

---

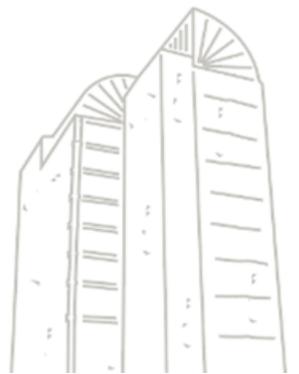
**TECHOS VERDES, UNA ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE  
LA UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA, SEDE BOGOTÁ.**

**CRISTIAN CAMILO BUSTOS VELANDIA  
LAURA CAMILA SERRANO QUIROZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ING. YURI ALEJANDRA CAICEDO PÁEZ  
DIRECTORA**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
ABRIL 29 DEL 2021**



**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
ABRIL 29 DEL 2021**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

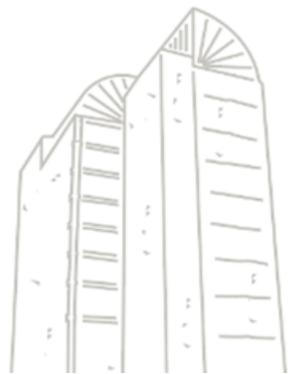
---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Bogotá, abril de 2021.**



---

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos expresar nuestro agradecimiento a la directora de esta tesis la Ingeniera Yuri Alejandra Caicedo Páez por la dedicación, paciencia y apoyo que le ha brindado a este trabajo, por el respeto a hacia nosotros en cuanto a nuestras sugerencias e ideas y por guiarnos a tomar buenas decisiones. Gracias por la confianza que nos brindó desde el primer momento que tomamos la decisión de querer realizar la tesis junto a ella.

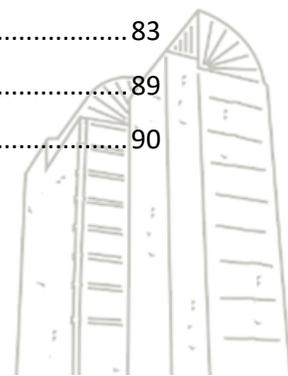
También, agradecemos a la Universidad Piloto de Colombia por permitirnos formarnos como profesionales, enseñándonos buenos valores y principios para poder manejar de una mejor manera la parte laboral, por apoyarnos durante el transcurso de nuestra carrera y a los profesores por la paciencia con la que nos enseñaron todos sus conocimientos para que nosotros pudiéramos salir a construir un mundo mejor.

Este último agradecimiento es para nuestras familias, a nuestros padres y hermanos, porque sin ellos no hubiéramos podido seguir adelante, siempre nos impulsaron a ser unas buenas personas y a ser unos grandes profesionales, nos apoyaron siempre en los momentos débiles cuando sentíamos que tal vez no era la carrera correcta pero aun así ellos nos ayudaron a culminar esta gran etapa de nuestras vidas, por eso este trabajo es también es de ellos, hicieron un gran esfuerzo económico y emocional a pesar de las adversidades que se nos presentaban día a día.



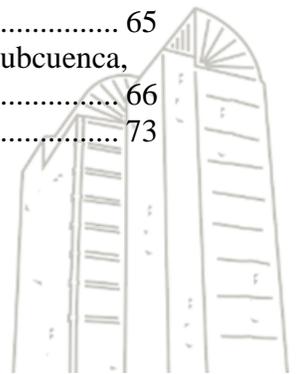
## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| <b>GLOSARIO</b> .....   | 8  |
| <b>RESUMEN</b> .....  | 10 |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | 10 |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                       | 11 |
| <b>ANTECEDENTES</b> .....                                       | 12 |
| <b>UBICACIÓN</b> .....  | 12 |
| <b>HIDROLOGÍA</b> .....   | 13 |
| <b>ZONA VERDE</b> .....   | 14 |
| <b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL TRABAJO</b> .....                 | 14 |
| <b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....                           | 14 |
| <b>JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO</b> .....                          | 16 |
| <b>ESTADO DEL ARTE</b> .....                                    | 17 |
| <b>OBJETIVOS</b> .....  | 20 |
| <b>OBJETIVO GENERAL</b> .....                                   | 20 |
| <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....                              | 20 |
| <b>DISEÑO DE TECHO VERDE</b> .....                              | 21 |
| <b>GUÍA PARA TECHOS VERDES PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ</b> .....   | 21 |
| <b>MARCO LEGAL DE LAS CONSTRUCCIONES VERDES EN BOGOTÁ</b> ..... | 29 |
| <b>MODELACIÓN DE INUNDACIÓN EN EPA SWMM</b> .....               | 62 |
| <b>RECONOCIMIENTO DEL SOFTWARE</b> .....                        | 62 |
| <b>MODELACIÓN TECHO VERDE</b> .....                             | 64 |
| <b>ZONA DE ESTUDIO CON TECHO ACTUAL</b> .....                   | 65 |
| <b>ZONA DE ESTUDIO CON TECHO VERDE</b> .....                    | 69 |
| <b>NUDOS (POZOS PLUVIALES DE INSPECCIÓN)</b> .....              | 73 |
| <b>CONDUCTOS (TUBERÍAS DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL)</b> .....    | 75 |
| <b>DATOS DE PRECIPITACIONES POR LLUVIAS</b> .....               | 76 |
| <b>TIME SERIES (SERIE TEMPORAL)</b> .....                       | 77 |
| <b>RAIN GAGE (PLUVIÓMETRO)</b> .....                            | 81 |
| <b>RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....                               | 83 |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....                                       | 89 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                                       | 90 |



## TABLA DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1 – Fuente: Google Maps.....   | 12 |
| Ilustración 2 – Fuente: Google Maps.....   | 12 |
| Ilustración 3 – Planta tercer piso edificio “S” Universidad Piloto de Colombia.....                              | 13 |
| Ilustración 4 – Sistema multicapa monolítico, Fuente (Nieto, 2011) .....   | 23 |
| Ilustración 5 – Sistema tipo multicapa elevados, Fuente (Nieto, 2011) .....                                      | 23 |
| Ilustración 6 – Sistema tipo receptáculo, Fuente (Nieto, 2011).....  | 24 |
| Ilustración 7 – Sistema tipo monocapa, Fuente (Nieto, 2011).....   | 24 |
| Ilustración 8 – Sistema aeropónicos, Fuente (Nieto, 2011).....   | 25 |
| Ilustración 9 - Histograma Precipitaciones del año 2000, fuente propia .....                                     | 34 |
| Ilustración 10 - Histograma Precipitaciones del año 2001, fuente propia .....                                    | 35 |
| Ilustración 11 - Histograma Precipitaciones del año 2002, fuente propia .....                                    | 36 |
| Ilustración 12 - Histograma Precipitaciones del año 2003, fuente propia .....                                    | 37 |
| Ilustración 13 - Histograma Precipitaciones del año 2004, fuente propia .....                                    | 38 |
| Ilustración 14 - Histograma Precipitaciones del año 2005, fuente propia .....                                    | 39 |
| Ilustración 15 - Histograma Precipitaciones del año 2006, fuente propia .....                                    | 40 |
| Ilustración 16 - Histograma Precipitaciones del año 2007, fuente propia .....                                    | 41 |
| Ilustración 17 - Histograma Precipitaciones del año 2008, fuente propia .....                                    | 42 |
| Ilustración 18 - Histograma Precipitaciones del año 2009, fuente propia .....                                    | 43 |
| Ilustración 19 - Histograma Precipitaciones del año 2010, fuente propia .....                                    | 44 |
| Ilustración 20 - Histograma Precipitaciones del año 2011, fuente propia .....                                    | 45 |
| Ilustración 21 - Histograma Precipitaciones del año 2013, fuente propia .....                                    | 46 |
| Ilustración 22 - Histograma Precipitaciones del año 2014, fuente propia .....                                    | 47 |
| Ilustración 23 - Histograma Precipitaciones del año 2015, fuente propia .....                                    | 48 |
| Ilustración 24 – Histograma Precipitaciones del año 2016, fuente propia .....                                    | 49 |
| Ilustración 25 - Histograma Precipitaciones de los meses de enero, fuente propia.....                            | 50 |
| Ilustración 26 - Histograma Precipitaciones de los meses de febrero, fuente propia .....                         | 51 |
| Ilustración 27 - Histograma Precipitaciones de los meses de marzo, fuente propia.....                            | 52 |
| Ilustración 28 - Histograma Precipitaciones de los meses de abril, fuente propia .....                           | 53 |
| Ilustración 29 - Histograma Precipitaciones de los meses de mayo, fuente propia.....                             | 54 |
| Ilustración 30 - Histograma Precipitaciones de los meses de junio, fuente propia.....                            | 55 |
| Ilustración 31 – Histograma Precipitaciones de los meses de julio, fuente propia.....                            | 56 |
| Ilustración 32 - Histograma Precipitaciones de los meses de agosto, fuente propia .....                          | 57 |
| Ilustración 33 - Histograma Precipitaciones de los meses de septiembre, fuente propia .....                      | 58 |
| Ilustración 34 - Histograma Precipitaciones de los meses de octubre, fuente propia.....                          | 59 |
| Ilustración 35 - Histograma Precipitaciones de los meses de noviembre, fuente propia.....                        | 60 |
| Ilustración 36 - Histograma Precipitaciones de los meses de diciembre, fuente propia.....                        | 61 |
| Ilustración 37 – Interfaz principal de EPASWMM 5.1, fuente propia.....   | 62 |
| Ilustración 38 – Barra de herramientas EPASWMM 5.1, Fuente propia. ....  | 63 |
| Ilustración 39 – Study Area Map EPASWMM 5.1, Fuente propia. ....   | 63 |
| Ilustración 40 – Mapa ubicación zona de estudio, Fuente: Mapas Bogotá.....                                       | 64 |
| Ilustración 41 – Ubicación subcuenca y pozos de inspección, Fuente propia. ....                                  | 65 |
| Ilustración 42 – Datos solicitados por el software EPA SWMM para modelación de subcuenca,<br>Fuente propia ..... | 66 |
| Ilustración 43 – Parámetros de infiltración, Fuente Propia.....  | 73 |



|  |    |
|--|----|
| Ilustración 44 – Datos solicitados por EPA SWMM para la creación de un nodo, Fuente: Propia.                               | 74 |
| Ilustración 45 – Cota de fondo y profundidad máxima, Fuente: (BEJARANO, 2016).   | 75 |
| Ilustración 46 – Propiedades de tubería, Fuente: propia.   | 75 |
| Ilustración 47 – Insertar nueva serie temporal, Fuente: Propia.  | 78 |
| Ilustración 48 – Editor de serie de tiempo, Fuente: Propia.  | 79 |
| Ilustración 49 – Opciones de simulación “Duración”, Fuente: Propia.  | 80 |
| Ilustración 50 – Opciones de simulación “Intervalo”, Fuente: Propia.   | 81 |
| Ilustración 51 – Asignación de pluviómetro, Fuente: Propia.  | 82 |
| Ilustración 52 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 3 años, Fuente: Propia.   | 83 |
| Ilustración 53 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 3 años, Fuente: Propia.          | 83 |
| Ilustración 54 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 5 años, Fuente: Propia.   | 84 |
| Ilustración 55 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 5 años, Fuente: Propia.          | 84 |
| Ilustración 56 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 10 años, Fuente: Propia.  | 85 |
| Ilustración 57 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 10 años, Fuente: Propia.         | 85 |
| Ilustración 58 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 25 años, Fuente: Propia.  | 86 |
| Ilustración 59 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 25 años, Fuente: Propia.         | 86 |
| Ilustración 60 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 50 años, Fuente: Propia.  | 87 |
| Ilustración 61 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 50 años, Fuente: Propia.         | 87 |
| Ilustración 62 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 100 años, Fuente: Propia. | 88 |
| Ilustración 63 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 100 años, Fuente: Propia.        | 88 |



## LISTADO DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 – Datos de precipitación en la localidad de chapinero Carrera 7ma #36-45 Santa Fé, Bogotá.....           | 33 |
| Tabla 2 – Precipitaciones del año 2000 .....   | 34 |
| Tabla 3 - Precipitaciones del año 2001 .....   | 35 |
| Tabla 4 - Precipitaciones del año 2002 .....   | 36 |
| Tabla 5 - Precipitaciones del año 2003 .....   | 37 |
| Tabla 6 - Precipitaciones del año 2004 .....   | 38 |
| Tabla 7 - Precipitaciones del año 2005 .....   | 39 |
| Tabla 8 - Precipitaciones del año 2006 .....   | 40 |
| Tabla 9 - Precipitaciones del año 2007 .....   | 41 |
| Tabla 10 - Precipitaciones del año 2008 .....  | 42 |
| Tabla 11 - Precipitaciones del año 2009 .....  | 43 |
| Tabla 12 - Precipitaciones del año 2010 .....  | 44 |
| Tabla 13 - Precipitaciones del año 2011 .....  | 45 |
| Tabla 14 - Precipitaciones del año 2013 .....  | 46 |
| Tabla 15 - Precipitaciones del año 2014 .....  | 47 |
| Tabla 16 - Precipitaciones del año 2015 .....  | 48 |
| Tabla 17 - Precipitaciones del año 2016 .....  | 49 |
| Tabla 18 - Precipitaciones del mes de enero.....   | 50 |
| Tabla 19 - Precipitaciones del mes de febrero .....  | 51 |
| Tabla 20 - Precipitaciones del mes de marzo.....   | 52 |
| Tabla 21 - Precipitaciones del mes de abril .....  | 53 |
| Tabla 22 - Precipitaciones del mes de mayo.....  | 54 |
| Tabla 23 - Precipitaciones del mes de junio .....  | 55 |
| Tabla 24 - Precipitaciones del mes de julio .....  | 56 |
| Tabla 25 - Precipitaciones del mes de agosto .....   | 57 |
| Tabla 26 - Precipitaciones del mes de septiembre .....   | 58 |
| Tabla 27 - Precipitaciones del mes de octubre.....   | 59 |
| Tabla 28 - Precipitaciones del mes de noviembre .....  | 60 |
| Tabla 29 - Precipitaciones del mes de diciembre.....   | 61 |
| Tabla 30 – Valores de n dados por Horton, Fuente: Libro Cálculos hidrológicos e hidráulicos, (Villón, 2012)..... | 68 |
| Tabla 31 - Valores típicos de almacenamiento en depresión, Fuente: (Engineers, 1992) .....                       | 69 |
| Tabla 32 – Coeficiente de Manning, Fuente: (Ambiental., 2005). .....   | 70 |
| Tabla 33 – Características del suelo, Fuente: (Ambiental., 2005) .....   | 72 |
| Tabla 34 – Tabla de coeficientes IDF, Fuente: Departamento, 2016) .....  | 77 |
| Tabla 35 – Intensidades para periodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, Fuente: Propia. ....            | 77 |



## GLOSARIO

**AMBIENTAL:** Pertenece o relativo al ambiente.

**AGUA PLUVIAL:** Las aguas pluviales son agua de lluvia que no es absorbida por el suelo, sino que escurre de edificios, calles, estacionamientos y otras superficies.

**AIRE:** Gas que constituye la atmósfera terrestre, formando principalmente de oxígeno y nitrógeno, y con otros componentes como el dióxido de carbono y el vapor de agua.

**ALCANTARILLADO PLUVIAL:** Tiene como su principal función el manejo, control y conducción adecuada de la escorrentía de las aguas de lluvia en forma separada de las aguas residuales. Y llevarla o dejarla en sitios donde no provoquen daños e inconvenientes a los habitantes de las ciudades.

**CICLO HIDROLÓGICO:** Es posible debido a unos procesos que hacen pasar el agua de unos compartimentos a otros de la hidrosfera; en algunos casos con cambio de estado incluido.

**CONTAMINACIÓN:** Es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente.

**CUBIERTA:** Son estructuras de cierre superior, que sirven como Cerramientos-Exteriores, cuya función fundamental es ofrecer protección al edificio contra los agentes climáticos y otros factores, para resguardo, darle intimidad, aislación acústica y térmica, al igual que todos los otros cerramientos verticales.

**DRENAJE:** Disposición de canales, cañerías, piedras, etc. para eliminar agua de un terreno excesivamente húmedo o dar corriente a las aguas muertas.

**DESARROLLO SOSTENIBLE:** Aquel desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones. Instintivamente una actividad sostenible es aquella que se puede conservar.

**ESCORRENTÍA:** Agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno o corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales.

**GESTIÓN AMBIENTAL:** Es un proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste como aquel que le permite al hombre el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural y, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio.



---

**HUMEDAD:** Es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire.

**IMPERMEABILIZACIÓN:** Es proteger algo contra efectos que el agua puede causar a una hogar o apartamento y se debe considerar como un seguro de vida, a la vez que da confort (salud) a quienes lo ocupan, tanto las antiestéticas manchas de humedad sobre la superficie de un muro, como las dañinas filtraciones en techos y azoteas de casas y edificios, se pueden evitar con una amplia gama de materiales impermeabilizantes. Aunque la mejor manera de lograr buenos resultados, proteger los techos fuera de la época de lluvias, realizamos trabajos emergentes, solución a goteras y filtraciones.

**INUNDACIÓN:** Consiste en la invasión o cubrimiento de agua en áreas que en condiciones normales se mantienen secas, también es considerada como la abundancia excesiva de algo o cosa.

**ISLA DE CALOR:** “Este fenómeno se refiere a la presencia de aire más caliente en ciertas zonas de ciudad, a diferencia del que se encuentra en las zonas rurales que lo rodean”, explica la doctora Elda Luyando, investigadora del grupo de Cambio Climático y Radiación Solar del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

**PERMEABILIDAD:** Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para la piscicultura. Un estanque construido en suelo impermeable perderá poca agua por filtración.

**PRESIÓN ATMOSFÉRICA:** Es la presión que ejerce el aire atmosférico en cualquier punto de la atmosfera.

**PRECIPITACIÓN:** Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra.

**SUSTENTABLE:** Que se puede sustentar o defender con razones.

**TECNOLOGÍAS LIMPIAS:** Son aquellas creadas por el hombre y para el hombre, donde el impacto ambiental es minimizado casi en su totalidad con respecto a las fuentes de energía ya existente.

**VEGETACIÓN:** Es la manifestación real, cuantitativa, y cambiante de la vida de las plantas en lugares y momentos concretos.



## RESUMEN

En la actualidad se pueden observar varios problemas muy recurrentes como lo son las inundaciones, contaminación del aire, agua y suelo, desastres naturales, estancamientos de agua, entre otros.

Esto se debe a que el hombre ha reemplazado y desplazado gran variedad de cubierta vegetal por capas de asfalto, cemento y ladrillo.

Un claro ejemplo es el Edificio “S” de la Universidad Piloto de Colombia, lo que se quiere hacer es crear conciencia en el ser humano de encontrar soluciones viables y amigables con el medio ambiente como lo son los techos verdes, para esto se plantea la implementación de este tipo de estructuras para intentar mitigar los aspectos antes mencionados. Este proceso se realizará en la terraza ubicada en el tercer piso del edificio “S” de la Universidad Piloto de Colombia en donde frecuentemente se puede observar que se presentan problemas de estancamientos de aguas lluvias generando de este modo deterioro en la estructura entre otras patologías, para ello se busca diseñar un modelo de techo verde extensivo de sedum.

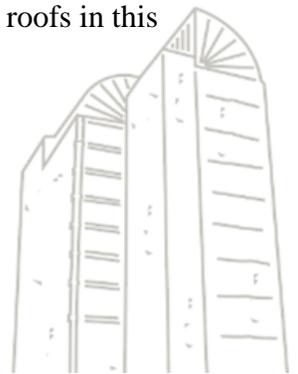
Para el diseño de este techo verde se tomará como guía dos documentos elaborados por la secretaria distrital de ambiente y la alcaldía mayor de Bogotá D.C. los cuales son, “Guía de techos verdes de Bogotá” y “Techos verdes y jardines verticales (guía práctica)”. Ya que estos dos manuales fueron diseñados específicamente para la construcción e implementación de los techos verdes en esta ciudad.

## ABSTRACT

At present, several very recurring problems can be observed, such as floods, air, water and soil pollution, natural disasters, water stagnations, among others. This is due to the fact that man has replaced and displaced a great variety of vegetation cover by layers of asphalt, cement and brick.

A clear example is the Building "S" of the Pilot University of Colombia, what we want to do is create awareness in the human being to find viable and environmentally friendly solutions such as green roofs, for this the implementation of this type of structure to try to mitigate the aforementioned aspects. This process will be carried out on the terrace located on the third floor of the “S” building of the Universidad Piloto de Colombia where it can often be observed that there are problems of stagnation of rainwater, thus generating deterioration in the structure among other pathologies. for this purpose, they seek to design an extensive sedum green roof model.

For the design of this green roof, two documents prepared by the district secretary for the environment and the mayor's office of Bogotá D.C. will be taken as a guide. which are, "Guide to green roofs of Bogotá" and "Green roofs and vertical gardens (practical guide)". Since these two manuals were specifically designed for the construction and implementation of green roofs in this city.



---

## INTRODUCCIÓN.

En este proyecto se presenta la investigación del trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil. De esta manera se espera obtener una solución sostenible al problema de inundaciones que se presenta el edificio “S” de la universidad Piloto de Colombia, el cual es muy recurrente en la terraza del tercer piso del edificio antes mencionado.

Este problema se debe al mal sistema de drenaje que presenta esta parte del edificio lo que impide el libre flujo de aguas lluvias por el sistema saturándose rápidamente y ocasionando que en la estructura se presenten estancamientos de estas aguas.

Una solución apropiada para el problema de este edificio es la incorporación de techos verdes en la cubierta. Con el diseño y construcción apropiados estos techos podrían generar tranquilidad y comodidad para la población que utilizara esta estructura, además de esto proporciona diferentes beneficios sociales, económicos y ambientales de los cuales iremos hablando más adelante.

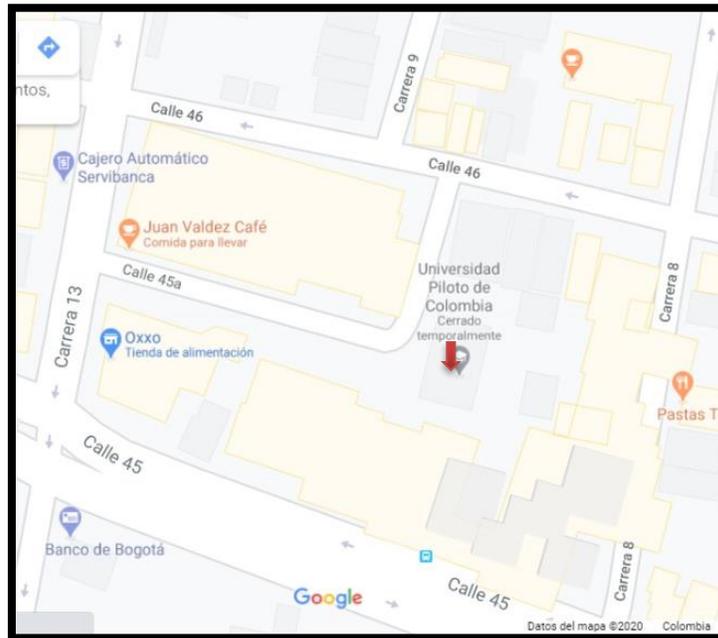
En este documento se incluyen antecedentes, en donde se describe el diseño del techo verde a implementar en la estructura descrita, además se muestra un estado del arte acerca de techos verdes para contextualizar el tema en la actualidad utilizando como fuente principal la guía de techos verdes de Bogotá y el documento de techos verdes y jardines verticales, se realiza una modelación en el software Epa Swmm para simular el comportamiento de la inundación en la estructura seleccionada, para ello se utilizaron los datos obtenidos por la estación meteorológica del edificio de Iacar, la cual es una de las más cercanas a nuestra área de estudios.



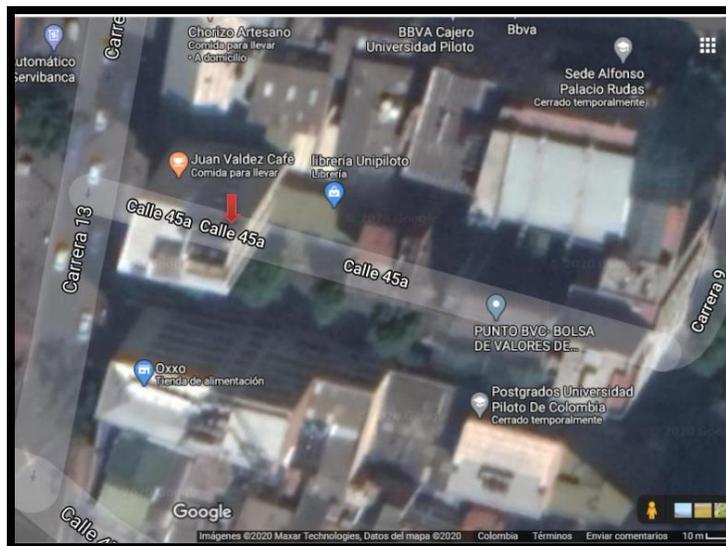
## ANTECEDENTES.

## UBICACIÓN

En este capítulo se encontrarán características de la Universidad Piloto de Colombia que se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá (Localidad de Chapinero).



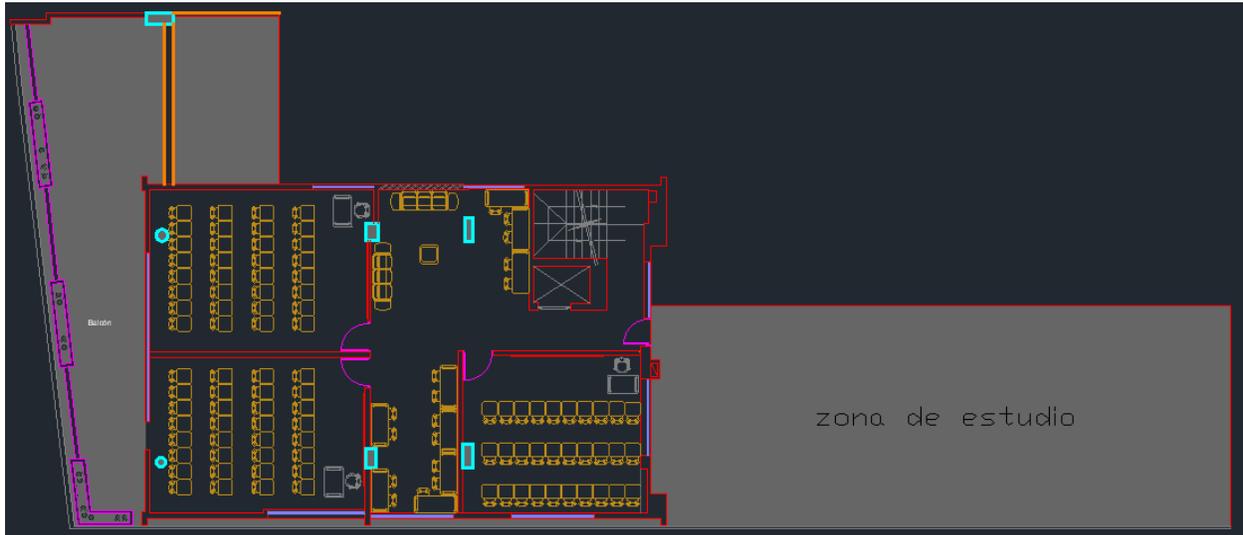
*Ilustración 1 – Fuente: Google Maps.*



*Ilustración 2 – Fuente: Google Maps.*



En la ilustración 3, se muestra la planta del edificio “S” de la Universidad Piloto de Colombia en el cual se realizará el diseño del techo verde.



*Ilustración 3 – Planta tercer piso edificio “S” Universidad Piloto de Colombia.*

## HIDROLOGÍA

“El clima de la localidad de Chapinero es frío, subhúmedo, con tendencia a la sequía a medida que se avanza en sentido sureste, con vientos de baja intensidad y frecuentes heladas que en época de verano favorecen fenómenos de inversión térmica. Temperatura Promedio 14.2°C Humedad relativa en los meses lluviosos 74 a 77% Humedad relativa en los meses secos 66 a 74% Precipitación 1200 y 1000 mm.” (Lozano, 2008).

El tiempo que presenta la localidad indica que, para la implementación de un techo verde, es necesario contar con plantas que sobrevivan adecuadamente a estas temperaturas y humedades.

“Parte del territorio de la localidad de Chapinero comprende los Cerros Orientales donde nacen las quebradas que la atraviesan y conforman la cuenca media del río Bogotá y la cuenca alta del río Teusacá. Entre las principales corrientes se encuentran el río Arzobispo y las quebradas Las Delicias, Los Rosales, Chicó, Chorrera y La Vieja, que surten sus aguas a la cuenca media del río Bogotá. Las quebradas de Gallinas, Parías, La Esperanza, El León, El Amoladero, El Turín, El Carrizal y Santos desembocan en la cuenca alta del río Teusacá.” (Lozano, 2008).

La calidad del agua que recorre tanto los alcantarillados como los canales se debe considerar, dado que, al presentarse un evento de inundación, la contaminación en el agua podría poseer patógenos que coloquen en riesgo la salud de los habitantes de las áreas afectadas de la localidad; La localidad de Chapinero, a partir de la carrera 7 hacia el occidente representa un ingreso de contaminación, debido a que es una zona comercial. Este lugar es apto para la implementación de techos verdes, puesto que estos impiden la formación de inundaciones.



## ZONA VERDE

La Universidad Piloto de Colombia no cuenta con un amplio repertorio zonas verdes en su sede ubicada en la ciudad de Bogotá, debido a que esta se divide en edificios, por eso con la implementación de techos verdes se busca que genere un impacto social grande en la población que transita frecuentemente por esta zona.

## LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL TRABAJO

Sostenibilidad de la infraestructura

## FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Actualmente, las ciudades están creciendo a un ritmo acelerado es por esto por lo que, con el paso de los años, se ha logrado construir edificios más altos, seguros y con mejor estética, debido a que hay mejores máquinas y procesos constructivos que sirven para fortalecer el trabajo de la mano de obra y de la ejecución de los diferentes tipos de proyecto de obra civil.

Pero lo que no se tiene en cuenta es la parte ambiental, afectando a la población con dos temas muy importantes, como las inundaciones urbanas y la contaminación del aire, ¿pero existe una alternativa sostenible para contrarrestar todos estos daños ambientales y apoyar con el medio ambiente? Debido a esta pregunta, son adoptados los sistemas de drenaje sostenible, que, para este caso de estudio, se investiga sobre los techos verdes, que son nuevas tecnologías que permiten ser utilizados como herramientas para la gestión ambiental en los edificios, ya que cumplen funciones parecidas a la de los senderos ecológicos y jardines. (Zielinsk, 2012).

La Secretaria Distrital de Ambiente busca fomentar y regular la implementación de techos verdes en Bogotá D.C., por eso se tiene la “Guía de Techos Verdes” de la ciudad, donde se establecen los requisitos y recomendaciones para garantizar un buen funcionamiento en el Distrito Capital. Es así como para el cumplimiento de la Guía debe seguir las siguientes regulaciones aplicables en el distrito:

- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C (2000). Plan de ordenamiento territorial- POT. Alcaldía mayor de Bogotá D.C. **Decreto Distrital 619 de 2000, Decreto Distrital 1110 de 2000, Decreto Distrital 469 de 2003, Decreto Distrital 190 de 2004 y decretos relacionados.**
- Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones Sismo Resistentes (2010). Reglamento colombiano de construcción Sismo Resistente NRS-10, ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. **Decreto 926 del 19 de marzo de 2010.**
- Consejo de Bogotá D.C. (2015) Código de construcción del Distrito Capital de Bogotá y Estándar único de construcción Sostenible. Consejo de Bogotá D.C. Acuerdo 20 de 1995, **Decreto Distrital 74 de 2001, Decreto Distrital 193 de 2006, Acuerdo 23 de 2008.**

De este modo, para la presente investigación se plantea la aplicación de sistemas de drenaje sostenible (SUDS), enfocado a la implementación de techos verdes en la Universidad Piloto de



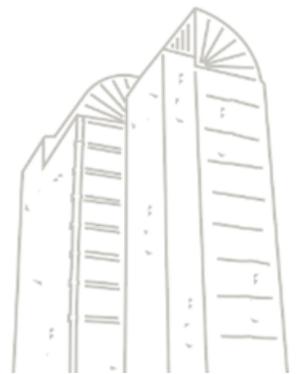
Colombia, Sede Bogotá. Para la elaboración de dicha investigación, en el año 2017 se realizó un proyecto, en el cual se generó un prototipo de una estación meteorológica instalado en el edificio S de la Universidad y contiene la siguiente información:

- a. Dirección e intensidad del viento.
- b. Cobertura de nubosidad.
- c. Temperatura.
- d. Humedad relativa.
- e. Presión atmosférica.
- f. Precipitación.
- g. Temperatura del suelo.
- h. Evaporación.
- i. Horas del sol y volumen de radiación solar.

El objetivo es mitigar el problema de la contaminación para plantear beneficios ambientales, económicos y sociales, teniendo un manejo sostenible del agua lluvia (Reducción del volumen de escorrentía), mitigar el efecto “isla de calor” y reconstrucción del equilibrio climático (Refrigeración del espacio mediante el proceso de evapotranspiración de la vegetación y la evaporación del agua retenida).

