



**TIPOLOGÍA DEL SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)
CON MEJOR ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES DE LA UNIVERSIDAD
EL BOSQUE Y SU RELACIÓN HACIA LA PREVENCIÓN DE
INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO SALITRE**

Luisa Fernanda Florez Cardozo

**Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 2018**

**TIPOLOGÍA DEL SISTEMA URBANO DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)
CON MEJOR ADAPTACIÓN A LAS CONDICIONES DE LA UNIVERSIDAD
EL BOSQUE Y SU RELACIÓN HACIA LA PREVENCIÓN DE
INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO SALITRE**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director (a):

Felix Darío Sánchez Lancheros

Área de Investigación: Ingeniería Socio-Técnica

Línea de Investigación: Infraestructura sustentable

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2018

Tabla de contenido

Resumen	7
Introducción.....	9
Justificación.....	11
Planteamiento del Problema	12
Pregunta de Investigación.....	13
Objetivos.....	13
<i>General</i>	13
<i>Específicos</i>	13
Marco de Referencia.....	14
<i>Perspectiva Teórica</i>	14
Descripción del territorio	14
Antecedentes	15
Marco Teórico Conceptual	17
Estado del Arte	29
Metodología.....	34
1. <i>Diseño Metodológico</i>	34
2. <i>Técnicas e Instrumentos</i>	35
Fase I: Realizar un diagnóstico de la oferta y demanda hídrica de la Universidad El Bosque.....	35
Fase II: Preseleccionar las tipologías de SUDS más factibles con base en las condiciones ambientales de la Universidad El Bosque	37
Fase III: Medir el aporte de aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre por parte de la Universidad El Bosque	39
Resultados.....	43
<i>Fase I: Realizar un diagnóstico de la oferta y demanda hídrica de la Universidad El Bosque</i>	43
1. Estimación de la Oferta en la Universidad El Bosque	43
2. Estimación de la Demanda Hídrica	45
Análisis de Resultados	56
Fase II: Preseleccionar las tipologías de SUDS más factibles con base en las condiciones ambientales de la Universidad El Bosque	56
• Identificación de áreas potenciales	57

• Definición de Tipologías Factibles	58
• Determinación de Tipologías de SUDS más adecuadas	62
• Evaluación de Tipologías	68
Análisis de Resultados	70
Fase III: Medir el aporte de aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre por parte de la Universidad El Bosque	70
1. Recolección de datos hidrológicos de la cuenca del río Salitre	70
2. Balance Hídrico	70
3. Metodología Chile	73
4. Aporte de las aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre	76
5. Cálculo de Caudales Pico- Método Hidrograma racional	77
Análisis de Resultados	78
Discusión de resultados	79
Conclusiones	82
Bibliografía.....	84
Anexos	89

<i>Figura 1 Amenaza Inundación Tramo del Río Salitre (IDIGER, 2018)</i>	12
<i>Figura 2 Ubicación Universidad El Bosque (Google maps)</i>	14
<i>Figura 3 Ubicación espacial de la Universidad El Bosque (Google Maps)</i>	15
<i>Figura 4 Mapa de inundaciones y encharcamiento en la cuenca del Río Salitre (POMCA Salitre)</i>	16
<i>Figura 5 Ciclo del Agua (Arkiplus, 2018)</i>	18
<i>Figura 6 Ciclo Hidrológico Urbano (Trujillo A. &, 2013).</i>	19
<i>Figura 7 Cunetas Verdes (SUDS Scottish Working Party, 2009).</i>	23
<i>Figura 8 Pavimento Permeable de tipo mezcla asfáltica porosa (Universidad de los Andes, 2017)</i>	24
<i>Figura 9 Pavimento Permeable de tipo concreto poroso (Universidad de los Andes, 2017)</i>	25
<i>Figura 10 Pavimentos permeables de tipo adoquines entrelazados (Universidad de los Andes, 2017)</i>	25
<i>Figura 11 Pavimentos permeables de tipo adoquines de rejillas de concreto (Universidad de los Andes, 2017)</i> .26	
<i>Figura 12 Pavimentos permeables de tipo grava porosa (Universidad de los Andes, 2017)</i>	26
<i>Figura 13 Zanja de infiltración (Universidad de los Andes, 2017)</i>	27
<i>Figura 14 Perfil horizontal de una Zanja de Infiltración (Universidad de los Andes, 2017)</i>	28
<i>Figura 15 Ejemplos de Zonas de Bio-retención (Universidad de los Andes, 2017)</i>	28
<i>Figura 16 Ejemplo de sumideros tipo alcorque inundable (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011)</i>	29
<i>Figura 17 Diagrama de la Clasificación por categorías de los usos del agua en la Universidad El Bosque (Leguizamón, 2016)</i>	30
<i>Figura 18 Metodología de Trenes de SUDS (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011)</i>	38
<i>Figura 19 Cálculo de volumen acumulado de agua lluvia mediante la metodología Chile (Autor, 2018)</i>	40
<i>Figura 20 Coeficiente de seguridad (Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas -DICTUC-, 1996)</i> 41	
<i>Figura 21 Relación Oferta Hídrica y Oferta Hídrica Acumulada (Autor, 2018)</i>	45
<i>Figura 22 Diagrama de la Demanda Total del Agua para la Universidad el Bosque (Autor, 2018)</i>	46
<i>Figura 23 Gráfica Demanda Hídrica por Sector Servicios (DUS) (Autor, 2018)</i>	50
<i>Figura 24 Gráfica Demanda Hídrica para Uso Doméstico (DUD) (Autor, 2018) ...¡Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Figura 25 Demanda Total de Agua por Categoría (Autor, 2018)</i>	52
<i>Figura 26 Consumo de agua potable de la Universidad el Bosque (Autor, 2018)</i>	53
<i>Figura 27 Clasificación de la Demanda Total del Agua (Autor, 2018).</i>	53
<i>Figura 28 Consumo de agua por Categoría (Autor, 2018)</i>	54
<i>Figura 29 Relación Oferta y Demanda hídrica de la Universidad El Bosque (Autor, 2018)</i>	55
<i>Figura 30 Área de la Universidad El Bosque (Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento)</i>	57
<i>Figura 31 Áreas potenciales de la Universidad El Bosque (Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento)</i>	58
<i>Figura 32 Ancho del área disponible (Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento, 2018)</i>	61
<i>Figura 33 Largo del área disponible (Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento, 2018)</i>	62

