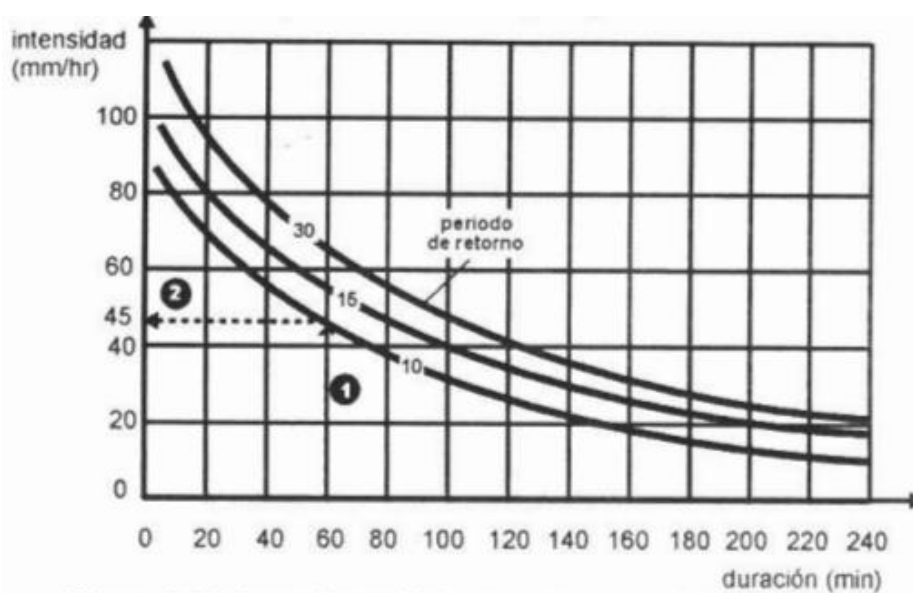
$A_j$  = superficie calculada gráficamente entre curvas

### Curvas IDF

Este tipo de curvas en muchas ocasiones son complicadas de obtener, debido a la gran cantidad de información que hay que procesar, pero son sumamente importantes en cuanto a la obtención de la intensidad máxima para una determinada duración y un periodo de retorno específico, es una de las herramientas más utilizadas a la hora de estimar caudales que posteriormente se utilizaran en el diseño de obras hidráulicas y de infraestructura. En las curvas IDF se debe tener en cuenta ciertas consideraciones como que la precipitación será constante (Villón, 2002).

### Figura 6

Construcción de curva IDF



Nota. Recuperado de Fundamentos de Hidrología, (Villón, 2002).

Para realizar el análisis de datos y obtener la curva IDF se sigue empleando las fórmulas que propuso el científico Sherman en el año de 1931 aunque debemos tener en cuenta que varios de los valores que se piden en la formula no tienen sentido físicamente hablando (Gutiérrez & Barragán, 2019).



## Red de alcantarillado pluvial

### Colectores

El colector es un conducto subterráneo el cual recibe el agua conducida por las alcantarillas, el colector es una red primaria que conduce las aguas hasta una estación depuradora para su posterior tratamiento o en su defecto para ser vertidas a un medio natural siempre y cuando sus parámetros cumplan los mínimos requeridos por la normativa existente en la zona (Zarza, 2020).

### Figura 7

*Colector antes de ser cubierto*



*Nota.* Recuperado de IAGUA respuestas, (Zarza, 2020).

Los elementos que conforman los sistemas de alcantarillado pluvial están formados por tuberías, sumideros, pozos y colectores principales que normalmente tiene diámetros muy superiores que las tuberías normales de la red, se debe mencionar que para un diseño óptimo de la red de drenaje pluvial debemos apegar el diseño a las pendientes naturales de una zona (SENAGUA, 2012).

### **Caudal normativo para diseño de redes pluviales**

El método para determinar un caudal de diseño que tiene mayor aceptación es el método

racional, en este método debemos considerar factores como la superficie del terreno en el cual se va a diseñar el alcantarillado pluvial ya que este nos dará el coeficiente de escurrimiento además debemos tener calculada la intensidad de lluvia de la zona de estudio, esta se puede determinar mediante el uso de los anuarios meteorológicos del INAMHI en los cuales se nos presentan las fórmulas para determinar la intensidad conociendo el tiempo de concentración de la cuenca, una vez conseguidos todos los parámetros para el uso de la fórmula del método racional deberemos aplicarla para zonas con una superficie menor a 1km<sup>2</sup> (SENAGUA, 2012).

### ***Periodos de retorno***

El periodo de retorno para proyectos hidráulicos siempre está en función del área que se va a servir así por ejemplo tendremos varios niveles de prioridad mientras más importancia tenga la zona donde se ubicará el proyecto se tendrá que buscar periodos de retorno mayores que consideren eventos importantes con una probabilidad de ocurrencia muy baja pero al tomar estos valores nos aseguramos que de darse el evento, nuestro proyecto tendrá la capacidad de hacerle frente (SENAGUA, 2012).

### ***Diámetros mínimos***

Para poder drenar de una zona las aguas provenientes de eventos meteorológicos intensos se tiene la consideración de que las tuberías de la red de alcantarillado pluvial tendrán al menos 250 mm de diámetro con este valor podremos asegurar el normal desalojo de todas las aguas superficial recogidas por los elementos que conforman nuestra red.

### ***Tipos de red pluvial***

Los tipos de alcantarillado pluvial están en función de qué tipo de servicio van a prestar para zonas urbanas con edificios, escuelas, hospitales y demás elementos que conforman una ciudad, tenemos que utilizar todos los elementos de la red de alcantarillado pluvial como lo son las cuentas que se ubican a los lados de la calles y canalizan la mayor parte de las aguas que escurren por las superficies de la zona para llevarlas a los sumideros que están cubiertos con rejillas de hierro fundido para evitar la entrada de basura y escombros, luego se conducen a los

pozos desde los cuales el agua seguirá la pendiente de cada tramo hasta llegar a colector principal y evacuar en un afluente natural como algún río o quebrada.

### ***Velocidad de diseño para tubería pluvial***

Uno de los parámetros normativos y que definen el diámetro y pendiente de una red de alcantarillado pluvial es la velocidad, este aspecto es determinante para un buen funcionamiento de la red ya que al tener pendientes altas la velocidad aumenta y la fuerza del golpe del agua es mayor en el concreto del pozo de revisión que recolecta dichas aguas, para definir los rangos admisibles la Secretaría Nacional del Agua presenta la tabla de velocidades máximas a tubo lleno y coeficientes de rugosidad. (SENAGUA, 2012).

**Tabla 2**

*Velocidades máximas a tubo lleno y coeficientes de rugosidad recomendados*

<b>MATERIAL</b>	<b>VELOCIDAD MÁXIMA m/s</b>	<b>COEFICIENTE DE RUGOSIDAD</b>
<b>Hormigón simple:</b>		
<b>Con uniones de mortero.</b>	4	0.013
<b>Con uniones de neopreno para nivel freático alto</b>	3.5 - 4	0.013
<b>Asbesto cemento</b>	4.5 - 5	0.011
<b>Plástico</b>	4.5	0.009

*Nota. Tomado de Normas para el diseño de sistemas de aguas residuales SENAGUA, 2012.*

## Capítulo III

### Características del Área de estudio

#### Introducción

El catón de Santo Domingo cuenta con una población aproximada de 450 mil habitantes (INEC, 2020), según estimaciones basadas en su tasa de crecimiento, además de ser el nexo que une las principales ciudades de la costa con las de la sierra por lo que su economía se basa en el comercio de todo tipo de mercancías y materias primas, su crecimiento vertiginoso ha despertado la necesidad de mejorar sus sistemas viales para agilizar el transporte dentro de la ciudad como en sus alrededores, de la mano de estas mejoras en los sistemas viales está el mejoramiento de la infraestructura pluvial y sanitaria que actualmente se encuentra en pésimo estado en varias zonas de la ciudad.

#### Situación geográfica

Santo Domingo se encuentra localizado en una zona privilegiada del país siendo el nexo entre las ciudades de la costa y la sierra, cuenta con una extensión de aproximadamente 7 389 Ha y se ubica en la región noroccidental de la cordillera de los Andes, limitando al norte con los cantones de Puerto Quito y San Miguel de los Bancos pertenecientes a la provincia de Pichincha, por el sur limita con los cantones de San Jacinto de Buena Fe y Valencia pertenecientes a la provincia de Los Ríos, al este tiene a los cantones de Quito y Mejía de la provincia de Pichincha y al oeste el cantón El Carmen de la provincia de Manabí.

Con una altitud promedio de 655 msnm, el cantón de Santo Domingo posee un clima tropical húmedo que varía de los 18 a los 26 grados centígrado, su volumen de precipitaciones anuales ronda los 3000 a 4000 mm y según datos obtenidos del INAMHI llueve 287 días al año, por lo que podemos decir que es una ciudad con un alto nivel de pluviosidad, La humedad relativa registra periodos máximos entre los meses de Septiembre y Octubre en 91 %, el promedio anual de esta humedad se registra en un 90 % (GADM-SD, 2015).

## Figura 8

*Mapa de ubicación de Santo Domingo de los Tsáchilas*



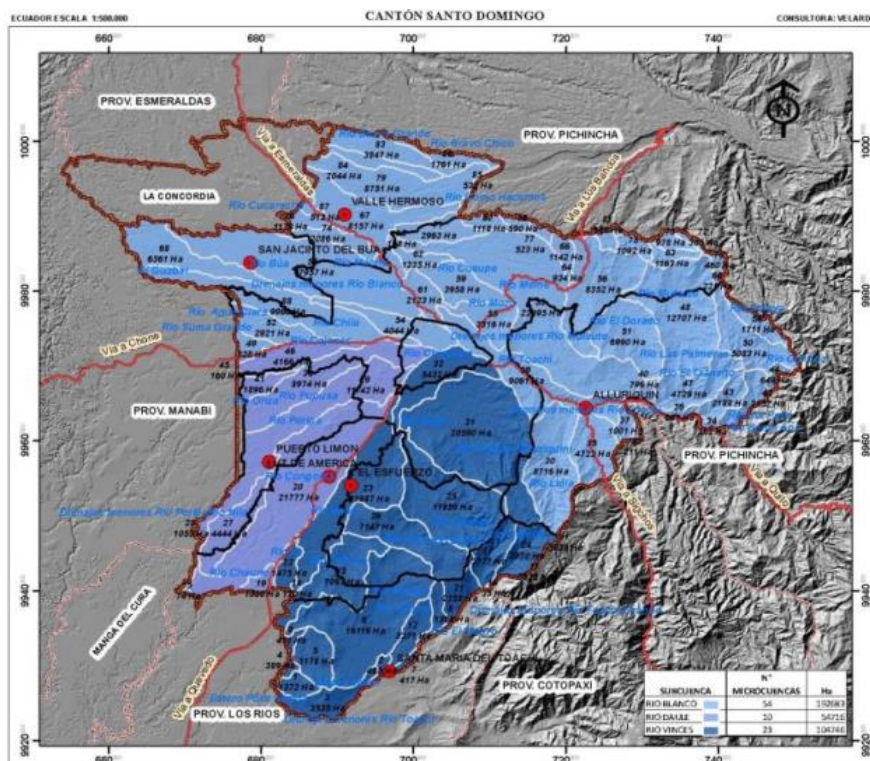
*Nota. Recuperado de Wikipedia commons (2011).*

## Hidrología

Atravesando la ciudad de Santo Domingo podemos encontrar varios ríos, esteros y vertientes, los tres afluentes de mayor importancia que rodean el cantón son, el Río Toachi al Norte, Río Verde al Sur y Río el Poste al Oeste. Además, el casco urbano se encuentra atravesado por el Río Pove uno de los afluentes más icónicos de la Santo Domingo y que tradicionalmente había sido utilizado como receptor de las descargas tanto pluviales como sanitarias de la urbe. Fuera de la ciudad podemos encontrar ríos como el Pupusa, el Chigüilpe y el río Verde, estos dos últimos dan nombre a dos grandes parroquias urbanas.

## Figura 9

*Mapa de Recursos Hídricos, Sub Cuencas y Micro Cuencas*



*Nota. Recuperado de Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT-SD, 2015).*

### Parroquias urbanas con Mayor riesgo de inundación

El área urbana de Santo Domingo está dividida en 7 parroquias las cuales son:

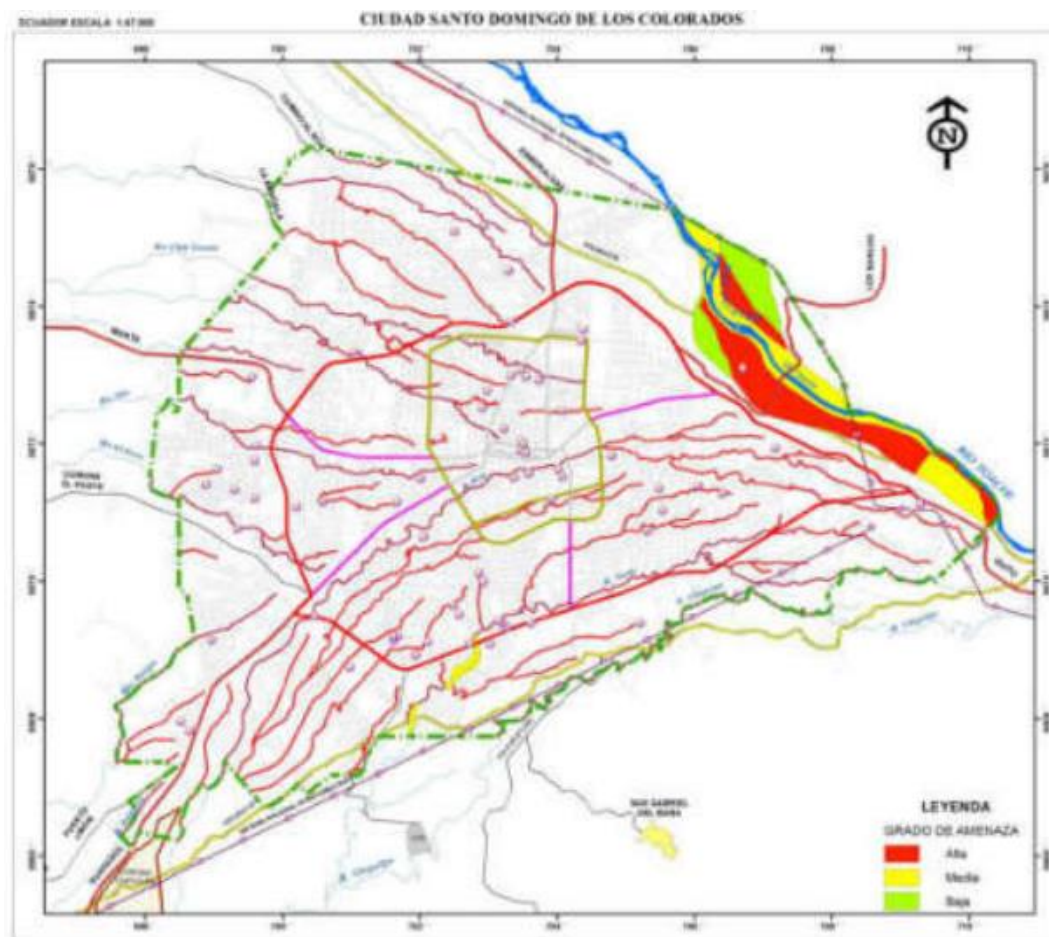
- Santo Domingo : 113.6 Ha
- Zaracay : 334.9 Ha
- Río Toachi : 939.5 Ha
- Chigüilpe : 1308.1 Ha
- Río Verde : 1794.2 Ha
- Abraham Calazacón : 1216.5 Ha
- Bombolí : 1682.8 Ha





**Figura 11**

*Parroquias urbanas de Santo Domingo con mayor riesgo de inundación*



*Nota. Recuperado de Trabajo de Cambo, noviembre de 2014, GADM-SD.*

En la gran mayoría de las parroquias urbanas de Santo Domingo se puede observar cómo los ríos y esteros nacen y atraviesan a lo largo de toda su extensión, muchas veces estos afluentes se suelen usar como sistemas naturales de drenaje de aguas tanto pluviales como sanitarias sin realizarse ningún tratamiento previo en el caso de las descargas de aguas negras, esto provoca no solo la contaminación sino también el colapso de dichos esteros y ríos al presentarse eventos meteorológicos intensos, comúnmente entre los meses de Enero a Mayo donde las precipitaciones rondan los 500 mm mensuales.



## Capítulo IV

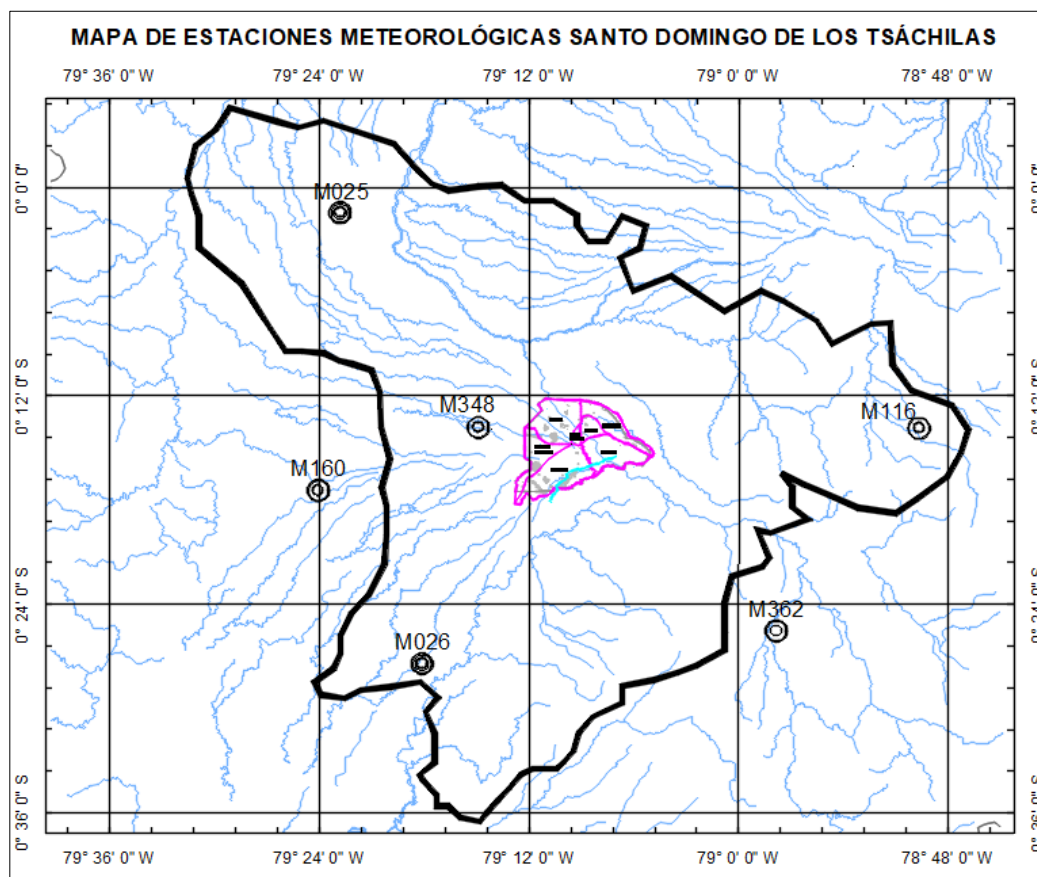
### Manejo de Datos de precipitación

#### Introducción

En este capítulo se desarrolla el procesamiento de los valores de precipitación obtenidos del INAMHI para la superficie de Santo Domingo y sus cercanías, estos datos fueron obtenidos del instituto nacional de meteorología e hidrología INAMHI quienes llevan el registro histórico de precipitaciones, para el desarrollo del análisis espacial se obtuvieron datos de precipitación mensual.