De acuerdo con lo anterior, se plantea un aumento en la durabilidad de la cubierta y de la capa de impermeabilización, incremento del valor comercial del edificio, reducción del consumo energético y costos de operación, aumento del espacio utilizable y de recreación, beneficios para la salud física y mental, alivio visual, educación ambiental y aporte en la recuperación del ciclo hidrológico de las ciudades.

La aplicación del sistema de drenaje sostenible comprende el diseño del techo o terraza verde para el edificio “S” de la Universidad Piloto de Colombia, El estudio se realiza mediante la apropiación de conceptos, de autores, tesis como “DISEÑO DE PROTOTIPO DE TECHO VERDE COMO SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE INUNDACIÓN CASO DE ESTUDIO: CHAPINERO COLOMBIA” y proyectos similares elaborados en Colombia, Japón, Estados Unidos, Canadá, Inglaterra y Suiza.



## JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

Los techos verdes son una buena iniciativa que están tomando las grandes ciudades debido a que son una forma de mejorar la calidad del aire (Zielinsk, 2012). Mediante la instalación de estos se pueden adquirir beneficios para recuperar los espacios verdes que se han ido perdiendo por la creciente demanda de la población por vivienda e infraestructura, permitiendo de esta manera disminuir la contaminación.

Lo que se busca con los techos verdes es colocar un pequeño ecosistema para compensar el impacto negativo generado en el ambiente; ayudando a mantener la temperatura del interior del edificio por lo que absorbe la energía solar, esta es una manera de reducir el uso de calefactores o ventiladores lo que lleva a que sea menos el gasto de energía eléctrica. (Amaya, 2017).

Con la presente investigación, se espera ejecutar de manera adecuada la implementación de techos verdes en la universidad y de este modo poder adaptar espacios que no están siendo aprovechados, bien sea por la misma universidad o por otro grupo de investigación, permitiendo así que la comunidad Piloto comience a contribuir desde este escenario al desarrollo sostenible de la ciudad y también a tener el objetivo de consolidar una certificación Leed como lo han logrado unas pocas universidades del país.



## ESTADO DEL ARTE

“Los techos verdes son conocidos, tanto en los climas fríos de Islandia, Escandinavia, USA y Canadá, como en los climas cálidos de Tanzania. En las zonas de climas fríos, "calientan", puesto que almacenan el calor de los ambientes interiores y en los climas cálidos "enfrian", ya que mantienen aislados los espacios interiores de las altas temperaturas del exterior” (Minke, 2016)

Diferentes autores definen “Las cubiertas ecológicas extensivas o techos verdes –por su término en inglés difundido: Green Roof – son un sistema de techo multicapa que permite la propagación de la vegetación en una superficie expuesta y al mismo tiempo garantiza la integridad de las capas inferiores y la estructura de cubierta del edificio.

Estos techos proporcionan un conjunto de funciones adicionales a las de un techo convencional diseñándose y construyéndose con parámetros técnicos relativamente sencillos sin necesidad de utilizar tecnologías costosas o altamente especializadas.” (Gutierrez, 2008), además de esto la implementación de techos verdes es una estrategia frente a la reutilización de aguas de escorrentías para distintas ciudades.

“El problema del manejo de aguas lluvias surge como consecuencia de un crecimiento desproporcionado de la población en zonas urbanas, lo que obliga a la construcción de más áreas impermeables y la constante renovación de sistemas de drenaje que hagan posible la vida moderna” (Niemczynowicz, 1999).

De acuerdo con lo anterior, la implementación de techos verdes beneficia en gran medida a la universidad, ya que es una alternativa sustentable para el medio ambiente. Adicionalmente, no solo aporta para el manejo de aguas lluvias, sino también aumenta la producción de oxígeno y el consumo de dióxido de carbono en el ambiente. “La vegetación de los techos verdes toma como a todas las plantas,  $\text{CO}_2$  del aire y libera oxígeno.

Esto sucede en el proceso de fotosíntesis, en el que 6 moléculas de  $\text{CO}_2$  y 6 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ , mediante un consumo de energía de 2,83 kJ, producen 1 molécula de  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (glucosa) y 6 moléculas de  $\text{O}_2$ . En el proceso de la respiración se produce  $\text{CO}_2$  y se consume  $\text{O}_2$ . Sin embargo, solamente de 1/5 a 1/3 de las sustancias ganadas por la fotosíntesis son consumidas nuevamente. Mientras las hojas verdes sobre el techo aumenten, se generará oxígeno y se consumirá  $\text{CO}_2$ . Si existe un equilibrio entre el crecimiento y muerte de partes de las plantas, siempre existiría la ventaja de que se extraiga  $\text{CO}_2$  del aire y quede almacenado en ellas. (Minke, 2016).

Un factor muy importante para tener en cuenta es la mejora en la regulación de la temperatura, de la humedad, protección de la membrana impermeable y vida útil de la estructura de cubierta de la edificación en donde implementara.

Se ha evidenciado que en los últimos años la tendencia de implementación de techos verdes en la ciudad de Bogotá ha aumentado, gracias a todos los beneficios que estos generan, un ejemplo claro de esto es el edificio del cubo Colsubsidio, “Esta edificación se convierte en un nuevo hito en la ciudad por su aporte estético y de paisaje urbano, que a su vez permite a la Caja el desarrollo de sus programas de gestión humana y la construcción de relaciones comerciales productivas y



sociales con sus aliados estratégicos en el ámbito local, nacional e internacional. La estructura se diseñó cumpliendo los estándares de la arquitectura verde, enmarcados en las normas del liderazgo, energía y diseño ambiental, garantizando que su operación tenga un uso eficiente de la energía, del agua, de los recursos y materiales, reduciendo los impactos ambientales y demostrando el respeto y compromiso de Colsubsidio con la sostenibilidad.” (Jimenez, 2017).

## **1.1 La normatividad para diseñar e implementar un techo verde en Colombia está basada en las siguientes normas:**

### **1.1.1 Decreto 364 de 26 de agosto de 2013, Capítulo II, Políticas generales para el distrito Capital.**

“Para promover su participación en la red de ciudades interdependientes de la región, el Distrito Capital adelantará las acciones urbanísticas que permitan consolidar su actual estructura urbana y optimizar el uso y aprovechamiento de su territorio.

Dicha consolidación implica acciones de carácter económico, físico, normativo y de gestión aplicables al centro de la ciudad, en su carácter de espacio principal de la región y el país, a las centralidades urbanas y a las zonas y sectores económicos estratégicos de integración y desarrollo regional e internacional.” (Secretaría Jurídica Distrital , 2013)

### **1.1.2 Artículo 7. Políticas Ambientales, Ecoeficiencia de la función y la forma urbana.**

Este artículo indica las diferentes políticas ambientales para Bogotá:

“**Calidad ambiental para el desarrollo humano integral.** Es propósito central de la gestión urbana mejorar equitativamente la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras, partiendo de crear un medio seguro, saludable, propicio, estimulante, diverso y participativo para el desarrollo integral del ser humano, a nivel individual y colectivo, en lo físico, lo social y lo económico.” (Secretaría Jurídica Distrital , 2013)

“**Ecoeficiencia de la función y la forma urbana.** Las implicaciones ambientales de toda decisión deben medirse por su contribución a la ecoeficiencia del conjunto, es decir, la capacidad de producir bienes, servicios y estructuras, optimizando el aprovechamiento de los recursos naturales, las potencialidades ambientales y socioculturales al tiempo que se minimizan la generación de desperdicios, el deterioro físico y funcional y la marginalidad ambiental, económica y social.” (Secretaría Jurídica Distrital , 2013)

“**Transformación positiva del territorio.** Las ventajas ambientales del territorio deben ser potenciadas a través de la planificación y el diseño, en formas creativas y competitivas en el ámbito global, conservando los procesos ecológicos esenciales y mejorando la capacidad del medio para sustentar el funcionamiento económico y sociocultural.” (Secretaría Jurídica Distrital , 2013)

“**Gestión ambiental urbano-regional.** La gestión ambiental distrital debe contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la región y a la armonización de sus distintos modos de vida, acercando la toma de decisiones a la escala real de los procesos ecológicos y a los actores involucrados, y procurando la construcción de un sistema urbano-regional posicionado y competitivo tanto nacional como globalmente.” (Secretaría Jurídica Distrital , 2013)

### **4.1.3 Artículo 131. Lineamientos frente al riesgo por islas de calor.**

“Para reducir los posibles riesgos por islas de calor influenciados por factores como el reemplazo de las coberturas vegetales por superficies endurecidas, y promover el refrescamiento urbano de la ciudad.” (Secretaría Jurídica Distrital , 2013)



#### 4.1.4 Artículo 132. Lineamientos para recuperar el proceso hidrológico natural del suelo urbano.

Como su nombre lo indica nos aporta unos lineamientos específicos para la recuperación del proceso hidrológico natural del suelo.

Los techos verdes, también han recibido el nombre de “techos bióticos”, “terrazas naturadas”, “terrazas vegetadas” o “cubiertas verdes” (SDA, 2011). En cualquier caso, según la Guía de Techos Verdes en Bogotá, hacen referencia a “un sistema constructivo que permite mantener de manera sostenible un paisaje vegetal sobre la cubierta de un inmueble mediante una adecuada integración entre el inmueble intervenido, la vegetación escogida, el medio de crecimiento diseñado y los factores climáticos y ambientales. Para lograr esta integración, el sistema debe desempeñar 6 funciones básicas: estanqueidad, drenaje, capacidad de retención de agua, estabilidad mecánica, nutrición y filtración”. (Secretaría Jurídica Distrital , 2013)

Según la clasificación europea se pueden encontrar dos tipos techos verdes:

- a) **Techos intensivos:** los cuales cuentan con capas de sustratos más profundas, esto genera que puedan soportar plantas de un tamaño grande, pero requieren de un mayor mantenimiento que incluye un sistema de riego y una fertilización.
- b) **Techos extensivos:** presentan una capa de sustrato más delgada y soportan plantas de un tamaño más reducido y esto genera un mantenimiento más fácil, este incluye de la realización de riego y fertilización únicamente cuando las especies plantadas estén en su etapa de desarrollo. (Minke, 2016).



---

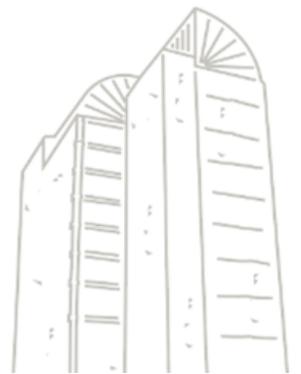
## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un modelo de techo verde con el fin de mitigar el área inundable y mejorar la calidad ambiental de la Universidad Piloto de Colombia implementándolo en la cubierta del edificio S.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un modelo sustentable por medio de la generación de techos verdes, para la reutilización del agua lluvia que se presenta en la cubierta del edificio “S”.
- Analizar los datos generados por la estación meteorológica del edificio de LACAR para implementarlo en el modelo de techo verde.
- Identificar y comunicar los diferentes beneficios, usos y logros que se generan mediante la aplicación del modelo de techos verdes.



## DISEÑO DE TECHO VERDE

### GUÍA PARA TECHOS VERDES PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

Para comenzar con el diseño de este techo verde, la investigación se basa en la guía de techos verdes de Bogotá, en esta guía se encuentra diferentes aspectos referentes a la instalación y mantenimiento a tener en cuenta de un techo verde en la ciudad de Bogotá. Según la guía de techos verdes se describe un techo verde como “Es un sistema constructivo que permite mantener de manera sostenible un paisaje vegetal sobre la cubierta de un inmueble mediante una adecuada integración entre 1) El inmueble intervenido. 2) La vegetación escogida. 3) El medio de crecimiento diseñado. y 4) Los factores climáticos y ambientales. Para lograr esta integración, el sistema debe desempeñar 6 funciones básicas: 1) Estanqueidad, 2) Drenaje, 3) Capacidad de retención de agua, 4) Estabilidad mecánica, 5) Nutrición y 6) filtración.” (Nieto, 2011).

A continuación, se presenta un resumen de las especificaciones mínimas, beneficios y el marco legal de las construcciones verdes en la ciudad de Bogotá.

Como toda estructura los sistemas de techos verdes están compuestos por distintos elementos y componentes, esto componentes se mencionan en la guía de techos verdes y estos son los componentes activos, componentes estables y elementos auxiliares y estos tres son muy importantes ya que de la interacción de estos componentes depende el éxito de nuestra estructura, a continuación, describiremos brevemente cada uno de estos componentes teniendo como base la guía de techos verdes.

**“Componentes activos:** Son los componentes de Techo Verde que presentan a constantes cambios fisicoquímicos para cumplir sus funciones durante la vida útil del sistema. Los componentes activos son elementos biológicos o elementos que soportan la vida en el sistema”. (Nieto, 2011), estos componentes hacen referencia a la cobertura vegetal el cual está compuesto por el conjunto de especies vegetales que conforman la capa superior del sistema y al medio de crecimiento, este es el componente artificial de nuestro sistema el cual es el equivalente al suelo en condiciones naturales.

**“Componentes estables:** Son los componentes inertes del Techo Verde que deben mantener estabilidad química y física para cumplir funciones durante toda la vida útil del sistema”. (Nieto, 2011), estos hacen referencia a los elementos fabricados que se encargan de cumplir determinadas funciones en el sistema los ejemplos más claros de estos son las membranas de impermeabilización, barreras anti-raíces entre otras.

**“Elementos auxiliares:** Son los elementos inertes estables que cumplen funciones específicas para adaptar correctamente una sección típica de sistema de techo verde a la estructura de un determinado inmueble, tales como: Separación confinamiento, **protección**, evacuación de agua, transito, riego, iluminación etc.” (Nieto, 2011).



En la guía también nos menciona algunos beneficios ambientales y económicos que nos puede obtener al realizar la construcción de una estructura de Techos Verdes en la ciudad de Bogotá.

Beneficios ambientales que ofrecen los techos verdes para la ciudad de Bogotá son:

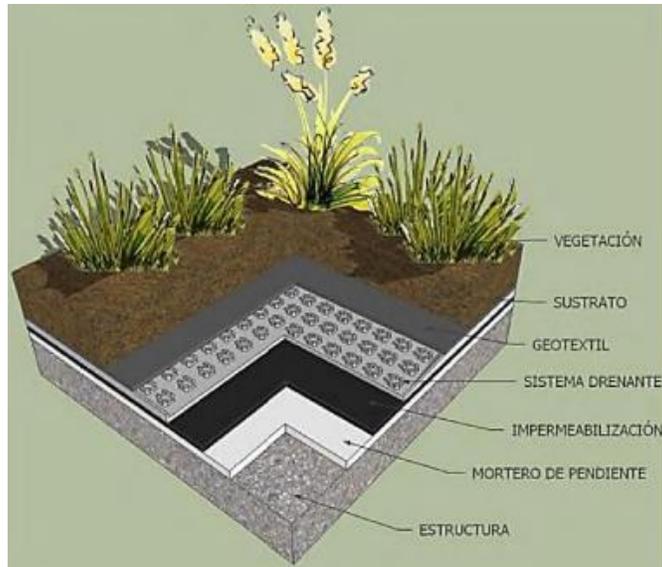
- “Manejo sostenible del agua lluvia. Reducción del volumen de escorrentía y atenuación del caudal.
- Mitigación del efecto de la isla de calor y reconstitución del equilibrio climático. Refrigeración del espacio mediante el proceso de evapotranspiración de la vegetación y evaporación del agua retenida en otras capas del sistema.
- Reconstitución del paisaje natural. Aumento de zonas verdes
- Fomento de la biodiversidad. Creación de hábitat natural para especies vegetales y animales.
- Mejoramiento de la calidad del aire. Captura CO<sub>2</sub>, partículas en suspensión y otros compuestos contaminantes y emisión de oxígeno”. (Nieto, 2011)

Algunos de los beneficios económicos que los techos verdes pueden ofrecer son:

- “Aumento de la durabilidad de la cubierta y de la capa de impermeabilización. La cobertura vegetal y el medio de crecimiento de la cubierta vegetal protegen la capa de impermeabilización y la estructura horizontal de entrepiso de los dos principales factores de deterioro: La radiación solar y las fluctuaciones térmicas. Al aumentarse la vida útil de estos componentes del edificio se logra un ahorro significativo a largo plazo en gastos de reparación o reemplazo de estos.
- Incremento del valor comercial del edificio. La cubierta verde aporta valor agregado a los atributos estéticos y funcionales del edificio.
- Reducción del consumo energético y costos de operación. El aislamiento térmico del sistema de cubierta verde puede mejorar el desempeño térmico de los espacios interiores, reduciendo el consumo energético de los sistemas artificiales de climatización e incrementando las condiciones de confort.
- Presentaciones técnicas adicionales. Las cubiertas verdes proporcionan aislamiento acústico, son un medio captador y filtrante de agua lluvia y aumentan la eficiencia de sistemas fotovoltaicos.
- Productividad. Las cubiertas verdes tipo huerta están en capacidad de producir alimentos y productos agrícolas para el autoconsumo o la venta.
- Posibles beneficios tributarios y otros incentivos públicos. Futuros descuentos tributarios por control ambiental y manejo sostenible del agua lluvia”. (Nieto, 2011).

La guía nos describe 5 tipos de sistemas para Techos Verdes de acuerdo con la tecnología empleada, a continuación, describiremos cada uno de ellos y teniendo en cuenta nuestra estructura a intervenir y cada una de las características de estos sistemas escogeremos el que mejor se adapte a nuestro proyecto.





*Ilustración 4 – Sistema multicapa monolítico, Fuente (Nieto, 2011)*

**“Sistema tipo multicapa monolítico:** Esta tecnología es la más difundida a nivel mundial. Consiste en apoyar directamente sobre el techo impermeabilizado varias capas de componentes especializados que tienen continuidad horizontal, lo cual da como resultado un sistema que actúa monolíticamente como una unidad sobre la totalidad del área del techo o sobre una determinada área” (Nieto, 2011)



*Ilustración 5 – Sistema tipo multicapa elevados, Fuente (Nieto, 2011)*

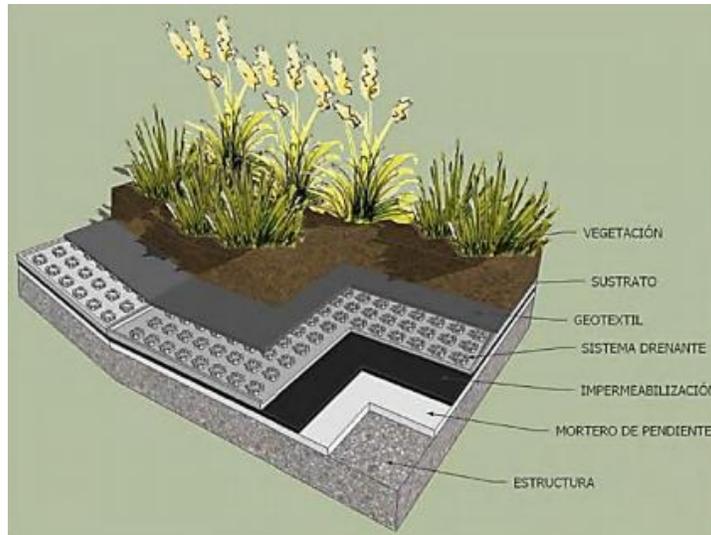
**“Sistema tipo multicapa elevado:** En este caso las capas especializadas se apoyan sobre pedestales que elevan el sistema del techo impermeabilizado. Creando un intersticio horizontal continuo en el intermedio” (Nieto, 2011)





*Ilustración 6 – Sistema tipo receptáculo, Fuente (Nieto, 2011).*

“**Sistema tipo receptáculo:** Son sistemas que consisten en apoyar sobre el techo impermeabilizado recipientes individuales que alojan el medio de crecimiento y la vegetación, y pueden lograr las funciones básicas del sistema de manera independiente y en conjunto. Estos recipientes son elementos especializados para cumplir las funciones de un techo verde y pueden tener forma de bandejas, materas, sacos o cajones.” (Nieto, 2011)



*Ilustración 7 – Sistema tipo monocapa, Fuente (Nieto, 2011).*

“**Sistema tipo monocapa:** Son tapetes presembrados que incorporan en una sola capa los diferentes componentes estables y activos, y se deben fijar al techo impermeabilizado.” (Nieto, 2011)





*Ilustración 8 – Sistema aeropónicos, Fuente (Nieto, 2011).*

“**Sistemas aeropónicos:** A diferencia de los tipos anteriores en los cuales por lo general el medio de crecimiento hace las veces de medio de nutrición y medio de transporte, en el tipo aeropónico, en ausencia de sustrato o medio sólido de crecimiento, se requiere de un mecanismo de soporte para la vegetación. En este caso la nutrición se realiza por medio de irrigación directa en forma de líquido o vapor a las raíces expuestas de las plantas.

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de sistemas para techos verdes que se presenta la guía se descarta el sistema receptáculo, ya que este sistema involucra instalación de bandejas, cajones o materas aumenta la probabilidad que se presente infiltración del agua lluvia y se debe tener en cuenta que el peso adicional de esta estructura es mucho mayor al de los demás sistema y esto puede poner en riesgo la integridad del edificio, ya que estas cargas no se contemplaron desde un principio en el diseño de la edificación a intervenir.

De igual manera se descartan los sistemas de monocapa y aeropónico presentan funciones específicas como lo son el mantenimiento del tapete para el sistema de monocapa lo cual dificultaría mucho su mantenimiento y la irrigación directa en forma de líquido o vapor a las raíces expuesta para el sistema aeropónico y este no aplica para nuestro objetivo de retención de aguas lluvias en nuestro sistema.

La diferencia entre el sistema multicapa monolítico y el sistema multicapa elevado es los pedestales en los que se apoyan la capa vegetal, el sustrato, la capa filtrante y la capa drenante. Dichos pedestales crean un espacio libre horizontal en la cubierta. Por este motivo optamos por escoger el sistema de multicapa monolítico, teniendo en cuenta que es uno de los sistemas más conocidos y recomendables y al momento de realizar un intercambio de materiales son mucho más fáciles de conseguir y esto es un plus en comparación con los demás sistemas mencionados.

La guía también muestra diferentes clasificaciones para estos Techos verdes, la primera es la clasificación general de los Techos Verdes en Bogotá D.C., la cual indica que “los techos verdes en la ciudad de Bogotá se clasifican según:



- 1) Su propósito principal y el grado de seguimiento por instalación requerido.
- 2) El grado de robustez del sistema empleado en función del aporte y los requerimientos de la vegetación empleada y del peso del sistema en estado saturado.

Las funciones básicas deben garantizar en todas las implementaciones de techos verdes en el Distrito Capital, por lo cual no tienen incidencia en la clasificación general.” (Nieto, 2011).

Otra de las clasificaciones que especifica es la Clasificación primaria que se enfoca en el propósito y uso del techo verde.

- “Techo verde autorregulado.
- Techo verde ajardinado.
- Techo verde ecológico especializado.
- Techo verde huerta” (Nieto, 2011)

Después de analizar cada uno de estos techos verdes que entran en la clasificación primaria se opta por escoger en Techo Verde autorregulado ya que “las características básicas de este techo son: autorregulación, autosostenibilidad, y ligereza. Las funciones básicas de la cubierta son: estanqueidad, drenaje efectivo, retención de agua, estabilidad y nutrición. Las prestaciones básicas son: disminución del volumen de escorrentía, atenuación del caudal de evacuación, y aislamiento térmico y acústico” (Nieto, 2011).

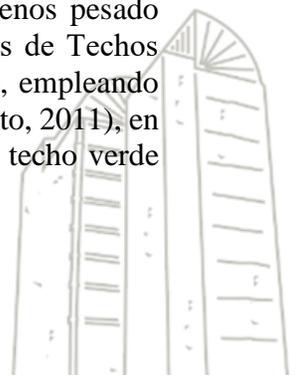
Todos estos factores que nos aporta un techo verde autorregulado generan un plus para nuestro proyecto, además de ser una estructura liviana la cual no nos va a afectar nuestro edificio a intervenir.

Además de que para un techo verde autorregulado “el espesor del medio de crecimiento oscila entre 20 y 120 mm. El espesor ideal debe ser definido principalmente en función de las necesidades de las raíces de las especies vegetales. Un techo verde autorregulado emplea especies vegetales de bajo porte, con capacidad para sobrevivir en sustratos con bajo contenido orgánico. Altura máxima de la cobertura vegetal: 50 cm.” (Nieto, 2011)

La última clasificación que muestra la guía es la Clasificación secundaria la cual consiste en la robustez del sistema de techo verde en función del aporte y requerimiento de la vegetación empleada

- “Liviano.
- Moderado.
- Robusto.” (Nieto, 2011)

Ya que para nuestro proyecto intentamos buscar un sistema que sea lo menos pesado posible optamos solo por la clasificación secundaria “livianos” estos son “sistemas de Techos verdes que cumplen con su totalidad los requisitos técnicos y del propósito de uso, empleando estrategias para reducir significativamente el peso total en estado de saturación.” (Nieto, 2011), en esta clasificación de techos verdes livianos se encuentran 4 tipos de techos verdes, techo verde



ajardinado liviano, techo verde ecológico especial liviano, techo huerta liviano y por último y el que utilizaremos, techo verde autorregulado liviano el cual posee una “carpeta vegetal especializada resistente a condiciones ambientales extremas con altura máxima de 20cm y pero tota hasta 80kg/m<sup>2</sup> en estado saturado.” (Nieto, 2011).

Además de las diferentes clasificaciones para cada uno de los tipos de techos verdes que se pueden utilizar, también muestra los requisitos mínimos que se deben tener en cuenta para implementar cada una de las funciones que debe tener un techo verde en Bogotá.

La primera función es la estanqueidad, la cual consiste en “impedir la penetración del agua a la estructura de soporte del Techo Verde, y garantizar que no existan 66 filtraciones o deterioros causados por la humedad. Los aspectos clave a considerar son: la capacidad de resistencia a la penetración de las raíces, el tratamiento de los puntos especiales (bajantes, parapetos, bordillos, juntas, etc.), protección de la impermeabilización ante el daño mecánico, y la protección de la impermeabilización ante el deterioro causado por la radiación solar” (Nieto, 2011).

La segunda función es el drenaje, la cual consiste en “permitir el flujo de agua lluvia o de riego a través del sistema, y conducirla de forma efectiva hacia los elementos de evacuación de la cubierta tales como bajantes, sumideros y canaletas. Mantener las condiciones aeróbicas del sustrato requeridas por la vegetación. Los aspectos clave a tener en cuenta son: la permeabilidad de los componentes activos, el volumen del aire (Macroporos), la capacidad de drenaje requerida de los componentes estables, la capacidad de drenaje del sistema, el sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias del sistema, el drenaje vertical a través del medio de crecimiento y el drenaje horizontal hacia los elementos de evacuación” (Nieto, 2011).

La tercera función es la retención de agua, la cual consiste en “captar y almacenar la cantidad de agua necesaria en el sistema para garantizar la supervivencia de integridad de la cobertura vegetal en Bogotá D.C. Los aspectos clave a tener en cuenta son: la capacidad de retención de agua de los componentes activos y la capacidad de retención de agua de los elementos estables” (Nieto, 2011).

La cuarta función es la consistencia, la cual consiste en “garantizar la estabilidad formal y dimensional del sistema de Techo Verde y sus componentes. Los aspectos clave a considerar son: la resistencia mecánica de los componentes estables ante esfuerzos propios del uso designado, la consistencia del medio de crecimiento, la unión y fijación de los componentes y piezas” (Nieto, 2011).

La quinta función es la nutrición, la cual consiste en “proporcionar el equilibrio fisicoquímico y los nutrientes requeridos para mantener la cobertura vegetal viva y sana. Los aspectos a tener en cuenta son: el pH del medio de crecimiento, la conductividad eléctrica del medio de crecimiento, el contenido de nutrientes mayores y menores, el contenido de materia orgánica del medio de crecimiento y el contenido de aire del medio de crecimiento” (Nieto, 2011).

La sexta función es la filtración, cuyo propósito es “permitir el paso de agua a través del sistema restringiendo el paso de partículas finas. Los aspectos clave a tener en cuenta son: la



retención de partículas finas, la filtración mecánica efectiva y la permeabilidad al agua” (Nieto, 2011).

También la guía indica unas características mínimas de desempeño requeridas con relación al techo verde a implementar:

La primera característica es la economía y eficiencia, la cual consiste en “ahorrar el material y dinero en la implementación de Techos Verdes garantizando la calidad mediante el uso racional y eficiente de materiales y recursos. Los aspectos clave a tener en cuenta son: la optimización de cantidades de material y componentes; la interacción de componentes para lograr las funciones requeridas con el mínimo material; la exclusión de componentes innecesarios; el empleo de materiales locales, reutilizados o recuperados; la adaptación a las condiciones técnicas del inmueble y compatibilidad con las condiciones ambientales y la reducción de la huella de carbono” (Nieto, 2011).

La segunda característica es la durabilidad, la cual consiste en “garantizar la longevidad e integridad de los componentes del Techo Verde durante todo su ciclo de vida útil. Los aspectos clave a tener en cuenta son: la resistencia a degradación por agentes externos como los biológicos; exposición a la radiación solar, humedad y microorganismos” (Nieto, 2011).

La tercera característica es la estabilidad, la cual consiste en “garantizar la estabilidad del sistema en el inmueble intervenido durante su vida útil y evitar deformación, desplazamiento o desacomodo de sus componentes. Los aspectos clave a tener en cuenta son: confinamiento, transición y separación de tipos de superficies, protección ante efectos de succión y desplazamiento por viento, y protección contra la erosión” (Nieto, 2011).

La cuarta característica es la vitalidad, la cual consiste en “garantizar la vitalidad de la cobertura vegetal del Techo Verde durante su vida útil. Los aspectos clave a tener en cuenta son: adaptabilidad de las especies vegetales seleccionadas al medio ambiente del techo verde a intervenir, compatibilidad biológica del medio de crecimiento y las especies vegetales, nutrientes, proceso de consolidación total de la capa vegetal, irrigación, fertilización y resiembras, y resistencia a plagas y ataques biológicos” (Nieto, 2011).

La quinta característica es la continuidad operativa la cual consiste en “garantizar la operatividad funcional del Techo Verde implementando en un inmueble específico a lo largo de toda su vida útil, mediante el diseño y la ejecución de un plan de seguimiento post instalación de acuerdo al tipo o tipos de Techo Verde. Los aspectos clave a tener en cuenta son: el seguimiento postinstalación, el monitoreo, la inspección, las actividades y frecuencia de mantenimiento, y las reparaciones” (Nieto, 2011).

La sexta característica es la integridad del inmueble, la cual consiste en “garantizar que el techo verde no afecte la integridad estructural y física de la totalidad del inmueble. Los aspectos clave a tener en cuenta son: la capacidad estructural del techo del inmueble, la capacidad estructural del inmueble, las cargas vivas y cargas muertas del techo verde en estado saturado, y la prevención de incendios” (Nieto, 2011).



La séptima característica es la compatibilidad funcional con el inmueble, la cual consiste en “evitar que el techo verde interfiera con el funcionamiento óptimo del inmueble y demás componentes técnicos del techo. Los aspectos clave a tener en cuenta son: la evaluación de aguas lluvias, el acceso y tránsito para el sistema de limpieza de fachadas, las áreas libres para instalación de los equipos necesarios, el acceso y tránsito para la instalación y el mantenimiento de equipos en cubierta, y la compatibilidad con otros requerimientos funcionales específicos de cada inmueble” (Nieto, 2011).

La octava característica es la conectividad ecológica, la cual consiste en “integrar ecológicamente el Techo Verde a los elementos de la estructura ecológica principal establecidos por el POT. Los aspectos clave a tener en cuenta son: la integración ecológica con la fauna y la flora local, y la adaptación a las condiciones locales ambientales” (Nieto, 2011).

La novena característica son los servicios ambientales prioritarios, la cual consiste en “priorizar la generación de servicios de acuerdo a las deficiencias ambientales del área urbana donde se localiza el inmueble. El aspecto clave a tener en cuenta es la identificación y priorización de las problemáticas ambientales” (Nieto, 2011).

## **MARCO LEGAL DE LAS CONSTRUCCIONES VERDES EN BOGOTÁ.**

La capital de la república de Colombia tiene un marco legal actual en cuanto a temas relacionados con techos verdes, a continuación, se hará un breve resumen de él.