<i>Tabla 1 Marco Normativo.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2 Diseño Metodológico del proyecto</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 3 Oferta Hídrica Mensual.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 4 Pérdidas de la Oferta Hídrica Mensual</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 5 Uso de agua por parte de las Concesiones.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6 Aseo de Baños.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 7 Número de Personas en la Universidad El Bosque</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8 Consumo de agua para uso de baños</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 9 Consumo de agua para riego de la Universidad El Bosque</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10 Consumo de agua de la Universidad el Bosque</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 11 Demanda de Agua para el Sector Servicios de la Universidad el Bosque.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 12 Demanda de Agua para Uso Doméstico (DUD)</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 13 Gasto en el consumo de agua por categoría</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 14 Relación Oferta y Demanda hídrica de la Universidad El Bosque</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 15 Tipo de SUDS de acuerdo con áreas potenciales.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 16 Restricciones recomendadas para la selección de Tipologías de SUDS.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 17 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según eficiencia de remoción de contaminantes</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 18 Fuentes contaminantes en el ecosistema urbano.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 19 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según eficiencia de control de volumen de escorrentía</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 20 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según contribución a la amenidad y conflictos de uso</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 21 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según frecuencia de mantenimiento.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 22 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según costos.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 23 Criterios de Selección de Tipologías de SUDS.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 24 Matriz selección de Tipologías</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 25 Áreas de la Universidad El Bosque</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 26 Área de la Universidad con zonas verdes.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 27 Balance Hídrico de la Universidad El Bosque</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 28 Balance Hídrico del área potencial.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 29 Coeficiente de escorrentía superficial para la Universidad El Bosque.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 30 Tabla de Intensidad-Duración-Frecuencia</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 31 Volumen afluente para la Universidad El Bosque</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 32 Volumen infiltrado al área potencial de la Universidad El Bosque</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 33 Volumen almacenado</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 34 Aporte de aguas pluviales a la cuenca del Río Salitre</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 35 Método Hidrograma Racional.....</i>	<i>77</i>

Resumen

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) son utilizados para prevenir las inundaciones y encharcamientos generados en los ecosistemas urbanos debido a la sobrecarga que se presenta en los drenajes convencionales en los periodos de lluvia.

Se establece la tipología de SUDS que mejor se adapte a las condiciones de la Universidad El Bosque mediante el análisis de la oferta y demanda hídrica, para así identificar la relación que tiene con respecto a las inundaciones de la Cuenca del Río Salitre, debido a la densidad poblacional de la institución.

Mediante un formato de la Universidad de los Andes, se escogen los SUDS que se adecuen a la Universidad; se realiza interpretación de las intensidades de lluvia y el aporte hacia la Cuenca del Río Salitre con base a la oferta y demanda hídrica en la Universidad.

Es necesario sustituir el consumo de agua para usos no potables como el riego de jardines, uso de baños y aseo; esto implicaría una reducción del 10% del volumen acumulado anual hacia la cuenca del Río Salitre y el sistema de alcantarillado. Para poder realizar esto, es necesario tener en cuenta tecnologías limpias de drenaje alternativo como las zanjas de infiltración y pavimentos porosos ya que cumplen con las especificaciones para su posible implementación en la Universidad, donde el aporte de aguas pluviales a los sistemas de drenaje y a la cuenca es de 435.725 m³ anual.

Palabras clave: *Aprovechamiento, Aguas pluviales, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), Inundaciones*

Abstract

The sustainability problems presented by urban ecosystems are caused by poor management of water resources; the use of rainwater can prevent flooding due to the overload of conventional drainages; Worldwide, alternative systems such as sustainable urban drainage systems (SUDS) have been established.

The SUDS typology is established that best adapts to the El Bosque University conditions through the analysis of water supply and demand, in order to identify the relationship it has with respect to the floods of the Salitre River Basin, due to the population density of the institution.

Through a format of the University of the Andes, the SUDS that are suitable for the University are chosen; Interpretation of rainfall intensities and contribution to the Salitre River Basin are made based on water supply and demand at the University.