#### Figura 12

*Mapa de estaciones meteorológicas en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*



Dentro del Área de la provincia de los Tsáchilas podemos encontrar 6 estaciones meteorológicas cuyos datos son los siguientes:

**Tabla 3**

*Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación La Concordia*

NOMBRE		LA CONCORDIA										
CÓDIGO	M0025	Elevación		379 msnm								
LATITUD	0°01'29.20" S	Longitud		79°22'49"W								
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1999	276.30	609.20	580.70	911.70	437.00	123.10	36.20	22.00	124.80	65.20	45.00	122.90
2000	156.70	430.30	466.20	603.60	269.90	105.30	7.80	18.50	64.40	79.10	6.20	74.30
2001	449.10	376.90	717.30	808.00	198.40	11.60	31.10	0.90	33.90	4.80	7.50	82.50
2002	340.50	606.20	629.00	682.40	526.60	257.30	15.80	8.20	108.00	86.10	47.10	496.10
2003	660.30	539.90	498.00	660.10	327.90	85.50	58.00	35.80	3.00	130.60	21.70	287.80
2004	287.90	630.10	433.90	287.90	367.00	71.00	15.50	6.00	81.70	99.00	48.70	33.90
2005	177.10	332.20	796.70	778.70	26.80	4.00	2.10	4.30	24.30	33.40	22.30	167.70
2006	262.20	482.70	676.00	466.00	192.00	88.70	18.40	97.00	48.90	25.10	374.90	53.20
2007	563.20	633.80	774.00	620.30	665.90	238.00	90.30	19.60	33.60	17.20	32.40	95.30
2008	823.70	639.70	503.20	478.90	161.40	89.50	118.40	71.80	152.00	55.40	25.80	76.50
2009	573.50	298.70	442.30	453.50	257.40	9.00	39.20	21.70	6.80	8.10	7.70	470.60
2010	365.70	605.70	661.60	687.90	449.90	60.40	87.70	72.20	45.20	13.20	99.40	405.40
2011	789.00	218.60	446.90	423.60	91.60	119.20	113.70	20.40	65.00	48.30	3.60	117.40
2012	688.80	706.00	989.90	573.50	694.30	221.40	14.50	6.00	4.90	73.70	42.90	28.80
2013	692.70	518.70	566.70	582.20	152.10	38.90	30.30	9.50	7.10	26.60	7.20	138.60
2014	478.20	532.60	392.70	549.90	584.60	153.20	27.80	28.30	16.20	134.00	12.30	55.70
2015	566.80	333.60	656.20	892.80	338.60	215.80	163.10	28.50	64.80	328.10	91.90	587.10
2016	596.90	416.90	680.60	375.40	514.30	56.70	35.20	13.80	30.20	13.70	5.20	133.70
2017	374.20	410.70	443.10	785.10	415.90	319.20	13.20	71.80	15.40	145.40	14.00	57.50
2018	255.30	512.70	363.20	332.70	587.50	22.40	13.80	42.40	9.80	6.90	58.90	639.30
2019	504.10	661.90	775.10	292.70	580.80	245.20	20.70	6.40	47.90	141.30	69.70	233.30
<b>MEDIA</b>	470.58	499.86	594.92	583.19	373.33	120.73	45.37	28.81	47.04	73.10	49.73	207.50
<b>MIN</b>	156.70	218.6	363.2	287.9	26.8	4	2.1	0.9	3	4.8	3.6	28.8
<b>MAX</b>	823.70	706	989.9	911.7	694.3	319.2	163.1	97	152	328.1	374.9	639.3

*Nota. Recuperado de Anuarios meteorológicos INAMHI.*

Tabla 4

*Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación El Carmen*

<b>NOMBRE</b>		EL CARMEN										
<b>CÓDIGO</b>	M0160	<b>Elevación</b>		260 msnm								
<b>LATITUD</b>	0°15'35" S	<b>Longitud</b>		79°25'37"W								
<b>AÑOS</b>	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1999	223.9	681.5	463.7	529	346.8	73.91	72.4	9.1	61.5	70.9	32.1	181.9
2000	205.3	563.9	601.5	371.9	263.6	87.2	4	12.2	51.2	10.9	116.1	37.0
2001	483.1	364.4	527.3	643.7	340.7	10.8	75.5	2.1	15.8	20.8	66.2	41.0
2002	283	470.9	766.8	300	139.4	11.2	10.9	67.8	51.1	162.9	300.1	246.8
2003	328.5	342.2	247.8	328.4	163.1	42.5	28.9	17.8	1.5	65.0	10.8	143.2
2004	143.2	313.5	215.9	143.2	182.6	35.3	7.7	3.0	40.6	49.3	24.2	16.9
2005	88.1	165.3	396.4	387.4	13.3	2.0	1.0	2.1	12.1	16.6	11.1	83.4
2006	130.4	240.1	336.3	231.8	95.5	44.1	9.2	48.3	24.3	12.5	186.5	26.5
2007	280.2	315.3	385.1	308.6	331.3	118.4	44.9	9.8	16.7	8.6	16.1	47.4
2008	148.4	148.4	250.3	238.3	80.3	44.5	58.9	35.7	75.6	27.6	12.8	38.1
2009	415.1	452.4	364.7	278.8	1.3	18.4	499.9	10.8	3.4	4.0	3.8	234.1
2010	339.1	347.6	329.2	342.2	223.8	30.0	43.6	35.9	22.5	6.6	49.5	201.7
2011	823.9	534.7	432.8	426.6	64.8	141	95.3	2.9	12.1	55.2	5.9	210.8
2012	586.7	758.6	12.7	33.8	345.4	110.1	7.2	3.0	2.4	36.7	21.3	14.3
2013	487	412.9	463.7	455.9	116.8	19.4	15.1	4.7	3.5	13.2	3.6	69.0
2014	524.9	340.2	108.7	74	80.2	40.2	72.4	11	74.1	66.7	6.1	27.7
2015	387.3	358.8	483.9	671.5	387.8	246.8	111.1	26.1	24.9	112	100.7	585.7
2016	611.5	399.3	523.1	490.1	491.8	59	62.5	22	59.1	15.5	6.7	60.6
2017	497.4	313.3	674.4	577.4	405.6	277.6	7.4	30.4	11.6	91.2	21	80.5
2018	145.5	651.8	405.1	296	299.2	17.5	27.5	7.4	10.3	4.4	83.6	343.5
2019	250.8	329.3	385.6	145.6	289.0	122.0	10.3	3.2	23.8	70.3	34.7	116.1
<b>MEDIA</b>	351.59	404.97	398.81	346.40	222.02	73.91	60.27	17.39	28.49	43.84	53.00	133.63
<b>MIN</b>	88.109	148.4	12.7	33.8	1.3	1.9900	1.044	2.1	1.4925	4.029	3.582	14.328
<b>MAX</b>	823.9	758.6	766.8	671.5	491.8	277.6	499.9	67.8	75.62	162.9	300.1	585.70

*Nota. Recuperado de Anuarios meteorológicos INAMHI.*

Tabla 5

Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación Puerto Ila

NOMBRE		PUERTO ILA										
CÓDIGO	M0026	Elevación		319 msnm								
LATITUD	0°29'34.80" S	Longitud		79°20'56.10"W								
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1999	211.7	487.6	561.2	614.3	286.7	53.3	23.4	14.8	82.3	57.6	52.7	305
2000	252.1	621.5	689	522.3	325.6	48	6.5	24.2	48.1	29.4	20.5	144.7
2001	510.2	242.3	499.9	658.3	193.8	12.4	22.4	4.6	21.2	15.1	32.9	116.6
2002	334.6	563.3	775	599.8	341.3	134.9	23.9	6.4	83.4	61.9	95.1	273.2
2003	441.6	523.3	241.5	590.6	318.6	62.7	27.2	21.1	9.5	96.7	30.7	145.2
2004	263.1	390.3	252.3	474	296.9	38.8	25	16.7	107.5	69.9	34.8	64.2
2005	370.6	402.8	630.6	635.5	33.4	13.1	7.3	2.7	32.8	35.6	67.6	124.3
2006	175.9	720.7	700.5	508	72.2	129.1	24.1	72.7	60.2	23.8	144.5	62.9
2007	222.4	311.6	528.6	577.8	193	93.1	55.1	22.4	47.2	20.6	51.7	129.9
2008	646	513.4	484.6	358.4	185.6	60.1	65.9	125	61	42.2	34.1	43.1
2009	652.2	480.6	547.1	157.9	129.9	19	8.9	24.1	11.2	12.6	15.6	293.2
2010	365.7	528.9	361.6	743.4	179.1	64	176	33.4	49.8	28.5	83.7	296.5
2011	498.9	314.5	260.5	715.7	53.3	69.3	133.4	9.4	30.3	55.4	17.5	213.4
2012	660.3	707.3	649.5	591	252.1	272	44.7	17	11.7	21.1	41	70.2
2013	439.2	442.6	743.7	618.5	129.1	78.4	23.8	118.2	41.5	44.4	9.9	200.6
2014	429.6	450	354.3	572.7	408.7	95.7	17.4	35.9	38.7	98.1	23.9	83
2015	511.5	518.4	261.8	351.2	474.9	159.2	173.3	14.9	44.2	180.3	98.5	382.7
2016	771.5	475.6	727.6	521.5	216.7	71.2	100.3	9.7	83.8	24.7	24	55.6
2017	532.2	411.3	870.5	528.9	229.6	320.1	19.4	38.5	19.2	76	25.3	137.8
2018	148.6	686.6	724.8	386.2	506.1	49.8	31.6	14.5	26.1	8.2	89.1	311
2019	421.895	489.63	543.23	536.3	241.33	92.21	50.48	31.31	45.485	50.105	49.655	172.655
<b>MEDIA</b>	421.90	489.63	543.23	536.30	241.33	92.21	50.48	31.31	45.49	50.11	49.66	172.66
<b>MIN</b>	148.6	242.3	241.5	157.9	33.4	12.4	6.5	2.7	9.5	8.2	9.9	43.1
<b>MAX</b>	771.5	720.7	870.5	743.4	506.1	320.1	176	125	107.5	180.3	144.5	382.7

Nota. Recuperado de Anuarios meteorológicos INAMHI.

Tabla 6

*Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación Santa Anita, Vía Chone Km 10*

<b>NOMBRE</b> SANTA ANITA VÍA CHONE KM 10												
<b>CÓDIGO</b>	M0348					<b>Elevación</b>	560 msnm					
<b>LATITUD</b>	0G13'50" S					<b>Longitud</b>	79°14'54"W					
<b>AÑOS</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1999	184.60	252.60	457.60	369.50	308.70	44.30	3.50	6.50	21.60	37.90	31.60	141.20
2000	61.70	216.60	284.40	339.10	308.70	55.50	7.80	13.60	57.10	9.30	5.50	20.30
2001	206.40	112.60	195.40	198.50	103.00	8.40	3.00	0.50	10.80	6.00	73.20	172.50
2002	166.40	174.40	277.50	495.00	280.30	68.70	4.50	0.20	117.60	48.30	78.10	277.50
2003	274.70	25.70	225.90	224.90	275.40	34.50	9.60	9.50	3.70	37.00	11.00	198.70
2004	279.40	244.50	300.50	324.60	528.80	30.50	27.20	3.70	101.30	47.00	82.50	172.50
2005	149.90	223.90	314.40	387.60	11.10	19.20	3.60	3.80	14.50	18.70	26.50	96.00
2006	127.00	327.40	704.50	566.30	84.40	130.60	8.20	375.00	198.40	52.70	267.20	86.20
2007	486.80	438.60	328.40	753.80	507.20	82.60	55.00	19.70	70.80	20.00	45.80	86.30
2008	750.70	408.90	514.10	440.70	260.70	118.10	92.70	50.80	72.30	51.40	40.40	208.10
2009	680.70	597.40	535.60	172.70	110.00	10.90	34.60	30.60	12.90	24.00	29.30	417.50
2010	380.20	641.90	401.40	514.20	299.10	145.80	158.80	42.70	93.80	328.50	55.33	172.50
2011	542.50	299.70	457.00	508.60	169.50	92.20	155.20	6.70	60.10	65.10	18.10	87.50
2012	595.30	896.50	710.40	746.90	394.70	286.60	41.80	16.40	9.30	30.60	42.60	33.30
2013	427.80	649.10	506.90	601.80	233.90	127.30	31.90	36.60	16.70	56.20	3.40	100.80
2014	662.80	534.10	493.50	587.70	486.00	62.90	12.80	25.40	49.10	81.20	20.40	152.70
2015	433.80	561.10	367.30	517.70	458.20	97.70	105.60	6.40	35.00	199.90	50.90	581.00
2016	703.90	422.00	583.90	639.70	440.70	147.60	83.20	21.60	115.10	24.40	138.50	89.20
2017	538.20	415.50	752.10	535.00	287.50	436.00	24.60	42.50	19.30	138.80	30.90	183.70
2018	207.80	724.40	694.50	341.90	304.10	20.90	1.40	36.10	36.00	67.21	55.33	172.50
2019	393.03	408.35	455.27	463.31	292.60	101.02	43.25	37.42	55.77	67.21	55.33	172.50
<b>MEDIA</b>	393.03	408.35	455.27	463.31	292.60	101.02	43.25	37.42	55.77	67.21	55.33	172.50
<b>MIN</b>	61.7	25.7	195.4	172.7	11.1	8.4	1.4	0.2	3.7	6	3.4	20.3
<b>MAX</b>	750.7	896.5	752.1	753.8	528.8	436	158.8	375	198.4	328.5	267.2	581

*Nota. Recuperado de Anuarios meteorológicos INAMHI.*

Tabla 7

*Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación las Pampas*

NOMBRE		LAS PAMPAS										
CÓDIGO	M0362	Elevación		1583 msnm								
LATITUD	0°25'32" S	Longitud		78°57'54" W								
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1999	220.60	455.00	449.70	383.10	182.90	122.70	45.20	11.40	120.90	67.80	86.80	229.20
2000	240.70	355.20	466.20	502.80	444.70	117.40	20.60	64.10	112.40	33.20	46.90	111.30
2001	267.70	351.20	394.00	258.40	195.60	30.10	27.90	0.70	73.20	14.50	96.40	181.00
2002	150.50	358.70	361.60	379.30	194.80	47.50	21.10	21.60	41.10	131.30	68.40	278.60
2003	196.80	238.70	192.10	433.30	252.10	138.30	23.40	11.20	23.80	111.00	67.00	182.30
2004	193.30	186.40	339.30	286.60	254.60	51.00	16.50	27.40	121.50	64.50	63.40	162.70
2005	337.50	335.90	284.90	64.40	20.70	7.20	10.80	32.10	47.10	35.80	118.40	164.46
2006	246.80	551.10	301.50	305.90	155.90	96.70	10.10	59.00	63.70	42.60	211.70	154.30
2007	322.60	176.00	363.90	246.70	200.80	66.20	47.50	51.20	53.40	34.30	119.90	102.60
2008	475.10	373.50	446.50	306.00	246.50	75.50	84.20	138.20	91.20	148.50	35.70	203.90
2009	534.40	444.10	343.50	174.00	165.10	62.80	13.00	38.30	13.10	111.00	45.90	317.60
2010	295.60	468.30	466.50	374.10	136.60	49.10	45.10	19.70	29.20	76.47	65.41	164.46
2011	326.60	284.10	223.10	495.10	133.90	68.40	111.80	12.00	77.00	87.10	23.40	127.00
2012	496.70	304.20	289.70	348.80	168.10	97.00	25.40	20.40	8.50	62.80	110.70	67.80
2013	257.80	275.60	327.00	398.30	202.10	54.80	12.00	45.10	38.30	66.50	4.20	201.20
2014	409.30	335.90	288.80	218.70	304.30	72.10	23.70	54.50	59.10	148.90	50.60	64.90
2015	294.40	264.50	352.70	249.40	205.80	83.20	154.80	28.60	25.50	197.10	75.80	143.40
2016	391.80	270.50	401.80	529.00	288.90	95.90	19.75	7.74	16.95	7.69	2.92	75.02
2017	299.20	230.45	248.63	440.54	233.37	179.11	7.41	40.29	8.64	81.59	7.86	32.26
2018	143.25	287.69	203.80	186.69	329.66	12.57	7.74	23.79	5.50	3.87	33.05	358.73
2019	282.86	371.41	434.93	164.24	325.90	137.59	11.62	3.59	26.88	79.29	39.11	130.91
<b>MEDIA</b>	303.98	329.45	341.91	321.21	221.06	79.29	35.22	33.85	50.33	76.47	65.41	164.46
<b>MIN</b>	143.25	176.00	192.10	64.40	20.70	7.20	7.41	0.70	5.50	3.87	2.92	32.26
<b>MAX</b>	534.4	551.1	466.5	529	444.7	179.11	154.8	138.2	121.5	197.1	211.7	358.73