Se encuentran varios acuerdos, decretos y resoluciones de los cuales se van a hablar. Esta el acuerdo 391 de 2009, “por medio del cual se dictan lineamientos para la formulación del plan distrital de mitigación y adaptación al cambio” (Concejo de Bogotá, 2009), “Este acuerdo tiene como objetivo formular el Plan Distrital de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos de la ciudad, la estrategia de este acuerdo es que le permita a la ciudad la evaluación de la vulnerabilidad actual, los riesgos climáticos futuros, y la integración de las diferentes acciones de mitigación y adaptación, esto tiene como fin mejorar la calidad de vida de la población y ayudar con el desarrollo de una ciudad sostenible”.(Concejo de Bogotá, 2009)

El presente acuerdo contiene estrategias para el cambio climático las cuales son:

- a. “Estructuración de la línea de base de los emisores, las emisiones y las inmisiones de fuentes fijas, móviles, de área y biogénicas de la ciudad, incluyendo los gases de efecto invernadero (GEI), por el cual se adoptará la metodología establecida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático –IPCC-.” (Concejo de Bogotá, 2009).
- b. “Mejorar la observación sistemática del clima, los gases de efecto invernadero –GEI- y sus precursores.” (Concejo de Bogotá, 2009).
- c. “Implementación de un Sistema de Alertas y de Prevención de Desastres relacionadas con la variabilidad climática.” (Concejo de Bogotá, 2009).
- d. “Formulación de los escenarios climáticos a nivel espacial en particular los diferentes microclimas de la ciudad (Islas Urbanas de Calor Potenciales).” (Concejo de Bogotá, 2009)



- e. “Generación de nuevos hábitos, consumo y promoción de renovación tecnológica.” (Concejo de Bogotá, 2009).
- f. “Generación de nuevos pulmones verdes y aumento de los niveles de captura de CO2.” (Concejo de Bogotá, 2009).
- g. “Diseño y construcción sostenible.” (Concejo de Bogotá, 2009).
- h. “Implementación de medidas de adaptación concertadas para las zonas y áreas prioritarias de la ciudad, así como para las zonas más vulnerables a los efectos y eventos naturales y climáticos.” (Concejo de Bogotá, 2009).
- i. “Promoción del transporte que use combustibles limpios.” (Concejo de Bogotá, 2009)
- j. “Eficiencia energética, uso y aprovechamiento del agua.” (Concejo de Bogotá, 2009)
- k. “Minimización, separación en la fuente y aprovechamiento de los residuos sólidos.” (Concejo de Bogotá, 2009)
- l. “Sensibilización, educación, comunicación y socialización de los impactos y efectos del cambio climático.” (Concejo de Bogotá, 2009)
- m. “Evaluación y monitoreo mediante un Sistema de Indicadores Ambientales de adaptación al cambio climático.” (Concejo de Bogotá, 2009)

Teniendo en cuenta las estrategias que contienen el acuerdo para garantizar una mejor calidad de vida y que la población se adapte al cambio climático en la ciudad, se consideran varias de las características que posee la investigación de techos verdes. Con esto se observa el interés que hay en la ciudad (Bogotá) y la preocupación del gobierno por la parte ambiental que se “desarrollan en el marco de los mecanismos de desarrollo limpio y sustentable” (Concejo de Bogotá, 2009) y los cambios climáticos que se ven hoy en día, como la implementación de techos verdes en varios sectores de la ciudad para solucionar problemas como la inundación.

El acuerdo 418 de 2009, "Por el cual se promueve la implementación de tecnologías arquitectónicas sustentables, como techos o terrazas verdes, entre otras en el D. C. y se dictan otras disposiciones" (Concejo de Bogotá, 2009).

Este acuerdo favorece el proyecto de investigación de forma directa, ya que en el Artículo 2 párrafo resalta que “Los proyectos de obra o infraestructura que realicen las entidades públicas distritales deberán contemplar dentro de sus diseños la implementación de techos o terrazas verdes o similares” (Concejo de Bogotá, 2009). Esto no delimita poder realizar la ejecución de techos verdes sobre construcciones privadas. El artículo 3 menciona que “La Secretaria distrital de Ambiente y el Jardín Botánico José Celestino Mutis, prestara la asesoría y el soporte técnico cuando sea necesario sobre las diversas especies vegetales recomendadas, sustratos, nutrientes y mantenimiento de las coberturas vegetales en los techos o terrazas verdes en la ciudad” (Concejo de Bogotá, 2009).

El acuerdo 531 de 2010, "Por el cual se reglamenta la silvicultura urbana, zonas verdes y la jardinería en Bogotá y se definen las responsabilidades de las Entidades Distritales en relación con el tema y se dictan otras disposiciones.”(El Alcalde Mayor de Bogotá D. C., 2010). La Constitución Política de Colombia en su artículo 79 establece que "Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar



las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines". (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).

En este decreto se encuentra la información que se refiere a los aspectos de tecnologías verdes y el desarrollo sostenible. En el artículo 13 “señala que los jardines botánicos establecerán programas especiales de arborización urbana, forestación y reforestación de cuencas hidrográficas.” (Asamblea Nacional Constituyente, 1991). Lo cual ayuda bastante para que las personas estén más informadas con el tema ambiental y se incentiven a cuidar más.

Bogotá cuenta con La Secretaría Distrital de Ambiente y con el Jardín Botánico José Celestino Mutis, lo cual son las entidades que se encargan en suministrar información y acompañamiento a los diferentes trabajos que consideren la implementación de una tecnología sostenible, como en el caso del techo verde en la Universidad Piloto de Colombia, Edificio “S”.

En este decreto también se encuentra el artículo 6 del presente decreto presenta el Manual de silvicultura Urbana, Zonas Verdes y Jardinería para Bogotá, el cual dice: “La Secretaría Distrital de Ambiente y el Jardín Botánico José Celestino Mutis revisarán conjuntamente el Manual de Silvicultura Urbana, Zonas Verdes y Jardinería para Bogotá, el cual será adoptado mediante Resolución de la Secretaría Distrital de Ambiente, y será de obligatorio cumplimiento en el Distrito Capital” (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).

Lo cual este manual se puede tener en cuenta para todas las personas o entidades que quieran en sus proyectos el desarrollo de técnicas ambientales de construcción, se podrán guiar por el manual y evaluar los aspectos a tener en cuenta para un mejor desempeño de la construcción.

La resolución 3654 de 2014, “Por la cual se establece el programa de reconocimiento -BOGOTÁ CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE-” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014). En esta resolución se habla de que la relación con el Ecourbanismo, “se compone de: Códigos de habitabilidad, Promoción de barrios ecológicos piloto, Observatorio de Sostenibilidad del Hábitat, Consolidación de bordes urbanos (planificación y control), Control de la calidad en ambientes construidos, Promoción de tecnologías limpias de arquitectura y urbanismo, Ciclo de vida de materiales de construcción con visión regional y Pactos de borde.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014). También en el artículo 5- criterios de evaluación. Ofrece los criterios de evaluación para edificaciones y proyecto urbanos los cuales son:

1. Componente Urbano (URB); la planificación urbana debe procurar el desarrollo de metodologías para entender las condiciones del entorno y la integración de los sistemas que componen la ciudad (Estructura Ecológica principal y complementaria, estructura funcional y de servicios, socioeconómica y espacial) en una estructura sostenible (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014).
2. Eje temático Social (URB-S); consiste en integrar al diseño los aportes de la población del lugar, mediante el desarrollo de metodologías participativas que permitan al proyecto responder a las necesidades de la comunidad. Procurando la reducción de los desequilibrios, la segregación sociocultural, socioeconómica y ambiental. Así como los niveles de marginalidad y precariedad de las condiciones del entorno. Considerando para esto las necesidades de la ciudadanía durante la planeación del proyecto, en pro de los beneficios de los habitantes, su calidad de vida y el derecho a la ciudad. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014).



3. Eje temático Sistema Constructivo (SC); tiene por objeto innovar en las técnicas constructivas, minimizando los impactos ambientales negativos producto de la fabricación, uso y disposición de materiales para construcción. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014).
4. Eje temático Energía (EN); el desempeño energético de las edificaciones se evalúa en términos de fuente de energía, consumo energético, así como las pérdidas por generación y transmisión. Es por eso que para el mejoramiento de la eficiencia energética se hace necesario potenciar las oportunidades de conservación de energía e implementando las estrategias desde la planeación hasta la operación. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014).
5. Eje temático agua (AGU); tiene por objeto potenciar, disminuyendo la presión del recurso y los costos ambientales asociados a la actividad humana. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014).

Por último, se encuentra la resolución 6423 de 2011, “por medio de la cual se adopta la Guía Técnica de Techos Verdes” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011). Esta guía es de mucho apoyo, ya que explican todos los beneficios económicos, sociales y ambientales, se encuentra la explicación de cómo implementar un techo verde en una edificación. Gracias a esta, se encuentra la guía de techos verdes en la ciudad de Bogotá y con la cual nos basamos para la implementación de techos verdes en la Universidad Piloto de Colombia, Edificio “S”.

La idea con esta implementación es que la población se dé cuenta de que Bogotá necesita avanzar en temas de ambientales teniendo en cuenta todas las leyes, decretos y resoluciones para que se garantice la adaptación de la población al cambio climático y que estén comprometidos a mejorar el medio ambiente que la ciudad necesita.

## **ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA**

Para realizar el presente diseño de techo verde se necesita información de los datos meteorológicos de precipitación de nuestra zona a intervenir, en este caso estos datos serán de la localidad de chapinero para esto se obtuvieron los datos de la estación más cercana la cual es la ubicada en el edificio de La CAR (ver tabla 1), ubicado en la Carrera 7ma #36-45 Santa Fé, Bogotá, los datos que se obtuvieron fueron desde el año 1975 hasta el año 2016 cada uno de estos discriminados mes a mes donde podremos observar los históricos de aquellos meses donde se presentó un mayor porcentaje de lluvias.

Para mayor facilidad de nuestro trabajo solo se analizarán los datos de los 16 años más recientes, es decir desde el año 2000 hasta el 2016, exceptuando el año 2012 ya que en este no se recolectaron los datos correspondientes en la estación seleccionada.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |        |        |        |        |       |       |        |        |        |        |       |
|------|--------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
|      | ENE                | FEB    | MARZ   | ABR    | MAY    | JUN   | JUL   | AGOS   | SEPT   | OCT    | NOVI   | DIC   |
| 1975 | 1                  | 90     | 116    | 101    | 104    | 52    | 146   | 25     | 135    | 235    | 97     | 101   |
| 1976 | 43                 | 41     | 232    | 198    | 105    | 44    | 0     | 17     | 94     | 220    | 76     | 34    |
| 1977 | 99                 | 21     | 99     | 90     | 98     | 109   | 38    | 59     | 103    | 213    | 142    | 40    |
| 1978 | 12                 | 79     | 153    | 221    | 156    | 35    | 45    | 8      | 179    | 265    | 20     | 59    |
| 1979 | 28                 | 5.4    | 17     | 10.1   | 6      | 5.7   | 1.9   | 9      | 13.5   | 20.8   | 12.4   | 1     |
| 1980 | 54                 | 98     | 34     | 78     | 60     | 61    | 14    | 52     | 87     | 80     | 51.8   | 113   |
| 1981 | 18.3               | 66.4   | 21.5   | 425.2  | 209.6  | 72.5  | 4.3   | 165.4  | 5.4    | 234.3  | 114.5  | 14.8  |
| 1982 | 51.4               | 156.4  | 74.3   | 258.6  | 115.9  | 41    | 4.9   | 0      | 168    | 174    | 122.3  | 48.1  |
| 1983 | 20.62              | 186.02 | 90.12  | 148.22 | 82.42  | 0.02  | 27.42 | 115.32 | 33.62  | 71.33  | 115.91 | 32.3  |
| 1985 | 25.82              | 19.52  | 71.02  | 156.92 | 175.02 | 22.02 | 14.22 | 48.02  | 111.32 | 123.12 | 109.52 | 16.5  |
| 1986 | 80.52              | 136.02 | 52.02  | 117.02 | 184.02 | 77.32 | 6.02  | 28.02  | 85.32  | 160.72 | 118.52 | 0     |
| 1987 | 4.52               | 39.52  | 55.82  | 86.82  | 123.52 | 22.02 | 21.12 | 106.02 | 50.52  | 242.02 | 92.02  | 35    |
| 1988 | 7.52               | 70.02  | 4.02   | 136.52 | 188.02 | 84.72 | 87.02 | 277.02 | 60.62  | 92.52  | 271.62 | 75.6  |
| 1989 | 33.62              | 54.12  | 179.02 | 31.02  | 108.82 | 21.02 | 30.02 | 0.02   | 49.52  | 164.22 | 66.02  | 65    |
| 1990 | 62                 | 95     | 105.2  | 85.3   | 91.2   | 0     | 10    | 53.4   | 27     | 85.11  | 137    | 60.1  |
| 1991 | 32.5               | 38.5   | 199.8  | 123    | 119.5  | 114.5 | 22    | 26     | 155    | 6      | 132    | 24    |
| 1992 | 65.02              | 31.02  | 33.02  | 69.51  | 153.76 | 57.76 | 11.01 | 51.02  | 164.02 | 20.02  | 394    | 37    |
| 1993 | 329.03             | 119.02 | 96.02  | 16.02  | 188.02 | 1.02  | 0.02  | 87.02  | 58.22  | 101.02 | 159    | 46    |
| 1994 | 143.02             | 207.02 | 159.02 | 250.02 | 214.02 | 4     | 50.5  | 2      | 76.61  | 130.2  | 64     | 57    |
| 1995 | 86                 | 157.51 | 153.51 | 204.01 | 109.51 | 95    | 35    | 185    | 95     | 229    | 88     | 68    |
| 1996 | 111                | 108    | 148    | 158    | 5      | 95.5  | 27.15 | 92.5   | 91.75  | 135.5  | 124.4  | 32.1  |
| 1997 | 60                 | 66.6   | 80.6   | 157.8  | 173.2  | 96    | 19.3  | 0      | 88.5   | 116.6  | 33.1   | 68.8  |
| 1998 | 64.8               | 32     | 81.3   | 133.7  | 105.5  | 8.5   | 8.9   | 82.3   | 78.9   | 157.7  | 75.9   | 111.1 |
| 1999 | 47.5               | 129.4  | 27.5   | 332    | 32.7   | 115.5 | 3     | 53.1   | 204.7  | 191.2  | 103    | 89    |
| 2000 | 9.7                | 139.6  | 173.3  | 144.7  | 147.3  | 71.6  | 9.7   | 54     | 222.5  | 89.3   | 24.4   | 43    |
| 2001 | 28.3               | 148.5  | 84.4   | 124.5  | 125.1  | 11.3  | 97.9  | 0      | 54.2   | 214    | 70.9   | 269.1 |
| 2002 | 49.8               | 9.8    | 493.93 | 517.1  | 300.1  | 100.9 | 45.7  | 22.9   | 185.7  | 337.3  | 100.8  | 149.5 |
| 2003 | 29.3               | 121.1  | 190.2  | 319.6  | 63     | 50.8  | 47.4  | 7.7    | 149.5  | 126.5  | 101.2  | 26.9  |
| 2004 | 26.1               | 126.3  | 11.5   | 116.7  | 249.1  | 9.7   | 36.1  | 12.9   | 77     | 54.9   | 107    | 84.7  |
| 2005 | 80.7               | 72.9   | 129.2  | 92.9   | 193.4  | 43.36 | 35.56 | 10.96  | 107.51 | 85.96  | 269    | 364   |
| 2006 | 37                 | 12     | 198    | 260    | 131.02 | 77.02 | 35.02 | 9.02   | 138.02 | 117.02 | 248    | 28    |
| 2007 | 15.5               | 0      | 23.1   | 21.2   | 22.7   | 10.6  | 10.1  | 7.7    | 4.4    | 204.4  | 109    | 50    |
| 2008 | 82.3               | 55.9   | 47.1   | 119.9  | 186.33 | 46.3  | 34.5  | 127.9  | 22.7   | 122.13 | 203.4  | 3.7   |
| 2009 | 156.4              | 67.9   | 196.7  | 93.83  | 123.2  | 31.8  | 13.2  | 69.2   | 88.2   | 41.8   | 64.3   | 107.4 |
| 2010 | 5.8                | 0.8    | 6.3    | 189.5  | 261    | 82    | 0     | 35     | 52     | 76     | 176.8  | 75.8  |
| 2011 | 8.9                | 62.5   | 140.7  | 203.2  | 197.4  | 13.53 | 7     | 55.6   | 67.3   | 155.8  | 160.9  | 76.5  |
| 2013 | 52.1               | 108.2  | 85.7   | 174.6  | 155.5  | 52.8  | 13    | 97.9   | 81.4   | 103.6  | 194.6  | 135.1 |
| 2014 | 95.3               | 102.9  | 117.8  | 149.8  | 177.5  | 22.53 | 3.5   | 13.4   | 57.2   | 169    | 123.7  | 105.1 |
| 2015 | 102.6              | 21.2   | 126    | 79.9   | 58.2   | 15.6  | 7.2   | 1      | 81.2   | 121.6  | 80.9   | 0     |
| 2016 | 19.3               | 77.1   | 148.6  | 158.6  | 116.6  | 19.93 | 17.7  | 21.4   | 84.5   | 221.3  | 51     | 55.9  |

Tabla 1 – Datos de precipitación en la localidad de chapinero Carrera 7ma #36-45 Santa Fé, Bogotá.



Se analiza cada uno de los años seleccionados para poder observar el comportamiento de lluvias que se presentó en nuestra zona de estudio.

### TABLAS Y GRÁFICAS DE PRECIPITACIONES CADA AÑO (2000-2016)

| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |       |       |       |       |      |     |      |       |      |      |     |
|------|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|-------|------|------|-----|
|      | ENE                | FEB   | MARZ  | ABR   | MAY   | JUN  | JUL | AGOS | SEPT  | OCT  | NOVI | DIC |
| 2000 | 9.7                | 139.6 | 173.3 | 144.7 | 147.3 | 71.6 | 9.7 | 54   | 222.5 | 89.3 | 24.4 | 43  |

Tabla 2 – Precipitaciones del año 2000

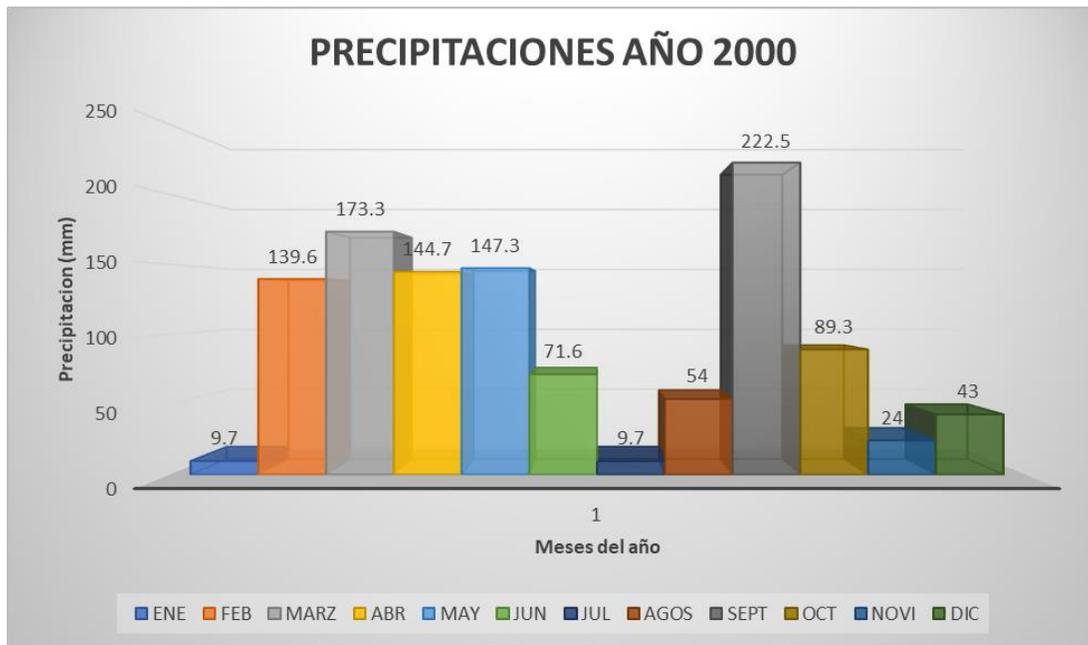
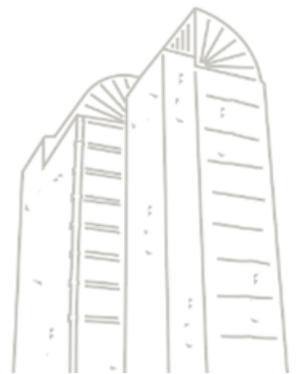


Ilustración 9 - histograma Precipitaciones del año 2000, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 2 se puede observar como en el año 2000 el mes más lluvioso fue el de septiembre con una precipitación de 222.5 mm seguido del mes de marzo y mayo con unas precipitaciones de 173.3 mm y 147.3 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que los meses menos lluviosos fueron enero y julio con una precipitación de 9.7 mm para ambos meses.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |       |      |       |       |      |      |      |      |     |      |       |
|------|--------------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-----|------|-------|
|      | ENE                | FEB   | MARZ | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGOS | SEPT | OCT | NOVI | DIC   |
| 2001 | 28.3               | 148.5 | 84.4 | 124.5 | 125.1 | 11.3 | 97.9 | 0    | 54.2 | 214 | 70.9 | 269.1 |

Tabla 3 - Precipitaciones del año 2001

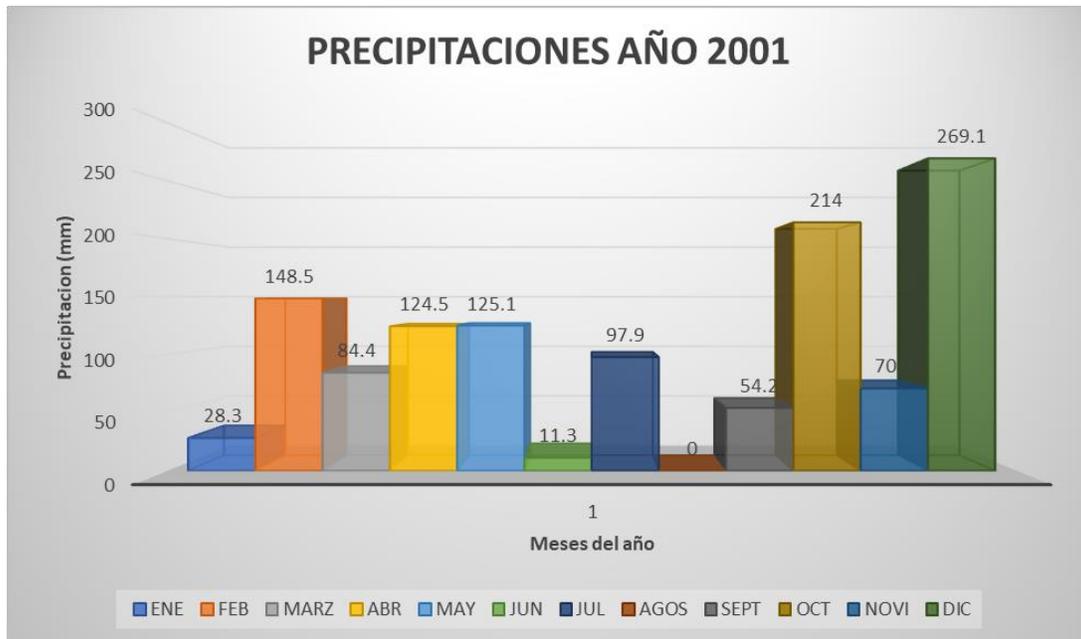
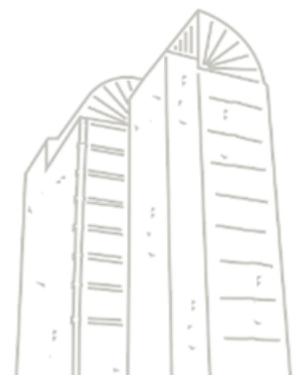


Ilustración 10 - histograma Precipitaciones del año 2001, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 3 se puede observar como en el año 2001 el mes más lluvioso fue el de diciembre con una precipitación de 269.1 mm seguido del mes de octubre y febrero con unas precipitaciones de 214 mm y 148.5 mm respectivamente. Así mismo, se observa que el mes con una menor precipitación fue el de agosto donde no se presentaron lluvias seguido de los meses de junio y enero con unas precipitaciones de 11.3 mm y 28.3 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |     |        |       |       |       |      |      |       |       |       |       |
|------|--------------------|-----|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|      | ENE                | FEB | MARZ   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL  | AGOS | SEPT  | OCT   | NOVI  | DIC   |
| 2002 | 49.8               | 9.8 | 493.93 | 517.1 | 300.1 | 100.9 | 45.7 | 22.9 | 185.7 | 337.3 | 100.8 | 149.5 |

Tabla 4 - Precipitaciones del año 2002

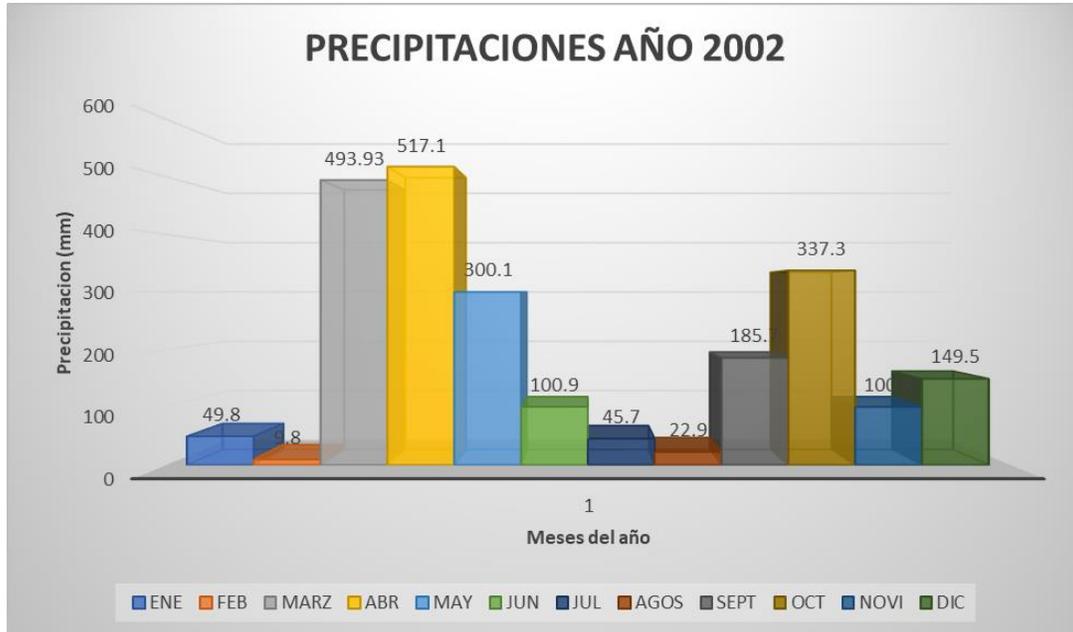
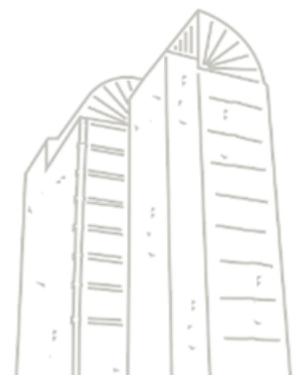


Ilustración 11 - histograma Precipitaciones del año 2002, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 4 se puede observar como en el año 2002 el mes más lluvioso fue el de abril con una precipitación de 517.1 mm seguido del mes de marzo y octubre con unas precipitaciones de 493.93 mm y 337.3 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de febrero con una precipitación de 8 mm, seguido de los meses de agosto y julio con una precipitación de 22.9 mm y 45.7 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |       |       |       |     |      |      |      |       |       |       |      |
|------|--------------------|-------|-------|-------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|------|
|      | ENE                | FEB   | MARZ  | ABR   | MAY | JUN  | JUL  | AGOS | SEPT  | OCT   | NOVI  | DIC  |
| 2003 | 29.3               | 121.1 | 190.2 | 319.6 | 63  | 50.8 | 47.4 | 7.7  | 149.5 | 126.5 | 101.2 | 26.9 |

Tabla 5 - Precipitaciones del año 2003

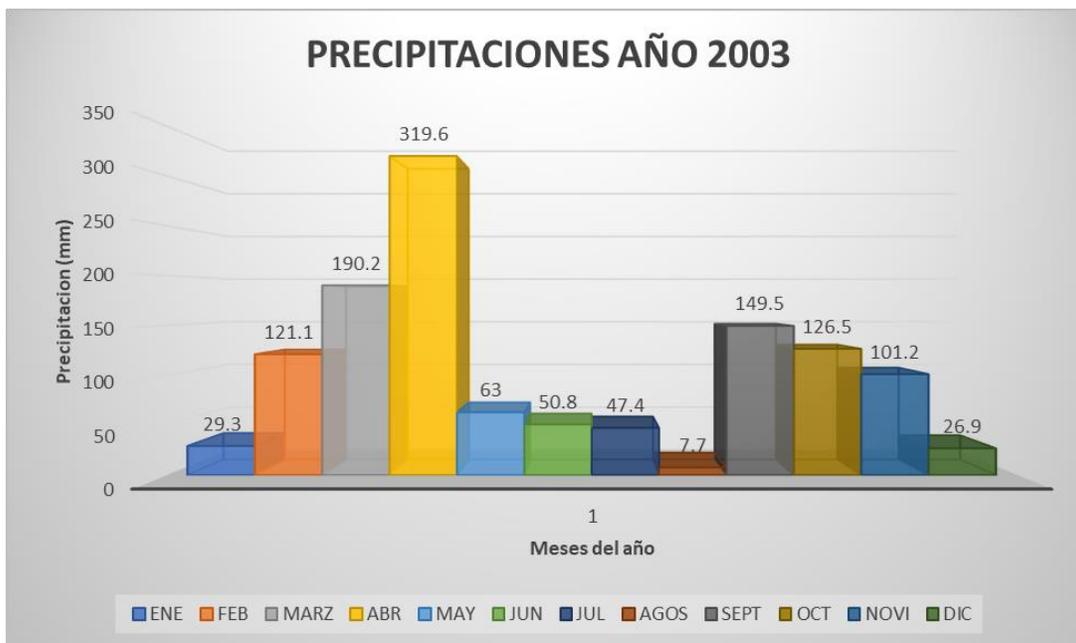


Ilustración 12 - histograma Precipitaciones del año 2003, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 5 se puede observar como en el año 2003 el mes más lluvioso fue el de abril con una precipitación de 319.6 mm seguido del mes de marzo y septiembre con unas precipitaciones de 190.2 mm y 149.5 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de agosto con una precipitación de 7.7 mm, seguido de los meses de diciembre y enero con una precipitación de 26.9 mm y 29.3 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |       |      |       |       |     |      |      |      |      |      |      |
|------|--------------------|-------|------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|
|      | ENE                | FEB   | MARZ | ABR   | MAY   | JUN | JUL  | AGOS | SEPT | OCT  | NOVI | DIC  |
| 2004 | 26.1               | 126.3 | 11.5 | 116.7 | 249.1 | 9.7 | 36.1 | 12.9 | 77   | 54.9 | 107  | 84.7 |

Tabla 6 - Precipitaciones del año 2004

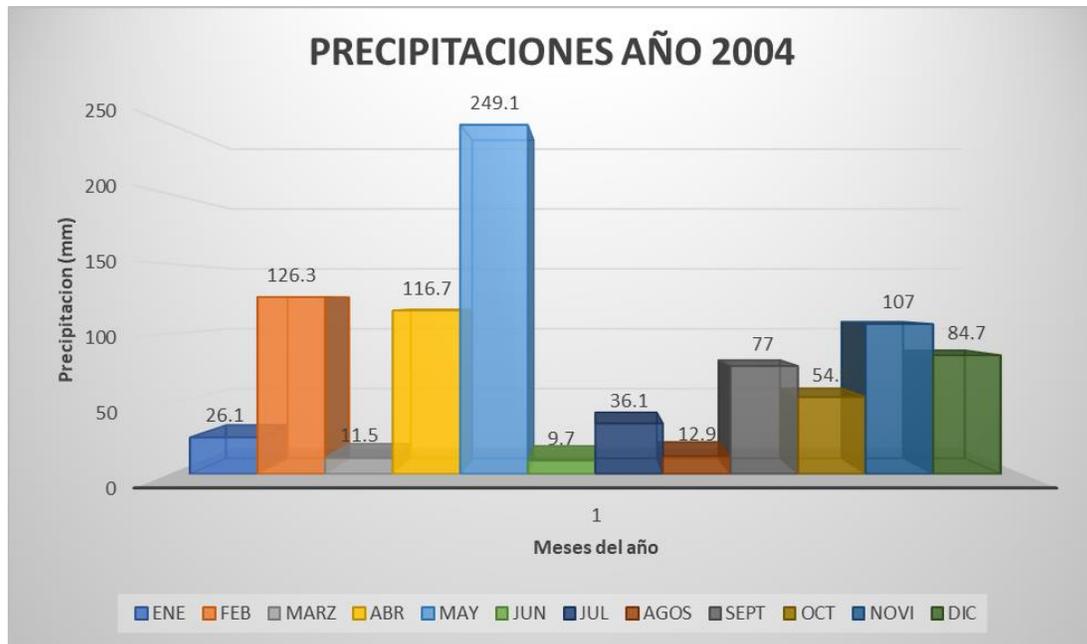
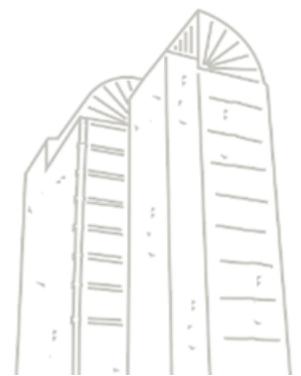