It is necessary to replace the consumption of water for non-potable uses such as watering gardens, use of bathrooms and toilets; this would imply a reduction of 10% of annual cumulative volume to the Salitre River basin and the sewerage system. To be able to do this it is necessary to implement alternative drainage technologies such as infiltration ditches and porous pavements since they meet the specifications for possible implementation at the University, where the contribution of rainwater to drainage systems and the basin is 435,725 m³ annual.

Key words: Water Use, Rainwater, Urban Systems of Sustainable Drainage (SUDS), Floods

Introducción

Las actividades humanas hacen el uso del recurso hídrico de manera intensa, tanto para cubrir las necesidades básicas de tipo biológico y cultural, como para el desarrollo económico de la sociedad. Es importante resaltar que su uso crítico tiene que ver con el abastecimiento de agua potable para la población, los procesos industriales, la generación de energía eléctrica y los sistemas de riego; es decir, el alto consumo de agua potable que se da para estos servicios desemboca en las cuencas hidrográficas con un alto porcentaje de residuos orgánicos y peligrosos (Ministerio de Ambiente e IDEAM, s.f).

Bogotá, al ser la capital de Colombia, posee una alta demanda de agua potable y la forma de satisfacerla ha sido a través de los embalses de la Regadera, Chingaza y Tibitoc (PÁEZ, s.f) para una población promedio de 8 millones de habitantes (Caracol Radio, 2015); al mismo tiempo la ciudad se sitúa entre tres importantes cuencas como lo son la del Río Salitre, Fucha y Tunjuelo. Teniendo en cuenta la localización geográfica de Bogotá y su constante crecimiento social, es importante optimizar el manejo del recurso hídrico; debido a que el proceso de urbanización implica alteraciones ambientales. Siendo el desarrollo vial uno de los principales problemas del ecosistema, puesto que requiere la construcción de pavimentos que puedan resistir adecuadamente las cargas del tránsito vehicular (Montero, 2001).

Los pavimentos tradicionales ocasionan impermeabilización en el espacio urbano, permitiendo riesgos de inundación (Gromaire-Mertz, 1999) y de contaminantes no puntuales que aumentan año tras año debido a la concentración de la población y al progreso de la urbanización (Hur, 2017). Existen sistemas de drenaje alternativos al convencional para tratar los problemas que presenta el ecosistema urbano de acuerdo a las condiciones del terreno en donde se hace el aprovechamiento de la precipitación pluvial para evitar los encharcamientos y las inundaciones.

Debido a la importancia del recurso hídrico y su bajo porcentaje potable, es necesario preservarlo, pues, la escasez de este recurso cada día es más frecuente y se va incrementado al pasar los años. La precipitación pluvial constituye una parte importante del ciclo hidrológico, ya que produce el agua renovable del planeta, donde esta varía regional y estacionalmente (Comisión Nacional del Agua, 2011). Se produce de forma natural, alimentando acuíferos, aguas de superficie y escorrentías. Todas estas formas de retención del agua lluvia constituyen el patrimonio esencial para la vida rural y urbana de la Región Capital (Montes, 2004).

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), son una alternativa al drenaje convencional, han sido usados en países como Estados Unidos, España y Suecia (Universidad de los Andes, Acueducto de Bogotá & Alcaldía Local de Bogotá, 2016) para aprovechar las aguas pluviales de la ciudad, contrarrestando la impermeabilidad que causa la urbanización. Existen distintas tipologías de acuerdo a las condiciones que se presenta en el terreno y las necesidades sociales, económicas y ecológicas.

La Universidad El Bosque hace parte de la cuenca del río salitre, presentando una alta demanda poblacional en un amplio terreno geográfico; la comunidad universitaria hace uso del agua potable para diferentes actividades como riego de jardines, consumo humano, uso de baños, aseo de salones, entre otros. Algunas de estas actividades se pueden abastecer a partir del uso de aguas pluviales. Por esta razón el objetivo de la investigación es establecer la tipología de sistema urbano de drenaje sostenible que mejor se adapte a las condiciones de la Universidad El Bosque mediante el análisis de la oferta y demanda hídrica, para así identificar la relación que tiene con respecto a las inundaciones de la Cuenca del Río Salitre.

Justificación

Actualmente los problemas ambientales que se dan por el consumo desmesurado del recurso hídrico, aceleran el calentamiento global y el cambio climático, generando la necesidad de realizar una preservación y minimización del derroche del recurso hídrico; En nuestro planeta, del total de los recursos hídricos, el agua dulce solamente representa el 2,5%. Estos 2,5% están distribuidos en un 68,7% en glaciares, 30,1% en aguas subterráneas, mientras que sólo un 0,8% aflora en aguas superficiales (Lira, 2012).

La Universidad El Bosque tiene un enfoque bio-psico-social por lo que es importante realizar investigaciones que aporten a la mitigación de problemas ambientales en la sociedad; es por eso que desde lo ecológico, el uso de aguas pluviales puede reemplazar el consumo de agua para usos no potables que se da en la institución como lo son el uso de baños, aseo y riego de jardines, al mismo tiempo que se realiza un beneficio de carácter económico, ya que el uso de estas aguas reduce el gasto en el consumo de agua potable brindado por parte de la empresa de acueducto de Bogotá.