*Nota. Recuperado de Anuarios meteorológicos INAMH.*

Tabla 8

Precipitaciones mensuales en el periodo 1999-2019 estación Chiriboga

NOMBRE		CHIRIBOGA										
CÓDIGO	M0116	Elevación		1750 msnm								
LATITUD	0°13'49" S	Longitud		78°45'28" W								
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1999	573.00	537.10	394.60	516.60	407.90	520.80	97.00	127.30	551.50	298.70	403.50	418.00
2000	659.40	405.80	619.10	675.60	550.70	209.70	122.10	382.60	220.20	22.00	70.50	309.20
2001	483.60	519.40	460.50	655.00	391.90	379.60	97.00	1.16	473.30	6.21	191.70	516.10
2002	626.70	694.10	754.30	901.70	882.30	12.00	410.70	10.61	57.10	560.20	590.20	771.80
2003	745.70	720.00	922.90	773.40	664.60	472.10	75.07	210.10	649.00	649.20	584.50	568.20
2004	306.10	446.20	580.80	869.20	546.70	91.89	17.70	37.20	430.80	390.40	161.20	367.90
2005	753.60	566.60	671.40	397.70	45.90	106.90	158.40	5.57	74.60	481.80	315.70	459.60
2006	409.60	268.60	318.90	533.20	164.10	114.80	71.50	107.10	36.20	74.70	169.70	169.20
2007	125.90	272.70	491.20	410.90	298.40	283.70	126.90	221.40	173.50	361.90	278.20	205.20
2008	260.20	373.40	537.90	430.50	243.40	325.90	301.90	360.10	169.90	301.00	307.70	453.80
2009	610.60	336.30	627.30	470.00	516.80	381.50	178.20	195.80	8.80	45.00	142.30	440.40
2010	331.30	345.20	407.30	288.10	281.00	288.50	431.60	71.80	473.20	393.90	401.30	603.70
2011	666.20	462.40	365.60	347.50	329.50	433.20	491.60	589.70	685.50	382.39	382.39	382.39
2012	908.30	872.90	888.90	649.90	657.70	647.70	215.70	7.77	79.20	472.90	608.80	584.20
2013	428.50	547.00	773.70	384.20	172.50	490.50	596.00	370.30	225.10	336.00	143.50	409.60
2014	705.30	538.00	669.20	541.10	515.30	147.60	35.98	36.63	209.80	138.40	372.70	317.90
2015	439.50	559.70	628.00	437.00	520.50	9.20	476.80	36.89	105.70	417.70	445.40	460.90
2016	450.00	606.40	637.10	450.90	397.40	216.20	45.56	17.86	39.09	17.73	6.73	173.04
2017	505.20	521.60	490.50	471.60	538.28	413.13	17.08	92.93	19.93	188.19	18.12	74.42
2018	486.00	502.40	401.30	402.00	502.00	28.99	17.86	54.88	12.68	8.93	76.23	827.42
2019	652.44	856.67	1003.18	378.83	751.71	317.35	26.79	8.28	62.00	182.88	90.21	301.95
<b>MEDIA</b>	523.74	504.79	582.03	530.31	431.34	278.70	199.23	146.88	234.76	277.36	283.52	425.65
<b>MIN</b>	125.90	268.60	318.90	288.10	45.9	9.20	17.08	1.16	8.80	6.21	6.73	74.42
<b>MAX</b>	908.30	872.90	922.90	901.70	882.3	647.7	596	589.7	685.5	649.2	608.8	827.42

Nota. Recuperado de Anuarios meteorológicos INAMHI.

En las tablas presentadas anteriormente se puede observar todos los datos de precipitación de los diferentes meses y en todos los años analizados en el periodo correspondiente a 1999-2019, debido a que los anuarios meteorológicos del INAMHI para ciertas estaciones presentan datos incompletos fue necesario realizar la estimación de estos valores utilizando métodos de relleno de datos como la regresión lineal múltiple y el método de la razón (q).

### **Relleno de Datos por el método de regresión lineal**

Para utilizar el método de regresión línea el importante contar con dos estaciones la primera deberá tener datos completos de precipitación además de que debe ubicarse lo más cerca posible de la segunda estación que es a la que completaremos sus datos.

En este caso tomaremos la estación M0025, La Concordia ubicada en: latitud 0°01'29.20", longitud 79°22'49" para completar los datos de la estación M0160, El Carmen latitud 0°15'35", longitud 79°25'37".

### **Tabla 9**

*Precipitaciones mensuales de la estación M0025 y M0160*

	<b>M0025</b>	<b>M0160</b>
1999	276.30	223.90
2000	156.70	205.30
2001	449.10	483.10
2002	340.50	283.00
2003	660.30	
2004	287.90	
2005	177.10	
2006	262.20	
2007	563.20	
2008	823.70	
2009	573.50	415.10
2010	365.70	339.10
2011	789.00	823.90
2012	688.80	586.70
2013	692.70	487.00
2014	478.20	524.90
2015	566.80	387.30



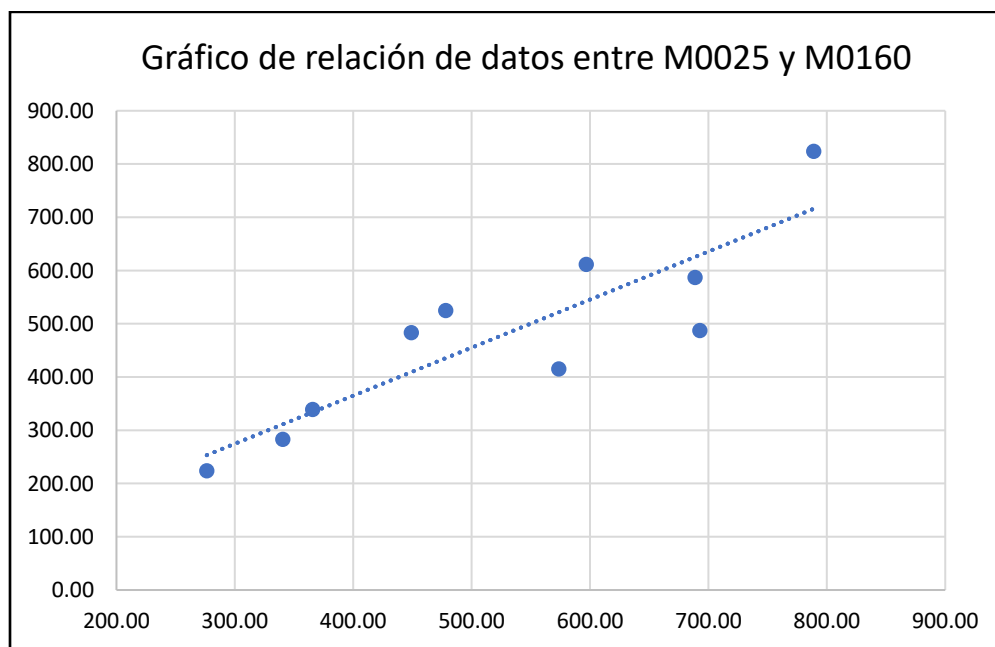
2016	596.90	611.50
2017	374.20	497.40
2018	255.30	145.50
2019	504.10	

*Nota. Datos tomados de los anuarios meteorológicos del INAMI.*

En este caso la variable dependiente serán los datos de la estación M0025 basados en la relación que existe con la estación M0160 al ser esta la más cercana, partiendo de esta relación procedemos a determinar la ecuación mediante la cual estimaremos los datos faltantes.

### Figura 13

*Línea de tendencia de la relación entre las estaciones M0025 y M0160*



Mediante la utilización del programa Excel calculamos la ecuación de relación y determinamos el valor de R (cantidad proporcional de variación en la variable de respuesta).

$$A = 0.9025B + 3.9612$$

$$R = 0.876013$$

Para que el método sea eficiente y la ecuación sea funcional y podamos usarla para estimar los valores faltantes en la estación M0025, debemos considerar que  $R^2$  no deberá ser menor que 0.50.

$$R^2 = 0.7674 > 0.50$$

Una vez determinada la ecuación de relación y comprobado el valor de proporcionalidad R procedemos a calcular los valores faltantes:

**Tabla 10**

*Precipitaciones mensuales completas de la estación M0025 y M0160*

	<b>M0025</b>	<b>M0160</b>
1999	276.30	223.90
2000	156.70	205.30
2001	449.10	483.10
2002	340.50	283.00
2003	660.30	599.88
2004	287.90	263.79
2005	177.10	163.79
2006	262.20	240.60
2007	563.20	512.25
2008	823.70	747.35
2009	573.50	415.10
2010	365.70	339.10
2011	789.00	823.90
2012	688.80	586.70
2013	692.70	487.00
2014	478.20	524.90
2015	566.80	387.30
2016	596.90	611.50
2017	374.20	497.40
2018	255.30	145.50
2019	504.10	458.91

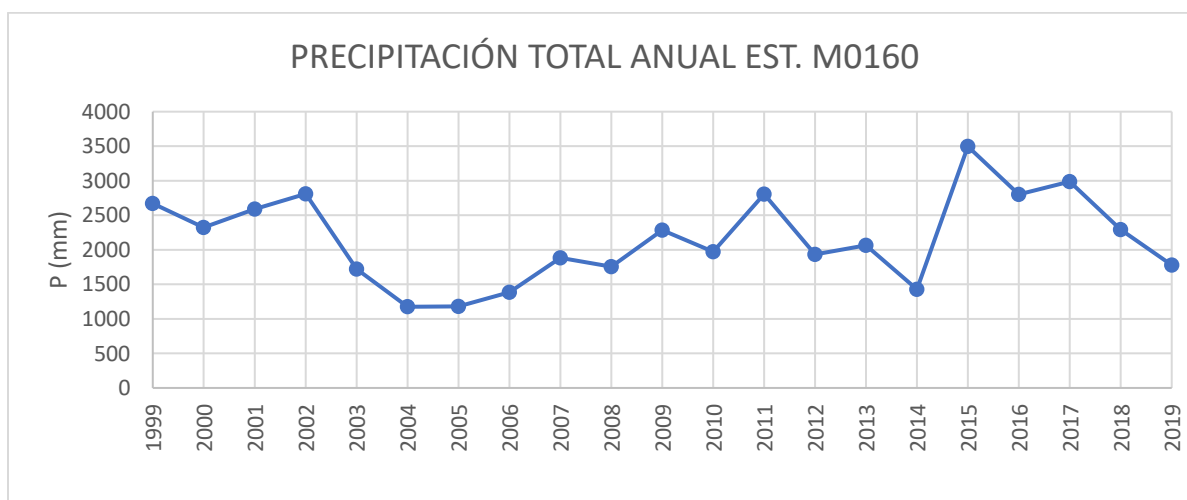
Siguiendo este método se procedió a calcular los valores faltantes de las estaciones restantes y así poder obtener una estimación cercana de los datos de precipitación para utilizarlos en los cálculos posteriores.

## Precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019

Utilizando los valores de precipitación obtenidos de los anuarios meteorológicos podemos determinar cuáles han sido los años que en promedio han tenido un mayor volumen de pluviosidad.