Ilustración 13 - histograma Precipitaciones del año 2004, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 6 se puede observar como en el año 2004 el mes más lluvioso fue el de mayo con una precipitación de 249.1 mm seguido del mes de febrero y mayo con unas precipitaciones de 126.3 mm y 116.7 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de junio con una precipitación de 9.7 mm, seguido de los meses de marzo y agosto con una precipitación de 11.5 mm y 12.9 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |      |       |      |       |       |       |       |        |       |      |     |
|------|--------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-----|
|      | ENE                | FEB  | MARZ  | ABR  | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEPT   | OCT   | NOVI | DIC |
| 2005 | 80.7               | 72.9 | 129.2 | 92.9 | 193.4 | 43.36 | 35.56 | 10.96 | 107.51 | 85.96 | 269  | 364 |

Tabla 7 - Precipitaciones del año 2005

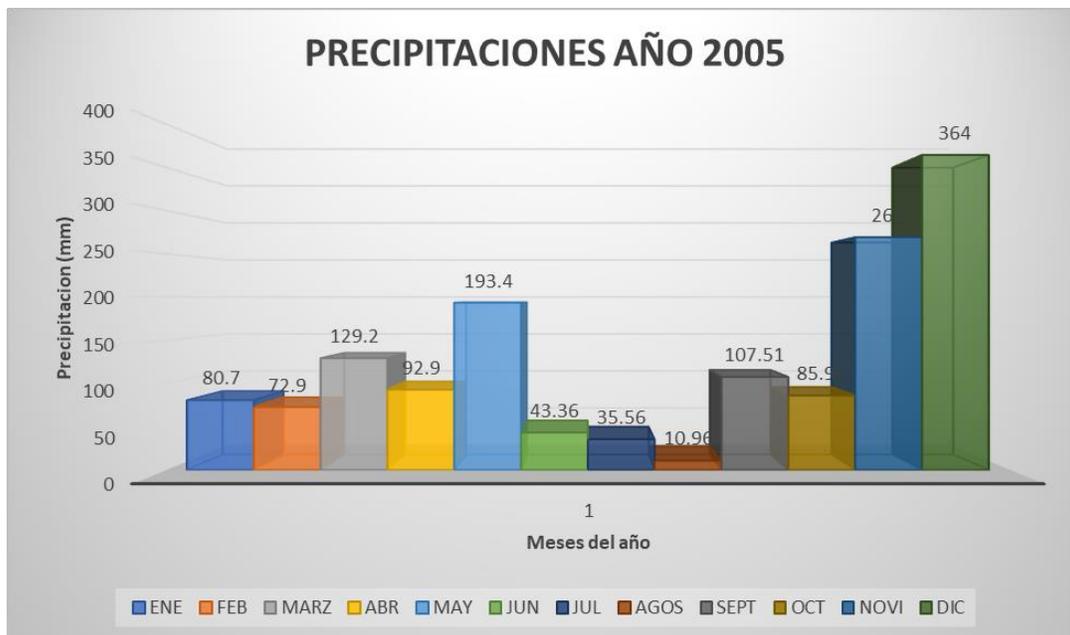


Ilustración 14 - histograma Precipitaciones del año 2005, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 7 se puede observar como en el año 2005 el mes más lluvioso fue el de diciembre con una precipitación de 364 mm seguido del mes de noviembre y mayo con unas precipitaciones de 269 mm y 193.4 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de agosto con una precipitación de 10.96 mm, seguido de los meses de julio y junio con una precipitación de 35.56 mm y 43.36 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |     |      |     |        |       |       |      |        |        |      |     |
|------|--------------------|-----|------|-----|--------|-------|-------|------|--------|--------|------|-----|
|      | ENE                | FEB | MARZ | ABR | MAY    | JUN   | JUL   | AGOS | SEPT   | OCT    | NOVI | DIC |
| 2006 | 37                 | 12  | 198  | 260 | 131.02 | 77.02 | 35.02 | 9.02 | 138.02 | 117.02 | 248  | 28  |

Tabla 8 - Precipitaciones del año 2006

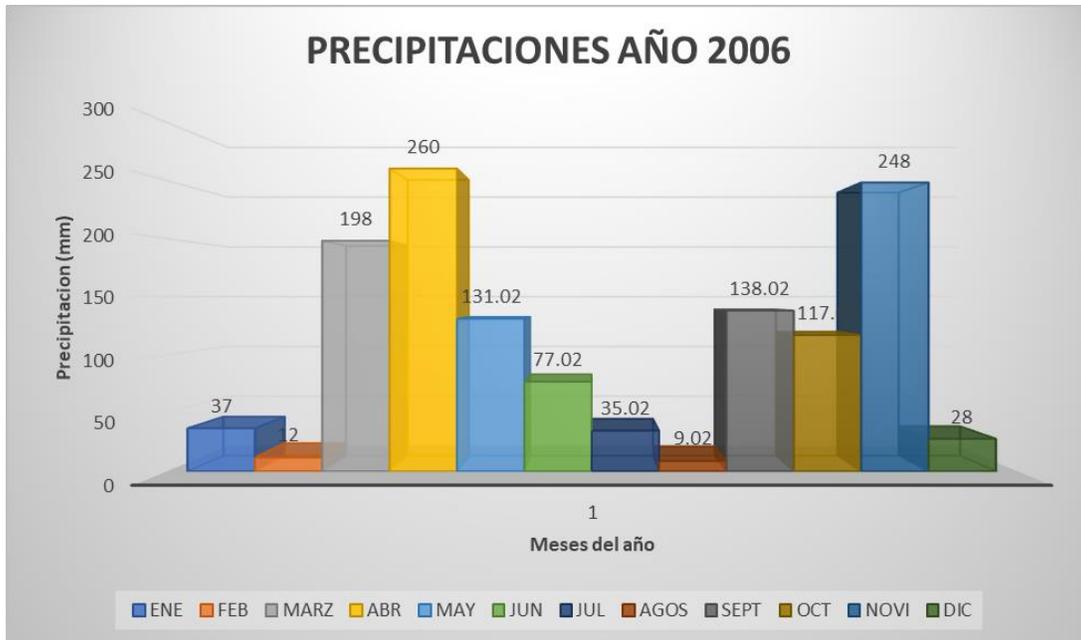
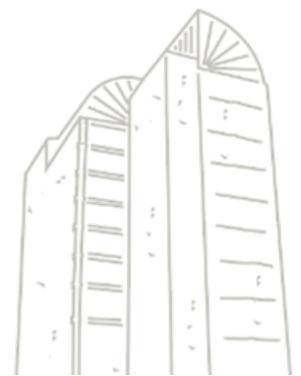


Ilustración 15 - histograma Precipitaciones del año 2006, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 8 se puede observar como en el año 2006 el mes más lluvioso fue el de abril con una precipitación de 260 mm seguido del mes de noviembre y marzo con unas precipitaciones de 248 mm y 198 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de febrero con una precipitación de 2 mm, seguido de los meses de agosto y diciembre con una precipitación de 9.02 mm y 28 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |     |      |      |      |      |      |      |      |       |      |     |
|------|--------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-----|
|      | ENE                | FEB | MARZ | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGOS | SEPT | OCT   | NOVI | DIC |
| 2007 | 15.5               | 0   | 23.1 | 21.2 | 22.7 | 10.6 | 10.1 | 7.7  | 4.4  | 204.4 | 109  | 50  |

Tabla 9 - Precipitaciones del año 2007

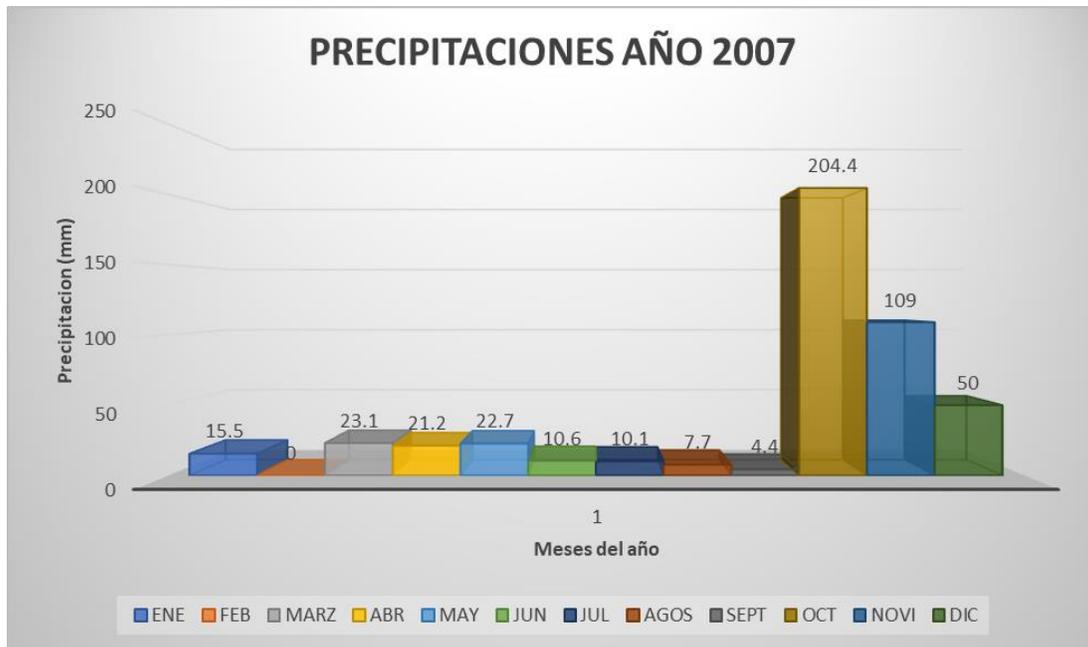


Ilustración 16 - histograma Precipitaciones del año 2007, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 9 se puede observar como en el año 2007 el mes más lluvioso fue el de octubre con una precipitación de 204.4 mm seguido del mes de noviembre y diciembre con unas precipitaciones de 109 mm y 50 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el de febrero donde no se presentaron lluvias seguido de los meses de septiembre y agosto con unas precipitaciones de 4.4 mm y 7.7 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |      |      |       |        |      |      |       |      |        |       |     |
|------|--------------------|------|------|-------|--------|------|------|-------|------|--------|-------|-----|
|      | ENE                | FEB  | MARZ | ABR   | MAY    | JUN  | JUL  | AGOS  | SEPT | OCT    | NOVI  | DIC |
| 2008 | 82.3               | 55.9 | 47.1 | 119.9 | 186.33 | 46.3 | 34.5 | 127.9 | 22.7 | 122.13 | 203.4 | 3.7 |

Tabla 10 - Precipitaciones del año 2008

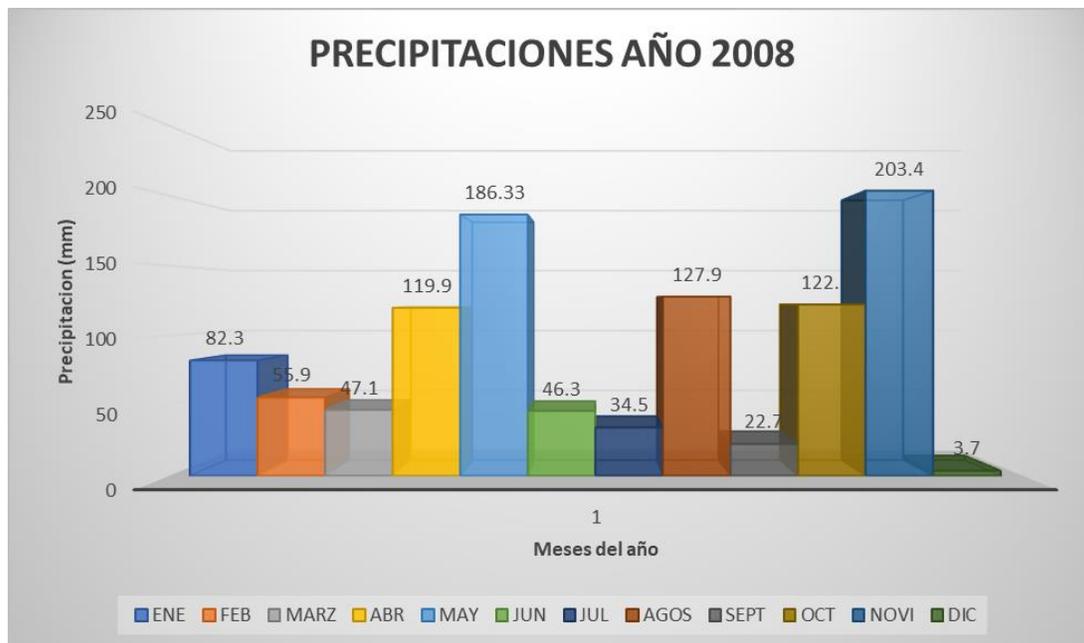


Ilustración 17 - histograma Precipitaciones del año 2008, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 10 se puede observar como en el año 2008 el mes más lluvioso fue el de noviembre con una precipitación de 203.4 mm seguido del mes de mayo y agosto con unas precipitaciones de 186.33 mm y 127.9 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de diciembre con una precipitación de 3.7 mm, seguido de los meses de septiembre y julio con una precipitación de 22.7 mm y 34.5 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |      |       |       |       |      |      |      |      |      |      |       |
|------|--------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
|      | ENE                | FEB  | MARZ  | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGOS | SEPT | OCT  | NOVI | DIC   |
| 2009 | 156.4              | 67.9 | 196.7 | 93.83 | 123.2 | 31.8 | 13.2 | 69.2 | 88.2 | 41.8 | 64.3 | 107.4 |

Tabla 11 - Precipitaciones del año 2009

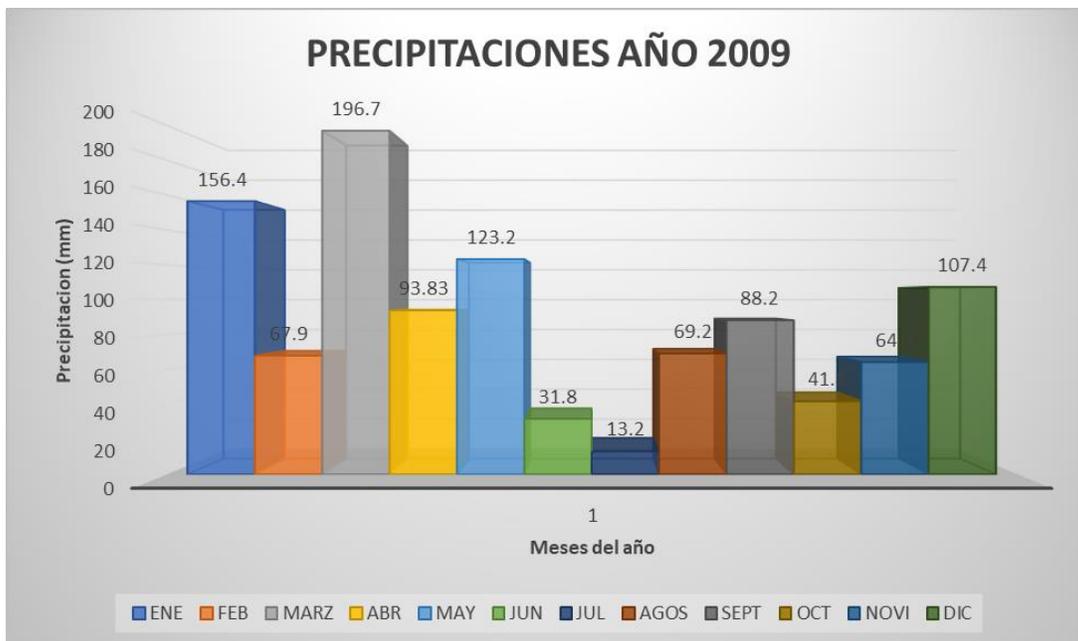


Ilustración 18 - histograma Precipitaciones del año 2009, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 11 se puede observar como en el año 2009 el mes más lluvioso fue el de marzo con una precipitación de 196.7 mm seguido del mes de enero y mayo con unas precipitaciones de 156.4 mm y 123.2 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de julio con una precipitación de 13.2 mm, seguido de los meses de junio y octubre con una precipitación de 31.8 mm y 41.8 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |     |      |       |     |     |     |      |      |     |       |      |
|------|--------------------|-----|------|-------|-----|-----|-----|------|------|-----|-------|------|
|      | ENE                | FEB | MARZ | ABR   | MAY | JUN | JUL | AGOS | SEPT | OCT | NOVI  | DIC  |
| 2010 | 5.8                | 0.8 | 6.3  | 189.5 | 261 | 82  | 0   | 35   | 52   | 76  | 176.8 | 75.8 |

Tabla 12 - Precipitaciones del año 2010

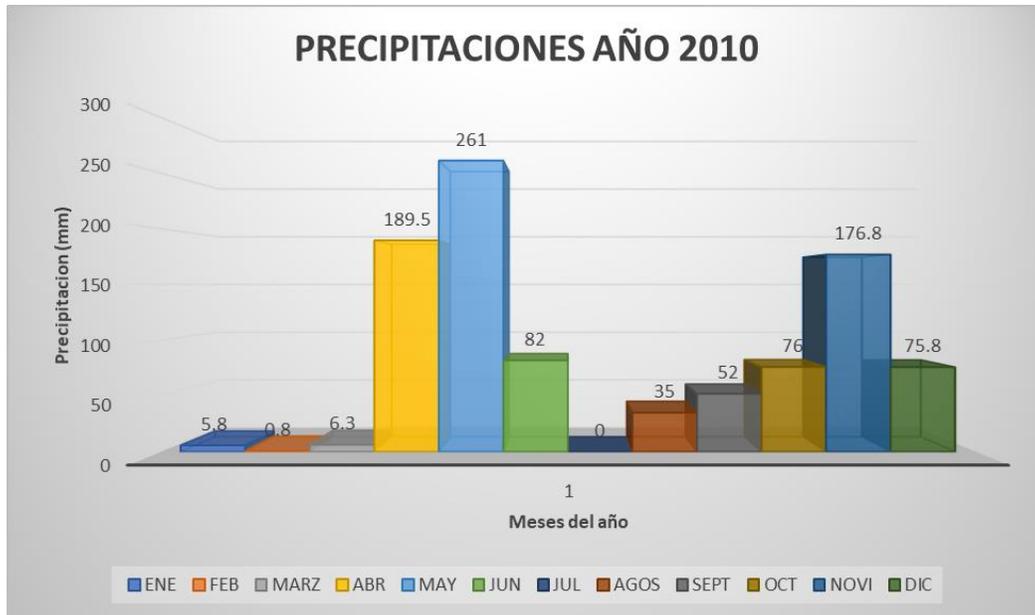
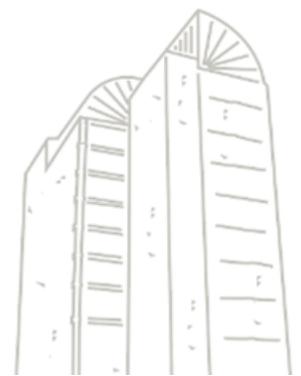


Ilustración 19 - histograma Precipitaciones del año 2010, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 12 se puede observar como en el año 2010 el mes más lluvioso fue el de mayo con una precipitación de 261 mm seguido del mes de abril y noviembre con unas precipitaciones de 189.5 mm y 176.8 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el de julio donde no se presentaron lluvias seguido de los meses de febrero y enero con unas precipitaciones de 0.8 mm y 5.8 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |      |       |       |       |       |     |      |      |       |       |      |
|------|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|-----|------|------|-------|-------|------|
|      | ENE                | FEB  | MARZ  | ABR   | MAY   | JUN   | JUL | AGOS | SEPT | OCT   | NOVI  | DIC  |
| 2011 | 8.9                | 62.5 | 140.7 | 203.2 | 197.4 | 13.53 | 7   | 55.6 | 67.3 | 155.8 | 160.9 | 76.5 |

Tabla 13 - Precipitaciones del año 2011

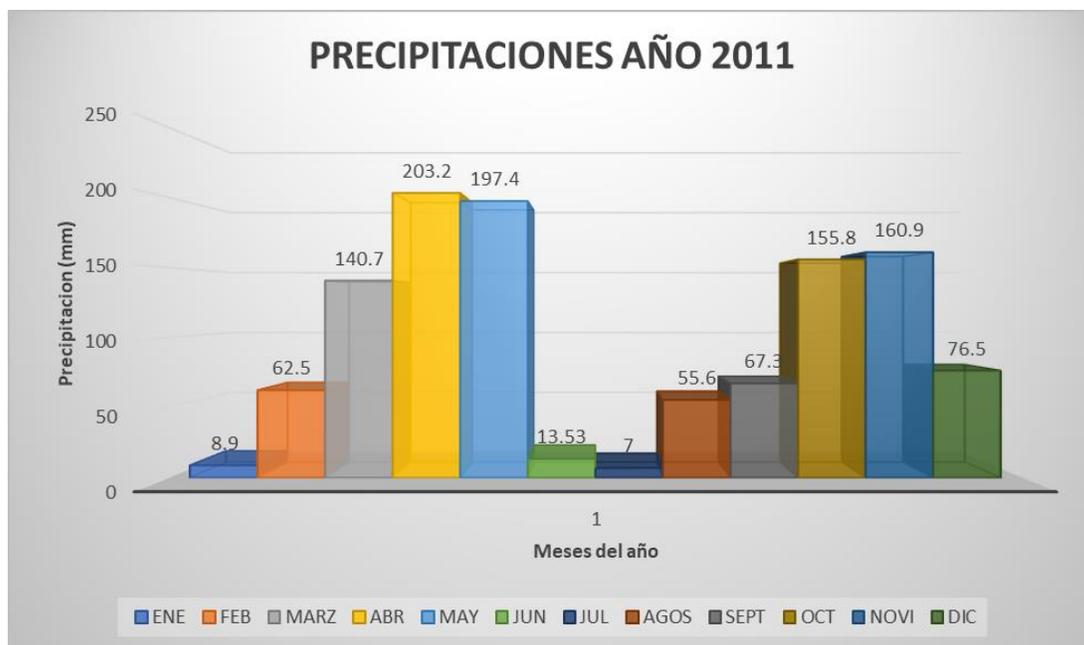


Ilustración 20 - histograma Precipitaciones del año 2011, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 13 se puede observar como en el año 2011 el mes más lluvioso fue el de abril con una precipitación de 203.2 mm seguido del mes de mayo y noviembre con unas precipitaciones de 197.4 mm y 160.9 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de julio con una precipitación de 7 mm, seguido de los meses de enero y junio con una precipitación de 8.9 mm y 13.53 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |       |      |       |       |      |     |      |      |       |       |       |
|------|--------------------|-------|------|-------|-------|------|-----|------|------|-------|-------|-------|
|      | ENE                | FEB   | MARZ | ABR   | MAY   | JUN  | JUL | AGOS | SEPT | OCT   | NOVI  | DIC   |
| 2013 | 52.1               | 108.2 | 85.7 | 174.6 | 155.5 | 52.8 | 13  | 97.9 | 81.4 | 103.6 | 194.6 | 135.1 |

Tabla 14 - Precipitaciones del año 2013

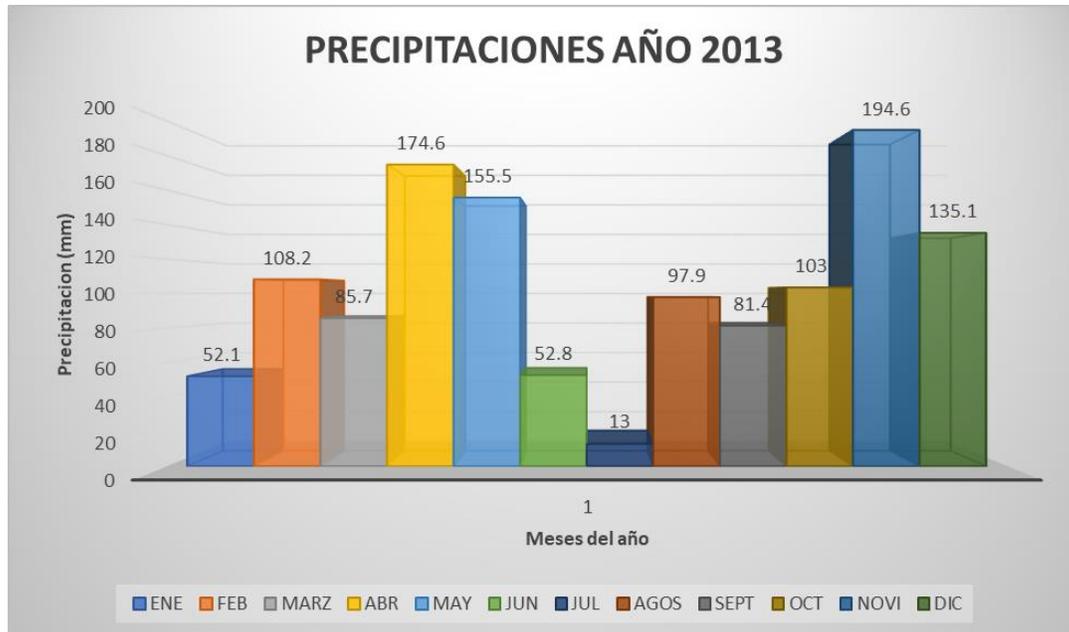


Ilustración 21 - histograma Precipitaciones del año 2013, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 14 se puede observar como en el año 2013 el mes más lluvioso fue el de noviembre con una precipitación de 194.6 mm seguido del mes de abril y mayo con unas precipitaciones de 174.6 mm y 155.5 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de julio con una precipitación de 13 mm, seguido de los meses de enero y junio con una precipitación de 52.1 mm y 52.8 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |       |       |       |       |       |     |      |      |     |       |       |
|------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|------|------|-----|-------|-------|
|      | ENE                | FEB   | MARZ  | ABR   | MAY   | JUN   | JUL | AGOS | SEPT | OCT | NOVI  | DIC   |
| 2014 | 95.3               | 102.9 | 117.8 | 149.8 | 177.5 | 22.53 | 3.5 | 13.4 | 57.2 | 169 | 123.7 | 105.1 |

Tabla 15 - Precipitaciones del año 2014

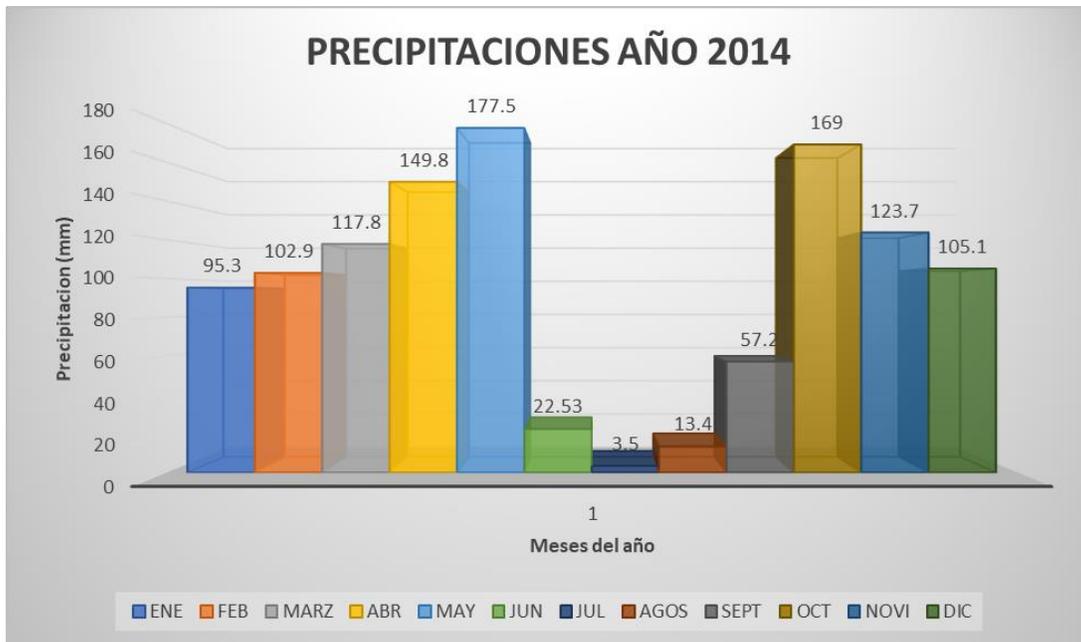
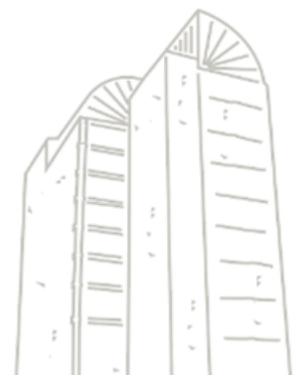


Ilustración 22 - histograma Precipitaciones del año 2014, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 15 se puede observar como en el año 2014 el mes más lluvioso fue el de mayo con una precipitación de 177.5 mm seguido del mes de octubre y abril con unas precipitaciones de 169 mm y 149.8 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de julio con una precipitación de 3.5 mm, seguido de los meses de agosto y junio con una precipitación de 13.4 mm y 22.53 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |      |      |      |      |      |     |      |      |       |      |     |
|------|--------------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|------|-----|
|      | ENE                | FEB  | MARZ | ABR  | MAY  | JUN  | JUL | AGOS | SEPT | OCT   | NOVI | DIC |
| 2015 | 102.6              | 21.2 | 126  | 79.9 | 58.2 | 15.6 | 7.2 | 1    | 81.2 | 121.6 | 80.9 | 0   |

Tabla 16 - Precipitaciones del año 2015

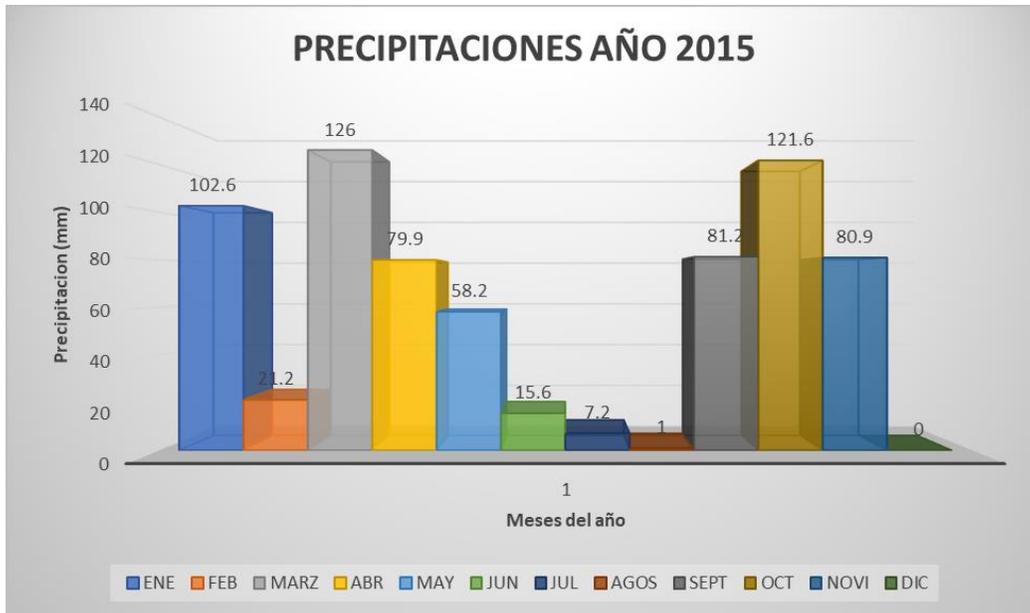
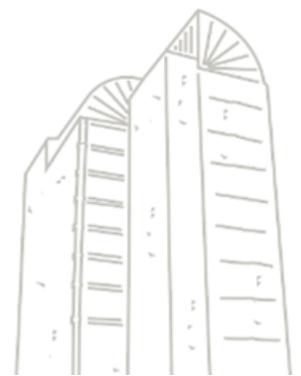


Ilustración 23 - histograma Precipitaciones del año 2015, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 16 se puede observar como en el año 2015 el mes más lluvioso fue el de marzo con una precipitación de 126 mm seguido del mes de octubre y enero con unas precipitaciones de 121.6 mm y 102.6 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el de diciembre donde no se presentaron lluvias seguido de los meses de agosto y julio con unas precipitaciones de 1 mm y 7.2 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |      |       |       |       |       |      |      |      |       |      |      |
|------|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|
|      | ENE                | FEB  | MARZ  | ABR   | MAY   | JUN   | JUL  | AGOS | SEPT | OCT   | NOVI | DIC  |
| 2016 | 19.3               | 77.1 | 148.6 | 158.6 | 116.6 | 19.93 | 17.7 | 21.4 | 84.5 | 221.3 | 51   | 55.9 |

Tabla 17 - Precipitaciones del año 2016

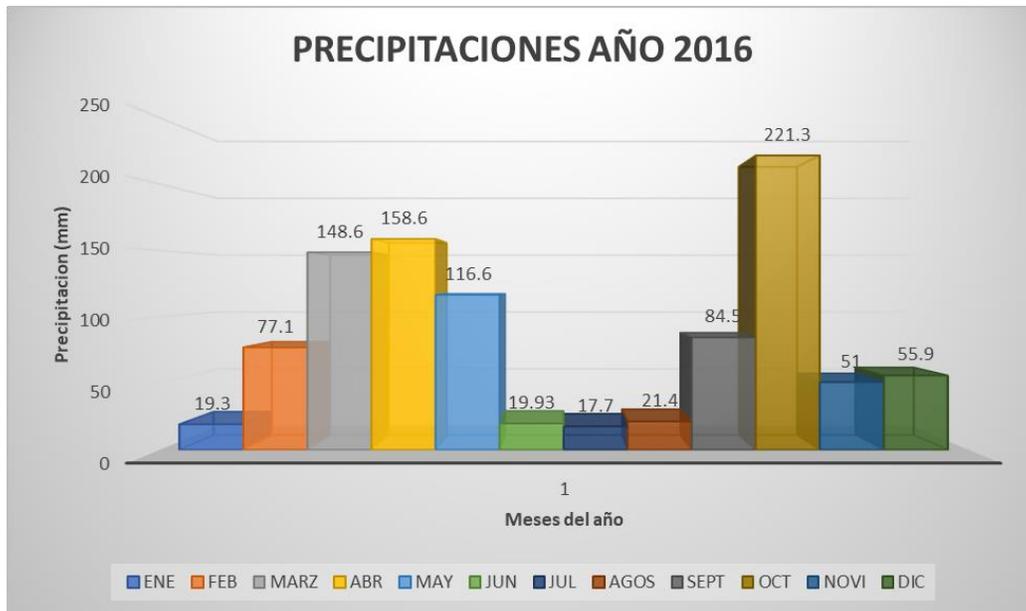
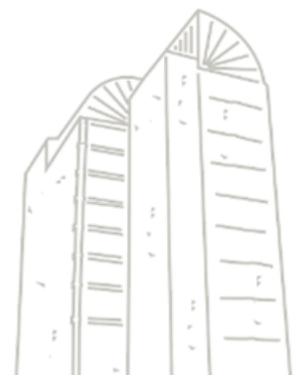


Ilustración 24 – histograma Precipitaciones del año 2016, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 17 se puede observar como en el año 2016 el mes más lluvioso fue el de octubre con una precipitación de 221.3 mm seguido del mes de abril y marzo con unas precipitaciones de 158.6 mm y 148.6 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el mes con una menor precipitación fue el mes de julio con una precipitación de 17.7 mm, seguido de los meses de enero y junio con una precipitación de 19.3 mm y 19.93 mm respectivamente.