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) son una herramienta para alcanzar el aprovechamiento de las aguas pluviales, debido a que manejan sistemas de captación, infiltración y almacenamiento generando un beneficio ambiental. La reducción de la de contaminantes que alberga el ecosistema urbano, en este caso la universidad, ya que dentro de la misma hay residuos ordinarios que desembocan en la cuenca del río salitre; al igual reduce el volumen de aguas lluvias que llegan al drenaje convencional, previniendo problemas de inundación.

Las Secretarías Distritales de Ambiente y Planeación realizaron un diagnóstico y evaluación de los principales problemas de sostenibilidad que se presenta en Bogotá, en donde se encontraron problemas de urbanismo y construcción, entre ellas las inundaciones en las diferentes cuencas que hacen parte de la capital, una de ellas la del río salitre. Aunque no es un problema que se presente en la Universidad El Bosque, las inundaciones que se generan por parte de la precipitación pluvial crean una sobrecarga al sistema de drenaje convencional y por ello es importante realizar un aporte institucional a los problemas que se presentan en la capital.

Planteamiento del Problema

Las vías de desarrollo no sostenibles han afectado la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos, comprometiendo la capacidad de generar beneficios sociales y económicos al estar aumentando la demanda de agua dulce (UNESCO, 2015). Siendo condicionada por el crecimiento demográfico, la urbanización y demás; como consecuencia traen consigo una serie de cambios y alteraciones en las condiciones naturales al aumentar las superficies impermeables, generando problemas en el drenaje y la gestión de las aguas lluvias debido al aumento en los caudales de escorrentía, que se agudizan con la limitada capacidad de los colectores existentes, y el aumento en las intensidades de lluvias, traducido en inundaciones y pérdidas económicas para las comunidades (Martinez, 2013).

Bogotá está localizada dentro de la zona de confluencia intertropical la cual cruza la ciudad dos veces al año, produciendo épocas de lluvia que se denominan “invierno”. La primera se presenta en los meses de marzo, abril y mayo; la segunda, en los meses de septiembre, octubre y noviembre (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011); en estas temporadas se presentan problemas de inundación, debido a las fuertes lluvias y de gran duración que caen sobre la ciudad, generando volúmenes de agua que los ríos, quebradas y humedales son incapaces para recolectar y transportar. También se genera encharcamiento, sus causas son debido a una inexistencia de sistemas de drenaje pluvial y el colapso estructural de redes antiguas (IDIGER, 2018).

En esas épocas de lluvia existen afectaciones a las cuencas hídricas que posee Bogotá, como lo es la Cuenca del Río Salitre, esto se puede observar en Figura 1, la convención rosada y amarilla indican las zonas de inundación y encharcamiento. La Universidad El Bosque hace parte de la Cuenca del Río Salitre y a pesar de que esta no sufre por inundaciones, como enseña el gráfico, existe una incógnita en cuanto a la impermeabilización del suelo que esta posee y su aporte a los problemas de inundación que se albergan en la cuenca.



Figura 1 Amenaza Inundación Tramo del Río Salitre (IDIGER, 2018)

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son un aporte a la mejora del Drenaje de las ciudades que por el acelerado crecimiento demográfico han sufrido de impermeabilizaciones y

encharcamientos (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011). Al ser una tecnología funcional se han realizado planes piloto por parte de la Secretaría Distrital de Ambiente y la Universidad de los Andes, en donde ya se han tipificado los SUDS correspondientes a cada territorio dependiendo de las condiciones del mismo. Por esta razón es necesario saber qué SUDS cumplen con las condiciones del territorio de la Universidad El Bosque y a partir de los resultados arrojados por la investigación conocer el aporte de la institución a la prevención de inundaciones en la Cuenca del Río Salitre.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es la tipología de SUDS con mejor adaptación a las condiciones de la Universidad El Bosque y su relación hacia la prevención de inundaciones en la Cuenca del Río Salitre?

Objetivos

General

Establecer la tipología de SUDS con mejor adaptación a las condiciones de la Universidad El Bosque evaluando su relación hacia la prevención de inundaciones en la Cuenca del Río Salitre

Específicos

- Realizar un diagnóstico de la oferta y demanda hídrica de la Universidad El Bosque
- Preseleccionar las tipologías de SUDS más factibles con base en las condiciones ambientales de la Universidad El Bosque
- Medir el aporte de aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre por parte de la Universidad El Bosque

Marco de Referencia

Perspectiva Teórica

Descripción del territorio

El proyecto se desarrolla en La Universidad El Bosque, ubicada en Bogotá – Colombia, en la localidad de Usaquén, en la carrera 7B bis No 132-11, limitando al norte con la Avenida Calle 134, al sur con el Barrio Bella Suiza, al oriente con la carrera 7B bis y al occidente con la carrera novena, más exactamente $4^{\circ}32'36.17''$ N $74^{\circ}01'72,83''$ O.