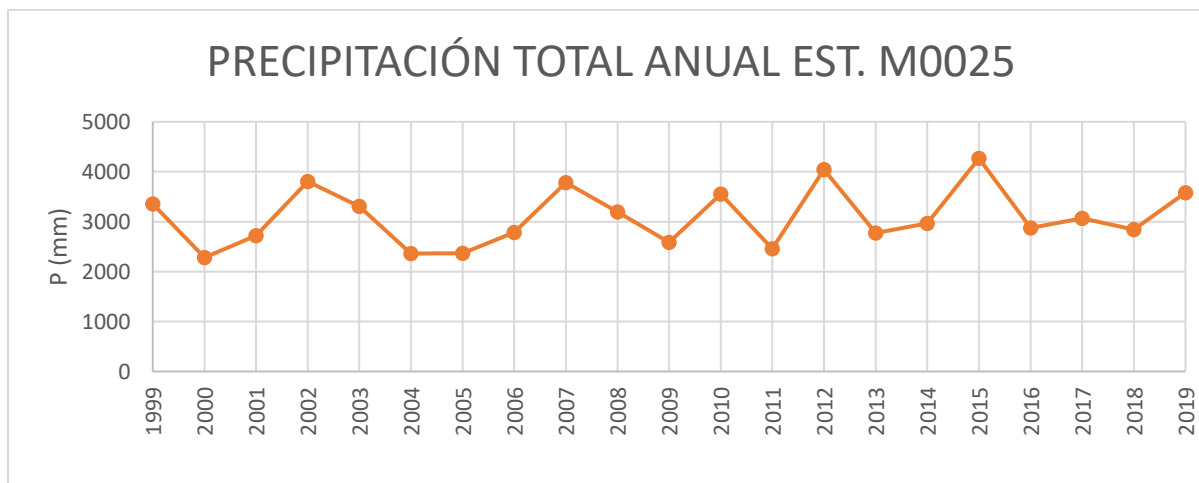
### Figura 14

*Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0160*



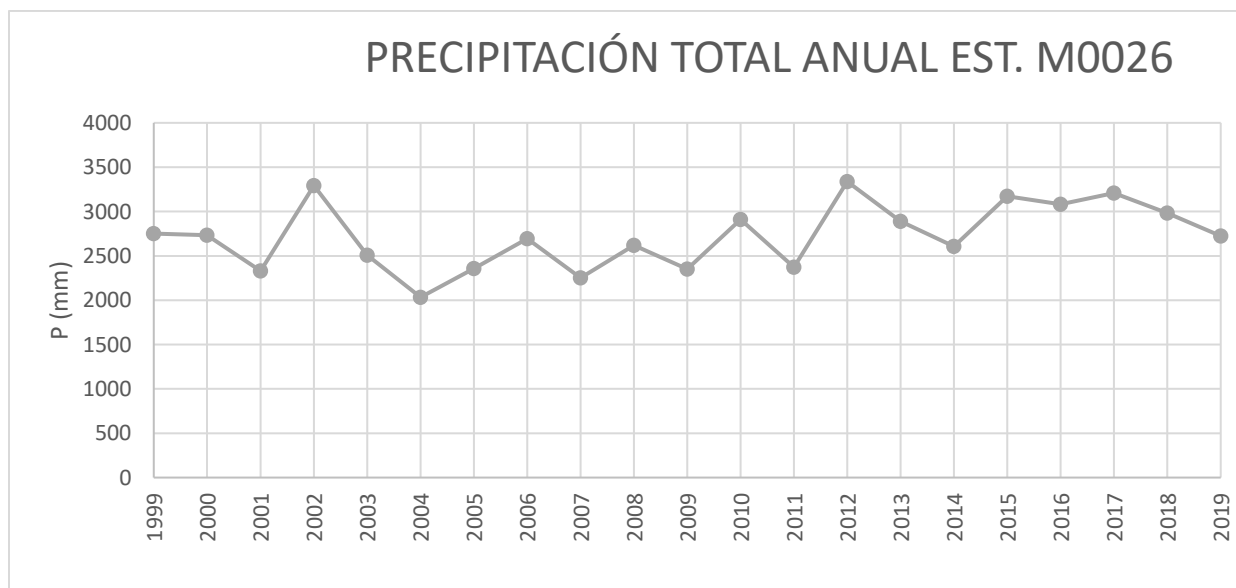
### Figura 15

*Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0025*

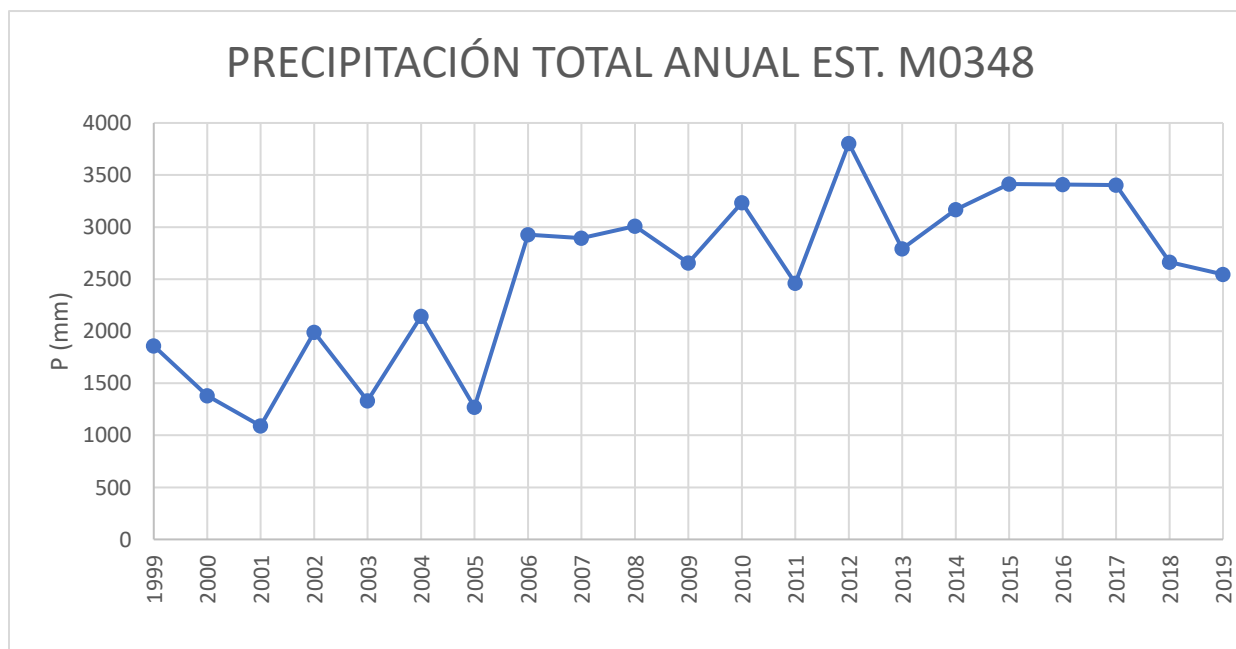


**Figura 16**

Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0026

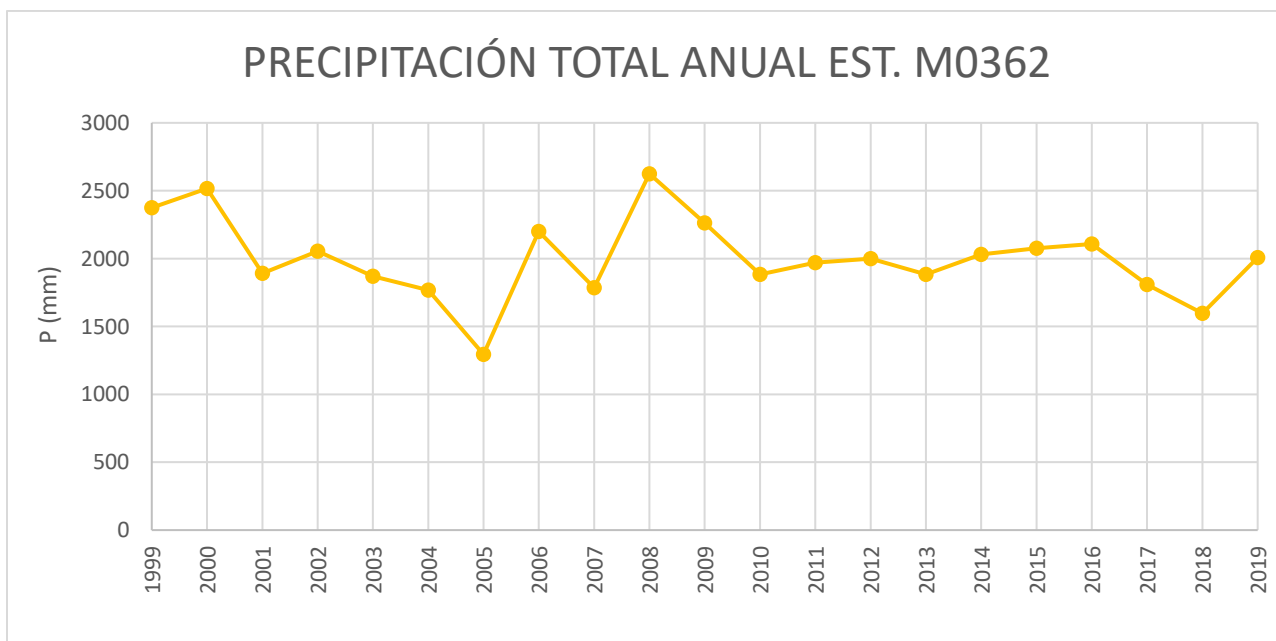
**Figura 17**

Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0348

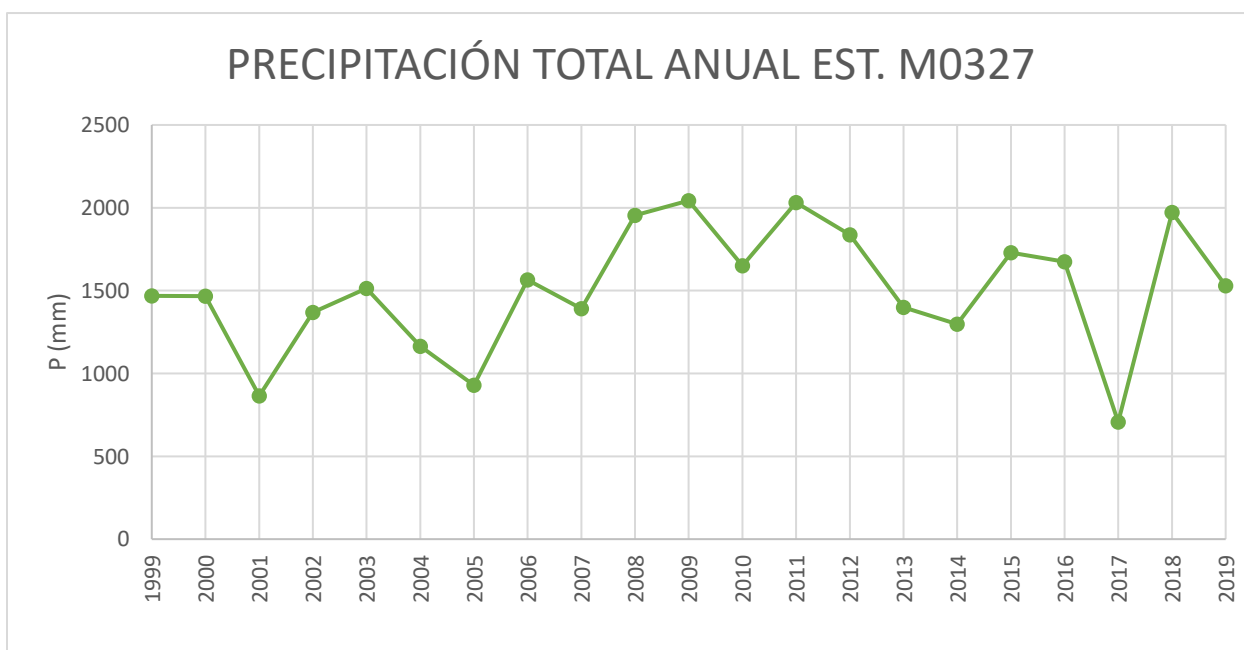


**Figura 18**

Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0362

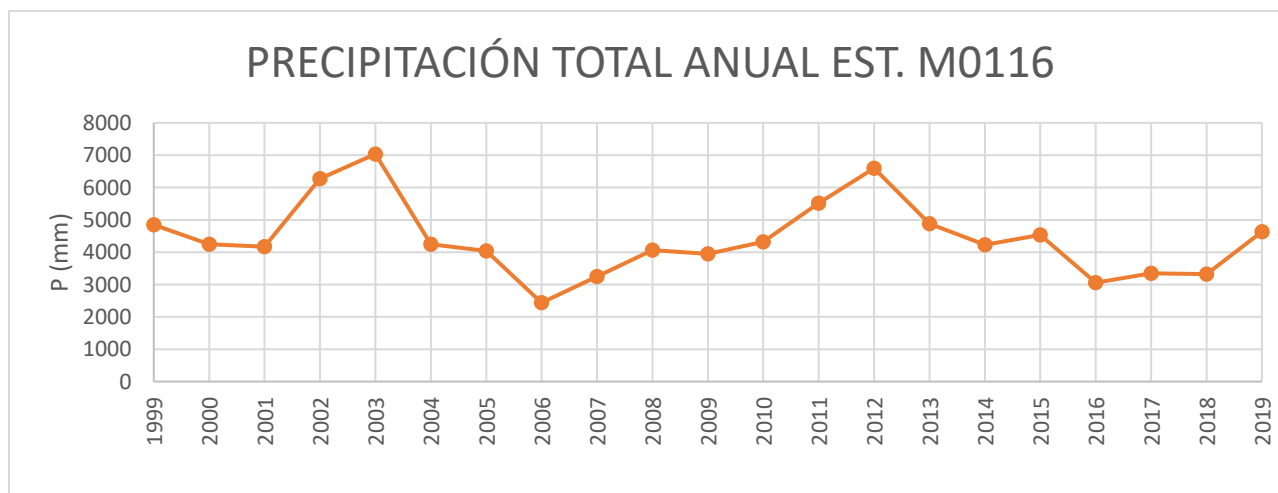
**Figura 19**

Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0327

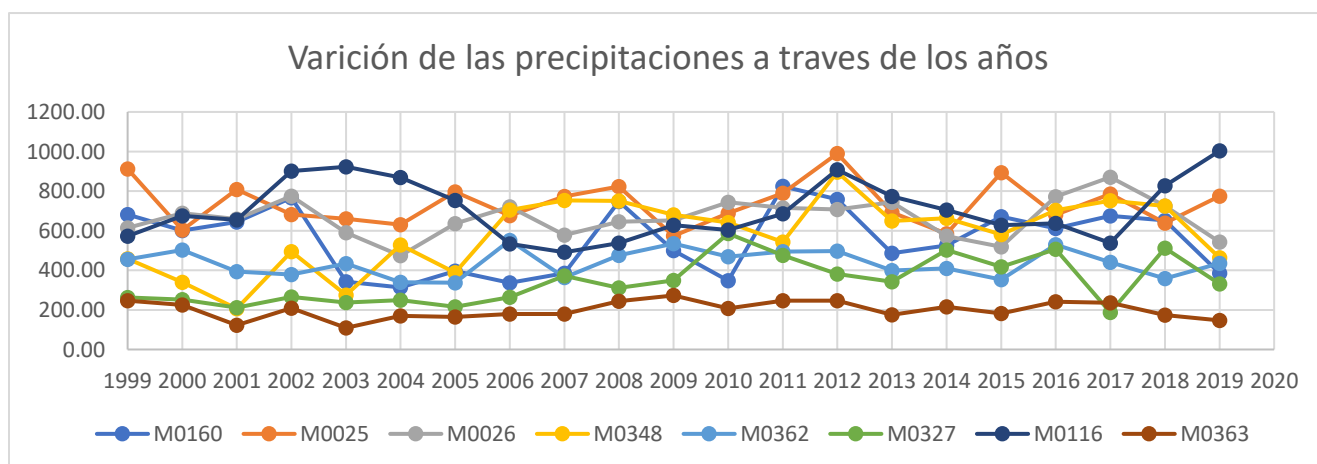


**Figura 20**

Variación de las precipitaciones en el periodo de 1999 a 2019 estación M0160

**Figura 21**

Precipitación de las estaciones en el periodo 1999 a 2019



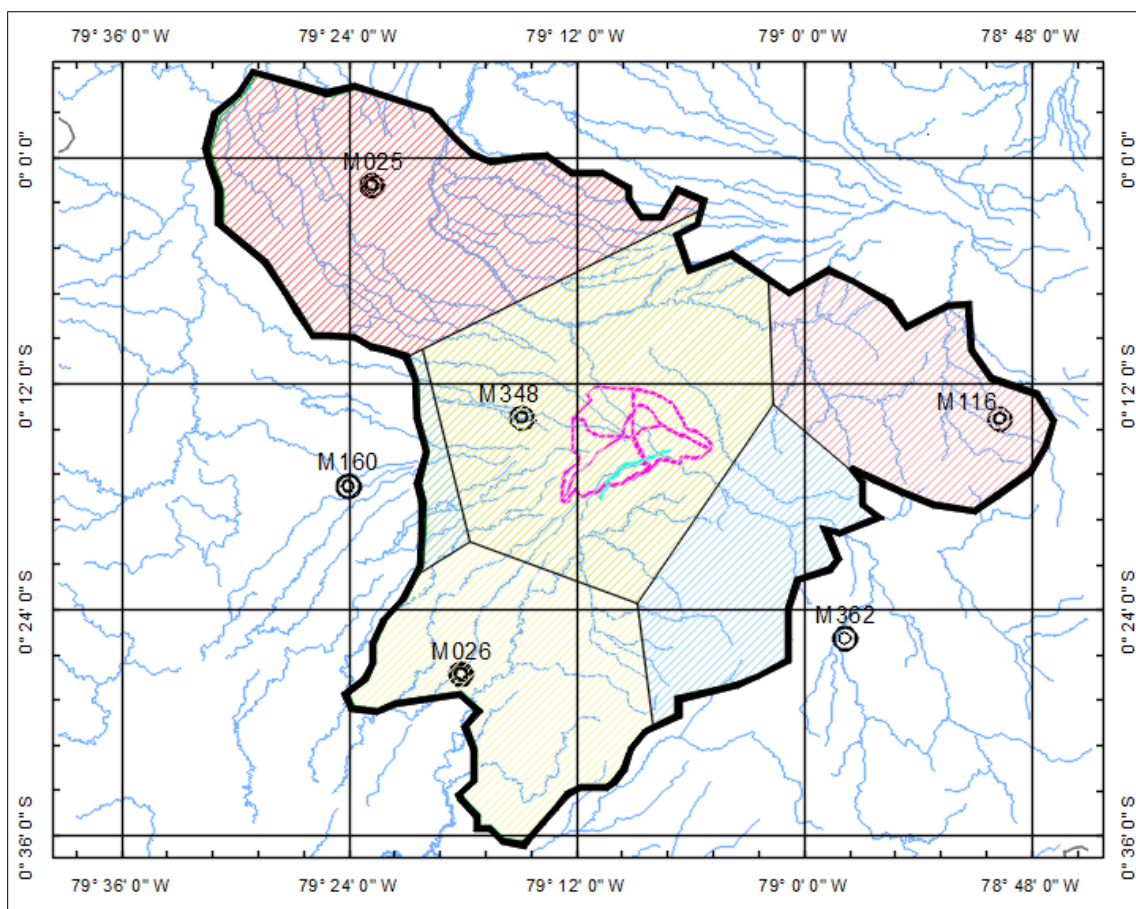
Como podemos observar en la Figura 14, todas las estaciones mantienen una similitud en cuanto a la variación de las precipitaciones en el tiempo, esto se debe a que todas se encuentran ubicadas en la misma zona, la Provincia de Santo Domingo, para el año 2012 notamos un pico en las precipitaciones y este aumento corresponde con los eventos ocurridos dentro del cantón mencionados en la tabla 1.

## Precipitación media anual utilizando los Polígonos de Thiessen

Este método nos ayudará a realizar la distribución espacial de las precipitaciones dentro del área de estudio para este caso particular trabajaremos con las 6 estaciones cuyos datos fueron presentados anteriormente, para realizar este método utilizaremos el software AutoCad con el cual ubicaremos en un plano georreferenciado las estaciones como se muestra en la figura 12. Luego de haber puesto nuestro mapa en AutoCad debemos trazar líneas con las cuales uniremos las estaciones formando figuras triangulares, en medio de los lados de cada triángulo pasamos una mediatriz que al unirse con otras formarán los polígonos que utilizaremos para el cálculo de la P media. (Figura 15).

### Figura 22

*Mapa de Santo Domingo con Polígonos*



El área total de la provincia es de 3 857 km<sup>2</sup> según datos del GADP-SD, basados en esto podemos realizar el siguiente paso en la determinación de la Precipitación media anual.

**Tabla 11**

*Cálculo de la P media anual por el método de polígonos*

ESTACIONES	ÁREA (KM <sup>2</sup> )	P MED ANUAL	$A_i * P_i$
<b>M0160</b>	28.00	2020.01	56560.35
<b>M0025</b>	376.00	3094.18	1163412.04
<b>M0026</b>	262.00	2724.29	713762.67
<b>M0348</b>	445.00	2545.04	1132542.05
<b>M0362</b>	189.00	1934.73	365663.27
<b>M0116</b>	214.00	4204.92	899851.81
			4331792.19
		$\bar{P} = \frac{\sum A_i * P_i}{A_t} =$	2861.16 mm

Mediante la utilización de los polígonos de Thiessen determinamos que la precipitación media es de **2861.16** mm cada año.

### **Cálculo del periodo de retorno y probabilidad de ocurrencia**

Entendemos como periodo de retorno al tiempo en años que transcurre desde que se presenta un evento meteorológico intenso hasta que se repita y la probabilidad de ocurrencia en cambio es el número que indica que tan probable es que este evento intenso vuelva a acontecer en un periodo de tiempo, los eventos que son débiles en cuanto a cantidad de lluvia son los más recurrentes (Velazques & Bello, 2016).

Para el cálculo del periodo de retorno tenemos varios métodos de entre los cuales utilizaremos el de Weibull.



$$T = \frac{n + 1}{m}$$

Dónde:

- T : Período de retorno (años)
- n : Número total de datos
- m : número de orden de la serie de mayor a menor

Para el cálculo del periodo de retorno tomaremos la tabla de datos de precipitación total anual de la estación M0348, la cual abarca toda el área de Santo Domingo según el análisis de los polígonos de Thiessen.

**Tabla 12**

*Precipitación total anual del periodo 1999 a 2019*

AÑOS	P (MM)
1999	1859.60
2000	1379.60
2001	1090.30
2002	1988.50
2003	1330.60
2004	2142.50
2005	1269.20
2006	2927.90
2007	28950
2008	3008.90
2009	2656.20
2010	3234.22
2011	2462.20
2012	3804.40
2013	2792.40
2014	3168.60
2015	3414.60
2016	3409.80
2017	3404.10
2018	2662.13
2019	2545.03

Para obtener el valor de  $m$  debemos ordenar los datos de precipitación del mayor a menor dando al evento de mayor intensidad el valor de 1 para el cálculo del periodo de retorno.

**Tabla 13**

*Determinación de la del periodo de retorno y probabilidad*

AÑOS	PRECIPITACIÓN	M	$T = (n + 1)/m$	$P = 1/T$
2012	3804.40	1	22.00	4.55%
2015	3414.60	2	11.00	9.09%
2016	3409.80	3	7.33	13.64%
2017	3404.10	4	5.50	18.18%
2010	3234.23	5	4.40	22.73%
2014	3168.60	6	3.67	27.27%
2008	3008.90	7	3.14	31.82%
2006	2927.90	8	2.75	36.36%
2007	2895.00	9	2.44	40.91%
2013	2792.40	10	2.20	45.45%
2018	2662.14	11	2.00	50.00%
2009	2656.20	12	1.83	54.55%
2019	2545.04	13	1.69	59.09%
2011	2462.20	14	1.57	63.64%
2004	2142.50	15	1.47	68.18%
2002	1988.50	16	1.38	72.73%
1999	1859.60	17	1.29	77.27%
2000	1379.60	18	1.22	81.82%
2003	1330.60	19	1.16	86.36%
2005	1269.20	20	1.10	90.91%
2001	1090.30	21	1.05	95.45%

Como se puede observar para una precipitación total anual de 3804.40 mm tenemos un periodo de retorno teórico de 22 años, y una probabilidad de ocurrencia de casi el 5% y para precipitaciones alrededor de los 3000 mm tenemos un periodo de retorno bastante bajo de 3 años. Estos datos se pueden apreciar con claridad en la Figura 14 donde observamos que cada 3 años se presentan eventos meteorológicos con precipitaciones que rondan los 3000 mm.

### Determinación de curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia)

Las curvas IDF son una herramienta que nos ayuda a caracterizar las precipitaciones basados en el tiempo que repite un evento intenso, son de gran importancia para el diseño de obras hidráulicas como los sistemas de alcantarillado pluvial. Para la construcción de las curvas IDF se obtuvieron datos de precipitaciones diarias de la estación M0348, la cual podemos observar en la figura 15 es la afecta a toda el área del cantón Santo Domingo.

**Tabla 14**

*Datos de Precipitación diaria de la estación M0348, Febrero del 2012*

<b>FEBRERO</b>	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>6H</b>	<b>24H</b>
<b>2</b>	1.19	0.84	0.36	0.12
<b>3</b>	1.48	1.04	0.44	0.15
<b>4</b>	8.48	5.94	2.54	0.86
<b>5</b>	4.20	2.94	1.26	0.43
<b>6</b>	6.50	4.56	1.95	0.66
<b>7</b>	2.26	1.59	0.68	0.23
<b>8</b>	5.10	3.58	1.53	0.52
<b>9</b>	2.18	1.53	0.65	0.22
<b>10</b>	19.31	13.52	5.78	1.95
<b>11</b>	9.02	6.31	2.70	0.91
<b>12</b>	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>13</b>	41.74	29.24	12.51	4.23
<b>14</b>	2.18	1.53	0.65	0.22
<b>15</b>	22.48	15.74	6.73	2.28
<b>16</b>	40.96	28.69	12.27	4.15
<b>17</b>	31.41	22.00	9.41	3.18
<b>18</b>	20.05	14.04	6.01	2.03

*Nota. Datos tomados de los anuarios meteorológicos del INAMI.*

Con los datos obtenidos de la estación M0348 podemos realizar el cálculo de las medidas de tendencia central para así obtener los valores necesarios para la construcción de las curvas IDF.