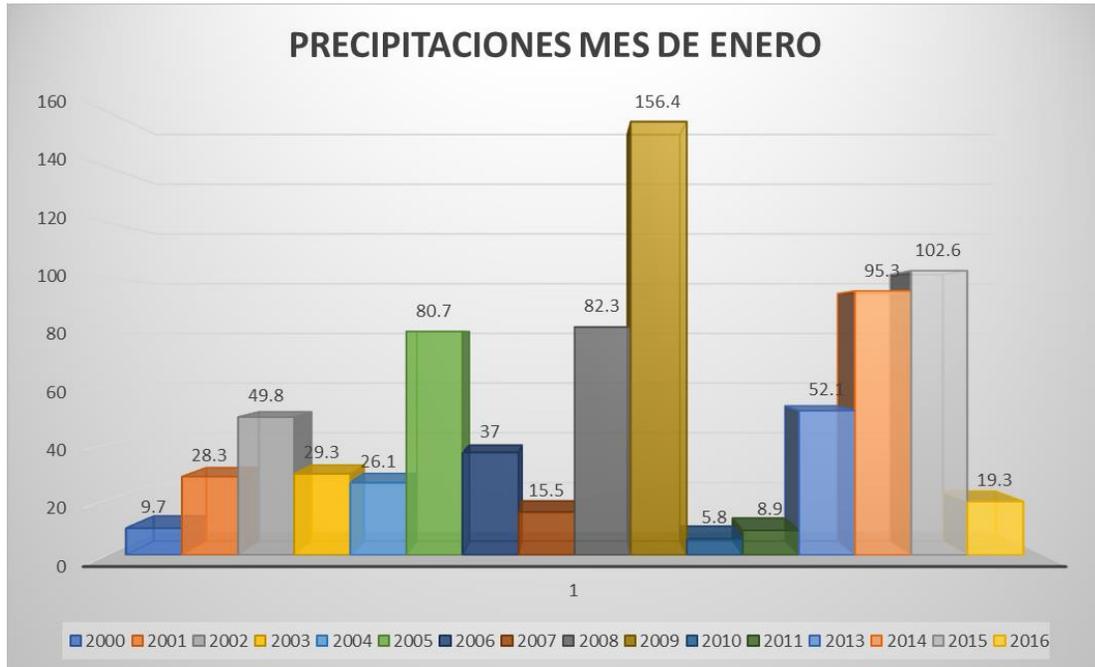
Según los datos meteorológicos de precipitación de nuestra zona a intervenir se realizó un análisis año por año respectivamente del 2000 al 2016, lo que se puede observar es que el año con más precipitación fue el 2002 con un promedio de 445,69 y el año con menos precipitación fue el 2007 con un promedio de 39,89



## TABLAS Y GRAFICAS DE PRECIPITACIONES MES A MES

| AÑO   | PRECIPITACIÓN (mm) |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |       |      |
|-------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|
|       | 2000               | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009  | 2010 | 2011 | 2013 | 2014 | 2015  | 2016 |
| ENERO | 9.7                | 28.3 | 49.8 | 29.3 | 26.1 | 80.7 | 37   | 15.5 | 82.3 | 156.4 | 5.8  | 8.9  | 52.1 | 95.3 | 102.6 | 19.3 |

*Tabla 18 - Precipitaciones del mes de enero*



*Ilustración 25 - histograma Precipitaciones de los meses de enero, fuente propia*

Con los datos obtenidos en la tabla 18 se puede observar como en el mes de enero del año 2009 fue el más lluvioso con una precipitación de 156.4 mm seguido del año 2015 y el 2014 con unas precipitaciones de 102.6 mm y 95.3 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2010 con una precipitación de 5.8 mm, seguido del año 2011 y 2000 con una precipitación de 8.9 mm y 9.7 mm respectivamente.



| AÑO     | PRECIPITACIÓN (mm) |       |      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |      |      |
|---------|--------------------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|
|         | 2000               | 2001  | 2002 | 2003  | 2004  | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2013  | 2014  | 2015 | 2016 |
| FEBRERO | 139.6              | 148.5 | 9.8  | 121.1 | 126.3 | 72.9 | 12   | 0    | 55.9 | 67.9 | 0.8  | 62.5 | 108.2 | 102.9 | 21.2 | 77.1 |

Tabla 19 - Precipitaciones del mes de febrero

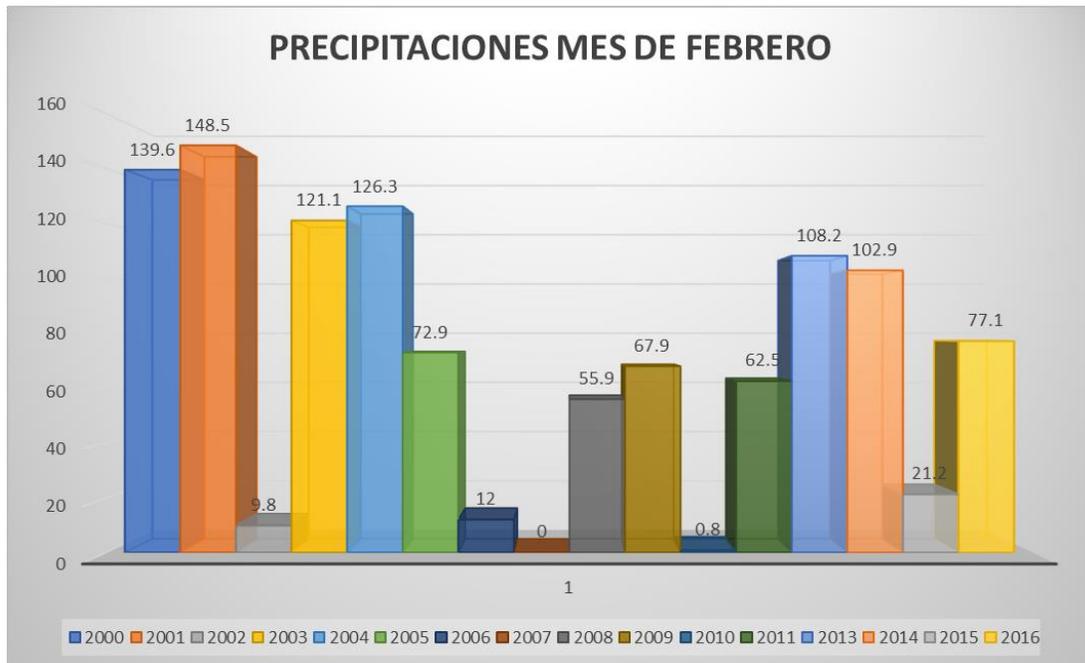
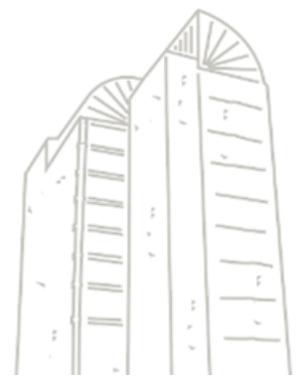


Ilustración 26 - histograma Precipitaciones de los meses de febrero, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 19 se puede observar como en el mes de febrero del año 2001 fue el más lluvioso con una precipitación de 148.5 mm seguido del año 2000 y el 2004 con unas precipitaciones de 139.6 mm y 126.3 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2007 con una precipitación de 0 mm, seguido del año 2010 y 2002 con una precipitación de 0.8 mm y 9.8 mm respectivamente.



| AÑO   | PRECIPITACIÓN (mm) |      |        |       |      |       |      |      |      |       |      |       |      |       |      |       |
|-------|--------------------|------|--------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
|       | 2000               | 2001 | 2002   | 2003  | 2004 | 2005  | 2006 | 2007 | 2008 | 2009  | 2010 | 2011  | 2013 | 2014  | 2015 | 2016  |
| MARZO | 173.3              | 84.4 | 493.93 | 190.2 | 11.5 | 129.2 | 198  | 23.1 | 47.1 | 196.7 | 6.3  | 140.7 | 85.7 | 117.8 | 126  | 148.6 |

Tabla 20 - Precipitaciones del mes de marzo

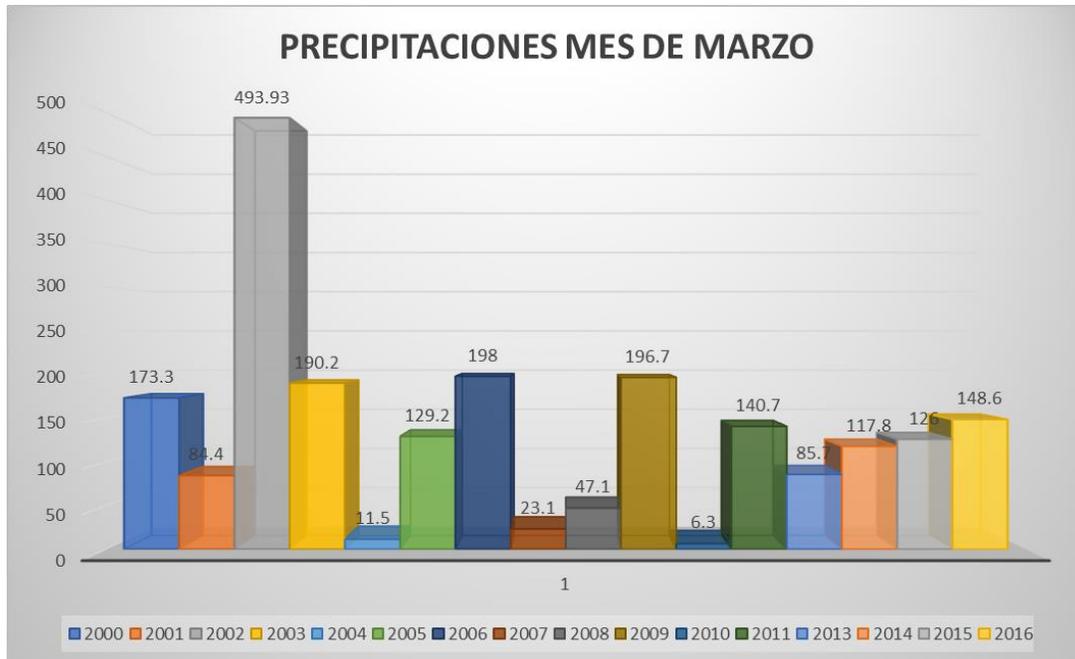
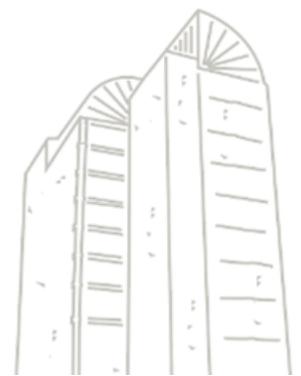


Ilustración 27 - histograma Precipitaciones de los meses de marzo, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 20 se puede observar como en el mes de marzo del año 2002 fue el más lluvioso con una precipitación de 493.93 mm seguido, pero no por mucho del año 2006 y el 2009 con unas precipitaciones de 198mm y 196.7 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2010 con una precipitación de 6.3 mm, seguido del año 2004 y 2007 con una precipitación de 11.5 mm y 23.1 mm respectivamente.



| AÑO   | PRECIPITACIÓN (mm) |       |       |       |       |      |      |      |       |       |       |       |       |       |      |       |
|-------|--------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|       | 2000               | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005 | 2006 | 2007 | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2013  | 2014  | 2015 | 2016  |
| ABRIL | 144.7              | 124.5 | 517.1 | 319.6 | 116.7 | 92.9 | 260  | 21.2 | 119.9 | 93.83 | 189.5 | 203.2 | 174.6 | 149.8 | 79.9 | 158.6 |

Tabla 21 - Precipitaciones del mes de abril

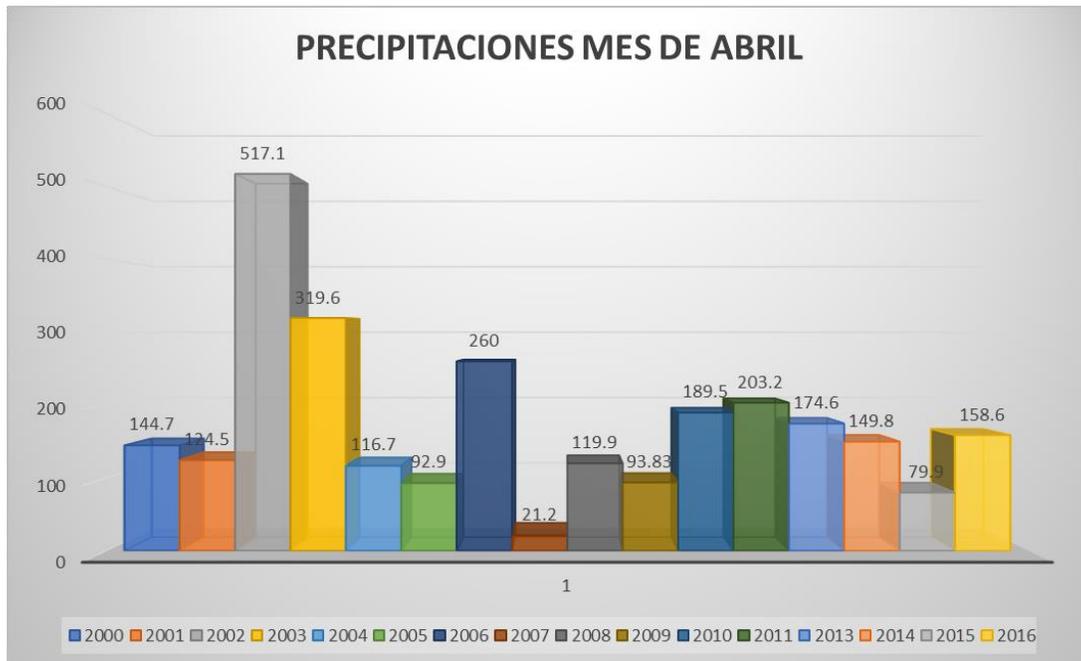
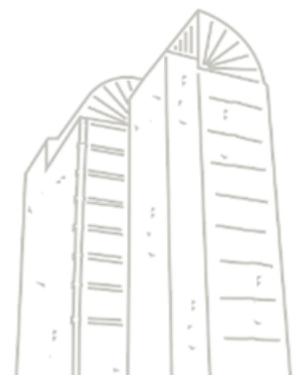


Ilustración 28 - histograma Precipitaciones de los meses de abril, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 21 se puede observar como en el mes de abril del año 2002 fue el más lluvioso con una precipitación de 517.1 mm seguido, pero no por mucho del año 2003 y el 2006 con unas precipitaciones de 319.6 mm y 260 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2007 con una precipitación de 21.2 mm, seguido del año 2015 y 2009 con una precipitación de 79.9 mm y 93.83 mm respectivamente.



| AÑO  | PRECIPITACIÓN (mm) |       |       |      |       |       |        |      |        |       |      |       |       |       |      |       |
|------|--------------------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------|--------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|
|      | 2000               | 2001  | 2002  | 2003 | 2004  | 2005  | 2006   | 2007 | 2008   | 2009  | 2010 | 2011  | 2013  | 2014  | 2015 | 2016  |
| MAYO | 147.3              | 125.1 | 300.1 | 63   | 249.1 | 193.4 | 131.02 | 22.7 | 186.33 | 123.2 | 261  | 197.4 | 155.5 | 177.5 | 58.2 | 116.6 |

Tabla 22 - Precipitaciones del mes de mayo

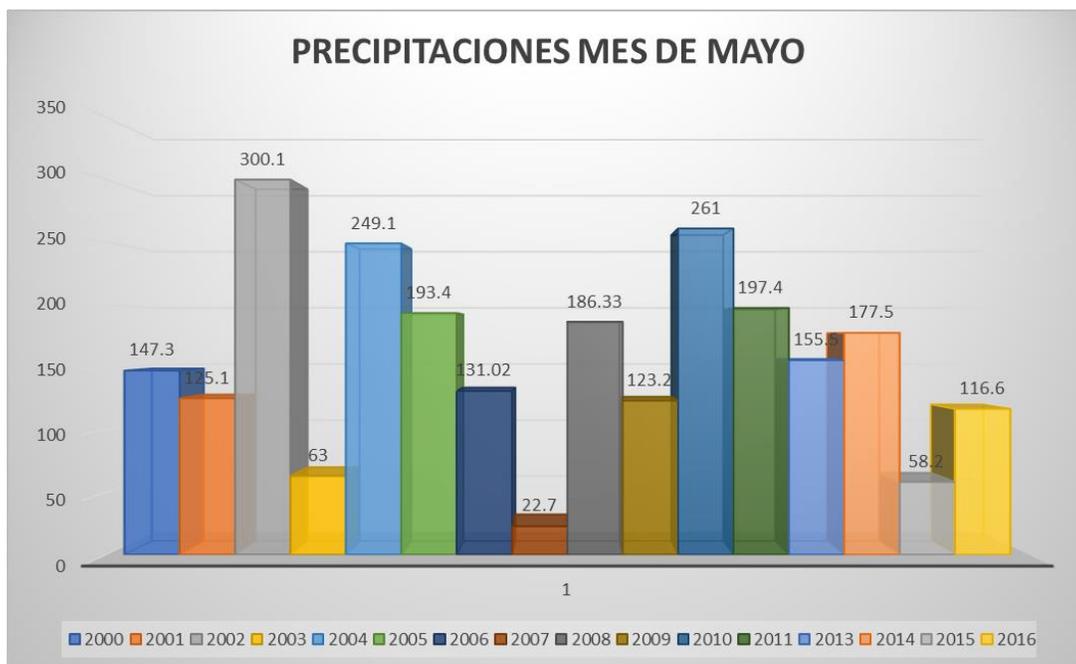


Ilustración 29 - histograma Precipitaciones de los meses de mayo, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 22 se puede observar como en el mes de mayo del año 2002 fue el más lluvioso con una precipitación de 300.1 mm seguido del año 2010 y el 2004 con unas precipitaciones de 261 mm y 249.1mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2007 con una precipitación de 22.7 mm, seguido del año 2015 y 2003 con una precipitación de 58.2 mm y 63 mm respectivamente.



| AÑO   | PRECIPITACIÓN (mm) |      |       |      |      |       |       |      |      |      |      |       |      |       |      |       |
|-------|--------------------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|
|       | 2000               | 2001 | 2002  | 2003 | 2004 | 2005  | 2006  | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011  | 2013 | 2014  | 2015 | 2016  |
| JUNIO | 71.6               | 11.3 | 100.9 | 50.8 | 9.7  | 77.02 | 77.02 | 10.6 | 46.3 | 31.8 | 82   | 13.53 | 52.8 | 22.53 | 15.6 | 19.93 |

Tabla 23 - Precipitaciones del mes de junio

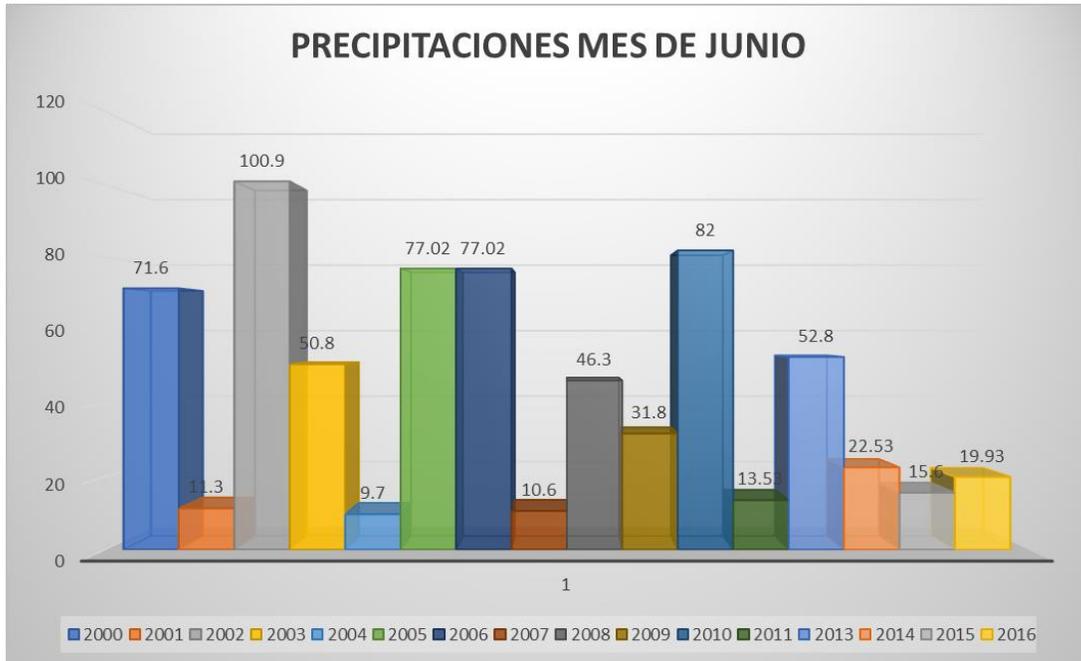
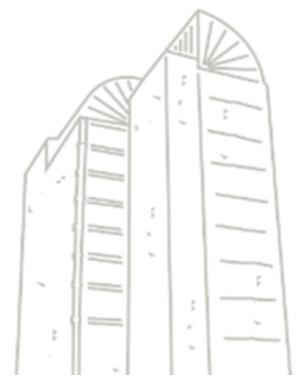


Ilustración 30 - histograma Precipitaciones de los meses de junio, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 23 se puede observar como en el mes de junio del año 2002 fue el más lluvioso con una precipitación de 100.9 mm seguido del año 2010, 2005 y 2006 ya que estos dos (2005 y 2006) tienen la misma precipitación las cuales son de 82 mm y 77.02 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2004 con una precipitación de 9.7 mm, seguido del año 2007 y 2001 con una precipitación de 10.6 mm y 11.3 mm respectivamente.



| AÑO   | PRECIPITACIÓN (mm) |      |      |      |      |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|--------------------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 2000               | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005  | 2006  | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| JULIO | 9.7                | 97.9 | 45.7 | 47.4 | 36.1 | 35.02 | 35.02 | 10.1 | 34.5 | 13.2 | 0    | 7    | 13   | 3.5  | 7.2  | 17.7 |

Tabla 24 - Precipitaciones del mes de julio

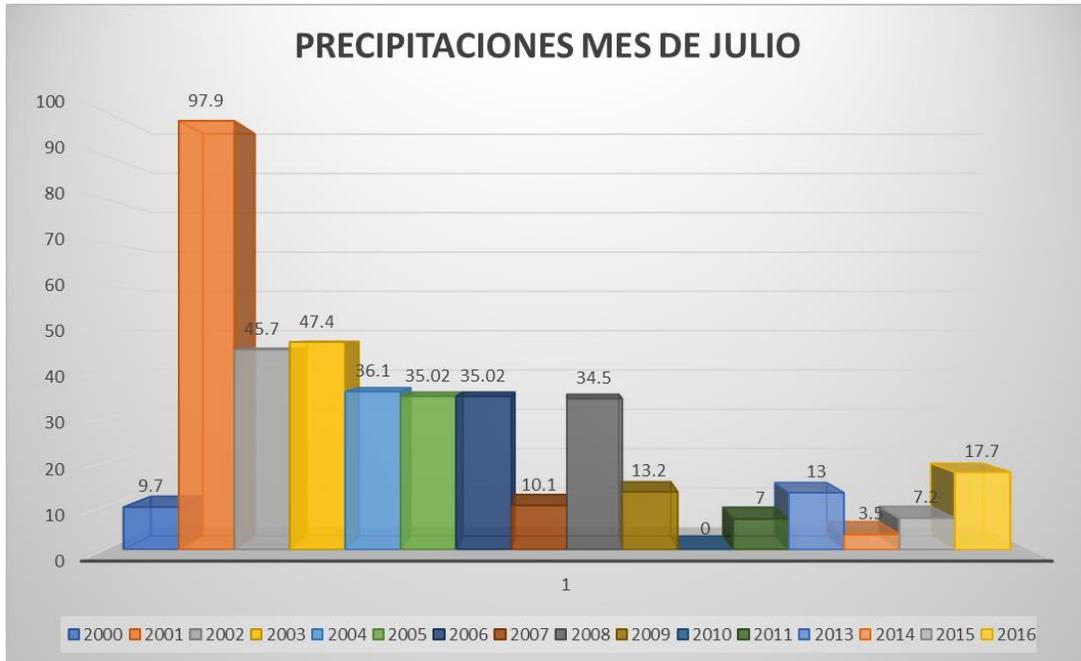
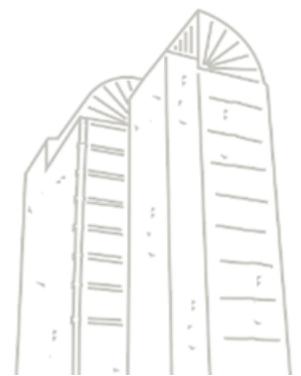


Ilustración 31 - histograma Precipitaciones de los meses de julio, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 24 se puede observar como en el mes de julio del año 2001 fue el más lluvioso con una precipitación de 97.9 mm seguido, pero no por mucho del año 2003 y el 2002 con unas precipitaciones de 47.4 mm y 45.7 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2010 con una precipitación de 0 mm, seguido del año 2014 y 2011 con una precipitación de 3.5 mm y 7 mm respectivamente.



| AÑO    | PRECIPITACIÓN (mm) |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | 2000               | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008  | 2009 | 2010 | 2011 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| AGOSTO | 54                 | 0    | 22.9 | 7.7  | 12.9 | 9.02 | 9.02 | 7.7  | 127.9 | 69.2 | 35   | 55.6 | 97.9 | 13.4 | 1    | 21.4 |

Tabla 25 - Precipitaciones del mes de agosto

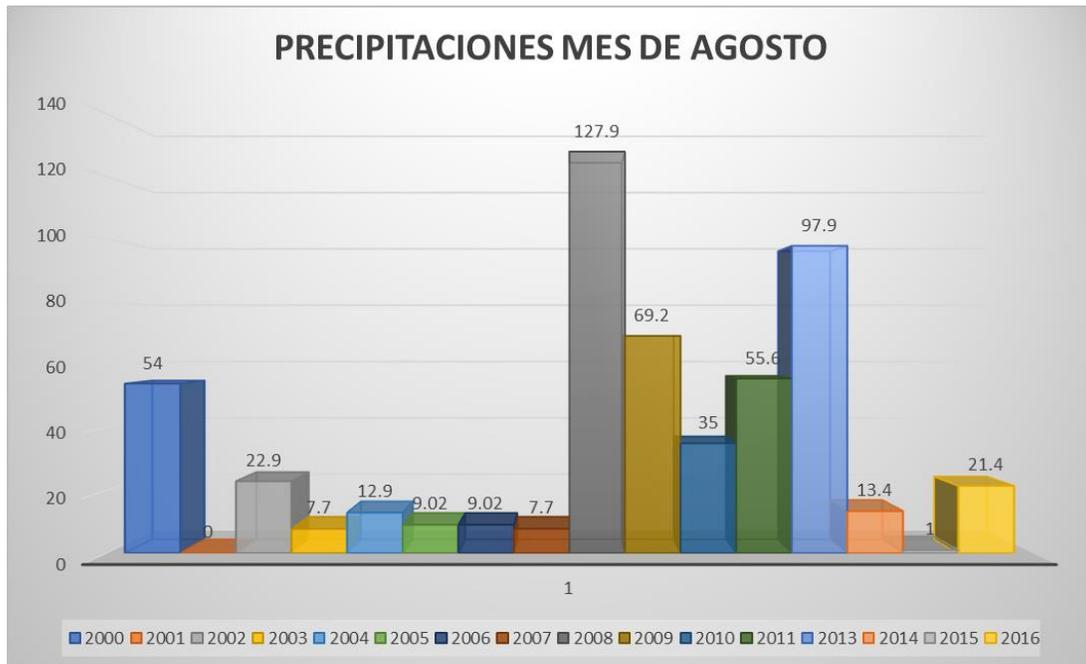


Ilustración 32 - histograma Precipitaciones de los meses de agosto, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 25 se puede observar como en el mes de agosto del año 2008 fue el más lluvioso con una precipitación de 127.9 mm seguido, pero no por mucho del año 2013 y el 2009 con unas precipitaciones de 97.9 mm y 69.2 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2001 con una precipitación de 0 mm, seguido del año 2015 y 2003 con una precipitación de 1 mm y 7.7 mm respectivamente.



| AÑO        | PRECIPITACIÓN (mm) |      |       |       |      |        |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|--------------------|------|-------|-------|------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | 2000               | 2001 | 2002  | 2003  | 2004 | 2005   | 2006   | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| SEPTIEMBRE | 222.5              | 54.2 | 185.7 | 149.5 | 77   | 138.02 | 138.02 | 4.4  | 22.7 | 88.2 | 52   | 67.3 | 81.4 | 57.2 | 81.2 | 84.5 |

Tabla 26 - Precipitaciones del mes de septiembre

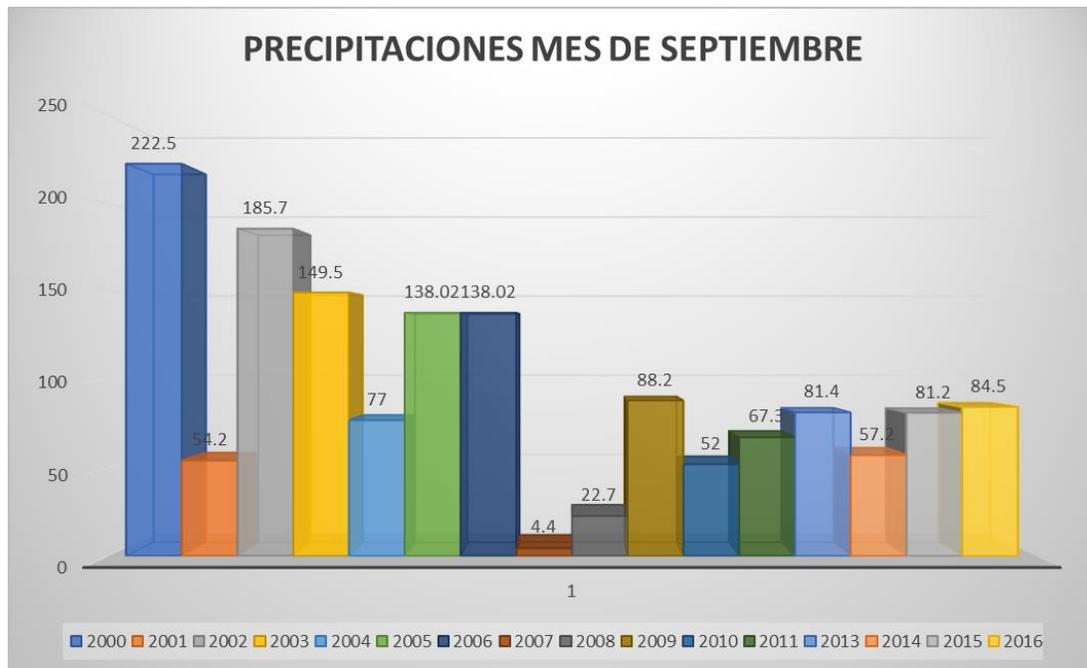
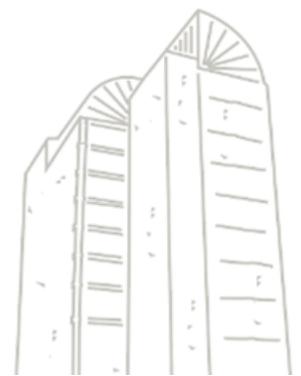