Figura 2 Ubicación Universidad El Bosque (Google maps)

La Universidad hace parte de la Cuenca del Río Salitre, donde su ubicación espacial y los cuerpos receptores cercanos a la misma se pueden observar en la Figura 3

Cuenca del Río Salitre:

1. Quebrada Contador
2. Quebrada Bosque Medina
3. Quebrada Trujillo
4. Quebrada Delicias del Carmen
"Callejas"
5. Canal Contador
6. Canal Callejas



Figura 3 Ubicación espacial de la Universidad El Bosque (Google Maps)

Antecedentes

Los ecosistemas que se encuentran inmersos en la matriz urbana de Bogotá, son altamente sensibles a cualquier alteración de diversa índole, ya que sus frentes o bordes se encuentran expuestos a la contaminación propia de la capital. En el contexto de la cuenca del río salitre, las grandes amenazas son la afectación por remoción de masa, inundaciones e incendios forestales. El diagnóstico de vulnerabilidad es de carácter cualitativo en función de la categoría de asentamientos humanos, las características ingenieriles de construcción de las viviendas y su ubicación geográfica; las características estructurales y geométricas de vías; las características de ubicación de redes de servicios públicos y de las características de drenaje de la zona (Universidad Militar Nueva Granada; Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

Ante esto el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) clasifica a las inundaciones como una de las grandes amenazas de acuerdo con el régimen de cauces, donde la cuenca del Río Salitre presenta inundaciones de tipo aluvial (lenta), al cual el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE) analiza la concentración de inundaciones en el canal salitre.

Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
 Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
 Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre

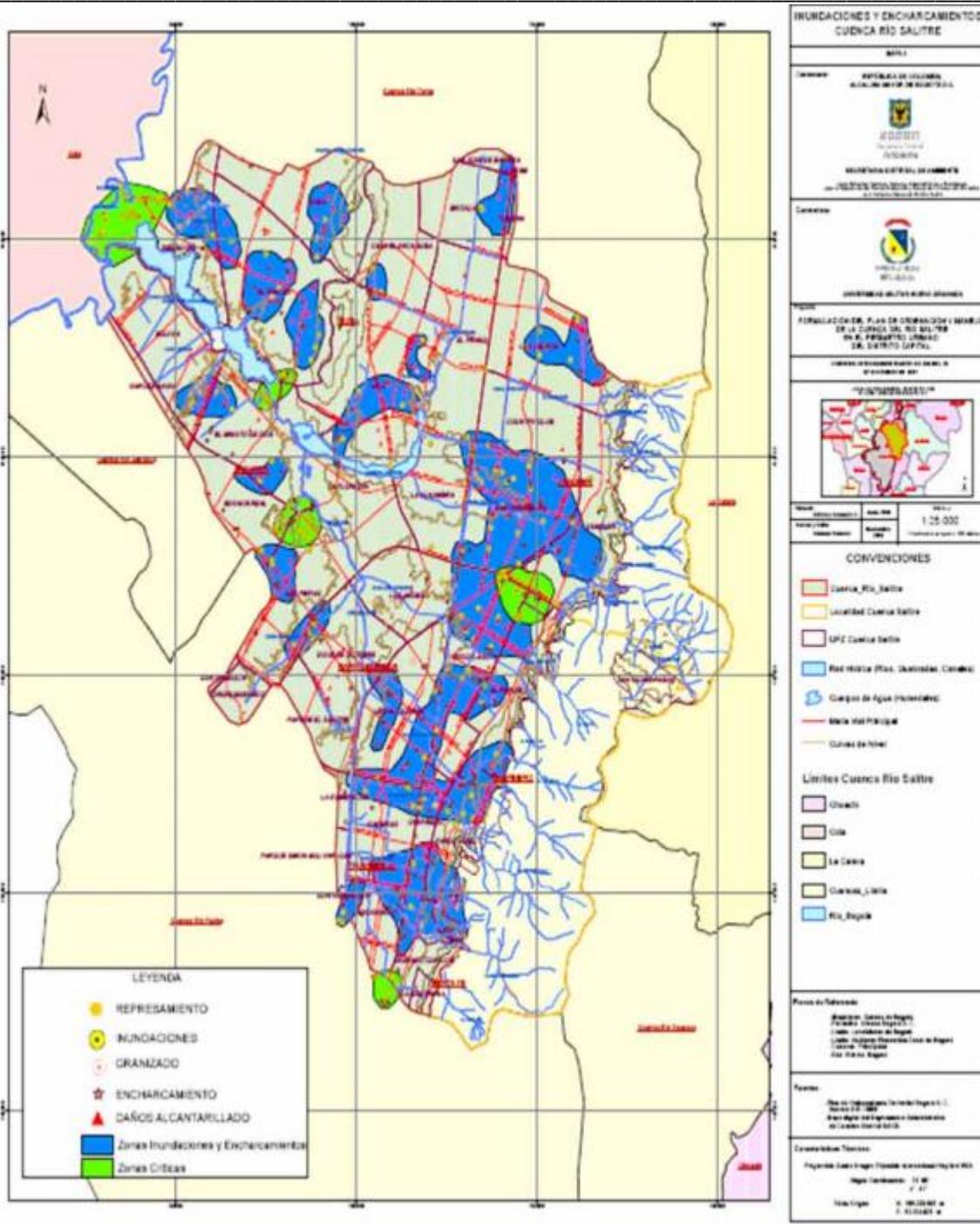


Figura 4 Mapa de inundaciones y encharcamiento en la cuenca del Río Salitre (POMCA Salitre)