**Tabla 15**

Valores De  $X_m$  y  $S$  para diferentes periodos

	<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>6H</b>	<b>24H</b>
$X_m$	12.92	4.56	0.70	0.11
<b>S</b>	13.52	4.70	0.66	0.23

Ya determinados los valores de  $X_m$  y de  $S$  para los diferentes periodos, continuamos con la determinación de los factores de frecuencia  $K_t$  para la distribución de valores extremos tipo I o distribución de Gumbel, mismos que nos ayudaran en el cálculo del valor de intensidad para un determinado lapso de tiempo y un periodo de retorno definido.

**Tabla 16**

Factores de frecuencia  $K_t$

<b>TAMAÑO DE LA MUESTRA</b>	<b>PERIODO DE RETORNO (AÑOS)</b>						
	5	10	15	20	25	50	100
<b>15</b>	0.967	1.703	2.117	2.410	2.632	3.321	4.005
<b>20</b>	0.919	1.625	2.023	2.302	2.517	3.179	3.836
<b>25</b>	0.888	1.575	1.963	2.235	2.444	3.088	3.729
<b>30</b>	0.866	1.541	1.922	2.188	2.393	3.026	3.653
<b>35</b>	0.851	1.516	1.891	2.152	2.354	2.979	3.598
<b>40</b>	0.838	1.495	1.866	2.126	2.326	2.913	3.554
<b>45</b>	0.829	1.478	1.847	2.104	2.303	2.889	3.52
<b>50</b>	0.820	1.466	1.831	2.086	2.283	2.869	3.491

*Nota. Tomado de Hidrología básica y aplicada, pag 270, (Gutiérrez C. , 2014).*

Los valores de intensidad los obtendremos utilizando la siguiente expresión:

$$X_{TR} = X_m + S * K_T$$

Donde:

- $X_m$  : Media aritmética de la muestra
- $S$  : Desviación estándar de la muestra
- $K_t$  : Factor de frecuencia (obtenido de la tabla 14)

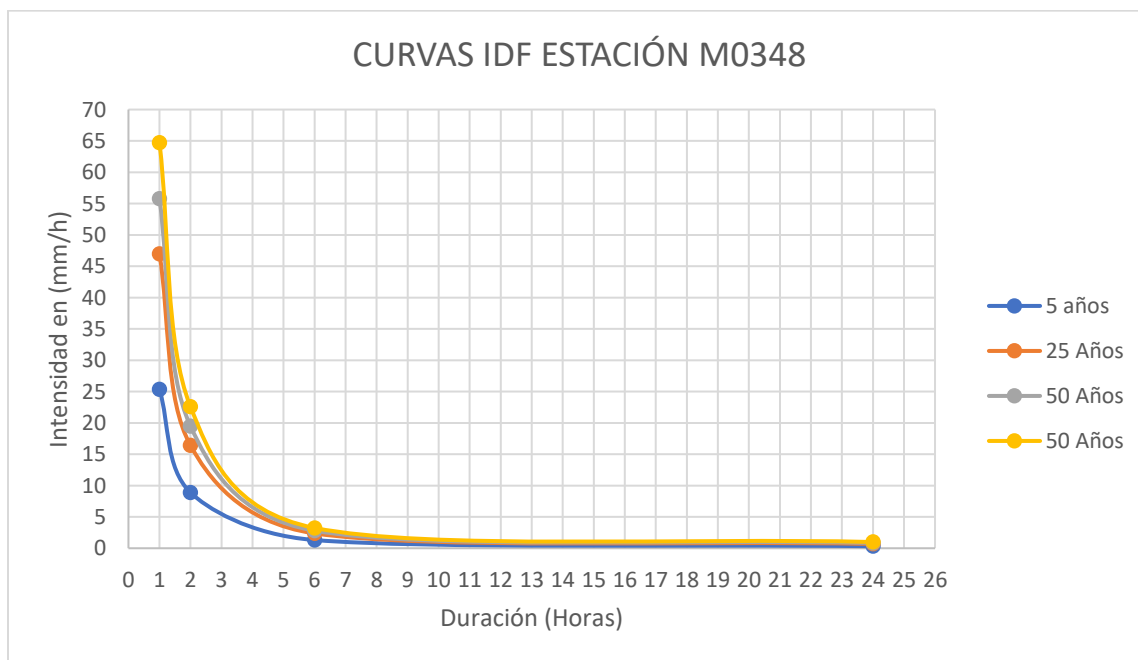
**Tabla 17**

Valores de intensidad para los diferentes periodos d retorno

DURACIÓN (HORAS)	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)			
	5	25	50	100
<b>1</b>	25.34	46.96	55.79	64.72
<b>2</b>	8.89	16.40	19.48	22.58
<b>6</b>	1.30	2.36	2.81	3.25
<b>24</b>	0.32	0.69	0.84	0.99

**Figura 23**

Curvas IDF para la estación M0348



seleccionar un periodo de retorno para establecer nuestra intensidad de diseño, estos periodos de retorno se los puede definir en base a la importancia que tendrá un proyecto, la EMAAP nos presenta un cuadro para guiarnos al elegir un periodo de retorno.

**Tabla 18**

*Tr para diferentes zonas*

<b>Tipo de ocupación del área de influencia de la obra</b>	<b>Tr (Años)</b>
<i>Residencial</i>	5
<i>Comercial</i>	5
<i>Área con edificios de servicio público</i>	5
<i>Aeropuertos</i>	10
<i>Áreas comerciales y vías de tránsito intenso</i>	10-25
<i>Áreas comerciales y residenciales</i>	25
<i>Áreas de importancia específica</i>	50-100

*Nota. Normas de diseño Empresa municipal de alcantarillado y agua potable pag. 70.*

## Capítulo V

### Identificación del sistema de Alcantarillado pluvial existente

#### Catastro de la red de alcantarillado pluvial

El levantamiento que realizaremos de la red de alcantarillado pluvial existente tiene el propósito de identificar los elementos que constituyen la red de drenaje pluvial tales como, cunetas, sumideros con rejilla de hierro fundido, pozos de revisión, tuberías y colectores además de analizar la funcionalidad del sistema y sus características hidráulicas basándonos en las normas que nos presenta la SENAGUA en su versión del 2012.

En la parroquia urbana Río Toachi al realizar el levantamiento del catastro, se llevó a cabo una plática con ciertos habitantes de la zona los cuales nos dieron un panorama más amplio de los problemas que tiene el sector, además de indicarnos cuales son los puntos específicos donde se genera el colapso de los elementos que conforman la red de drenaje pluvial, en épocas de invierno según información de los moradores hay pozos que no abastecen la cantidad de agua generada por las precipitaciones lo que deriva en acumulación de agua en los puntos más bajos de la vía.

Unos de los aspectos más relevantes encontrados en la red levantada en la parroquia Río Toachi fueron los diámetros de tubería los cuales muchas veces no seguían una progresión lógica correspondiente al aumento de carga, es decir que en un punto se encontró tubería de 300mm y al llegar al siguiente pozo de descarga notamos que el diámetro se reducía a 250mm lo que es muy probable sea la causa de los desbordamientos mencionados anteriormente por los moradores al momento de presentarse un evento meteorológico intenso, además de que la mayoría de elementos tales como sumideros se encontraban repletos de sedimentos.

## Levantamiento de información

En el levantamiento de información se realizó el catastro de 45 pozos de revisión de la red de alcantarillado pluvial que en la mayoría de los casos captaba aguas residuales también, alrededor de 80 sumideros fueron revisados, tomando en cuenta parámetros como su estado actual, su ubicación y sus dimensiones. Para el desarrollo del levantamiento se contó con la ayuda de personal contratado al cual se le dotó de equipo de seguridad mínimo para evitar accidentes al momento de realizar las mediciones y toma de datos.

Antes de comenzar con el levantamiento del catastro se realizó una sectorización para delimitar las áreas analizadas tomando como referencia aquellas que presentan los mayores problemas ante eventos meteorológicos intensos, para la parroquia Río Toachi se tomaron datos del sector “Plan de vivienda Sueño de Bolívar”. Para la parroquia Chigüilpe se tomaron datos de los sectores: Parque de la Juventud, Mutualista Benalcázar y la Lorena zonas de mucha importancia comercial para Santo Domingo, finalmente de la parroquia Río Verde nos centramos en sector Santa Martha el cual históricamente ha sufrido varias inundaciones a causa de la falta de sistemas de drenaje pluvial.

Como parte de la toma de datos se destaparon los pozos existentes y se comprobaron las alturas de dichos pozos los cuales no excedieron en ningún caso los 4 metros, también se verifico la dirección de las tuberías para determinar el sentido de flujo de las descargas y ubicar en que zonas se encuentran los colectores los cuales tendrán un diámetro muy superior a los demás utilizados, en un gran porcentaje de pozos analizados los diámetros de tubería eran de 250mm lo cual es lo mínimo permitido por la SENAGUA para tubería pluvial en la actualidad, también se encontraron diámetros de 300, 400 y 500 mm.

En cada pozo pluvial analizado se observó tuberías de diámetros cercanos a los 175mm los cuales provenían de los sumideros colocados en las intersecciones y en los puntos más bajos de ciertas avenidas, en general los sumideros se encontraban muy deteriorados muchos de estos no contaban con la rejilla de hierro fundido, debido a los robos que según moradores





Este sector posee varias irregularidades en cuanto a su sistema de alcantarillado pluvial, las cuales se presentan en la tabla 16.

**Tabla 19**

*Características del sistema de alcantarillado pluvial*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>PARROQUIA</b>	Río Toachi, sector Plan de Vivienda Sueño de Bolívar
<b>TIPO DE RED</b>	Alcantarillado Pluvial – combinado en tramos
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	50 Ha
<b>N° DE POZOS DE REVISIÓN</b>	30
<b>ESTADO DE POZOS</b>	Deteriorados en general, sin escalera, pero en condiciones de operar, tapa de hierro fundido
<b>N° DE SUMIDEROS</b>	50
<b>ESTADO DE LOS SUMIDEROS</b>	En general en pésimas condiciones, llenos de sedimentos y basura, además con rejillas faltantes.
<b>LONGITUD TOTAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO LEVANTADO</b>	2000 m
<b>Ø DE TUBOS</b>	Sumideros: 175 - 200 mm De pozo a pozo: 250 - 500 mm Colector: 1200 mm
<b>MATERIAL DE LAS TUBERÍAS</b>	PVC corrugado > 80% Hormigón Simple ≈ 20%
<b>ESTADO DE TUBERÍAS</b>	La tubería en general se encuentra en buenas condiciones, se debe mencionar que los diámetros en ciertos tramos son inconsistentes
<b>DESCARGAS DEL COLECTOR</b>	Río Toachi

*Nota. caracterización de los elementos del sistema de red pluvial.*

### **Principales elementos de la red de drenaje pluvial**

En el levantamiento de información del estado actual de los elementos del sistema de alcantarillado pluvial se pudieron observar varias inconsistencias, tales como, sumideros llenos de sedimentos que no contaban con la respectiva tapa de hierro fundido lo que favoreció la entrada de basura a la olla del sumidero.

**Figura 25**

*Imágenes del estado general de los sumideros en la parroquia Río Toachi*

**(a)****(b)****(c)**

*Nota. La imagen (a) muestra un sumidero completo con rejilla de hierro fundido y al interior se pudo observar poca presencia de escombros, en las imágenes (b) y (c) podemos observar que se encuentran completamente deteriorados y llenos de sedimentos.*

En cuanto a los pozos del sistema de alcantarillado pluvial en general se pudo observar que varios tramos se encuentran conectados a desagües por lo que se forman tramos de alcantarillado mixto en los cuales los diámetros no superan los 300 mm, otro aspecto

destacable dentro del análisis visual es que varios pozos se encuentran contruidos en bloque y actualmente están llenos de imperfecciones, además de que varios pozos no cuentan con la tapa respectiva.

### **Figura 26**

*Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Río Toachi*



*Nota. En las imágenes se puede observar pozos que actualmente se encuentran muy deteriorados, en estos pozos se midieron diámetros de tubería de 200 y 175 mm.*

### **Parroquia Chigüilpe**

Ubicada en la región suroeste del cantón, la parroquia Chigüilpe cuenta con las primeras zonas urbanizadas de Santo Domingo razón por la cual en esta encontramos aun tubería de hormigón de hace más de 30 años y varias zonas con problemas de socavones producto de la entrada de material por las tuberías rotas a las redes del sistema de alcantarillado pluvial. Además, en esta zona encontramos más de un 50% de alcantarillado combinado que en general presenta problemas tales como el desbordamiento de pozos de revisión cada que ocurren eventos meteorológicos intensos.



**Figura 27**

*Alcantarillado pluvial existente en la parroquia Chigüilpe, sector Parque de la Juventud, Río Lelia y La Lorena.*



*Nota. La imagen muestra la zona donde se realizó el levantamiento del catastro para la red de alcantarillado pluvial.*

**Tabla 20**

*Características del sistema de alcantarillado pluvial*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>PARROQUIA</b>	Chigüilpe, sector parque de la Juventud, Río Lelia y La Lorena
<b>TIPO DE RED</b>	Alcantarillado Pluvial – combinado en tramos
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	80 Ha
<b>N° DE POZOS DE REVISIÓN</b>	26
<b>ESTADO DE POZOS</b>	Alrededor del 50% Deteriorados, con varios pozos nuevos funcionales y en buen estado.
<b>N° DE SUMIDEROS</b>	54

<b>ESTADO DE LOS SUMIDEROS</b>	En general en buenas condiciones varias rejillas de más de una metro de ancho para permitir la entrada de grandes volúmenes de agua
<b>LONGITUD TOTAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO LEVANTADO</b>	2800 m
<b>DIÁMETROS DE TUBERÍAS</b>	Sumideros: 175 - 200 mm De pozo a pozo: 250 - 500 mm Colector: 1200 mm
<b>MATERIAL DE LAS TUBERÍAS</b>	PVC corrugado > 60% Hormigón Simple $\approx$ 40%
<b>ESTADO DE TUBERÍAS</b>	La tubería en general se encuentra en malas condiciones al tener más de 30 años, ciertos tramos han sido cambiados por tubería de PVC
<b>DESCARGAS DEL COLECTOR</b>	Río Pove

Nota. En la tabla se presenta la información recopilada en el catastro del sistema de alcantarillado pluvial.

### Estado de los elementos que conforman el sistema de alcantarillado pluvial existente

En el levantamiento de información del estado actual de los elementos del sistema de alcantarillado pluvial se pudieron observar varios aspectos que deben ser mejorados tales como tuberías de hormigón armado que se encuentran muy deterioradas con fisuras y socavones en ciertas calles además de pozos en muy mal estado construidos de bloque.

### Figura 28

*Imágenes del estado general de los sumideros en la parroquia Río Toachi*



(a)



(b)



(c)

*Nota. La imagen (a) muestra un sumidero compuesto de varias rejillas de hierro fundido este es un punto de alta demanda de flujo de agua, en la imagen (b) se observa la rejilla normal de 60cm de ancho y en (c) observamos una rejilla de 3 metros.*

En cuanto a los pozos de revisión podemos observar que más del 50% de estos están contruidos de bloques y se encuentran muy deteriorados, casi en su totalidad los pozos se encuentran con sus respectivas tapas de hierro fundido y en funcionamiento, aunque según moradores de este sector varios pozos se desbordan la presentarse lluvias intensas lo que nos indica que los diámetros utilizados en ciertos tramos de tubería no se encuentran correctamente diseñados ya que no logran evacuar la cantidad de agua que reciben al presentarse eventos meteorológicos intensos.



**Figura 29**

*Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Chigüilpe*



*Nota. En las imágenes se puede observar pozos contruidos de bloque en los cuales tenemos diámetros de entre 250 a 300 mm, en tubería de hormigón.*

En esta parroquia se pudo observar varias zonas donde se encontraron tuberías de hormigón con diámetros de 200, 250 y 300 mm las cuales fueron colocadas hace más de treinta años, a simple vista se nota que estás tuberías se encuentran deterioradas lo que daría lugar a colapsos en el sistema de drenaje pluvial por no poder evacuar las aguas lluvias.

**Figura 30**

*Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Chigüilpe*







*Nota. En las imágenes se observan tuberías de hormigón que están siendo retiradas por haber cumplido su tiempo de vida útil.*

Actualmente existen sectores de la parroquia Chigüilpe que fueron intervenidas por la Municipalidad de Santo Domingo y actualmente cuentan con tubería de PVC corrugada y diámetros mayores a los anteriores de hormigón además de que se separaron las redes de alcantarillado sanitario del pluvial para optimizar la evacuación de aguas lluvias.

### **Figura 31**

*Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Chigüilpe*



*Nota. En la imagen se muestran los pozos separados de alcantarillado sanitario y pluvial además de la colocación de tubería de PVC corrugada.*

## Parroquia Río Verde

La parroquia Río Verde se ubica en la región sureste del cantón, varias zonas del sector no cuentan con redes de alcantarillado pluvial ni sanitario, en estos lugares las personas evacuan las aguas servidas provenientes de sus hogares directamente en los ríos Pove y Code, y las aguas provenientes de las precipitaciones son recogidas por las quebradas y ríos, por esta razón existen varias zonas en las cuales se observan inundaciones cuando se presentan lluvias intensas, en general el sistema de alcantarillado en esta región es combinado y presenta grandes deficiencias en cuanto a infraestructura y diámetros de diseño.

### Figura 32

*Alcantarillado pluvial existente en la parroquia Río Verde, Sectores La Chorrera y Santa Martha*



*Nota. La imagen muestra la zona donde se realizó el levantamiento del catastro para la red de alcantarillado pluvial.*

En el barrio Santa Martha históricamente se han presentado varios casos de inundaciones por la inexistencia de redes de alcantarillado pluvial, además existe gran cantidad de basura sobre las rejillas de los sumideros lo que evita que el agua sea drenada de las vías con normalidad.