Ilustración 33 - histograma Precipitaciones de los meses de septiembre, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 26 se puede observar como en el mes de septiembre del año 2000 fue el más lluvioso con una precipitación de 222.5 mm seguido del año 2002 y el 2003 con unas precipitaciones de 185.7 mm y 149.5 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2007 con una precipitación de 4.4 mm, seguido del año 2008 y 2010 con una precipitación de 22.7 mm y 52 mm respectivamente.



| AÑO     | PRECIPITACIÓN (mm) |      |       |       |      |        |        |       |        |      |      |       |       |      |       |       |
|---------|--------------------|------|-------|-------|------|--------|--------|-------|--------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|
|         | 2000               | 2001 | 2002  | 2003  | 2004 | 2005   | 2006   | 2007  | 2008   | 2009 | 2010 | 2011  | 2013  | 2014 | 2015  | 2016  |
| OCTUBRE | 89.3               | 214  | 337.3 | 126.5 | 54.9 | 117.02 | 117.02 | 204.4 | 122.13 | 41.8 | 76   | 155.8 | 103.6 | 169  | 121.6 | 221.3 |

Tabla 27 - Precipitaciones del mes de octubre

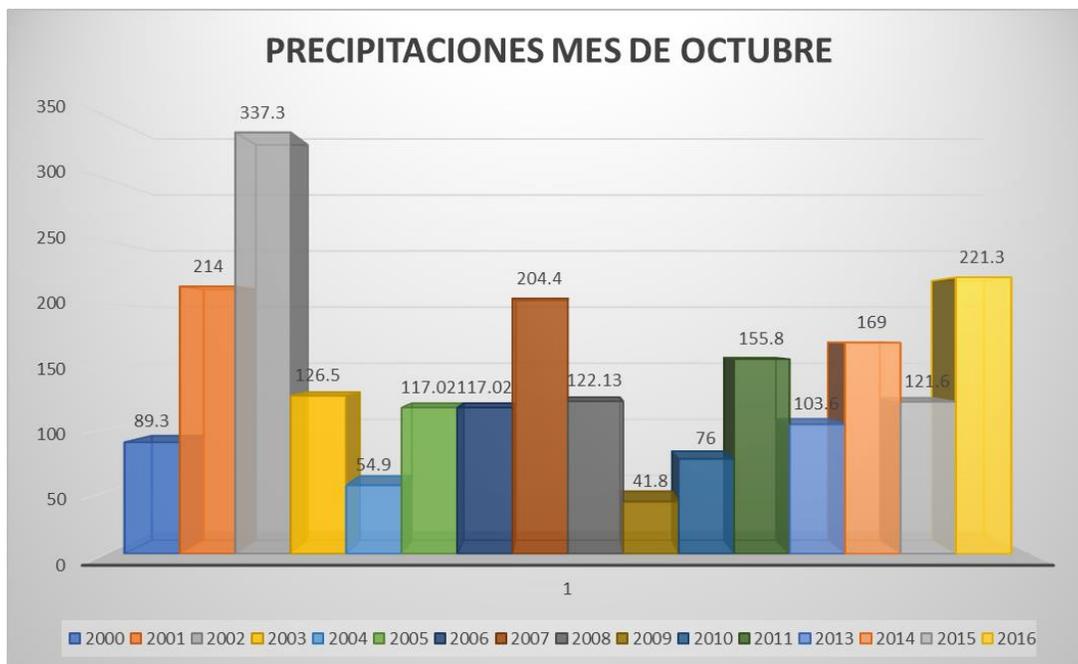
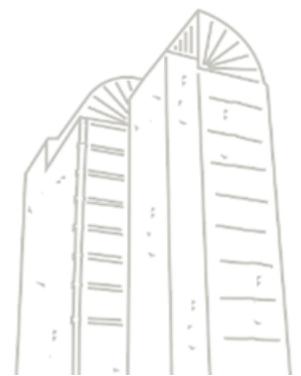


Ilustración 34 - histograma Precipitaciones de los meses de octubre, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 27 se puede observar como en el mes de octubre del año 2002 fue el más lluvioso con una precipitación de 337.3 mm seguido del año 2016 y el 2001 con unas precipitaciones de 221.3 mm y 204.8 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2009 con una precipitación de 41,8 mm, seguido del año 2004 y 2010 con una precipitación de 54.9 mm y 76 mm respectivamente.



| AÑO       | PRECIPITACIÓN (mm) |      |       |       |      |      |      |      |       |      |       |       |       |       |      |      |
|-----------|--------------------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
|           | 2000               | 2001 | 2002  | 2003  | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008  | 2009 | 2010  | 2011  | 2013  | 2014  | 2015 | 2016 |
| NOVIEMBRE | 24.4               | 70.9 | 100.8 | 101.2 | 107  | 269  | 248  | 109  | 203.4 | 64.3 | 176.8 | 160.9 | 194.6 | 123.7 | 80.9 | 51   |

Tabla 28 - Precipitaciones del mes de noviembre

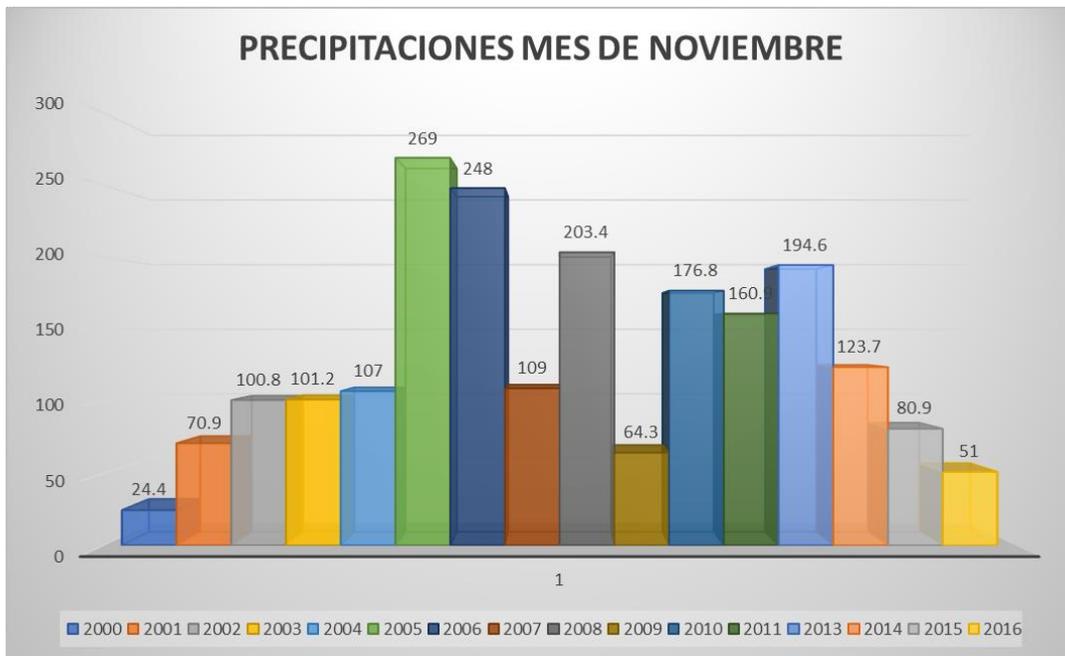


Ilustración 35 - histograma Precipitaciones de los meses de noviembre, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 28 se puede observar como en el mes de noviembre del año 2005 fue el más lluvioso con una precipitación de 269 mm seguido del año 2006 y el 2008 con unas precipitaciones de 248 mm y 203.4 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2000 con una precipitación de 24,4 mm, seguido del año 2016 y 2009 con una precipitación de 51 mm y 64.3 mm respectivamente.



| AÑO       | PRECIPITACIÓN (mm) |       |       |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |      |      |
|-----------|--------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|------|------|
|           | 2000               | 2001  | 2002  | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009  | 2010 | 2011 | 2013  | 2014  | 2015 | 2016 |
| DICIEMBRE | 43                 | 269.1 | 148.5 | 26.9 | 84.7 | 364  | 28   | 50   | 3.7  | 107.4 | 75.8 | 76.5 | 135.1 | 105.1 | 0    | 55.9 |

Tabla 29 - Precipitaciones del mes de diciembre

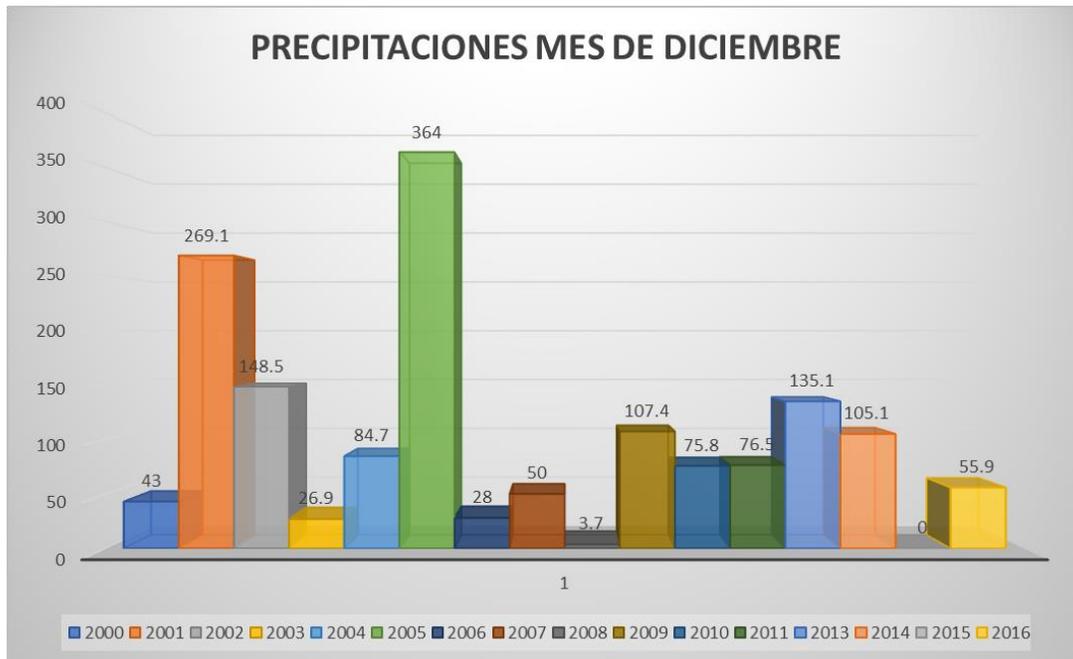
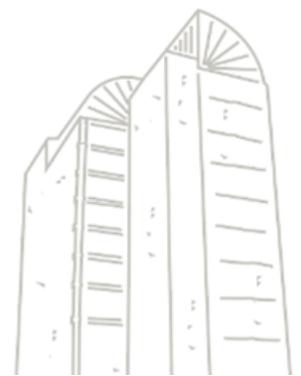


Ilustración 36 - histograma Precipitaciones de los meses de diciembre, fuente propia

Con los datos obtenidos en la tabla 29 se puede observar como en el mes de diciembre del año 2005 fue el más lluvioso con una precipitación de 364 mm seguido del año 2001 y el 2002 con unas precipitaciones de 269.1 mm y 148.5 mm respectivamente. Así mismo, se puede observar que el año con una menor precipitación fue el 2015 con una precipitación de 0 mm, seguido del año 2008 y 2003 con una precipitación de 3.7 mm y 28 mm respectivamente.

Según los datos meteorológicos de precipitación de la zona a intervenir se realizó un análisis mes a mes del 2000 al 2016, lo que se pudo observar es que el mes con más precipitación fue en abril del 2002 con un promedio de 517.1 y los meses con menos precipitación fueron febrero, julio, agosto y diciembre con un promedio de 0



## MODELACIÓN DE INUNDACIÓN EN EPA SWMM

Para este apartado se utilizará el programa EPA SWMM en su versión 5.1, este es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, el cual se puede utilizar para realizar simulaciones de un solo evento o simulaciones continuas en periodos extendidos. Así que, teniendo en cuenta los datos de precipitación que se obtendrán más adelante, se realizara una simulación de inundación para la zona de estudio para verificar que la propuesta de la implementación de los techos verdes en este lugar.

“El módulo de escorrentía o hidrológico de SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía. El módulo de transporte o hidráulico de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores. Asimismo, SWMM es capaz de seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada cuenca, así como el caudal, el nivel de agua en los pozos o la calidad del agua en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.” ((EPA), 2005).

## RECONOCIMIENTO DEL SOFTWARE

Una vez se cuente con el software se ejecutan con un doble clic, después de esto lo arrojará a una pantalla en la cual será la interfaz principal (ver ilustración 37), donde se encuentran los variados menús en los que se podrá navegar y las diferentes herramientas que proporciona este aplicativo.

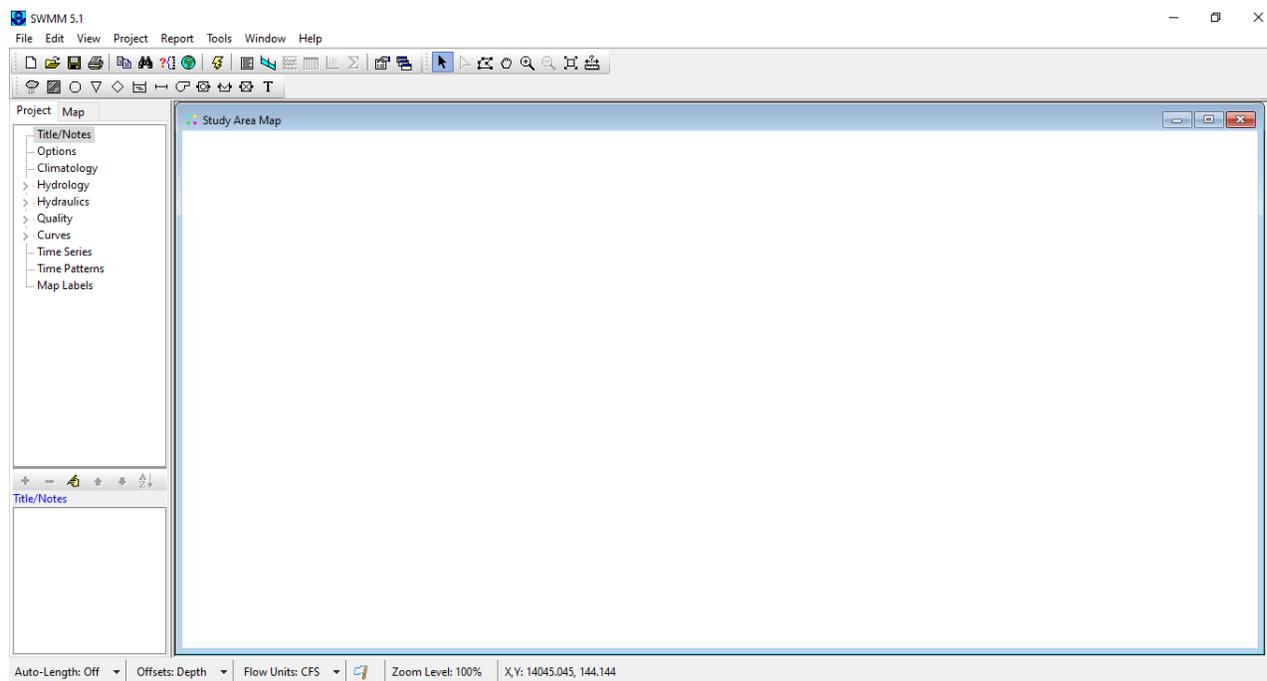


Ilustración 37 – interfaz principal de EPASWMM 5.1, fuente propia



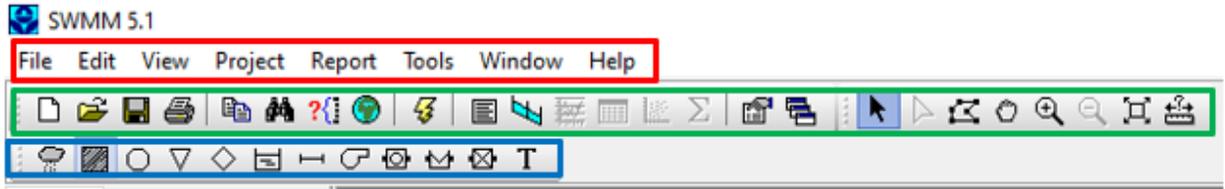


Ilustración 38 – Barra de herramientas EPASWMM 5.1, Fuente propia.

Se va a dividir esta barra de herramientas en 3 partes, en la primera parte la cual se encuentra en el recuadro de color rojo podremos encontrar los principales accesos del programa, en donde se podrá abrir, editar, guardar y configurar nuestros proyectos con los diferentes valores que tendremos que ingresar a el programa para poder realizar las diferentes modelaciones que nos permite el software.

En el segundo recuadro de color verde, podremos encontrar de igual manera accesos rápidos para realizar comandos como abrir, guardar y crear nuevos proyectos, pero además de esto se encontrarán botones que permitirán interactuar con nuestra ventana principal (ver ilustración 39), los cuales permitirá ejecutar las diferentes modelaciones, acercar o alejar los objetos adicionados, moverse en las diferentes ventanas en las que se estén trabajando entre otros.

Por último en el recuadro de color azul, se podrá encontrar una columna de herramientas en el cual se pueden modelar pluviómetros, los cuales determinan la intensidad de la tormenta, subcuencas, que corresponden a las áreas en las que se genera la escorrentía, los nudos, que son puntos que determinan las cotas de las tuberías al inicio y al final de su longitud, también permite introducir elementos como bombas o tanques para contar con una mejor modelación y podremos darle a cada uno de estos elementos valores variables para cada modelación a realizar.

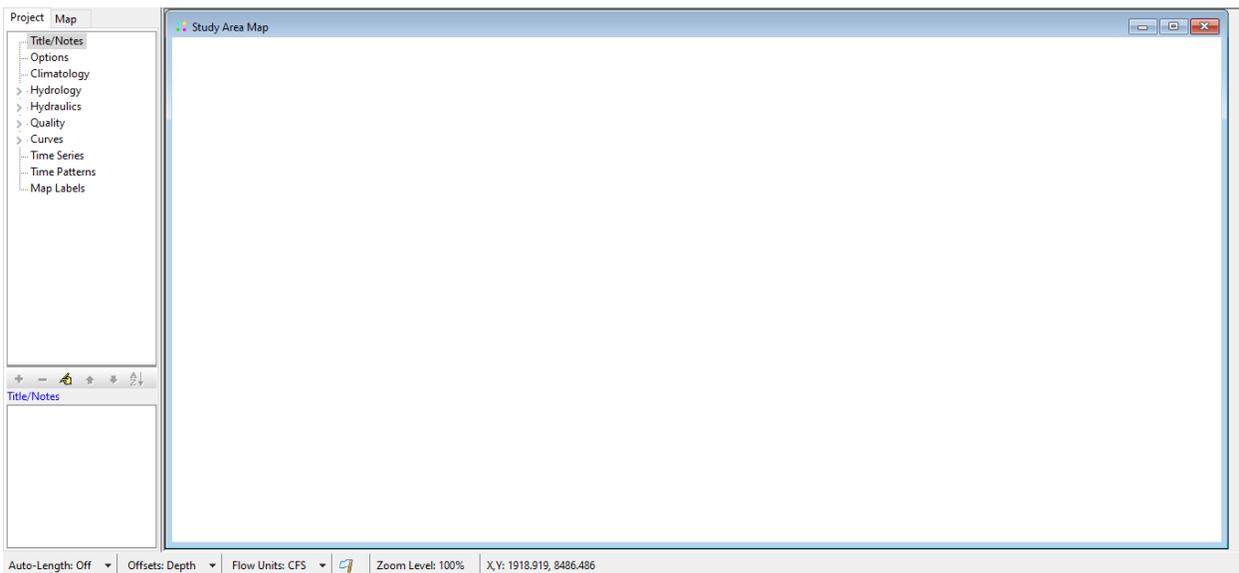


Ilustración 39 – Study Area Map EPASWMM 5.1, Fuente propia.

En esta parte de la interfaz se encuentra una ventana en blanco, la cual permitirá realizar las modelaciones, permitirá ingresar los elementos antes mencionados y además de esto permitirá ingresar mapas o imágenes de nuestras zonas de estudio para realizar una mejor modelación de



forma gráfica y al lado de esta ventana se encuentra la opción donde se consideran las características climatológicas, hidrológicas, hidráulicas, de calidad, entre otras, para simular las 79 condiciones del entorno de la modelación.

## MODELACIÓN TECHO VERDE

Para este paso se realizarán las modelaciones de inundación con los datos de precipitación obtenidos de la CAR, se realizarán dos modelaciones una con los datos referentes al techo actual y la segunda con los datos si se implementara el techo verde en el área de estudio para de esta manera mostrar la diferencia que tendría la implementación de este.

“En el programa SWMM las subcuencas representan áreas de terreno, las cuales al recibir precipitación la convierten en escorrentía o la infiltran, que posteriormente se drena a un punto de descarga” (BEJARANO, 2016), para este caso se tiene una sola subcuenca la cual será representada como el área de estudio, a continuación se muestra el procedimiento para ingresar los diferentes datos para nuestra modelación tanto para nuestra zona de estudio actualmente y con techo verde.

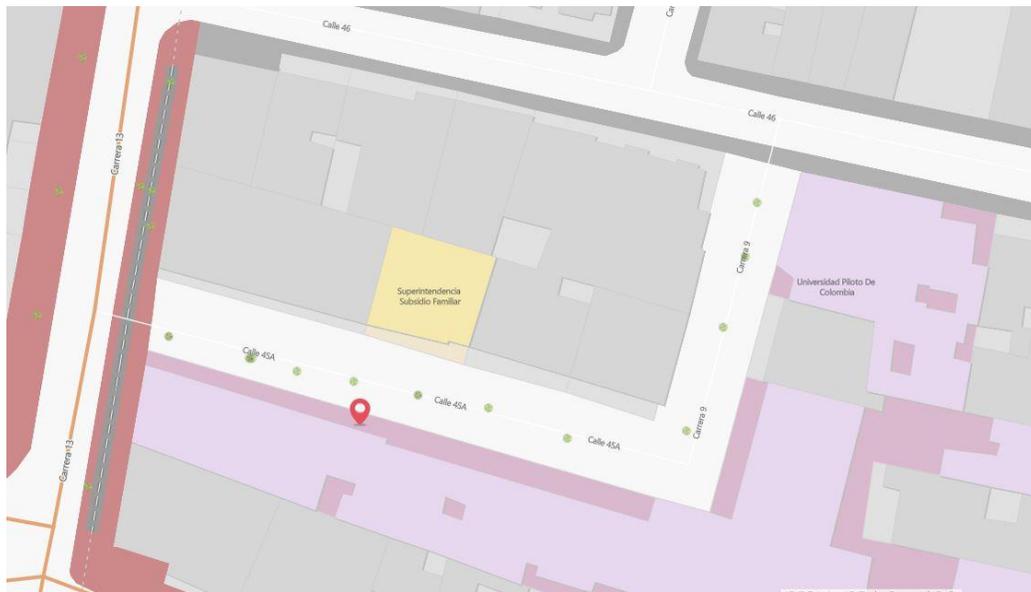
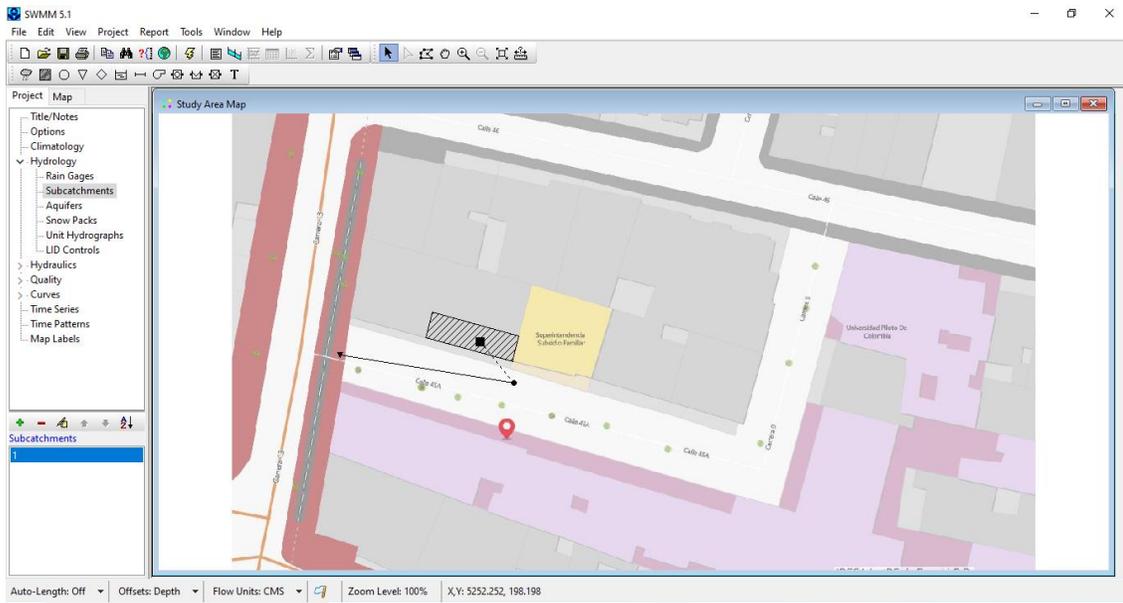


Ilustración 40 – Mapa ubicación zona de estudio, Fuente: Mapas Bogotá.

Teniendo en cuenta que la subcuenca será nuestra zona de estudio se procede a realizar la representación gráfica en el software teniendo en cuenta que se utilizarán las zonas de descargas los pozos de inspección que se encuentran más cercanos los cuales se encuentran al frente del edificio “S” por el paso peatonal de la calle 45ª, en la ventana del programa se coloca como fondo de pantalla un mapa de la ubicación del proyecto, con base en esta imagen (ilustración 41) se dibuja la subcuenca (ver ilustración 40), después de esto se procede a ingresar los datos tanto para el techo actual y el techo verde.

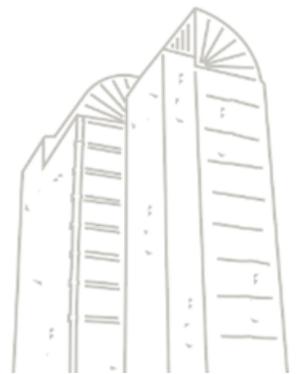




*Ilustración 41 – ubicación subcuena y pozos de inspección, Fuente propia.*

## **ZONA DE ESTUDIO CON TECHO ACTUAL.**

Una vez se seleccione la subcuena dibujada en el software se abrirá una ventana (ver ilustración 42) donde pedirá que se ingresen los siguientes datos.



| Subcatchment TECHO |              |
|--------------------|--------------|
| Property           | Value        |
| Name               | TECHO        |
| X-Coordinate       | 1837.838     |
| Y-Coordinate       | 4993.694     |
| Description        |              |
| Tag                |              |
| Rain Gage          | LLUVIA       |
| Outlet             | 2            |
| Area               | 0.0136317    |
| Width              | 19.09        |
| % Slope            | 2            |
| % Imperv           | 100          |
| N-Imperv           | 0.012        |
| N-Perv             | 0            |
| Dstore-Imperv      | 0            |
| Dstore-Perv        | 0            |
| %Zero-Imperv       | 100          |
| Subarea Routing    | OUTLET       |
| Percent Routed     | 0            |
| Infiltration Data  | GREEN_AM ... |
| Groundwater        | NO           |
| Snow Pack          |              |
| LID Controls       | 0            |
| Land Uses          | 0            |
| Initial Buildup    | NONE         |
| Curb Length        | 0            |
| N-Perv Pattern     |              |
| Dstore Pattern     |              |

Ilustración 42 – Datos solicitados por el software EPA SWMM para modelación de subcuenca, Fuente propia

En la tabla se encontrarán dos columnas con los siguientes nombres Property (Propiedad) el cual hace referencia todos los valores o parámetros que nos pide el programa para la modelación y la segunda columna Value (Valor) el cual hace referencia al valor de la propiedad solicitada.

La primera propiedad que se encuentra es “Name” (Nombre), el cual hace referencia al nombre que se quiera colocar para la subcuenca, este valor podrá ser cualquiera seleccionado por el usuario, después se encontrara el valor “X-coordinate” (coordenada X) y el valor “Y-coordinate” (coordenada Y) que se interpretan como la localización en el eje X y Y respectivamente en el plano de trabajo.



Los siguientes valores que se encontraran son “Description” (Descripción) y “Tag” (Marca), estos valores son opcionales y simplemente sirven para realizar un comentario, descripción, categorización o clasificación de nuestra subcuenca, los siguientes valores que se encontraran los explicaremos más detalladamente a continuación.

- **RAIN CAGE (PLUVIÓMETRO).**

Este es un indicador de lluvia, que muestra la intensidad de precipitación en el área afectada. Para la subcuenca se asignará un pluviómetro, ya que esta herramienta tiene la función de convertir el agua lluvia en escorrentía y verterlas a los pozos de inspección.

- **OUTLET (DESCARGA).**

Este es el nudo al cual se direcciona la escorrentía generada por la subcuenca. Para este caso se a la descarga de la subcuenca se dirige al pozo de inspección más cercano que como se dijo y se muestra en la ilustración 41 se encuentra ubicada en el paso peatonal de la calle 45<sup>a</sup>.

- **ÁREA.**

Corresponde al área de la subcuenca, que en este caso es el techo ubicado en el edificio “S” de la Universidad Piloto de Colombia, este valor debe ser ingresado al programa como unidad métrica de hectárea el cual para nuestra zona de estudios es de 0.0136317 He.

- **WIDTH (ANCHO).**

Es la anchura característica del flujo debido a la escorrentía superficial dada en metros. Este valor hace referencia a la longitud perpendicular del techo por donde fluye el agua lluvia. Para este caso tenemos un valor de 19.09m.

- **%SLOPE (PENDIENTE %)**

Este valor indica la pendiente de la superficie del techo, la cual no puede ser “menor al 2%” (Nieto, 2011). Para este caso al ser una terraza escogeremos la inclinación mínima correspondiente al 2%.

- **%IMPERV (IMPERMEABLE %)**

Este valor hace referencia al área impermeable de nuestra zona estudio expresado en porcentaje, que para el primer caso sería del 100%, puesto que la totalidad del caudal de las aguas lluvias, llegan a la calle y posteriormente al alcantarillado o zona de descarga.

- **N-IMPERV (COEFICIENTE n (IMPERMEABLE))**

Para este caso el techo se encuentra en un acabado de mortero el cual se encuentra en una condición buena y teniendo en cuenta la tabla 30 la cual nos entrega los valores correspondientes al coeficiente de Manning, de diferentes materiales el valor que corresponde es de 0.012 el cual corresponde a “superficies aplanadas con mortero de cemento”.



- **N-PERV (COEFICIENTE n (PERMEABLE)).**

En este caso también se debe introducir un valor de Coeficiente n para, para la zona permeable de la terraza, pero en este caso la cubierta no cuenta con una zona permeable ya que toda la superficie es de mortero, así que se colocara “0” en este valor.

| Superficie   | Condiciones de las paredes |        |          |       |
|--|----------------------------|--------|----------|-------|
|  | Perfectas                  | Buenas | Medianas | Malas |
| Tubería hierro forjado negro comercial               | 0.012                      | 0.013  | 0.014    | 0.015 |
| Tubería fierro forjado galvanizado comercial         | 0.013                      | 0.014  | 0.015    | 0.017 |
| Tubería de latón o vidrio                            | 0.009                      | 0.010  | 0.011    | 0.013 |
| Tubería acero remachado en espiral                   | 0.013                      | 0.015* | 0.017*   |       |
| Tubería de barro vitrificado                         | 0.010                      | 0.013* | 0.015    | 0.017 |
| Tubos comunes de barro para drenaje                  | 0.011                      | 0.012* | 0.014*   | 0.017 |
| Tabique vidriado                                     | 0.011                      | 0.012  | 0.013    | 0.015 |
| Tabique con mortero de cemento; albañales de tabique | 0.012                      | 0.013  | 0.015*   | 0.017 |
| Superficies de cemento pulido                        | 0.010                      | 0.011  | 0.012    | 0.013 |
| Superficies aplanadas con mortero de cemento         | 0.011                      | 0.012  | 0.013*   | 0.015 |
| Tuberías de concreto                                 | 0.012                      | 0.013  | 0.015*   | 0.016 |
| Tuberías de duela                                    | 0.010                      | 0.011  | 0.012    | 0.013 |
| <i>Acueductos de tablón:</i>                         |                            |        |          |       |
| Labrado  | 0.010                      | 0.012* | 0.013    | 0.014 |
| Sin labrar   | 0.011                      | 0.013* | 0.014    | 0.015 |
| Con astillas   | 0.012                      | 0.015* | 0.016    |       |
| Canales revestidos con concreto                      | 0.012                      | 0.014* | 0.016*   | 0.018 |
| Superficie de mampostería con cemento                | 0.017                      | 0.020  | 0.025    | 0.030 |
| Superficie de mampostería en seco                    | 0.025                      | 0.030  | 0.033    | 0.035 |
| Acueducto semicirculares metálicos, lisos            | 0.011                      | 0.012  | 0.013    | 0.015 |
| Acueducto semicirculares                             | 0.0225                     | 0.025  | 0.0275   | 0.030 |

Tabla 30 – Valores de n dados por Horton, Fuente: Libro Cálculos hidrológicos e hidráulicos, (Villón, 2012)

- **DSTORE-IMPERV (ALMACENAMIENTO EN DEPRESIÓN IMPERMEABLE).**

Según la agencia de protección ambiental el almacenamiento en depresión el máximo almacenamiento en superficie debido a la inundación del terreno, el mojado superficial la superficie del terreno y los caudales interceptados en la escorrentía superficial por irregularidades del terreno” (Ambiental., 2005).