En la figura 4 se muestra las zonas potenciales de inundación y encharcamiento de la cuenca del Río Salitre, donde en general los reportes se ubican en toda la cuenca, encontrándose agrupados en vías principales (avenida Caracas, Autopista Norte, Avenida 68 y calles 63 y 72, avenida Boyacá entre calles 72 y avenida Suba), cerca de sistemas principales de alcantarillado (colector Las Delicias, canal

Molinos, canal Callejas, canal Jorge Uribe Botero) (Universidad Militar Nueva Granada; Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

Se tiene en cuenta que los pavimentos tradicionales ocasionan impermeabilizaciones importantes en el espacio urbano, aumentando los riesgos de inundación y como respuesta a este problema, desde la década de 1980 se han venido concibiendo y probando una serie de técnicas alternativas al drenaje pluvial urbano, en donde se intentan crear soluciones que generen una menor diferencia entre el ciclo hidrológico urbano y el ciclo hidrológico natural (Trujillo & Quiroz, Pavimentos Porosos utilizados como Sistemas Alternativos al Desarrollo Urbano, 2013), aliviando las demandas excesivas que presentan las redes de alcantarillado pluvial y combinado (Torres, Ortega, & Daza, 2011).

En Bogotá se ha venido desarrollando una política pública basada en reorientar las dinámicas de urbanismo y construcción de la capital con un enfoque de desarrollo sostenible, contribuyendo a enfrentar el cambio climático (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014). Esta política se fundamenta en el séptimo objetivo de Desarrollo del Milenio de la ONU: “Incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y reducir la pérdida de recursos del medio ambiente”; reconociendo los principios de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992, desarrollados en el ordenamiento jurídico colombiano de acuerdo con lo establecido por la ley 99 de 1993.

Esta política parte del reconocimiento de las necesidades materiales de la población en pro de la sostenibilidad sin ir en detrimento de los ecosistemas y tratando de reducir al máximo el costo ambiental desde las dinámicas de la construcción, el urbanismo y la arquitectura. Se plantea una ruta para aportar la adaptación del territorio a los efectos adversos de la variabilidad y cambio climático, mediante la adopción de prácticas y tecnologías que deben ser utilizadas por los actores sociales e institucionales implicados en los diversos temas urbanísticos y de edificación de la ciudad, como lo son los sistemas urbanos de drenaje sostenible (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).

Marco Teórico Conceptual

La ecología es una disciplina científica que explica las interacciones entre los organismos y su ambiente natural vivo o inerte (Smith, 2007), en donde se da respuesta a las relaciones que incluyen el ambiente en su pasado, presente y futuro; estas relaciones incluyen la estructura y la dinámica de las poblaciones, los componentes en los ecosistemas a diferentes escalas, desde la local hasta la global. Uno de los retos principales de la ecología es identificar las escalas temporal y espacial llevando a cabo los procesos ecológicos (Vélez, 2016). La ecología se puede abordar desde diferentes enfoques o escalas en los cuales se encuentran:

- La biosfera, que incluye a todos los organismos.
- Los ecosistemas, que describen los organismos y sus actividades en forma de procesos de flujo de energía y ciclo de nutrientes.
- Las poblaciones, según su adaptación al medio, su distribución geográfica y las variaciones en tamaño y densidad.

Los ciclos biogeoquímicos globales, son el producto del reciclado ecológico regulado por las redes alimentarias que desplazan las partículas de la materia de un organismo viviente a otro. Estos ciclos se desarrollan continuamente en los ecosistemas, razón por la cual es sumamente importante comprenderlos, dado que si se conoce la interacción entre los almacenamientos y los flujos que se dan en ellos, es posible proponer soluciones a cualquier desequilibrio que se detecte en los mismos.

El ciclo del agua permanece en constante movimiento gracias a la energía suministrada por el sol; El vapor de agua en la atmosfera se condensa y se precipita sobre los continentes y océanos en forma de lluvia, granizo, niebla o nieve. El agua que cae en los continentes va descendiendo de las montañas por las quebradas y ríos, o se infiltra en el suelo y se acumula en las capas inferiores de la tierra como aguas subterráneas. Gran parte de las aguas continentales acaban en los océanos; otra parte es evaporada o transpirada por las plantas y vuelve de nuevo a la atmosfera. Los lagos, mares y océanos también evaporan agua constantemente. En la Figura 5, se muestra el ciclo hidrológico (Vélez, 2016).



Figura 5 Ciclo del Agua (Arkiplus, 2018)

Por otro lado, lo que ocurre en la ciudad (Figura 6), el agua, antes de llegar al suelo, purifica el aire recogiendo partículas contaminantes, que son arrastradas posteriormente. En la ciudad, la detención de agua de precipitación es efectuada por los tejados y superficies impermeables, por lo tanto, en zonas urbanas no se produce casi infiltración, por ejemplo los acuíferos naturales situados bajo las ciudades quedan aislados (Trujillo A. &., 2013).