Tabla 21

*Características del sistema de alcantarillado pluvial*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
<b>PARROQUIA</b>	Río Verde, La Chorrera y Santa Martha
<b>TIPO DE RED</b>	Alcantarillado Pluvial – combinado en tramos
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	80 Ha
<b>N° DE POZOS DE REVISIÓN</b>	35
<b>ESTADO DE POZOS</b>	Deteriorados en general, varios pozos no cuentan con tapas de hierro fundido
<b>N° DE SUMIDEROS</b>	60
<b>ESTADO DE LOS SUMIDEROS</b>	Se observan sumideros llenos de sedimentos y basura, además con rejillas faltantes.
<b>LONGITUD TOTAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO LEVANTADO</b>	2800 m
<b>DIÁMETROS DE TUBERÍAS</b>	Sumideros: 175 - 200 mm De pozo a pozo: 250 - 500 mm Colector: 1200 mm
<b>MATERIAL DE LAS TUBERÍAS</b>	PVC corrugado > 60% Hormigón Simple ≈ 40%
<b>ESTADO DE TUBERÍAS</b>	La tubería se encuentra en buenas condiciones en las zonas donde fue cambiado o instalado en la última década, en zonas de más de 30 años se encuentra deteriorado
<b>DESCARGAS DEL COLECTOR</b>	Río Pove y Code

*Nota. En la tabla se presenta la información recopilada en el catastro del sistema de alcantarillado pluvial.*

**Estado de los elementos que conforman el sistema de alcantarillado pluvial existente**

En el levantamiento de información del estado actual de los elementos del sistema de alcantarillado pluvial se pudieron observar varias inconsistencias, tales como, sumideros llenos de sedimentos que no contaban con la respectiva tapa de hierro fundido lo que favoreció la entrada de basura a la olla del sumidero.



**Figura 33**

*Imágenes del estado general de los sumideros en la parroquia Río Toachi*

**(a)****(b)****(c)**

*Nota. Las imágenes (a) y (b) muestran sumideros limpios completos con rejilla de hierro fundido en la imagen (c) se ve claramente el problema ocasionado por la falta de mantenimiento.*

En cuanto a los pozos del sistema de alcantarillado pluvial en general se pudo observar que varios tramos se encuentran conectados a desagües por lo que se forman tramos de alcantarillado mixto en los cuales los diámetros no superan los 300 mm, otro aspecto destacable dentro del análisis visual es que varios pozos se encuentran contruidos en bloque

y actualmente están llenos de imperfecciones, además de que varios pozos no cuentan con la tapa respectiva.

### Figura 34

*Imágenes del estado general de los pozos en la parroquia Río Verde*



*Nota. En las imágenes observamos pozos que se encuentran en buen estado, en estos pozos se midieron diámetros de tubería de 250 y 300 mm*

En la parroquia Río verde el sistema de alcantarillado pluvial en general es funcional y cuenta con pozos y tuberías que no exceden los 10 años de colocación, pero también podemos observar varios pozos y tramos de tubería que se encuentran muy deteriorados y que fueron construidos hace más de 20 años según moradores del sector.

Un problema que se observó en las tres parroquias es que muchos sumideros se encuentran colapsados de basura y llenos de sedimentos esto impide el correcto funcionamiento del sistema de drenaje de aguas lluvias, además de que en varios sectores las rejillas de hierro fundido han sido robadas lo que favorece el taponamiento de los sistemas de desagüe, también existen otros problemas tales como el mal diseño de los diámetros de tubería que en muchos casos son inconsistentes partiendo de un tramo y siguiendo el flujo del agua con un diámetro menor lo que es un error de diseño.

**Tabla 22**

*Resumen de cumplimiento de parámetros mínimos de diseño para alcantarillado pluvial*

<i>Parámetro</i>	<i>Río Toachi</i>	<i>Chigüilpe</i>	<i>Río Verde</i>
<i>La solera de la tubería no forme escalones</i>	Cumple	Cumple	Cumple
<i>Criterios de autolimpieza por pendiente</i>	Cumple	Cumple	Cumple
<i>Diámetros mínimos según la longitud del tramo de tubería según normas de SENAGUA, 2012</i>	Cumple	Cumple	Cumple
<i>Diámetro de la boca del pozo 60 cm</i>	Cumple	Cumple	Cumple
<i>Forma de cono excéntrico a lo largo del pozo</i>	No cumple	No cumple	No cumple
<i>Las tuberías que entran al pozo forman un ángulo de 45°</i>	No cumple	No cumple	No cumple
<i>Uso de diámetros superiores a 250 mm</i>	No cumple	No cumple	No cumple
<i>Pendientes de diseño mayores al 0.1%</i>	Cumple	Cumple	Cumple

*Nota. Tomado de Código ecuatoriano de la construcción de parte ix obras sanitarias, SENAGUA, 2012.*

Como resultado del análisis del sistema existente de alcantarillado pluvial en la ciudad de Santo Domingo, en las parroquias Río Toachi, Chigüilpe y Río Verde, podemos mencionar que de manera general el problema más recurrente es que no se respeta los diámetros mínimos de diseño lo que dificulta la normal evacuación de las aguas lluvias favoreciendo el colapso de alcantarillas que es tan común en estos sectores, en general del levantamiento del catastro también se pudo verificar que las pendientes de diseño del sistema actual se encuentran dentro del rango aceptado por la SENAGUA de más de 0.1%.

## Capítulo VI

### Propuesta de diseño para la red de drenaje Pluvial

#### Alcantarillado pluvial

El área a considerar para realizar el diseño de la red de drenaje pluvial dependerá de cada parroquia urbana y las áreas de aportación definidas para el cálculo de caudal de diseño. Basados en los planos de redes viales del Cantón Santo Domingo podemos definir un trazado inicial para la red de alcantarillado, históricamente estas tres parroquias urbanas son las que han presentado las mayores complicaciones en tema de drenaje de aguas lluvias motivo por el cual el diseño se enfocara en estas zonas.

Varios elementos de las redes de drenaje pluvial se encuentran claramente definidos, para este caso en específico se utilizarán las especificaciones técnicas para el diseño de Pozos y Sumideros que presenta el GADM de Santo Domingo, el cual indica que los sumideros podrán ser ollas de hormigón prefabricado o cajas rectangulares según la demanda del área y deberán contar en su parte superior con rejillas de hierro fundido para evitar la entrada de escombros y basura, los pozos por su parte serán construidos de forma cilíndrica con diámetro interior de 1 m, pared de 20 cm de espesor y base del pozo circular de 1.80 m de diámetro o rectangular de la misma medida por lado, en la parte superior llevaran una loza de tapa fundida con hormigón armado y una boca de entrada al pozo de 60 cm hecha de hierro fundido.

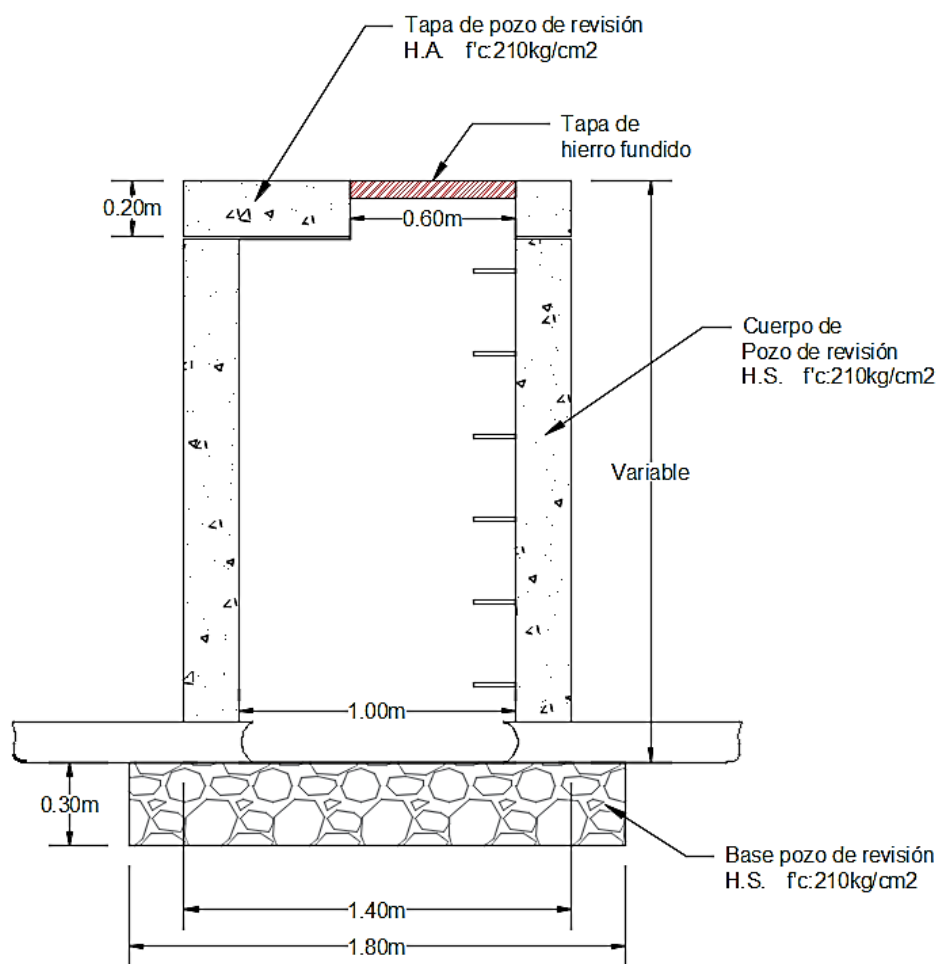
En el diseño al encontrarse todas las redes dentro del área urbana no es necesario diseñar cunetas que conduzcan el agua, con el diseño actual de las vías se asegura el escurrimiento del agua hacia los sumideros, los cuales tendrán una tubería de al menos 250 mm que conduzca el agua desde el sumidero hacia el pozo como se indica en la Figura 38, desde los pozos de revisión se colocaran los tramos de tubería que irán de pozo a pozo hasta conectar con el colector principal el cual tiene la función de descargar las aguas superficiales recogidas hacia un cuerpo de agua como ríos, esteros o quebradas.

## Elementos del sistema de alcantarillado pluvial

En la red de Drenaje pluvial como se evidencio en el levantamiento del catastro tenemos una serie de elementos definidos que actúan en conjunto para evacuar las aguas provenientes de las precipitaciones, dichos elementos varían de acuerdo con la región y el área que estén sirviendo, pero, para la zona de Santo Domingo tenemos los siguientes: Pozos de revisión fabricados de hormigón simple, sumideros en forma cilíndrica o rectangular y tubería de PVC.

### Figura 35

*Detalle constructivo de Pozo pluvial de Hormigón Simple*

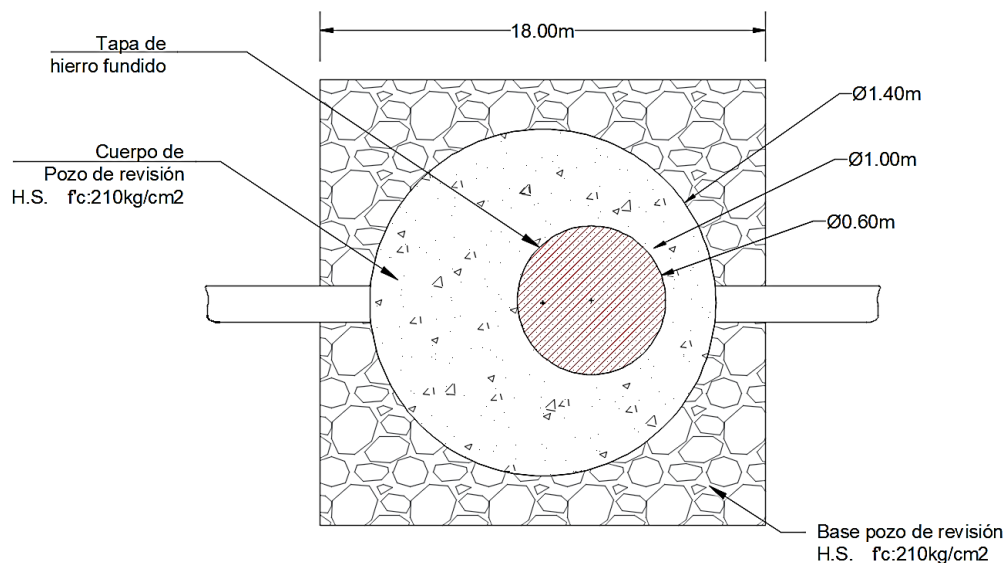


*Nota. Vista en corte de Pozo de revisión.*



**Figura 36**

*Detalle constructivo de Pozo de revisión de Hormigón Simple*

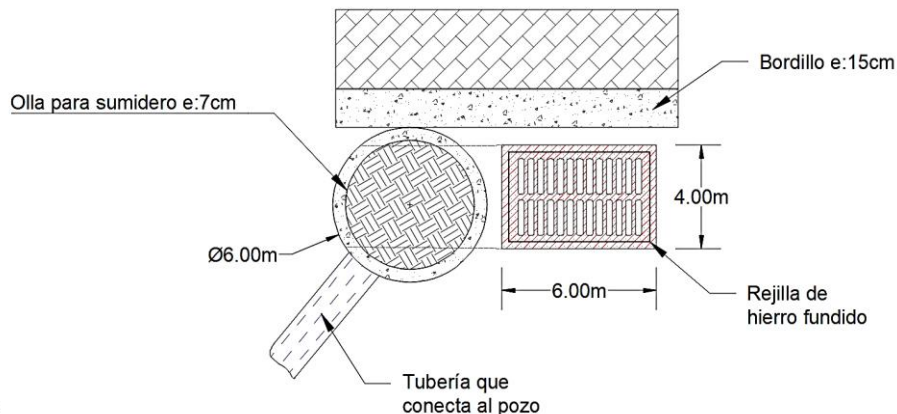


*Nota. Vista en Planta pozo de revisión con tapa de hierro dúctil.*

Los pozos de revisión actualmente son construidos de hormigón simple con una resistencia a la compresión de  $f'c$ : 210 kg/cm<sup>2</sup>, en forma circular con diámetros internos de 1m para facilitar la limpieza de los mismos y paredes de 20cm de espesor asegurando de esta manera una estructura sólida y estable.

**Figura 37**

*Sumidero para captación de aguas lluvias*

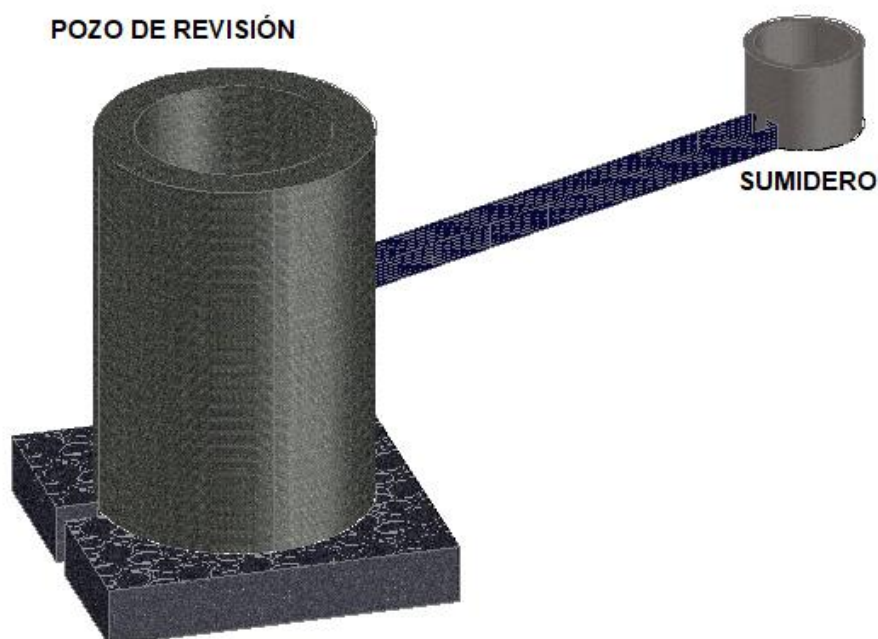


*Nota. Vista en Planta sumidero circular con rejilla de hierro dúctil.*

A los pozos que se encuentran ubicados generalmente al centro de la calzada llegan las aguas lluvias captadas por los sumideros a través de tubería de 200 mm, estos sumideros generalmente son de forma circular cuando las cantidades de agua a drenar no son grandes.

### Figura 38

*Detalle de conexión de sumidero a pozo*



*Nota. Vista en 3D de la conexión de sumidero a pozo.*

En la 31 se puede apreciar claramente la manera en que el sumidero colocado a un lado de la carretera y tapado con una rejilla comúnmente hecha de hierro fundido transporta el agua proveniente del escurrimiento superficial hasta el pozo de revisión que a su vez conducirá el agua hasta el punto donde se une con un colector principal que evacuará el agua lluvia hacia un cuerpo de agua, una quebrada o río. Para realizar el diseño de nuestro sistema de alcantarillado el primer paso es calcular un caudal de diseño.

### Determinación de caudal de diseño mediante el método racional

Este método nos ayudará a definir un caudal de diseño para el área del cantón Santo Domingo tomando en cuenta que partiremos de una intensidad calculada anteriormente con precipitaciones obtenidas de la estación M0348, que es según el método de los polígonos de Thiessen (Figura 15) la estación que cubre las precipitaciones de toda el área del cantón. Para la aplicación del método deberemos definir ciertos parámetros correspondientes a la topografía de la zona a evaluar.