Existen unos valores recomendados que se utilizan para el almacenamiento de depresión los cuales se muestran en la tabla 31, para este caso se utilizara el valor de 0 para el almacenamiento en depresión, ya que, se tiene una superficie lisa en la zona de estudio, no existen presencia de



láminas de agua acumuladas. Puesto que se están trabajando superficies impermeables en esta sección no se involucra el almacenamiento en depresión permeable.

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| Superficie impermeable | 1,25 – 2,5 mm |
| Césped y hierba        | 2,5 – 5 mm    |
| Pastos y prados        | ≈5 mm         |
| Lecho forestal         | ≈7,5 mm       |

Tabla 31 - Valores típicos de almacenamiento en depresión, Fuente: (Engineers, 1992)

- **%ZERO-IMPERV (PORCENTAJE DEL ÁREA IMPERMEABLE SIN ALMACENAMIENTO EN DEPRESIÓN).**

Para este caso el techo carece de almacenamiento en depresión, por esto se ingresa un valor del ciento por ciento en el software.

- **SUBAREA ROUTING (FLUJO ENTRE SUBÁREAS).**

Para este caso como solo se tiene una subcuenca escogemos el valor de “outlet”, puesto que se aporta directamente a la descarga sin que el flujo pase de una superficie permeable a una impermeable o viceversa.

- **PERCENT ROUTED (PORCENTAJE DE ESCORRENTIA TRANSPORTADA).**

De igual manera que el punto anterior al solo contar con una subcuenca y con un solo punto de descarga correspondiente, este no transporta escorrentía entre otras subcuencas, por ello el porcentaje de escorrentía transportada entre subáreas es del 0%.

- **INFILTRATION DATA (INFILTRACIÓN)**

Para este valor se utilizará el modelo Green\_Amp, el cual pide encontrar tres parámetros, los cuales son: la altura de succión, la conductividad y el déficit inicial, como la infiltración es una propiedad de los techos verdes para este caso no aplican estos tres parámetros.

## ZONA DE ESTUDIO CON TECHO VERDE.

Se aclara que para esta parte de la modelación de infiltración piden ingresar datos del modelo Green\_Amp y estos datos se obtienen de diferentes ensayos de laboratorio correspondientes a la arena y materiales que se implementaran en el techo verde, por este motivo se decide que para esta sección se utilizaran los datos obtenidos en el trabajo de grado “DISEÑO DE PROTOTIPO DE TECHO VERDE COMO SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE INUNDACIÓN CASO DE ESTUDIO: CHAPINERO COLOMBIA” del ingeniero Oscar Contreras Bejarano.

Ya que estos datos son utilizados en una zona cercana a la zona de investigación además de esto utilizan el mismo sistema de techos verdes y el mismo tipo de planta con el que se plantea utilizar en el diseño.



Para esta nueva simulación los datos del pluviómetro, la descarga, el área, el ancho, la pendiente, el flujo entre subáreas y el porcentaje de escorrentía transportada entre subáreas se consideran iguales que las introducidas para el techo de la primera modelación.

- **%IMPERV (IMPERMEABLE %)**

En este valor al tratarse de un techo verde es del 0%, ya que este al poseer un sustrato permiten que las aguas lluvias se infiltran en la cubierta.

- **N-IMPERV (COEFICIENTE n (IMPERMEABLE))**

De igual manera que el caso anterior al tratarse de un techo verde el coeficiente n de Manning para la zona impermeable es cero.

- **N-PERV (COEFICIENTE n (PERMEABLE)).**

Para este valor se tiene que ingresar el coeficiente n de Manning para la zona permeable, el cual se encuentra que es de 0,24 por la capa vegetal densa que posee el techo verde, expresado en la tabla 32.

| Superficie                               | n     |
|--|-------|
| Asfalto liso                             | 0,011 |
| Hormigón liso                            | 0,012 |
| Revestimiento de hormigón basto          | 0,013 |
| Madera pulida                            | 0,014 |
| Ladrillo con mortero de cemento          | 0,014 |
| Arcilla vitrificada                      | 0,015 |
| Fundición de hierro                      | 0,015 |
| Tuberías de metal corrugado              | 0,024 |
| Superficie de escombrera                 | 0,024 |
| Terreno improductivo (libre de residuos) | 0,05  |
| Terreno cultivado                        |       |
| Cubierta de residuos < 20%               | 0,06  |
| Cubierta de residuos > 20%               | 0,17  |
| Pasto natural                            | 0,13  |
| Hierba                                   |       |
| Corta, pradera                           | 0,15  |
| Densa                                    | 0,24  |
| Hierba <i>Bermuda</i>                    | 0,41  |
| Bosque                                   |       |
| Con cubierta ligera de arbustos          | 0,40  |
| Con cubierta dense de arbustos           | 0,80  |

Tabla 32 – Coeficiente de Manning, Fuente: (Ambiental., 2005).



- **DSTORE-IMPERV (ALMACENAMIENTO EN DEPRESIÓN IMPERMEABLE).**

Para el caso del techo verde este valor de almacenamiento en depresión es cero, ya que no se presentan áreas permeables en una cubierta verde.

- **DSTORE-PERV (ALMACENAMIENTO EN DEPRESIÓN PERMEABLE).**

Para el caso del techo verde este valor de almacenamiento en depresión es de 5 mm (ver tabla 32), correspondiente a pastos y prados según el manual de manejo de EPA SWMM.

- **%ZERO-IMPERV (PORCENTAJE DEL ÁREA IMPERMEABLE SIN ALMACENAMIENTO EN DEPRESIÓN).**

Para este caso al tratarse de un techo verde, el área impermeable hace referencia a la totalidad de la cubierta, así que el valor del porcentaje de área impermeable sin almacenamiento es del 0%, dado que estos techos no presentan zonas impermeables.

- **SUBAREA ROUTING (FLUJO ENTRE SUBÁREAS).**

Para este caso como solo se tiene una subcuenca se escoge el valor de “outlet”, puesto que se aporta directamente a la descarga sin que el flujo pase de una superficie permeable a una impermeable o viceversa.

- **PERCENT ROUTED (PORCENTAJE DE ESCORRENTIA TRANSPORTADA).**

De igual manera que el punto anterior al solo contar con una subcuenca y con un solo punto de descarga correspondiente, este no transporta escorrentía entre otras subcuencas, por ello el porcentaje de escorrentía transportada entre subáreas es del 0%.

- **INFILTRATION DATA (INFILTRACIÓN)**

Para esta parte de la modelación se tomarán los datos de la investigación llamada **DISEÑO DE PROTOTIPO DE TECHO VERDE COMO SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE INUNDACIÓN CASO DE ESTUDIO: CHAPINERO COLOMBIA** como se mencionó anteriormente. “la infiltración se define el modelo Green\_Amp, cuyos parámetros son: la altura de succión, la conductividad y el déficit inicial. La textura del techo verde se considera como una composición de arena y arena margosa, por lo cual se realiza un promedio en cada uno de los valores” (BEJARANO, 2016).

“La siguiente tabla, establece los valores de K (conductividad hidráulica saturada),  $\Psi$  (altura de succión),  $\Phi$  (porosidad), FC (capacidad del campo), y WP (punto de marchitamiento).” (BEJARANO, 2016).



| Textura del suelo             | K (mm/h) | Ψ (mm) | φ     | FC    | WP    |
|-------------------------------|----------|--------|-------|-------|-------|
| Arena                         | 120,40   | 49     | 0,437 | 0,062 | 0,024 |
| Arena margosa                 | 29,97    | 61     | 0,437 | 0,105 | 0,047 |
| Marga Arenosa                 | 10,92    | 110    | 0,453 | 0,190 | 0,085 |
| Marga                         | 3,30     | 89     | 0,463 | 0,232 | 0,116 |
| Sedimentos de marga           | 6,60     | 170    | 0,501 | 0,284 | 0,135 |
| Marga areno-arcillosa         | 1,52     | 220    | 0,398 | 0,244 | 0,136 |
| Marga arcillosa               | 1,02     | 210    | 0,464 | 0,310 | 0,187 |
| Sedimentos de marga arcillosa | 1,02     | 270    | 0,471 | 0,342 | 0,210 |
| Arcilla arenosa               | 0,51     | 240    | 0,430 | 0,321 | 0,221 |
| Sedimentos de arcilla         | 0,51     | 290    | 0,479 | 0,371 | 0,251 |
| Arcilla                       | 0,25     | 320    | 0,475 | 0,378 | 0,265 |

Tabla 33 – Características del suelo, Fuente: (Ambiental., 2005)

Teniendo en cuenta los datos suministrados en la anterior tabla (ver tabla 34), se reemplazarán los valores en la siguiente ecuación, esta ecuación ayuda a encontrar la altura de succión.

$$\frac{\Psi_{arena} + \Psi_{arena\ margosa}}{2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Reemplazando los valores correspondientes en la anterior ecuación se tiene que la altura de succión es igual a 55mm.

$$\frac{49 + 61}{2} = 55 \text{ mm}$$

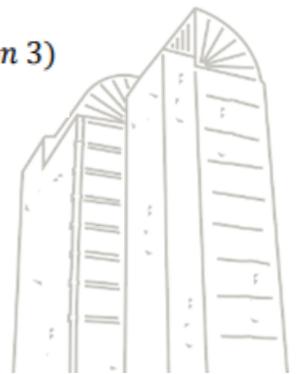
“Para la conductividad del sustrato se ejecuta el mismo procedimiento que con la altura de succión. Se realiza un promedio de los valores dados en la Tabla 9. Características del suelo, y se compara con el resultado obtenido de los ensayos de laboratorio de la impermeabilidad del sustrato.” (BEJARANO, 2016)

$$\frac{K_{arena} + K_{arena\ margosa}}{2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\frac{120,40 + 29,97}{2} = 75,19 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

Según los resultados de los ensayos del laboratorio obtenidos para el sustrato de techo verde del trabajo de grado llamado **DISEÑO DE PROTOTIPO DE TECHO VERDE COMO SOLUCIÓN A PROBLEMAS DE INUNDACIÓN CASO DE ESTUDIO: CHAPINERO COLOMBIA** se obtienen los siguientes datos los cuales se van a reemplazar en la ecuación número 3.

$$2,07 \times 10^{-3} \frac{\text{cm}}{\text{s}} \left( \frac{10\text{mm}}{\text{cm}} \right) \left( \frac{60\text{s}}{\text{min}} \right) \left( \frac{60\text{min}}{\text{h}} \right) = 74,52 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \quad (\text{Ecuación 3})$$



Una vez obtenido estos dos valores se toma la decisión de tomar un valor de **75 mm/h** para el calor de conductividad.

“De esta manera la altura de succión y la conductividad son valores dados en la tabla anterior. En cuanto al déficit inicial, es la diferencia entre la porosidad del suelo y la humedad inicial (punto de marchitamiento).” (BEJARANO, 2016).

$$\text{déficit inicial} = \Phi - WP \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\frac{\Phi_{\text{arena}} + \Phi_{\text{arena margosa}}}{2} - \frac{WP_{\text{arena}} + WP_{\text{arena margosa}}}{2} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\frac{0,437 + 0,437}{2} - \frac{0,024 + 0,047}{2} = 0,402$$

Una vez extraído los valores de altura de succión, conducción y déficit inicial se ingresan estos datos al software de EPA SWMM en el apartado del modelo de infiltración, como se muestra en la ilustración 43.

| Property        | Value |
|-----------------|-------|
| Suction Head    | 55    |
| Conductivity    | 75    |
| Initial Deficit | 0.402 |

Difference between soil porosity and initial moisture content (a fraction)

Ilustración 43 – Parámetros de infiltración, Fuente Propia.

## NUDOS (POZOS PLUVIALES DE INSPECCIÓN)

Para este caso los nudos representan los pozos de inspección del alcantarillado pluvial de la zona de estudio, y serán los mismos datos tanto para el modelo de la primera modelación como para la segunda modelación correspondiente a techos verdes de techos verdes.



Una vez creado el nudo pedirá que se ingresen unos datos específicos para este, los cuales se verán a continuación.

| Junction N-2    |          |
|-----------------|----------|
| Property        | Value    |
| Name            | N-2      |
| X-Coordinate    | 2423.423 |
| Y-Coordinate    | 4103.604 |
| Description     |          |
| Tag             |          |
| Inflows         | NO       |
| Treatment       | NO       |
| Invert El.      | 1350     |
| Max. Depth      | 0.50     |
| Initial Depth   | 0        |
| Surcharge Depth | 0        |
| Ponded Area     | 0        |

Ilustración 44 – Datos solicitados por EPA SWMM para la creación de un nodo, Fuente: Propia.

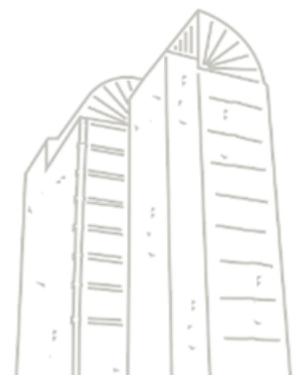
En la tabla encontraremos dos columnas con los siguientes nombres Property (Propiedad) el cual hace referencia todos los valores o parámetros que pide el programa para la creación del nodo y la segunda columna Value (Valor) el cual hace referencia al valor de la propiedad solicitada.

La primera propiedad que se encuentra es “Name” (Nombre), el cual hace referencia al nombre que se quiere ponerle al nodo, este valor podrá ser cualquiera seleccionado por el usuario, después se encontrara el valor “X-coordinate” (coordenada X) y el valor “Y-coordinate” (coordenada Y) que se interpretan como la localización en el eje X y Y respectivamente en el plano de trabajo.

Los siguientes valores que se encuentran son “Description” (Descripción) y “Tag” (Marca), estos valores son opcionales y simplemente sirven para realizar un comentario, descripción, categorización o clasificación del nodo, los siguientes valores que se encuentran los explicaremos más detalladamente a continuación.

- **INVERT EL. (COTA DEL FONDO).**

La cota de fondo es un valor que se debe incluir en el modelo, y representa la diferencia entre la cota del terreno natural y la distancia hasta la zona inferior de la tubería. (BEJARANO, 2016), en la siguiente ilustración se puede ver de una mejor manera.



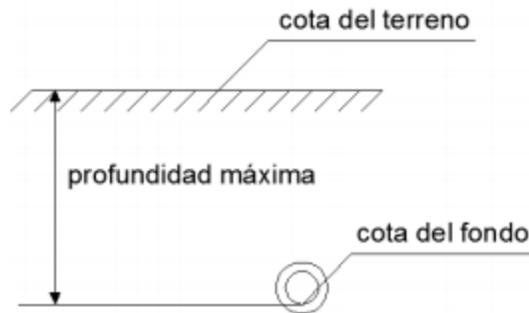


Ilustración 45 – Cota de fondo y profundidad máxima, Fuente: (BEJARANO, 2016).

- **MAX. DEPTH (PROFUNDIDAD MÁXIMA).**

Es la diferencia que se encuentra ente el nivel de la cota del terreno natural y la cota de fondo, como se puede observar en la ilustración 45.

### CONDUCTOS (TUBERÍAS DEL ALCANTARILLADO PLUVIAL)

Al momento de dibujar la tubería arroja una ventana donde pide una serie de datos para poder realizar la modelación

| Conduit 1     |              |
|---------------|--------------|
| Property      | Value        |
| Name          | 1            |
| Inlet Node    | N-2          |
| Outlet Node   | 3            |
| Description   |              |
| Tag           |              |
| Shape         | CIRCULAR ... |
| Max. Depth    | 0.1524       |
| Length        | 26.35        |
| Roughness     | 0.01         |
| Inlet Offset  | 0            |
| Outlet Offset | 0            |
| Initial Flow  | 0            |

Click to edit the conduit's cross section geometry

Ilustración 46 – Propiedades de tubería, Fuente: propia.

En la tabla se encuentran dos columnas con los siguientes nombres Property (Propiedad) el cual hace referencia todos los valores o parámetros que pide el programa para la creación del nodo y la segunda columna Value (Valor) el cual hace referencia al valor de la propiedad solicitada.



La primera propiedad que se encuentra es “Name” (Nombre), el cual hace referencia al nombre que se le colocaran al nodo, este valor podrá ser cualquiera seleccionado por el usuario.

Se debe tener en cuenta que se necesita que el agua pluvial fluya por los conductos, así que la pendiente de estas debe ser negativa, por esto al dibujar una tubería, siempre se especifica el nudo inicial con una cota mayor que el nudo final.

- **SHAPE (FORMA).**

Para este apartado debemos tener en cuenta que para nuestro caso utilizaremos una tubería circular

- **MAX. DEPTH (ALTURA (PROF. MAX)).**

Este apartado hace referencia al valor del diámetro del tubo, el cual ya se define en la forma de la sección transversal, este valor se expresa en metros y para nuestro caso corresponde a 0.1524 correspondiente a una tubería de 6”.

- **LENGTH (LONGITUD)**

La longitud de la tubería se expresa en metros, y para nuestro caso tiene una longitud de 26.35m.

- **COEFICIENTE DE MANNING (n)**

También se asigna el coeficiente n de Manning, dependiendo del material del ducto, el cual para nuestro caso corresponde al policloruro de vinilo (PVC) es de 0,01.

## **DATOS DE PRECIPITACIONES POR LLUVIAS.**

Para este punto se utilizara los datos de precipitación por medio de las curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia) una vez obtenidos estos datos se procede a ingresar los valores de precipitación a la simulación de EPASWMM , por medio de esta simulación se puede analizar de una manera detallada los comportamientos tanto de los techos actuales y la cubierta verde utilizando diferentes periodos de retorno.

Para la obtención de los datos de precipitación se utilizará la tabla 35 la cual muestra los valores de coeficientes IDF para la zona de estudio, utilizando unos periodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años.



| Id | Punto (E,N)<br>EPSG;3116 | Tiempo de retorno<br>3 años  |          |                  | Tiempo de retorno<br>5 años  |          |                   | Tiempo de retorno<br>10 años  |      |                  |
|----|--------------------------|------------------------------|----------|------------------|------------------------------|----------|-------------------|-------------------------------|------|------------------|
|    |                          | C1                           | Xo       | C2               | C1                           | Xo       | C2                | C1                            | Xo   | C2               |
| 0  | 1004162,10<br>09267      | 3753,<br>41                  | 25,<br>6 | -<br>1,0399<br>1 | 4084,<br>65                  | 25,<br>6 | -<br>1,0316<br>5  | 4299,<br>96                   | 24,7 | -<br>1,015<br>99 |
|    |                          | Tiempo de retorno<br>25 años |          |                  | Tiempo de retorno<br>50 años |          |                   | Tiempo de retorno<br>100 años |      |                  |
|    |                          | C1                           | Xo       | C2               | C1                           | Xo       | C2                | C1                            | Xo   | C2               |
|    |                          | 4734,<br>04                  | 24,<br>2 | -<br>1,0064<br>1 | 5416,<br>40                  | 25,<br>3 | -<br>1,0011<br>33 | 5735,<br>82                   | 25,1 | -<br>1,005<br>16 |

Tabla 34 – Tabla de coeficientes IDF, Fuente: (Departamento, 2016)

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 34, se procede a remplazar los diferentes valores para cada tiempo de retorno en la ecuación en la siguiente ecuación.

$$INTESIDAD = C_1(DURACION + X_0)^{C_2}$$

Para este caso se utilizarán 5 precipitaciones con un intervalo de 1 hora en cada una para cada uno de los periodos de retorno, para esto remplazaremos las constantes de la tabla de coeficientes IDF como lo son  $C_1$ ,  $X_0$  y  $C_2$  para cada periodo de retorno en duración pondremos los valores en minutos para la hora 1, 2, 3, 4 y 5. De esta manera se obtiene la tabla 35 con los valores de precipitaciones, los cuales se ingresarán a la modelación de EPASWMM.

|         | 3 AÑOS | 5 AÑOS | 10 AÑOS | 25 AÑOS | 50 AÑOS | 100 AÑOS |
|---------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|
| 1 HORA  | 36.714 | 41.449 | 47.288  | 54.649  | 63.179  | 65.873   |
| 2 HORAS | 21.132 | 23.962 | 27.444  | 31.800  | 37.068  | 38.528   |
| 3 HORAS | 14.760 | 16.785 | 19.293  | 22.406  | 26.224  | 27.208   |
| 4 HORAS | 11.310 | 12.888 | 14.858  | 17.289  | 20.287  | 21.022   |
| 5 HORAS | 9.151  | 10.446 | 12.073  | 14.071  | 16.542  | 17.124   |

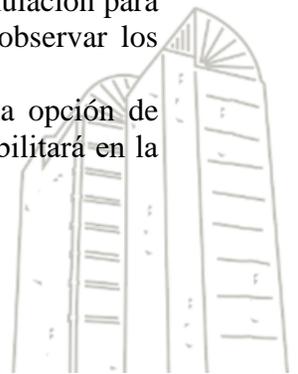
Tabla 35 – Intensidades para periodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años, Fuente: Propia.

Analizando los datos obtenidos se puede evidenciar que los valores de precipitación aumentan a medida que es mayor el tiempo de los periodos de retornos, evidenciando que a un tiempo de 100 años los valores de precipitación duplican los valores actuales y esto puede provocar que en un futuro se presenten eventos que puedan afectar la infraestructura y a la población de la zona de estudio.

## TIME SERIES (SERIE TEMPORAL)

En este ítem se ingresan los valores obtenidos en la tabla 35, realizando una simulación para cada uno de los periodos de retorno seleccionados, permitiendo de esta manera observar los diferentes comportamientos de las precipitaciones para cada periodo de retorno.

Para ingresar estos datos se debe dirigir a la parte izquierda seleccionando la opción de “curves” y después la opción “time series” una vez se seleccione esta opción se habilitará en la



parte inferior de este menú una barra de herramientas donde se encontrará un botón verde con forma de “mas” el cual permitirá añadir una nueva serie temporal (ver ilustración 47).

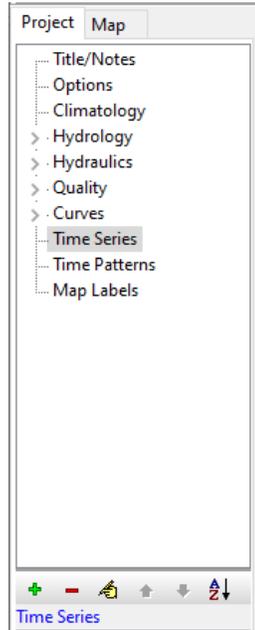


Ilustración 47 – Insertar nueva serie temporal, Fuente: Propia.

Una vez se realice el procedimiento mencionado anteriormente se abrirá una ventana (ver ilustración 48) donde solicitara ingresar una serie de datos, el primer dato que solicitara es “TIME SERIES NAME” el cual corresponde al nombre que se le quiera asignar a esta serie de datos, después se encuentra el valor “DESCRIPTION” el cual permite realizar una pequeña descripción de esta serie de tiempo, después se encuentran dos opciones, “USE EXTERNAL DATA FILE NAMED BELOW” el cual permite importar un archivo en formato .data el con los datos de serie a ingresar y la segunda opción es “ENTER TIME SERIE DATA FILE NAMED BELOW” en esta opción permite ingresar directamente los datos a la tabla que se encuentra en la parte inferior de la ventana, para el nuestro caso utilizaremos la segunda opción.



Time Series Editor

Time Series Name  
SIMULACION100AÑOS

Description  
Tiempo de retorno a 100 años

Use external data file named below

Enter time series data in the table below

No dates means times are relative to start of simulation.

| Date (M/D/Y) | Time (H:M) | Value  |
|--------------|------------|--------|
|              | 1:00       | 65.873 |
|              | 2:00       | 38.528 |
|              | 3:00       | 27.208 |
|              | 4:00       | 21.022 |
|              | 5:00       | 17.124 |
|              |            |        |
|              |            |        |
|              |            |        |
|              |            |        |
|              |            |        |
|              |            |        |
|              |            |        |

View

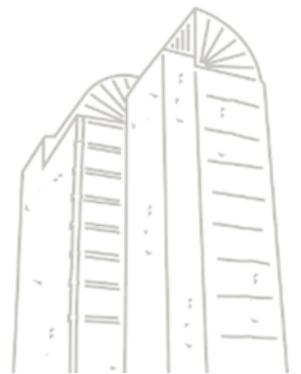
OK

Cancel

Help

Ilustración 48 – Editor de serie de tiempo, Fuente: Propia.

Una vez ingresado los datos de precipitación se debe configurar el apartado de “duración” (ver ilustración 49) e “intervalos” (ver ilustración 50), se debe tener en cuenta que los datos de estos apartados tengan coherencia con la simulación que se están elaborando.



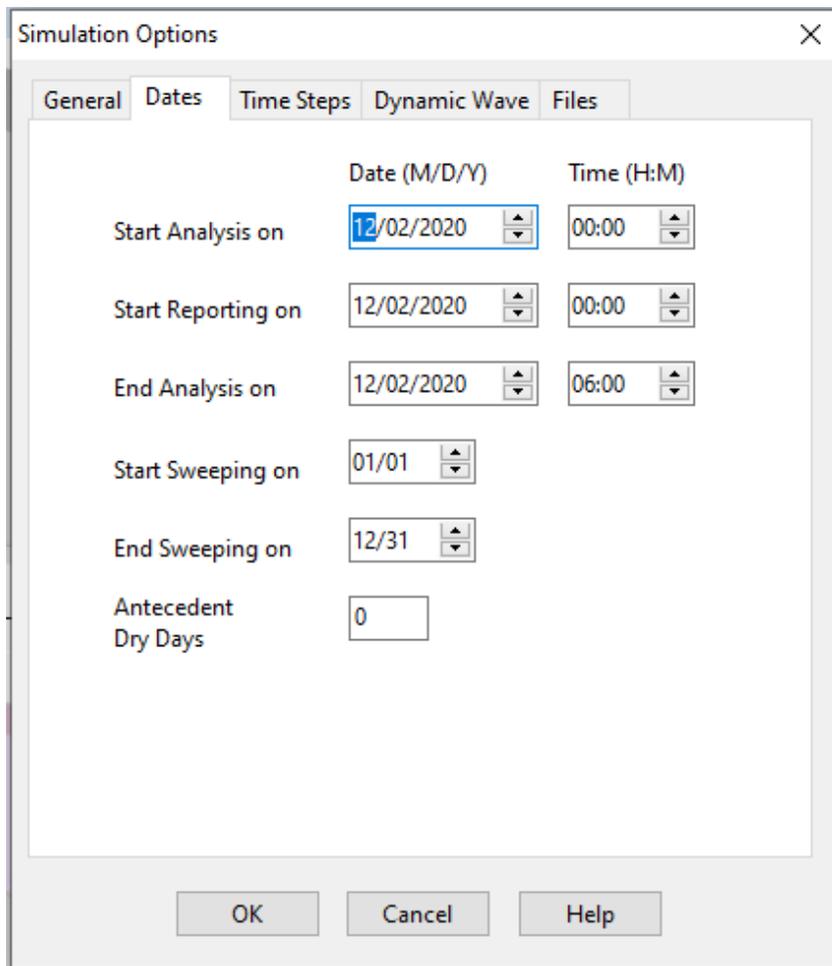


Ilustración 49 – Opciones de simulación “Duración”, Fuente: Propia.



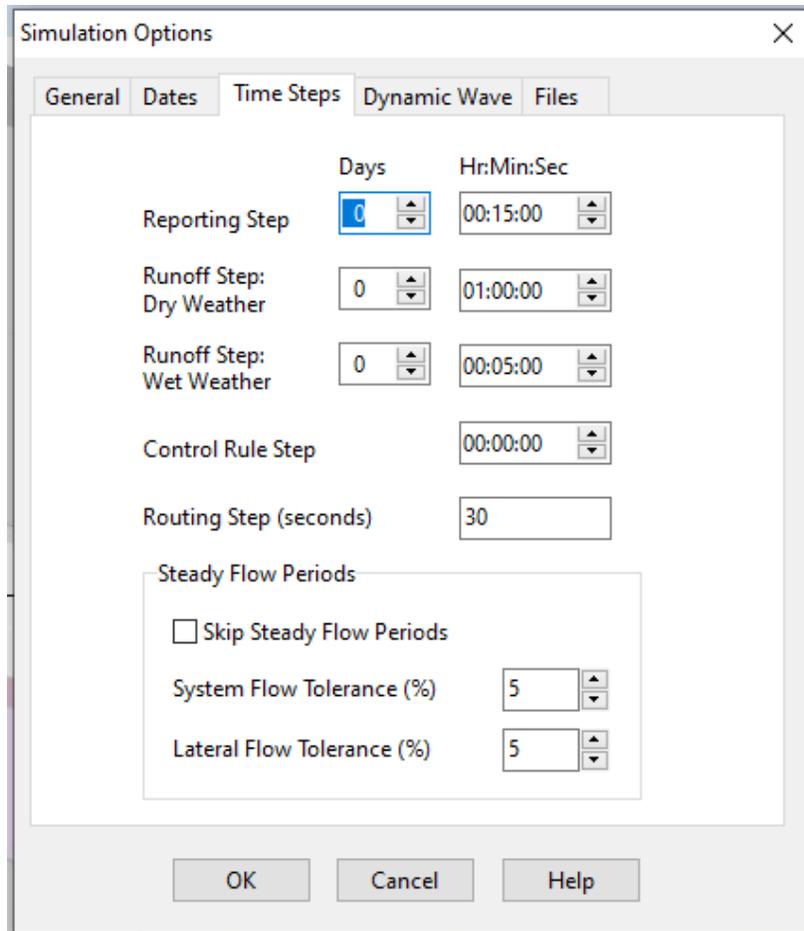
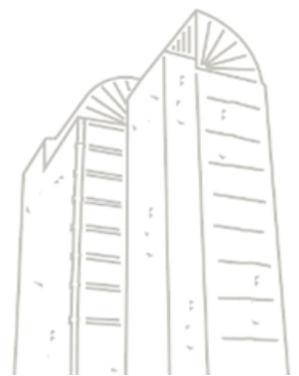


Ilustración 50 – Opciones de simulación “Intervalo”, Fuente: Propia.

## RAIN GAGE (PLUVIÓMETRO).

En la barra de herramientas del programa EPASWMM se encuentra el botón para agregar un nuevo pluviómetro el cual está representado con el logo de una nube con lluvia (ver ilustración 38), una vez se dibuja el pluviómetro se procede a asignar los datos de precipitación para cada una de las simulaciones a realizar, para esto se oprime el pluviómetro dos veces esto abrirá una ventana donde nos pedirá asignar configurar el pluviómetro asignado (ver ilustración 51).



| Property          | Value        |
|-------------------|--------------|
| Name              | LLUVIA       |
| X-Coordinate      | 1540.541     |
| Y-Coordinate      | 5981.982     |
| Description       |              |
| Tag               |              |
| Rain Format       | INTENSITY    |
| Time Interval     | 1:00         |
| Snow Catch Factor | 1.0          |
| Data Source       | TIMESERIES   |
| TIME SERIES:      |              |
| - Series Name     | SIMULACION10 |
| DATA FILE:        |              |

Ilustración 51 – Asignación de pluviómetro, Fuente: Propia.

En la tabla encontraremos dos columnas con los siguientes nombres Property (Propiedad) el cual hace referencia a todos los valores o parámetros que pide el programa para la modelación y la segunda columna Value (Valor) el cual hace referencia al valor de la propiedad solicitada.

La primera propiedad que encontramos es “Name” (Nombre), el cual hace referencia al nombre que queramos colocarle al pluviómetro seleccionado, este valor podrá ser cualquiera seleccionado por el usuario, después encontramos el valor “X-coordinate” (coordenada X) y el valor “Y-coordinate” (coordenada Y) que se interpretan como la localización en el eje X y Y respectivamente en nuestro plano de trabajo.

Los siguientes valores que se encuentran son “Description” (Descripción) y “Tag” (Marca), estos valores son opcionales y simplemente nos sirven para realizar un comentario, descripción, categorización o clasificación del pluviómetro seleccionado, el siguiente valor es el de “RAIN FORMAT” el cual hace referencia a formato de lluvia, aquí se colocara el valor de “INTENSITY” ya que los valores de precipitación que se ingresaron fueron de intensidad, después se encuentra el valor de “DATA SOURCE” u origen de datos, acá se selecciona la opción de “TIMESERIES” ya que los datos ingresados son series temporales y por último en el apartado de “SERIES NAME” se debe seleccionar la serie temporal que se ingresó para esta simulación (ver ilustración 48).

Una vez se ingresan los valores mencionados anteriormente se procede a analizar cada uno de los resultados obtenidos.



## RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez modelado los datos obtenidos para las cubiertas normales y los techos verdes, teniendo en cuenta los diferentes periodos de retorno se procede a realizar un análisis del comportamiento de la tubería, verificando la capacidad que se presenta para cada uno de los casos con su respectivo periodo de retorno, se debe tener en cuenta que los datos que se presentan en los perfiles de láminas de agua, son únicamente los que llegan de la zona de estudio y no se tienen en cuenta los datos de las demás cubiertas aledañas a esta.

Para esto el programa EPASWMM arroja un perfil de la lámina de agua en su respectivo tramo de tubería, donde se puede evidenciar el flujo de agua que es transportado por la tubería con un color azul.

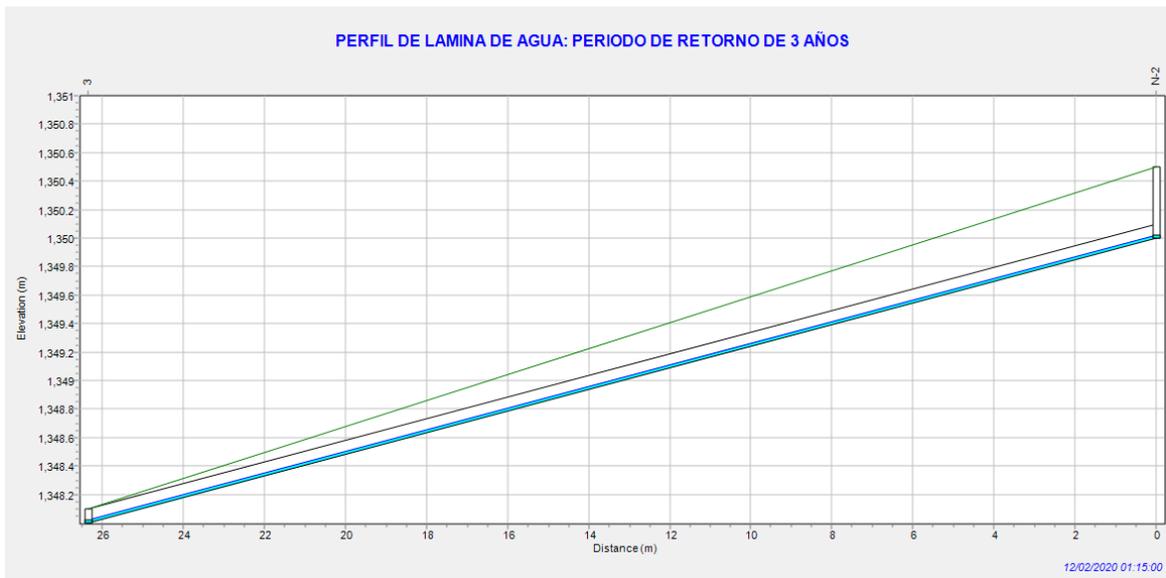


Ilustración 52 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 3 años, Fuente: Propia.

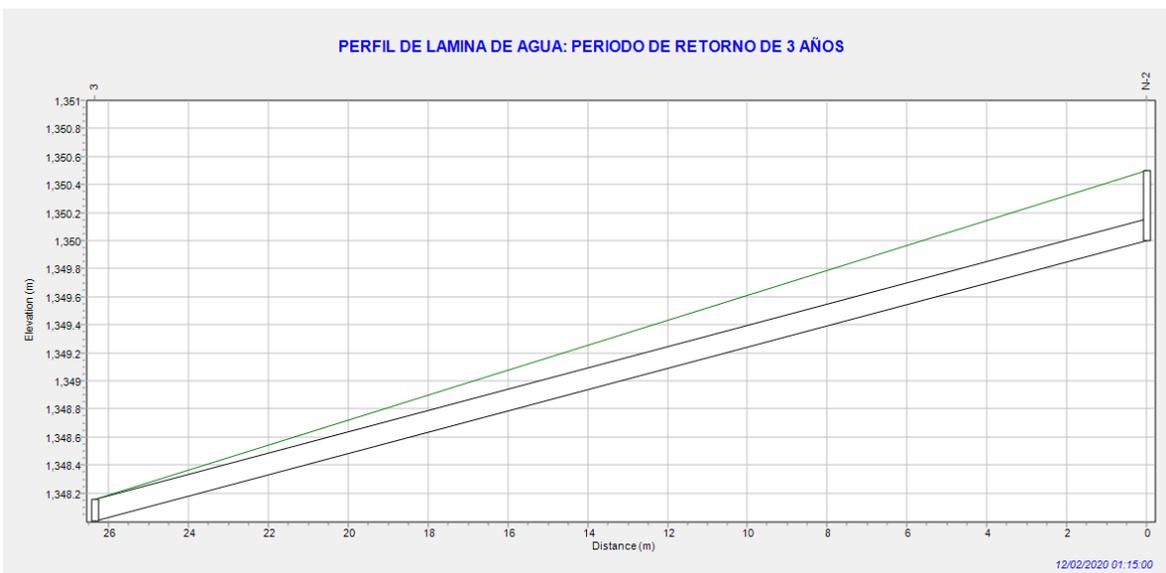


Ilustración 53 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 3 años, Fuente: Propia.

En la ilustración 54 se puede apreciar los resultados de la simulación para un techo convencional con un periodo de retorno de 3 años, donde se puede comparar con la ilustración 53 donde se muestran los resultados de la simulación de un techo verde en donde se puede observar que es muy diferente el flujo que llega a cada una de las tuberías, ya que el sustrato del techo verde absorbe en su mayoría, permitiendo que llegue una cantidad insignificante de esta a la tubería.

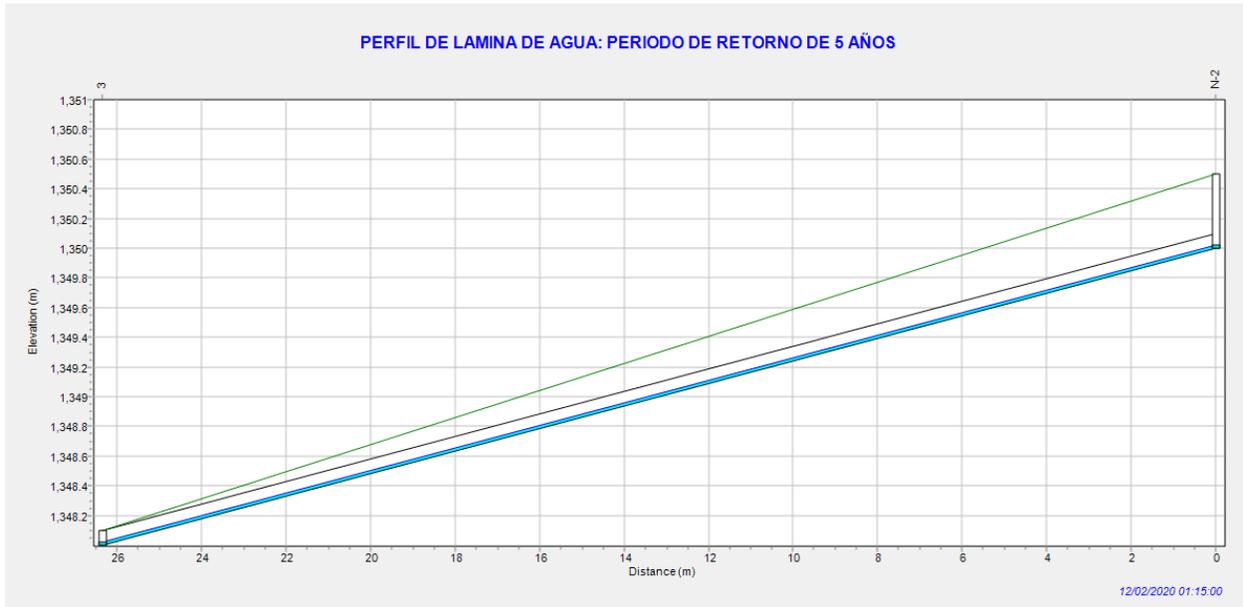


Ilustración 54 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 5 años, Fuente: Propia.

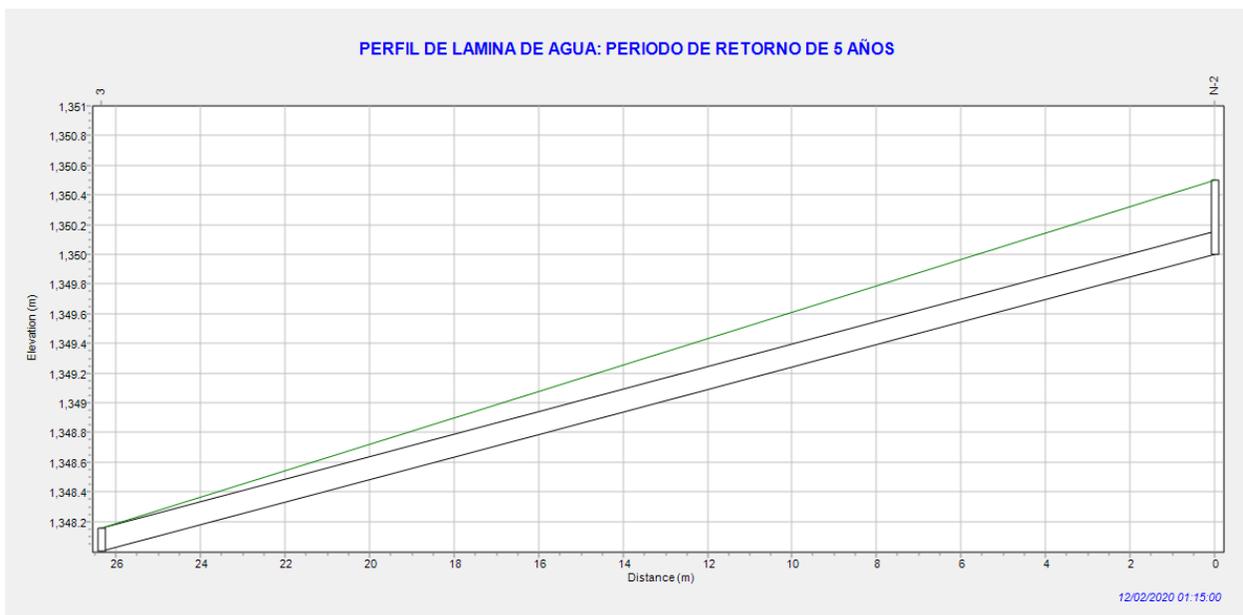


Ilustración 55 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 5 años, Fuente: Propia.

En la ilustración 54 se puede apreciar los resultados de la simulación para un techo convencional con un periodo de retorno de 5 años y en la ilustración 55 se puede observar los resultados de la modelación del techo verde con un periodo de retorno de 5 años, donde se puede



observar el comportamiento de cada tubería y se detalla que en la hora 1:15 se encuentra la precipitación más alta para la simulación del techo convencional.

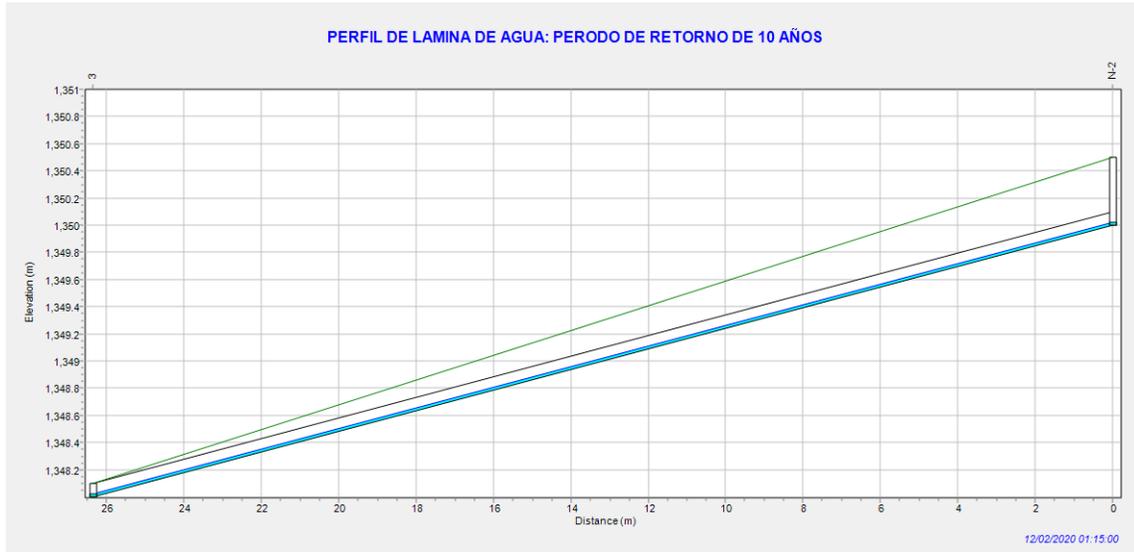


Ilustración 56 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 10 años, Fuente: Propia.

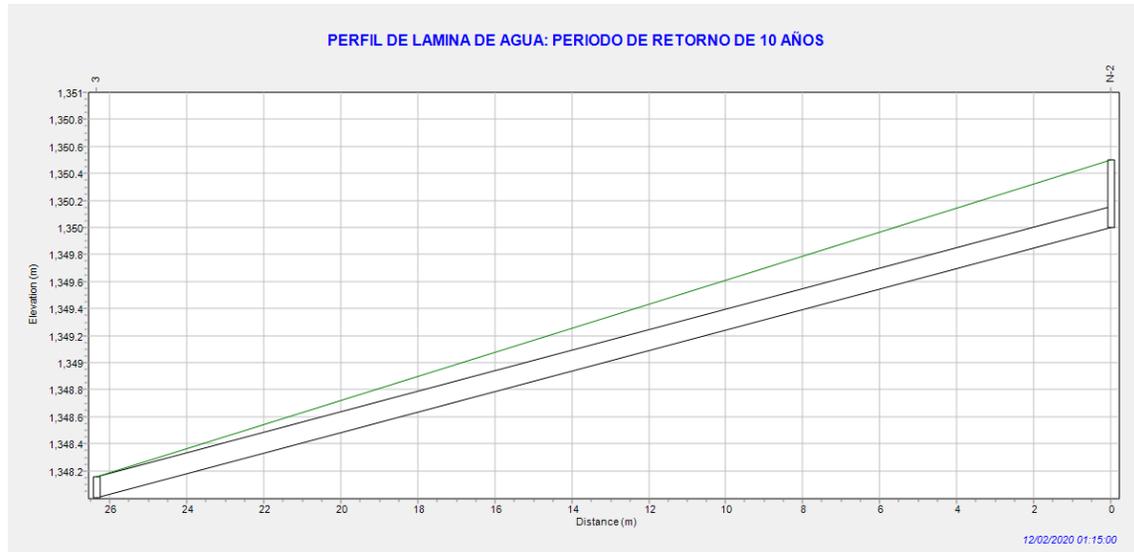
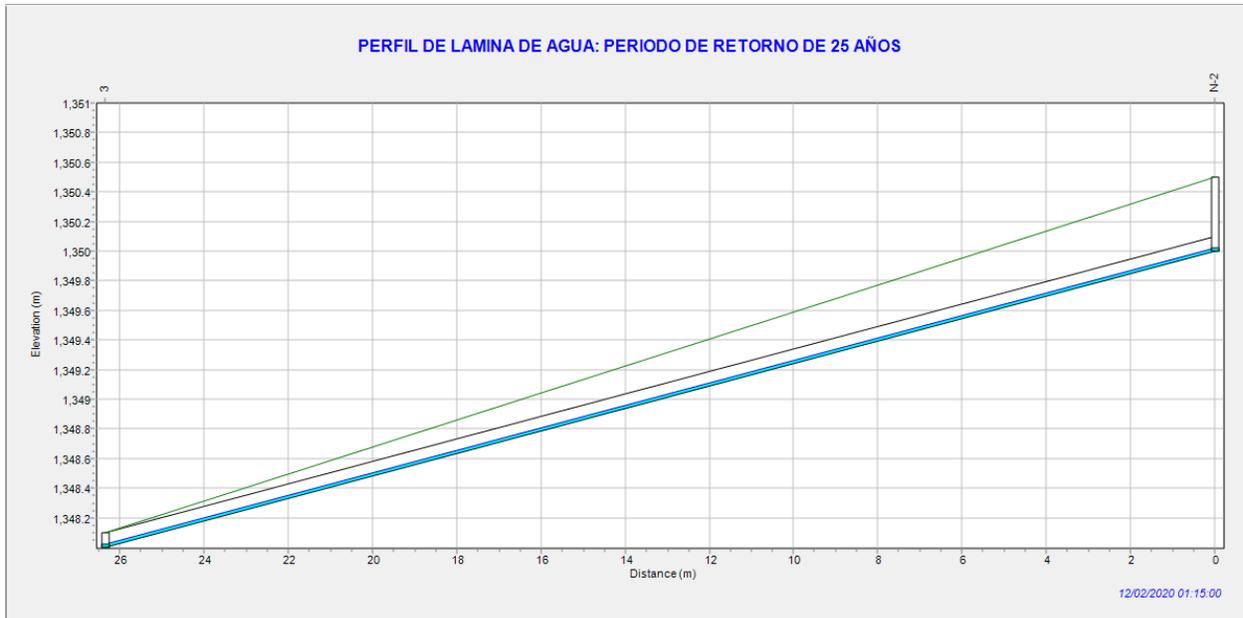


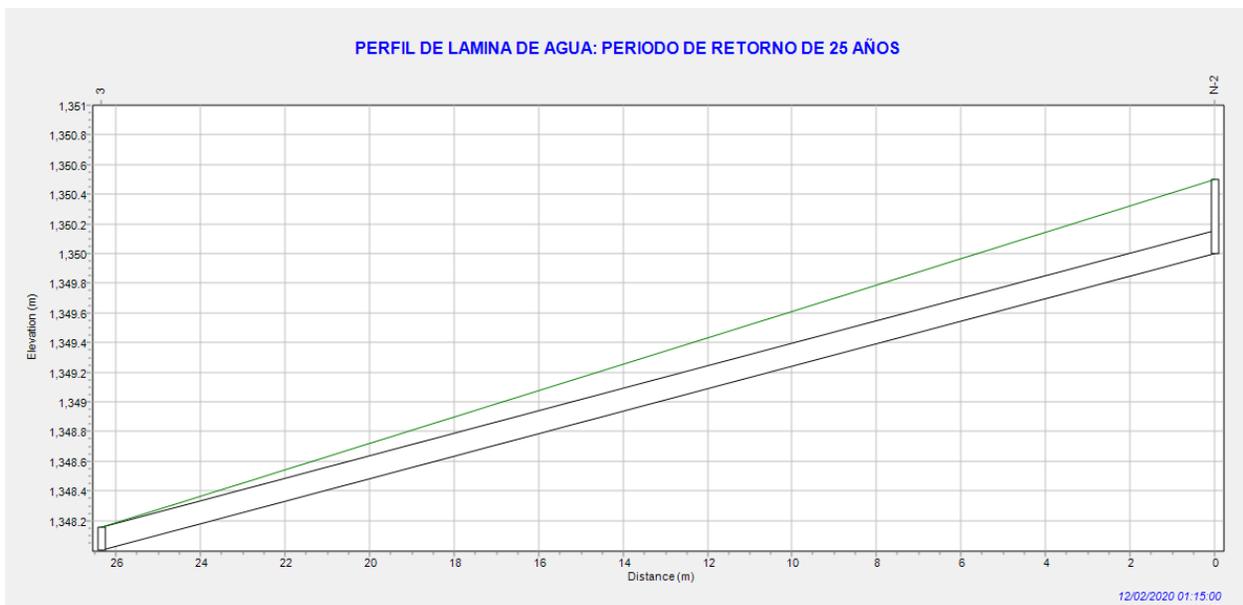
Ilustración 57 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 10 años, Fuente: Propia.

En la ilustración 56 se puede apreciar los resultados de la simulación para un techo convencional con un periodo de retorno de 10 años y en la ilustración 57 se puede observar los resultados de la modelación del techo verde con un periodo de retorno de 10 años, a pesar que se evidencia que al pasar de los años la precipitación aumenta se nota que la simulación del techo verde sigue sin recolectar una cantidad de agua significativa pero mientras que en la del techo convencional sigue aumentando la saturación en la tubería.





*Ilustración 58 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 25 años, Fuente: Propia.*



*Ilustración 59 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 25 años, Fuente: Propia.*

En la ilustración 58 se puede apreciar los resultados de la simulación para un techo convencional con un periodo de retorno de 25 años y en la ilustración 59 se puede observar los resultados de la modelación del techo verde con un periodo de retorno de 25 años.



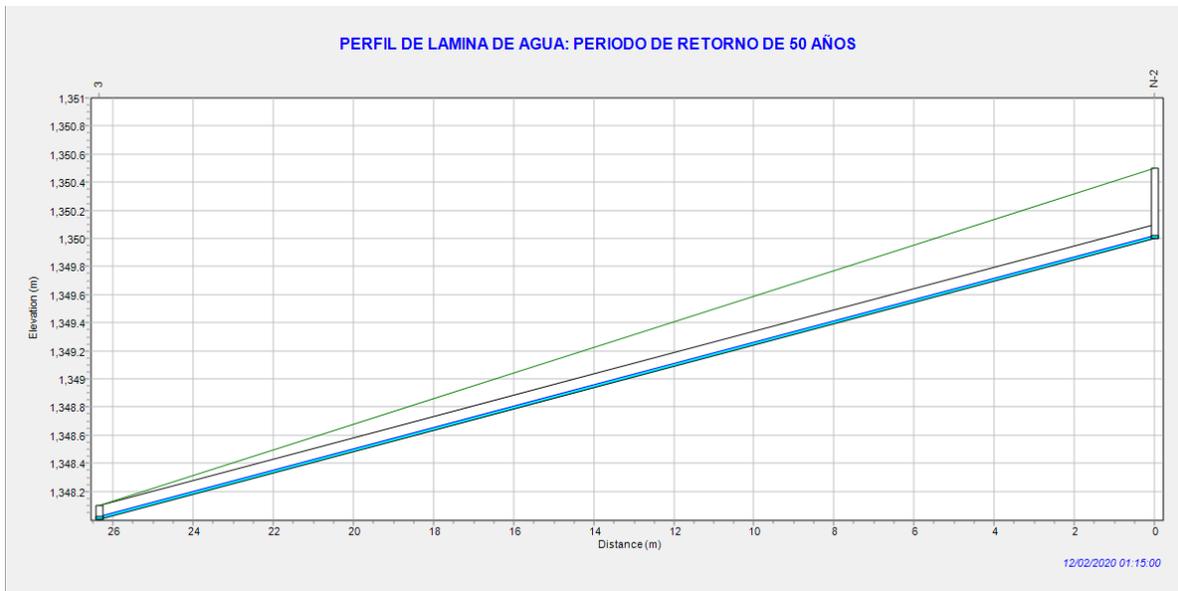


Ilustración 60 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 50 años, Fuente: Propia.

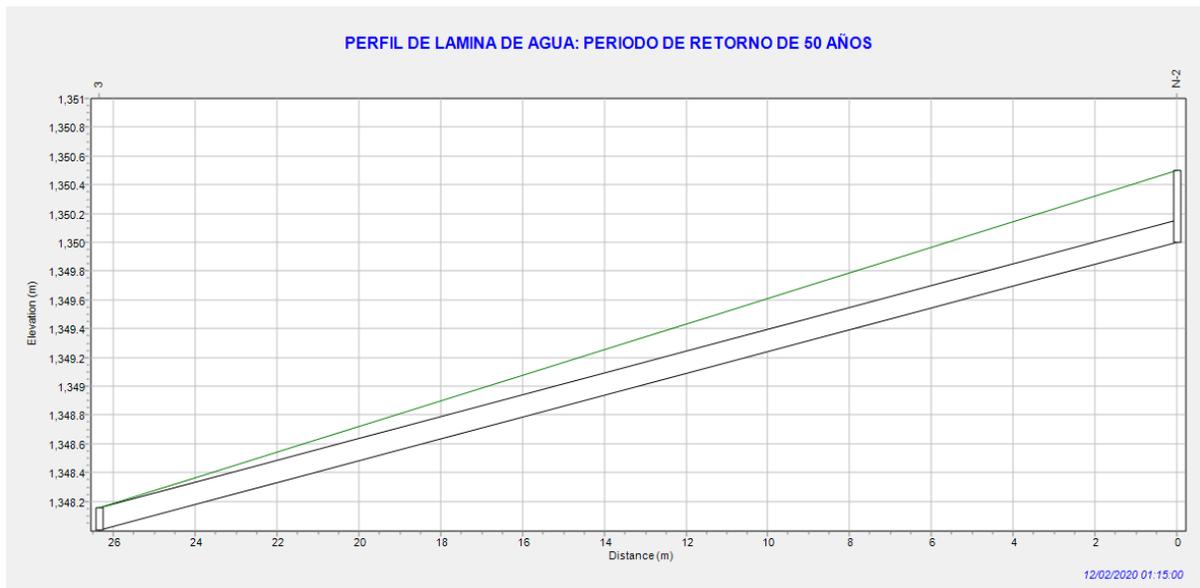


Ilustración 61 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 50 años, Fuente: Propia.

En la ilustración 60 se puede apreciar los resultados de la simulación para un techo convencional con un periodo de retorno de 50 años y en la ilustración 61 se puede observar los resultados de la modelación del techo verde con un periodo de retorno de 50 años. A pesar de que los datos de precipitación han aumentado la simulación de la tubería del techo verde sigue transportando una cantidad irrelevante de agua.





Ilustración 62 – Perfil de lámina de agua de un techo convencional para un periodo de retorno de 100 años, Fuente: Propia.



Ilustración 63 – Perfil de lámina de agua de un techo verde para un periodo de retorno de 100 años, Fuente: Propia.

En la ilustración 62 se puede apreciar los resultados de la simulación para un techo convencional con un periodo de retorno de 100 años y en la ilustración 63 se puede observar los resultados de la modelación del techo verde con un periodo de retorno de 100 años. A pesar de que los datos de precipitación han aumentado a casi el doble se sigue demostrando que los techos verdes permiten que la red pluvial no se sature y evitando las inundaciones que se presentan en la actualidad en la zona de estudio, permitiendo validar la opción de realizar la construcción de este techo verde.



## CONCLUSIONES

Se genera la modelación del techo verde que se plantea implementar en la zona de estudio, y se compara con la modelación de un techo convencional como el que se encuentra actualmente y se puede llegar a la conclusión que la implementación de este puede llegar a erradicar el problema de inundaciones que se presentan actualmente en la terraza del edificio “S” de la universidad piloto ya que este tipo de techo verde absorbe en su mayoría toda el agua generada por las lluvias y evitando el estancamiento de estas y la saturación de las tuberías de alcantarillado.

Teniendo en cuenta que las modelaciones que se generaron para los techos verdes se realizaron con el prototipo realizado por el ingeniero Oscar Contreras Bejarano, 2016 se aconseja realizar la implementación de estos techos verdes con este prototipo, ya que cumple con los parámetros adecuados para la zona de estudio a intervenir y permite evitar inundaciones en esta, pero no se descarta a posibilidad de implementar otro tipo de planta y techo verde que cumpla con estas mismas condiciones y presente un buen funcionamiento.

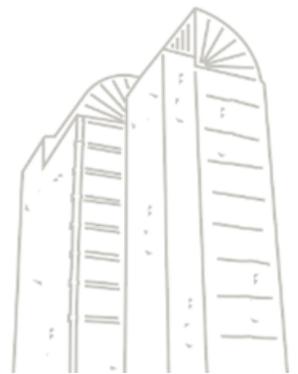
Se llega a la conclusión que los techos verdes pueden llegar a ser una solución eficiente a problemas de inundación por empozamiento como en nuestra zona de estudio, pero además de esto genera un beneficio a la calidad del medio ambiente, además la implementación de estos techos verdes tienen una ventaja costo beneficio ya que genera un costo un poco elevado en su instalación pero después de esto no generara costos elevados de mantenimiento como se presenta con las cubiertas convencionales que actualmente se encuentran en la zona de estudio, ya que a estas se les debe realizar un mantenimiento constante y además de esto presentan una vida útil no muy larga y después de esto es necesario remover el manto asfáltico actual e impermeabilizar nuevamente generando costos elevados cada vez que se realice este procedimiento.

Se puede observar que según los datos obtenidos las lluvias van a tender a aumentar en la zona de estudio provocando así que las inundaciones sean cada vez más grandes y esto podría llegar a generar un gran impacto sobre la misma estructura del edificio, afectando y poniendo en un gran riesgo a la comunidad que utiliza estos espacios, así que la implementación de estas cubiertas verdes podría ayudar a disminuir a futuro todos estos problemas.

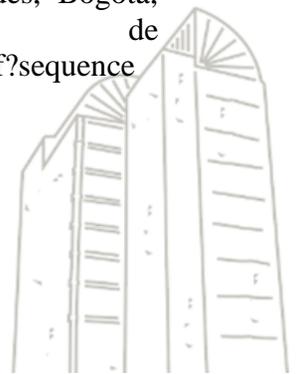


## BIBLIOGRAFÍA

- Ambiental., A. d. (2005). SWMM modelo de gestión de aguas pluviales.
- Amaya, L. (2017). Techos Verdes – El futuro de la construcción. Obtenido de <http://www.ecoworldbuilding.com/2017/11/08/techos-verdes-futuro-de-construccion/>
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). Constitución Política de Colombia. Artículo 79.
- Bejarano, o. c. (2016). Diseño de prototipo de techo verde como solución a problemas de inundación caso de estudio: chapinero colombia. bogotá.
- Cascone, S.. (junio 2019). Green Roof Design: State of the art on technology and materials . University of Catania . Researchgate Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/333434961\\_Green\\_Roof\\_Design\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_on\\_Technology\\_and\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/333434961_Green_Roof_Design_State_of_the_Art_on_Technology_and_Materials)
- Castaño, P.. (25 de marzo del 2014). Techos verdes y sistemas de procesamiento de agua de lluvia. Argentina. UADE Recuperado de <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/3957/Castaño.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Concejo de Bogotá. (2009). Acuerdo 391.
- Concejo de Bogotá. (2009). Acuerdo 418.
- Departamento de hidrología aplicada de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2016). Curvas IDF. Bogotá.
- Engineers, A. S. (1992). Design & construction of urban stormwater management systems. New York.
- Guerrero, M. (2014). Control de inundaciones empleando los sistemas de drenaje sostenible como herramienta para la planificación urbana en el municipio de Turbaco, (tesis de maestría). Universidad del norte, Barranquilla, Colombia. Recuperado de <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8226/115690.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Gutierrez, R. A. (25 de 06 de 2008). Techos vivos extensivos: Una practica sostenible por descubrir e investigar en Colombia .
- Ibañez, R. (2008). Techos vivos extensivos. dialnet, (), PP 1-16



- Jimenez, V. Correa, S. Romero, N. Rodriguez, A . (2017). Terrazas verdes, tendencia en Bogotá . Bogotá, Colombia.. Repository.Poligran Recuperado de <http://repository.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/851/TERRAZAS%20VERDES.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Lozano. (2008). *Localidad de chapinero ficha basica*.
- Luckett, K. (2009). *Green Roof Construction and Maintenance*.
- M.Lazzarin, R. (2005). *Experimental measurements and numerical modelling of a green roof*.
- Minke, G. (2016). *Techos Verdes. Planificacion, ejecucion, consejos practicos*.
- Moreno, S., & Nieto, J. (2010). Decreto 531
- Niemczynowicz. (1999). *Urban Hydrology and Water Management – Present and*
- Nieto, J. A. (2011). *Guia de techos verdes en Bogotá. Bogotá, Colombia*.
- MuhammadShafique. (2018). *Green roof benefits, opportunities and challenges – A review*.
- SDA. (2011). *Guias de techos verdes en Bogotá*.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). Resolución 5926.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). Resolución 6423.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2014). Resolución 3654.
- Secretaria Juridica Distrital . (2013). Decreto 364 de 2013.
- Serrano, P. (11 de mayo del 2018). *Techo verde o cubierta verde: todo lo que necesitas saber*. [.]. Recuperado de <https://www.certificadosenergeticos.com/techo-verde-cubierta-verde-todo-que-necesitas-saber>
- Sutton, R. (2015). *Green Roof Ecosystem . Nebraska : Springer*
- VanWoert, N. D. (2005). *Green Roof Stormwater Retention - Effects of Roof Surface, Slope, and Media Depth*.
- Vega, L. C. (2015). *Sistemas de control de escorrentía pluvial en ciudades: techos verdes vs. tanques de almacenamiento. (tesis de pregrado)*. Universidad de los andes, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18702/u722271.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villón, M. (2012). *Cálculos hidrológicos e hidráulicos*.



---

Whittinghill, L.. (25 de mayo 2009). vegetable production using green roof technology and the potential impacts on the benefits provided by conventional green ROOFS. Michigan. d.lib.msu.edu Recuperado de Whittinghill\_grad.msu\_0128D\_11571.pdf

Zielinsk, S. (2012). Techos verdes: Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta? Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30820/39306>

Zinco cubiertas ecológicas S.L. (2019). Recuperado de [https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas\\_cubiertas/intensivas/index.php](https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas_cubiertas/intensivas/index.php).