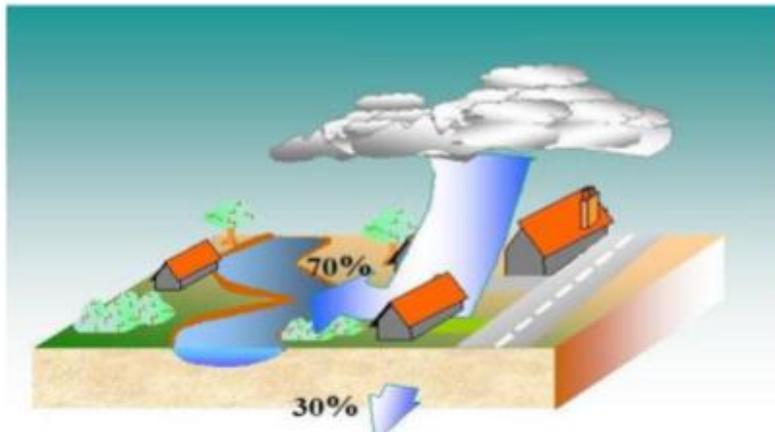


Figura 6 Ciclo Hidrológico Urbano (Trujillo A. &, 2013).

Los componentes del ciclo hidrológico que se relacionan más directamente con la disponibilidad de agua y que intervienen en la ecuación del balance hídrico son la precipitación como variable de entrada, la evapotranspiración real y la escorrentía como variables de salida (IDEAM, 2010).

- La precipitación es el volumen de agua que cae por acción de la gravedad sobre la superficie terrestre en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo procedentes de la condensación del vapor de agua, es el responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida tanto de animales como de vegetales, que requieren del agua para vivir.
- La evapotranspiración real, según la Unesco (2010) es sinónimo de evapotranspiración efectiva, se define como la suma de las cantidades de agua evaporadas del suelo y de las plantas cuando el terreno se encuentra con su contenido natural de humedad. Se diferencia de la evapotranspiración potencial, que es la cantidad máxima de agua capaz de ser evaporada en una condición climática determinada, con una cubierta vegetal continua y suficiente disponibilidad de agua. Por lo tanto, incluye la evaporación del suelo y la transpiración vegetal en una región específica y en un intervalo de tiempo dado; se expresa en unidades de lámina de agua.
- Una fase fundamental del ciclo hidrológico es la evaporación, bien sea del agua de los océanos, de la vegetación, de la superficie del terreno, de los cuerpos de agua, de las corrientes en general, o de zonas saturadas y no saturadas del terreno, todo bajo la acción de la radiación solar.
- La escorrentía hídrica superficial o flujo superficial se define como parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo y se concentra en los cauces y cuerpos de agua. Es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. En el balance hídrico se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración en suelo; está en función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca, y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca.

Oferta Hídrica

La oferta hídrica está asociada al régimen hidrológico, el cual, de acuerdo al Glosario Hidrológico Internacional se define como: “Variaciones del estado y de las características de una masa de agua que

se repiten de forma regular en el tiempo y en el espacio y que muestran patrones estacionales o de otros tipos” (SIAC, 2018).

La oferta hídrica superficial hace referencia al volumen de agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales en un periodo determinado de tiempo, se cuantifica a través de la escorrentía (mm) y rendimientos hídricos ($l/s.km^2$) en las unidades espaciales de análisis definidas en la zonificación hidrográfica de Colombia, clasificada en tres niveles; áreas, zonas y subzonas hidrográficas (SIAC, 2018).

Demanda Hídrica

Según el Sistema de Información Ambiental de Colombia, la demanda de agua corresponde a la cantidad de volumen de agua usado por los sectores económicos y por la población. Se considera el volumen utilizado como materia prima, insumo y es posteriormente retornado, en parte, a los sistemas hídricos.

Aguas Grises

Las aguas grises son aquellas que en algún grado son contaminadas, como las provenientes de las lavadoras, regaderas, tinajas, lavabos, etc., son igualmente aguas residuales que tuvieron un uso ligero, que pueden contener jabón, cabello, suciedad o bacterias, pero que están suficientemente limpias para regar las plantas. En algunos lugares, el agua residual de la cocina es considerada aguas grises, mientras que en otros lugares es clasificada como “aguas negras” lo mismo que el agua del inodoro. El agua proveniente del inodoro, así como el agua del lavado de pañales, no debe ser considerada aguas grises (Allen, 2015).

Curvas de Intensidad Frecuencia y Duración (I.D.F)

La Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno (IDEAM, 2010); son construidos mediante puntos representativos de la intensidad media de precipitación para diferentes duraciones, correspondientes a un mismo periodo de retorno por medio de una gráfica.

Hacen parte del análisis de precipitación en el estudio de intensidad máxima con base en determinados intervalos de tiempo y periodos de retorno, donde para su elaboración se tienen en cuenta aguaceros o tormentas de mayor volumen registrados, con su respectiva duración (Montealegre, 2018).

Cuenca hidrográfica

El ciclo hidrológico y la importancia del agua en los ecosistemas terrestres. Todos los problemas que están relacionados con estos aspectos y con la competencia por este recurso, que, según algunos pensadores ambientales, se debería llamar “patrimonio hídrico”, donde las corrientes naturales o ríos, además de agua, están compuestos por sedimento, nutrientes, flora y fauna acuática que interactúan entre sí (Vélez, 2016).