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

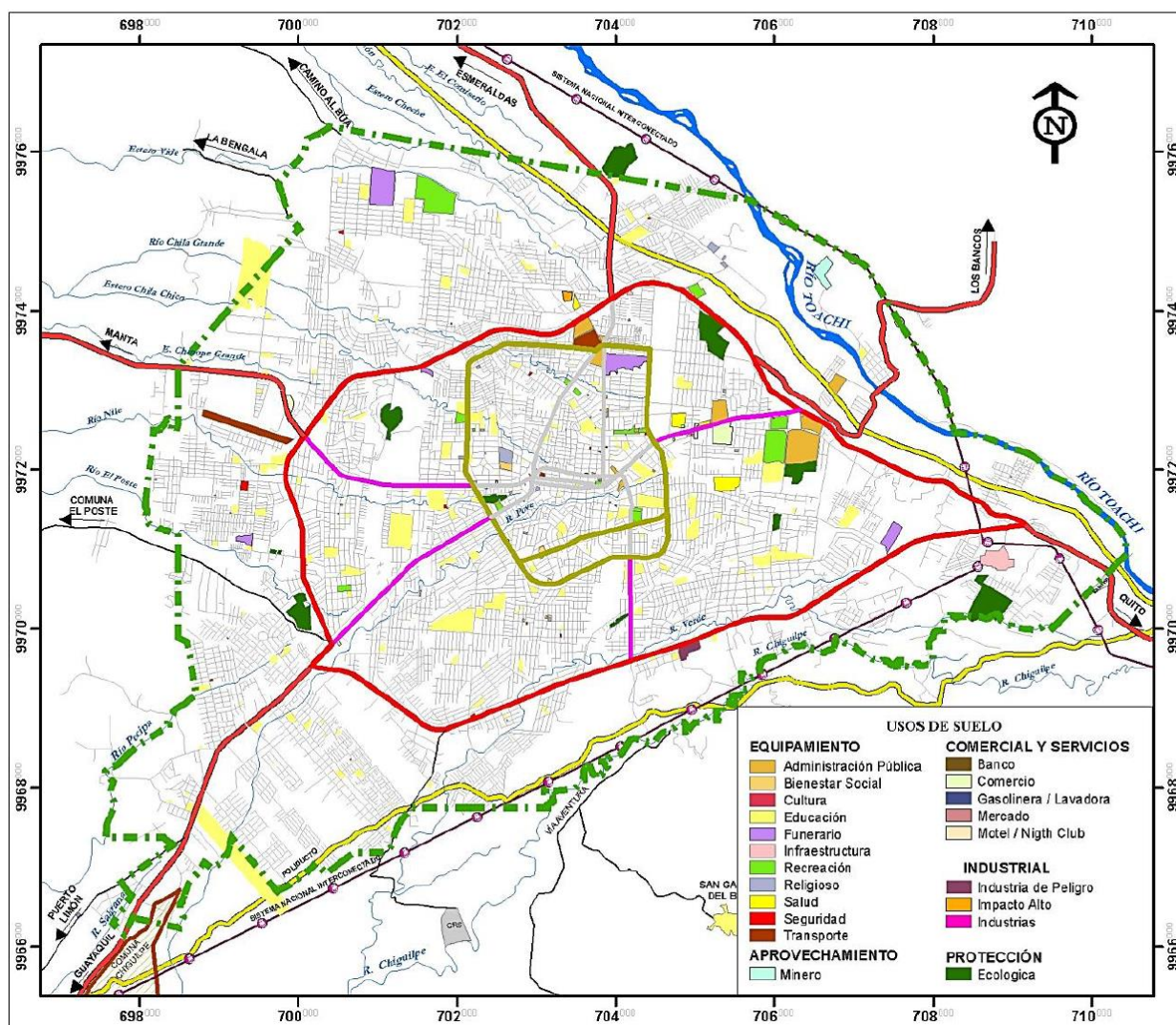
- $Q$  : Caudal máximo en m<sup>3</sup>/s
- $A$  : Área en Ha
- $I$  : Intensidad de lluvia de diseño según curvas IDF en mm/h
- $C$  : Coeficiente de escorrentía

### Coeficiente de escorrentía

Esta variable es la menos precisa dentro del método ya que es una estimación entre 0 y 1 para un terreno considerando que sea completamente impermeable, hay muchos factores que influyen en la determinación del coeficiente de escorrentía, la manera más acertada de estimar este valor es conociendo el uso de suelo de la zona de estudio de esta manera podremos definir el porcentaje de área que ocupa cada superficie de escurrimiento, así por ejemplo podemos tener gran área vegetal en una zona lo que influirá directamente en el coeficiente de escurrimiento disminuyendo su valor al dificultar el paso del agua a través de esta superficie, en ciudades la mayor área encontrada es la superficie pavimentada que facilita el transporte del agua hacia los elementos que se encargan del drenaje en obras de alcantarillado pluvial tales como los sumideros.

Figura 39

Mapa de uso de suelo Cantón Santo Domingo



Basados en el mapa de ocupación del suelo del cantón y en el reporte de lotes vacíos por parroquias, además del área ocupada por las vías pavimentadas podemos estimar de mejor manera el coeficiente de escorrentía para cada parroquia urbana, para esto utilizaremos tablas de valores de C correspondientes al tipo de ocupación del suelo, en el mapa podemos observar que la mayor parte de Santo Domingo se encuentra urbanizada y según datos del GADM-SD solo existe un aproximado de 76 Ha de áreas verdes o zonas ecológicas.

**Tabla 23***Lotes vacíos por parroquia urbana*

PARROQUIA URBANA	N° DE PREDIOS	N° LOTES VACIOS	ÁREA DE LOTES VACÍOS HA	% DE LOTES VACÍOS
ZARACAY	6062	3146	144.20	52.00
CHIGÜILPE	12568	4934	538.41	39.00
RÍO VERDE	22723	8680	603.24	38.00
A. CALAZACÓN	14289	4524	317.82	32.00
BOMBOLÍ	19799	6614	474.92	33.00
SANTO DOMINGO	3635	215	5.84	6.00
RÍO TOACHI	5276	3670	465.33	70.00
<b>TOTAL</b>	<b>84352</b>	<b>31783</b>	<b>2549.76</b>	<b>38.57</b>

*Nota. Recuperado de GADM-SD Dirección de avalúos y Catastros, diciembre 2014.*

Los coeficientes de escorrentía son una medida apreciativa no están sujetos a una regla de cálculo y serán determinados mediante el uso de tablas.

**Tabla 24***Valores típicos de Cs*

DESCRIPCIÓN	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA				
	Periodo de retorno (años)				
ZONA URBANA	5	10	25	50	100
TECHO	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97
ASFALTO	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95
<b>PASTIZALES</b>					
(0-2)%	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41
(2-7)%	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
> 7%	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53
<b>ZONAS RURALES</b>					
<b>BOSQUES</b>					
(0-2)%	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39
(2-7)%	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47
> 7%	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52

*Nota. Recuperado de Hidrología Aplicada de Ven te chow para 25, 50 y 100 años.*

A continuación, se presentan los valores de los coeficientes de escorrentía para las diferentes parroquias urbanas de Santo Domingo.

Tabla 25

*Coefficientes de escorrentía para cada parroquia de estudio*

<b>PARROQUIA RÍO VERDE</b>				
	<b>% de Ocupación</b>	<b>Ci (50 años)</b>	<b>% de O. * Ci</b>	<b>C</b>
<b>CALLES</b>	3.80%	0.9	0.034	
<b>ÁREA URBANA</b>	58.19%	0.92	0.535	<b>0.710</b>
<b>LOTES VACÍOS</b>	38.00%	0.37	0.141	
<b>PARROQUIA RÍO TOACHI</b>				
	<b>% de Ocupación</b>	<b>Ci (50 años)</b>	<b>% de O. * Ci</b>	<b>C</b>
<b>CALLES</b>	2.00%	0.9	0.018	
<b>ÁREA URBANA</b>	12.71%	0.92	0.117	<b>0.394</b>
<b>LOTES VACÍOS</b>	70.00%	0.37	0.259	
<b>PARROQUIA RÍO CHIGUILPE</b>				
	<b>% de Ocupación</b>	<b>Ci (50 años)</b>	<b>% de O. * Ci</b>	<b>C</b>
<b>CALLES</b>	5.00%	0.9	0.045	
<b>ÁREA URBANA</b>	43.39%	0.92	0.399	<b>0.588</b>
<b>LOTES VACÍOS</b>	39.00%	0.37	0.144	

Luego de haber estimado los valores de escorrentía basados en el porcentaje de ocupación del suelo de cada parroquia procederemos a seleccionar un valor de intensidad de precipitación teniendo en cuenta que el periodo de retorno para el cual estamos diseñando nuestro sistema de alcantarillado pluvial es de 50 años.

### **Intensidad de lluvia de diseño**

En la gran mayoría de obras hidráulicas de drenaje pluvial urbano resulta necesario definir un evento o eventos de lluvia que debemos usar, para esto necesitamos tener claro el tipo de obra y su área de servicio con estos datos podemos definir un periodo de retorno apropiado para la selección de una intensidad de lluvia basada en las curvas IDF que fueron calculadas anteriormente con datos pluviométricos de la zona de Santo Domingo.

De la tabla 15 tomaremos el valor de intensidad considerando un periodo de retorno de 50 años y una duración de lluvia de 2 horas, el valor es  **$I = 55.79$  mm/h.**

### Caudales de diseño para las parroquias Río Verde, Río Toachi y Chigüilpe

Una vez definidos todos los parámetros necesarios para el cálculo del caudal por el método racional procedemos a determinar para cada parroquia un caudal de diseño que utilizaremos posteriormente para dimensionar la tubería del colector principal, el nivel 3 según lo definen las normas de la SENAGUA.

**Tabla 26**

*Caudales de diseño para las parroquias Río Verde, Río Toachi y Chigüilpe*

	<b>A</b> <b>(Ha)</b>	<b>C</b>	<b>I</b> <b>(mm/h)</b>	$Q = C * I * \frac{A}{360}$ <b>(m3/seg)</b>
<b>RÍO VERDE</b>	1794.20	0.71	19.476	<b>68.92</b>
<b>RÍO TOACHI</b>	939.50	0.394	19.476	<b>20.03</b>
<b>CHIGUILPE</b>	1308.10	0.588	19.476	<b>41.61</b>

Las diferencias en el tipo de superficie de escorrentía y en el área de cada parroquia nos da como resultado caudal diferentes para cada zona de análisis, una vez definidos los caudales de diseño procedemos a realizar el dimensionamiento del colector principal que es el que deberá tener la capacidad para evacuar el caudal de diseño aplicado a toda su área.

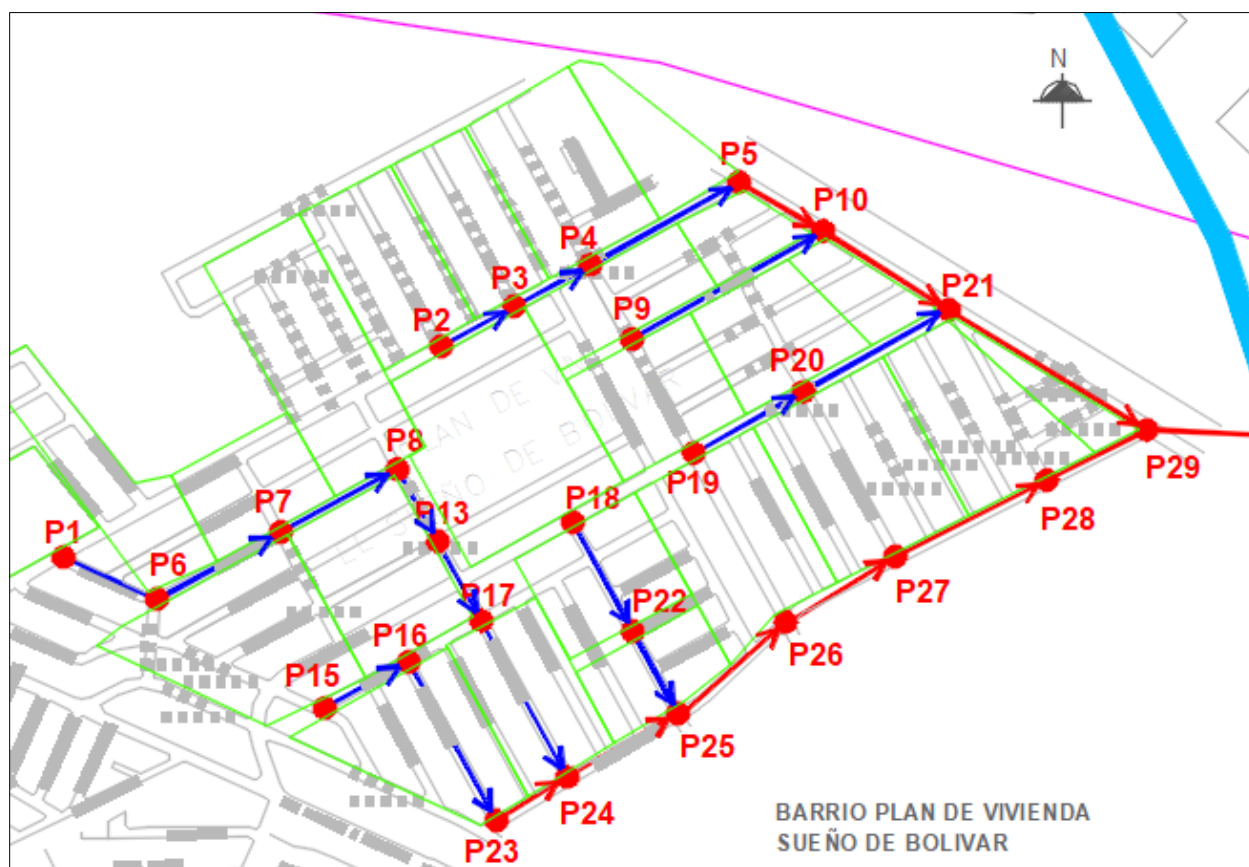
### Áreas de aportación para las parroquias Río Verde, Río Toachi y Chigüilpe

Las áreas de aportación son un factor determinante para el cálculo del caudal de diseño para cada tramo de tubería ya que cada pozo tendrá un área que aportará cierta cantidad de agua lluvia hacia el mismo basados en su coeficiente de escurrimiento y porcentaje de infiltración además del aporte de aguas licitas.



Figura 40

Mapa de diseño de red de drenaje pluvial para la parroquia Río Toachi

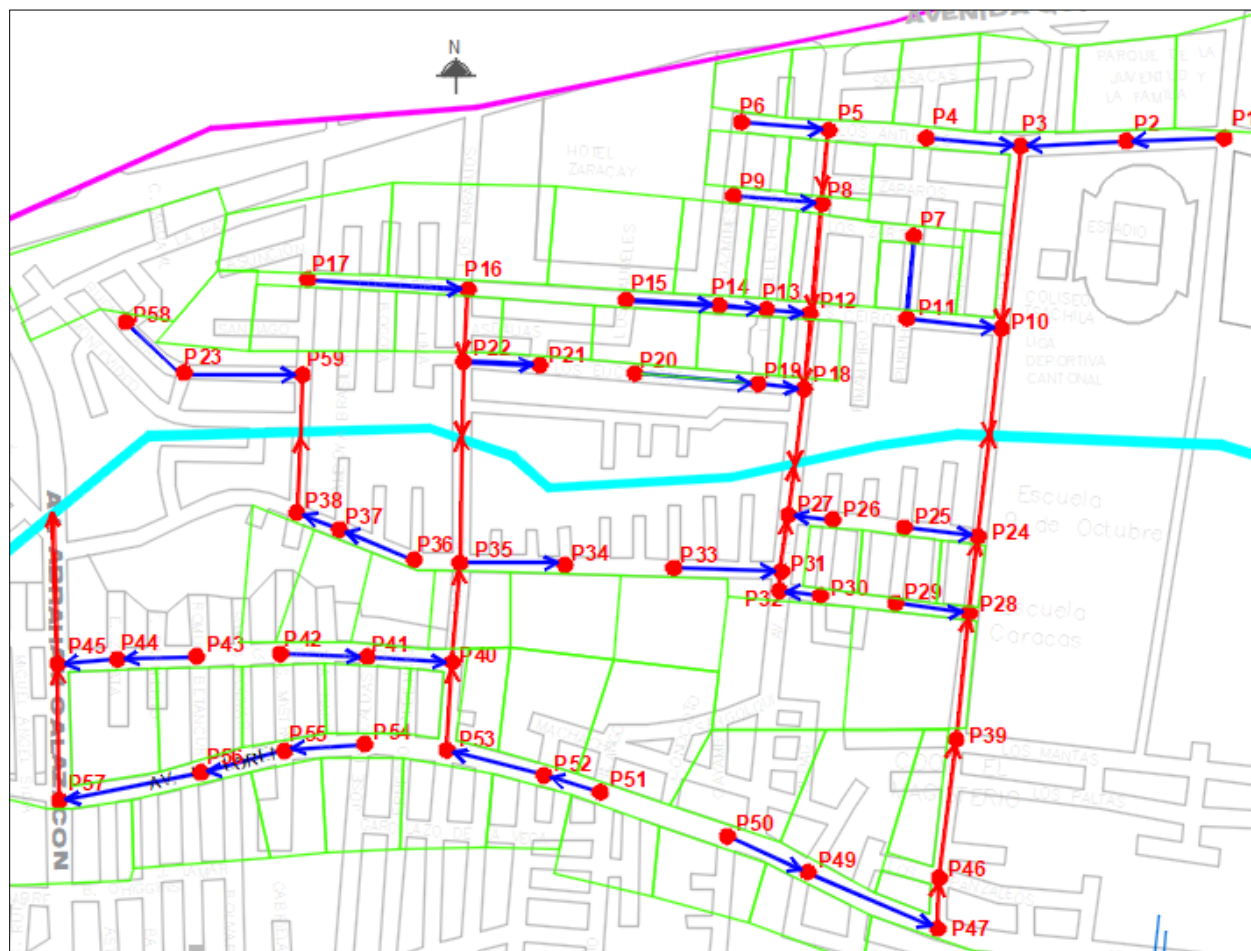


En la parroquia Río Toachi se eligió para el análisis del sistema de alcantarillado pluvial existente y posterior diseño de una propuesta comparativa de red de drenaje pluvial la zona del barrio plan de vivienda Sueño de Bolívar por ser una de las que mayores conflictos presentaban en el sistema de drenaje pluvial debido a su mal diseño, las áreas de aportación fueron delimitadas basados en la configuración de las avenidas existentes en la zona y sus cotas, además para la propuesta de la red se consideró realizar la descarga en el río Toachi el cual se encuentra cerca de la zona de diseño.



Figura 41

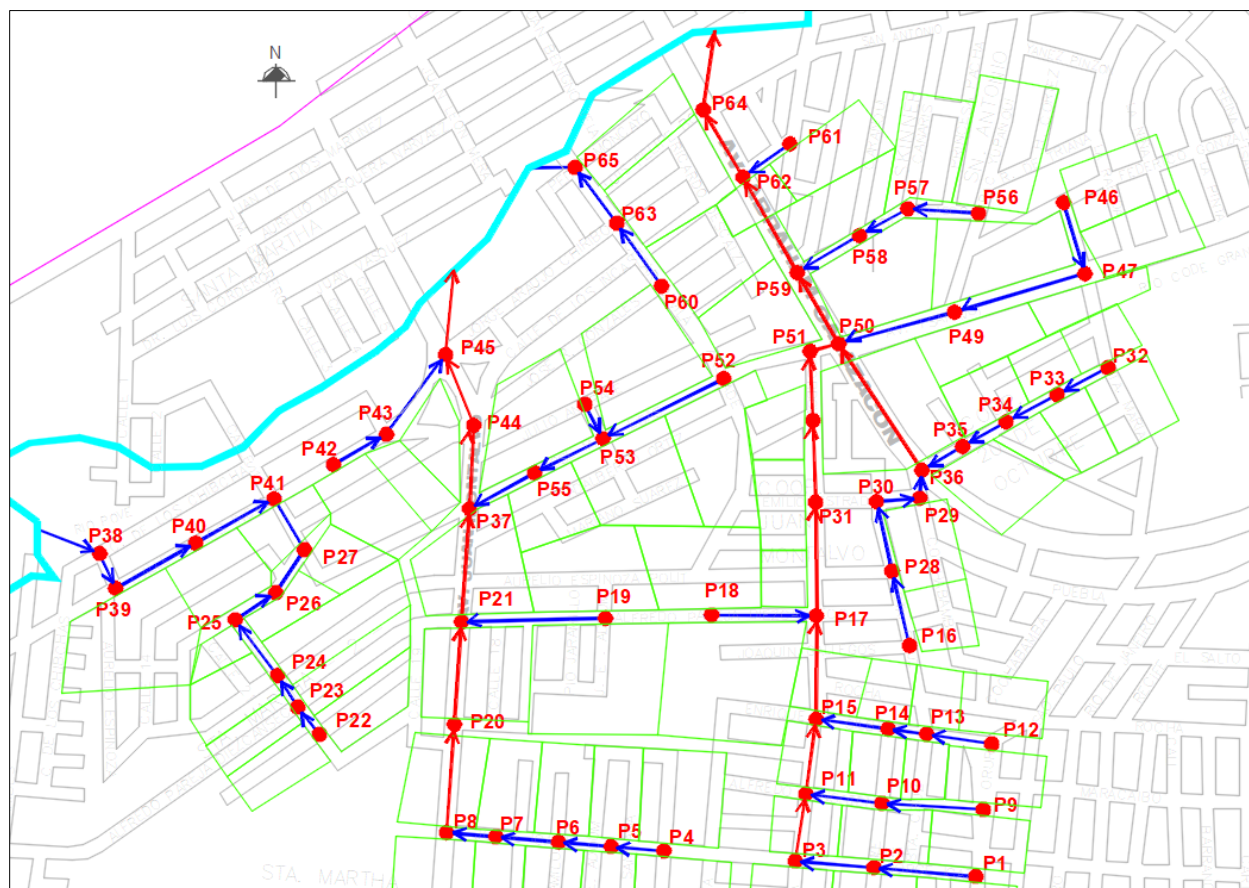
Mapa de diseño de red de drenaje pluvial para la parroquia Chigüilpe



En la parroquia Chigüilpe se delimito la zona de estudio y diseño a las áreas de: Parque de la Juventud y la Familia, Av. Río Lelia y Av. La Lorena las cuales tienen gran importancia comercial y son de las primeras zonas urbanizadas de Santo Domingo razón por la cual el alcantarillado pluvial de la zona tiene más de 30 años y en algunos tramos se encuentra combinado con el sistema de drenaje sanitario el cual llega directamente de las casas a tubería de hormigón destinada al drenaje pluvial, los diámetros encontrados en esta zona rondaban los 250 y 300 mm.

**Figura 42**

Mapa de diseño de red de drenaje pluvial para la parroquia Río Verde



En la parroquia Río Verde se delimito la zona de diseño tomando en consideración cuales han sido históricamente los sectores que mayores problemas han presentado, así por ejemplo tenemos el área de la cooperativa Santa Martha donde, debido al deficiente sistema de alcantarillado pluvial han ocurrido varias inundaciones a causa del desbordamiento del río Pove y el taponamiento de rejillas de sumideros con escombros y basura, todo esto sumando al mal diseño elaborado hace más de 20 años con diámetros de 250 mm en tubería de hormigo lo que dificulta la correcta evacuación de las aguas proveniente de eventos meteorológicos intensos.

### Determinación de diámetros de tubería para la red de alcantarillado pluvial

Para determinar el diámetro de tubería a utilizar en cada tramo de tubería de la red será necesario utilizar un proceso iterativo, donde tomaremos un diámetro y comprobaremos si es suficiente para desalojar el agua captada, trabajando a una capacidad ideal del 80%, para que no exista presurización, para determinar estos diámetros de tubería utilizaremos los monogramas de cálculo presentados en el libro Principios de la Hidráulica 2, Sandoval, 2013.

$$a = f_1 \left( \frac{K_h}{K_H} \right) = f \left( \frac{Q_h}{Q_H} \right)$$

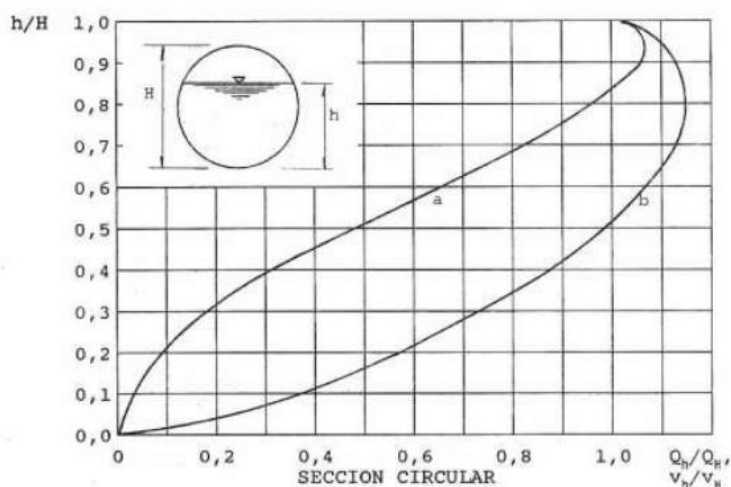
$$b = f_2 \left( \frac{V_h}{V_H} \right)$$

Donde:

- A : relación de llenado
- $K_h, Q_h$  : factores para sección parcial
- $K_H, Q_H$  : factores para sección llena
- $V_h$  : velocidad para sección parcial
- $V_H$  : velocidad para sección llena

**Figura 43**

*Gráfico para determinación de factores de gasto*



*Nota. Recuperado de Principios de la Hidráulica pag. 90 (Sandoval, 2013).*

Un parámetro importante en el dimensionamiento de tuberías es el de coeficiente de rugosidad el cual está en función del tipo de material utilizado para las tuberías, el libro de Principios de la Hidráulica nos presenta una tabla con los valores para los diferentes tipos de material.

#### Figura 44

*Cuadro de rugosidad en función del material*

CARACTERISTICAS DE LA SUPERFICIE	n
PVC, superficies esmaltadas, barnizadas. Pléxiglass (Mica)	0,009
Enlucido de cemento puro	0,010
Tubos limpios de cerámica y acero	0,011
Tubos de hierro galvanizado. Hormigonado bueno	0,012
Tubos de alcantarillado buenos. Tubos de suministro de agua con algún tiempo en uso.	0,013
Tubos de suministro y alcantarillado con incrustaciones.	0,014
Mampostería de piedra y ladrillos colocados rudimentariamente.	0,015
Canales cubiertos por una capa de lodo.	0,018
Canales sin revestimiento de suelo compactado o roca de superficie regular.	0,020
Canales de tierra en condiciones normales. Ríos y arroyos en condiciones óptimas.	0,025
Canales y ríos en condiciones relativamente malas.	0,030
Canales y ríos con muchas piedras, algas y basuras.	0,040

*Nota. Recuperado de Principios de la Hidráulica pag. 44 (Sandoval, 2013).*

El proceso de dimensionamiento de la tubería es iterativo, lo que significa que partiremos de un diámetro para realizar el cálculo del dimensionamiento y luego comprobaremos si con esa medida cumplimos los requerimientos de caudal, velocidades y pendientes mínimas establecidos por la SENAGUA. Los detalles del cálculo y dimensionamiento se detallan en el anexo n°1.

## Presupuesto referencial

**Tabla 27**

*Presupuesto referencial para la colocación de drenaje pluvial*

PRESUPUESTO REFERENCIAL RED DE ALCANTARILLADO PLUVIAL					
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	U	CANT.	P.U.	P.T.
<b>RUBROS DE INGENIERIA CIVIL</b>					
<b>INSTALACIÓN DE TUBERÍA PLUVIAL</b>					
OPR003	REPLANTEO Y NIVELACION CON EQUIPO TOPOGRAFICO	km	9.25	\$551.06	\$5,096.48
MOT008	EXCAVACION A MAQUINA EN TIERRA H= 0-2m	m3	12947.90	\$1.64	\$21,234.56
MOT009	EXCAVACION A MAQUINA EN TIERRA H= 2-4m	m3	9664.68	\$2.53	\$24,451.65
MOT037	RELLENO COMPACTADO CON COMPACTADOR	m3	12947.90	\$6.37	\$82,478.12
ASP040	RASANTEO Y PREPARACION ZANJA A MAQUINA (INC.CAMA ARENA)	m2	6473.95	\$3.01	\$19,486.59
ASP029	TUBERÍA PVC 220 mm INEN 2059 UNION ELASTOMERICA. INC. ANILLO DE CAUCHO	m	1849.70	\$21.83	\$40,378.95
ASP030	TUBERÍA PVC 280 mm INEN 2059 UNION ELASTOMÉRICA. INC. ANILLO DE CAUCHO	m	924.85	\$27.58	\$25,507.36
ASP031	TUBERÍA PVC 335 mm INEN 2059 UNION ELASTOMÉRICA INC. ANILLO DE CAUCHO	m	8092.44	\$39.68	\$321,107.92
ASP032	TUBERÍA PVC 400 mm INEN 2059 UNION ELASTOMÉRICA INC. ANILLO DE CAUCHO	m	1445.08	\$55.77	\$80,592.01
ASP033	TUBERÍA PVC 440 mm INEN 2059 UNION ELASTOMÉRICA INC. ANILLO DE CAUCHO	m	3174.73	\$58.66	\$186,229.81
ASP080	TUBERÍA PVC 840mm INEN 2059 UNION ELASTOMERICA INC. ANILLO DE CAUCHO	m	400.00	\$223.88	\$89,552.00
ASP099	SUM. E INST. DE TUBERIA PVC PARA ALCANTARILLADO TIPO A2, S3 - D(e)=1245mm; D(i)=1200mm	m	1200.00	\$339.36	\$407,232.00
ASP017	POZOS REV. f'c=210 kg/cm2 H=0-2m d=1m (cuerpo)	m	190.00	\$170.87	\$32,465.30
ASP018	POZOS REV. f'c=210 kg/cm2 H=2-4m d=1m (cuerpo)	m	142.50	\$177.65	\$25,315.13
ASP013	LOSA DE TAPA H.A PARA POZO REVISIÓN d=1.40 m e=0.20m	u	100.00	\$134.35	\$13,435.00
ASP004	BASE H.C. POZO REVISIÓN d=1.80 m e=0.30m 210 kg/cm2	u	100.00	\$80.11	\$8,011.00
ASP024	TAPA DE HIERRO DUCTIL 600mm BISAGRA CAUTIVA	u	100.00	\$192.67	\$19,267.00
821GS	REJILLA H. DUCTIL 600 mm BISAGRA CAUTIVA	u	200.00	\$171.01	\$34,202.00
814S	SUMIDERO DE CALZADA H.S. 0.90x0.40x0.80m	u	200.00	\$62.46	\$12,492.00
					<b>\$ 1,448,534.87</b>

*Nota. Los precios referenciales están tomados de "Listado de precios referenciales Base de datos GADMSD 2023".*

## Capítulo VII

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

En base al cálculo del periodo de retorno y la probabilidad de ocurrencia por el método de Weibull mostrado en la Tabla 13, podemos concluir que en la región de Santo Domingo tenemos la aparición de eventos meteorológicos de gran intensidad (3804.40 mm) cada 22 años y de alrededor de 3000 mm cada 3 años, en el año 2012 en el mes de abril se produjo el desbordamiento del río Pove, de manera similar en los años 2016 y 2019 se produjeron desbordamientos e inundaciones dentro de la ciudad lo que nos deja en claro la necesidad de mejorar el sistema de evacuación de aguas lluvias.

El levantamiento del catastro demostró que existen grandes inconsistencias en las dimensiones de las tuberías. Como ejemplo en la parroquia Río Toachi en un tramo de la red se encontró una tubería de 300 mm y a continuación siguiendo el sentido del flujo una tubería de 250 mm la cual al recibir mayor carga debería tener un diámetro igual o mayor al anterior, en general, los diámetros encontrados al realizar la evaluación del sistema existente no son adecuados para evacuar el caudal de agua lluvia que cae en la zona de estudio.

Al realizar la evaluación de los efectos de las precipitaciones en el sistema de drenaje pluvial actual y compararlo con el rediseño basado en las intensidades obtenidas mediante el cálculo de curvas IDF para un periodo de retorno de 50 años, se observó que los diámetros existentes están subdimensionados lo que explicaría los desbordamientos y colapsos de los pozos al presentarse lluvias intensas.

El presupuesto referencial para realizar la instalación de una nueva red de alcantarillado pluvial y el cambio de la antigua, propuestos en este estudio, es 1,448,534.87 estimado en base a el listado de precios referenciales del GADMSD con valores actualizados al mes de marzo del presente año.

## Recomendaciones

La mejor manera de obtener valores de caudales los más cercanos a la realidad es contar con datos verificados provenientes de fuentes oficiales como lo es el instituto nacional de meteorología e hidrología INAMHI, esto nos permite estimar de manera más exacta cuales son los niveles máximos de precipitación además de los periodos de lluvia más intensos ocurridos para un lapso de tiempo específico.

Es necesario realizar la limpieza de los elementos colapsados por sedimentos además de comenzar una reposición de las rejillas que cubren los sumideros ya que como se evidenció durante el catastro un gran porcentaje de sumideros se encuentran tapados lo que no permite el correcto drenaje del agua lluvia.

Para corregir el grave problema de inundaciones que sufre la ciudad al presentarse eventos meteorológicos intensos, se recomienda realizar el cambio y reposición de los elementos que conforman el sistema de alcantarillado pluvial tales como pozos de revisión, sumideros, y tubería. Ya que actualmente la tubería que se encuentra colocada es de hormigón y con diámetros menores a los calculados en base a las curvas IDF construidas para la zona de Santo Domingo.

Es recomendable realizar una socialización de los problemas encontrados en la red actual de alcantarillado pluvial con los moradores de las diferentes parroquias para que comprenda que todos somos parte del problema y que no deben robarse las tapas de los sumideros ya que favorecen el colapso de los mismo con basura proveniente de las calles.

Es fundamental realizar la estimación del presupuesto usando los valores que maneja cada municipio y que sean lo más cercanos a la fecha de elaboración del proyecto de tal manera que al realizar la ejecución del proyecto no haya grandes cambios en tema de presupuesto.

## Bibliografía

- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México D.F.: LIMUSA.
- Borja, M. A. (s.f.). Diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial y tratamiento de aguas servidas de la población Bahía Colorada, Canto Santo Domingo, Provincia Santo Domingo de los Tsachilas. *Diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial y tratamiento de aguas servidas de la población Bahía Colorada, Canto Santo Domingo, Provincia Santo Domingo de los Tsachilas*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí.
- Campos, A. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí: Editorial Universitaria Potosí.
- CHAMORRO CAICEDO, L. D. (s.f.). INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RÍO COCA. *INCIDENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RÍO COCA*. ESPE, Sangolquí.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGRAW HILL.
- Díaz, C., Esteller, M., & Lopez-Vera, F. (2005). *Recursos Hídricos Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Montevideo: Piriguazú ediciones.
- El Comercio. (9 de Mayo de 2016). *OCHA Services*. Obtenido de OCHA Services: <https://reliefweb.int/report/ecuador/el-desbordamiento-del-r-o-pove-provoc-nuevas-inundaciones-en-santo-domingo>
- El Diario. (10 de Febrero de 2017). *El Diario.ec*. Obtenido de El Diario.ec: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/422390-las-lluvias-no-dan-tregua-en-santo-domingo/>



Etecé. (16 de julio de 2021). *Recursos hídricos*. Obtenido de Recursos hídricos: Concepto.de.

Disponible en: <https://concepto.de/recursos-hidricos/>.

GAD MUNICIPAL DE SANTO DOMINGO. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*.

Santo Domingo.

Gutiérrez, A., & Barragán, R. (2019). *Ajuste de curvas IDF a partir de tormentas de corta duración*. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. Quito: UPS.

Heriberto, D. G. (s.f.). Alternativa para el mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial de la cooperativa Eloy Alfaro, Cantón Rumiñahui. *Alternativa para el mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial de la cooperativa Eloy Alfaro, Cantón Rumiñahui*. ESPE, Sangolquí.

INAMHI. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Quito: INAMHI.

La Hora. (09 de Enero de 2012). *ISSUU*. Obtenido de ISSUU:

[https://issuu.com/la\\_hora/docs/santo090112](https://issuu.com/la_hora/docs/santo090112)

Macarena, R. (18 de Abril de 2020). *Macarena92.1*. Obtenido de Macarena92.1:

<https://www.facebook.com/fmMACARENA/photos/la-lluvia-que-cay%C3%B3-esta-tarde-en-santo-domingo-ocasion%C3%B3-que-el-r%C3%ADo-pove-se-desbo/3004861946247515/>

Martín, J. (2006). *Ingeniería de ríos*. Catalunya: UPC.

Morelli, C. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Rio Grande do Sul: Secretaría de la OMM.

Navarro, J. (05 de enero de 2021). *iagua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/blogs/javier-navarro/efecto-tragico-lluvias-comunidades-falta-planificacion-iiii>

Sánchez, J. (2016). Precipitaciones . *Universidad de Salamanca*, 10.

SENAGUA. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Quito: S/N.

SIAPA. (2014). Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades . En SIAPA, *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades* (págs. 3-6). Jalisco.

SNET. (2001). - *Diagnosis e inventario de la susceptibilidad a las inestabilidades en las áreas afectadas por los terremotos del 2001 en el volcán de Usulután*. Catalunya.

Vera, C., & Camilloni, I. (2016). *El ciclo del agua*. Buenos Aires: MInisterio de Educación Ciencia y Tecnología.

Villón, M. (2002). *Hidrología*. Cartago: MaxSoft.

Zarza, L. (2020). *IAGUA respuestas*. Obtenido de IAGUA respuestas:

<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-colector-agua#:~:text=1%20.->

,Definici%C3%B3n%20de%20colector,viviendas%20vierten%20sus%20aguas%20residuales.