La cuenca hidrográfica es conocida como el área de captación o terreno de donde provienen las aguas de un río, quebrada, lago, laguna, humedal, estuario, embalse, acuífero, manantial o pantano, donde según la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) es una unidad fundamental para el desarrollo de los procesos de planificación y administración (Decreto 1076 de 2015). La gestión y administración integrada del recurso hídrico acorde al manejo de las cuencas hidrográficas, se realiza considerando los siguientes aspectos:

- **Planificación:** Se constituyan en instrumentos que permitan la sostenibilidad del recurso, implementando esquemas de articulación interinstitucional y procesos de fortalecimiento institucional.
- **Gestión en el Uso y Aprovechamiento del Recurso:** Abarca el diseño de diferentes instrumentos y herramientas que permitan actualizar y fortalecer la administración efectiva del recurso, buscando garantizar los niveles de cantidad y calidad necesarios para los diferentes usos de la sociedad, adelantando para el efecto mecanismos de uso eficiente y ahorro del agua y de evaluación y seguimiento que permitan ajustar, mejorar y actualizar los esquemas de planificación y gestión.
- **Prevención y Control de la Contaminación Hídrica:** Se busca garantizar los niveles de calidad del agua teniendo como referente el establecimiento de objetivos de calidad y su relación con la disponibilidad hídrica, la promoción del reúso y la aplicación de instrumentos económicos, entre otros.
- **Planes Departamentales de Agua:** Buscan impulsar la participación de las Autoridades Ambientales en el desarrollo de las diferentes fases de los planes, de tal forma que se tenga en cuenta los impactos sobre el recurso, priorizaciones y la gestión, bajo la concepción de cuenca hidrográfica.
- **Gestión del Riesgo:** Se busca establecer lineamientos, políticas, regulaciones e instrumentos financieros para la inclusión del riesgo ante la presencia de diversas amenazas asociadas tanto en el aspecto de cantidad como de calidad del agua.

El área que rodea las cuencas suele ser de plantas y árboles. Las plantas y árboles contribuyen a mantener las cuencas en buen estado, trayendo consigo beneficios como el aumento de la infiltración y evaporación, filtración del agua y su purificación, reducción de escorrentías, erosión y sedimentación (Bosque Nacional el Yunque, 2018).

Ecosistema Urbano

El concepto de ecosistema urbano fue reconocido internacionalmente desde 1973 dentro del programa El hombre y la biosfera (Man and Biosphere) de la UNESCO con el proyecto de estudio de la ciudad como un sistema artificial. La comprensión de la ciudad como un ecosistema ha permitido reconocer la multiplicidad de interacciones e interdependencias que se dan en los territorios urbanos entre humanos, otros seres vivos y sistemas construidos (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).

Tipos de Inundación

- **Inundación** Es un evento natural y recurrente que se produce en las corrientes de agua, como resultado de lluvias intensas o continuas que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces, desbordan e inundan llanuras de inundación, en general, aquellos terrenos aledaños a los cursos de agua. Las inundaciones se pueden dividir de acuerdo con el régimen de los cauces en: lenta o de tipo aluvial, súbita o de tipo torrencial y encharcamiento (IDEAM, 2010).
- **Inundación de tipo aluvial (inundación lenta)** Se produce cuando hay lluvias persistentes y generalizadas dentro de una gran cuenca, generando un incremento paulatino de los caudales de los grandes ríos hasta superar la capacidad máxima de almacenamiento; se produce entonces el desbordamiento y la inundación de las áreas planas aledañas al cauce principal. Las crecientes así producidas son inicialmente lentas y tienen una gran duración (IDEAM, 2010).
- **Inundación de tipo torrencial (inundación súbita)** Producida en ríos de montaña y originada por lluvias intensas. El área de la cuenca aportante es reducida y tiene fuertes pendientes. El aumento de los caudales se produce cuando la cuenca recibe la acción de las tormentas durante determinadas épocas del año, por lo que las crecientes suelen ser repentinas y de corta duración. Estas inundaciones son generalmente las que causan los mayores estragos en la población por ser intempestivas (IDEAM, 2010).
- **Encharcamiento** Fenómeno a causa de la saturación del suelo producido por lluvias normales, caracterizado por la presencia de láminas delgadas de agua sobre la superficie del suelo en pequeñas extensiones y por lo general, presente en zonas moderadamente onduladas a planas. El fenómeno puede durar desde pocas horas hasta algunos días. En la ciudad, se presentan por deficiencias o falta de drenajes de aguas lluvias (IDEAM, 2010).

Sistemas de drenaje sostenible

Los sistemas urbanos de drenaje sostenible presentes en esta sección fueron recopilados mediante el Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA) de la Universidad de los Andes en unión con la Secretaria Distrital de Ambiente, donde se tiene en cuenta que:

Los SUDS son conocidos con numerosas denominaciones en los diferentes países donde son empleados, así se pueden encontrar las siglas:

- SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) en Inglaterra
- BMPs (Best Management Practices) en Estados Unidos
- MPC (Mejores Prácticas de Control)
- BPAs (Buenas Prácticas Ambientales)
- TEDUS (Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible)
- LID (Low Impact Development) en Estados Unidos.
- WSUD (Water Sensitive Urban Design) en Australia
- Diseño Urbano Sensible al Agua.

Colombia cuenta con un documento técnico de soporte de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) para el plan de ordenamiento territorial establecido por la secretaria distrital de ambiente en el cual se describe y aplican algunas técnicas para diferentes zonas de Bogotá (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011).

Tipología de sistemas de drenaje sostenible

Cunetas Verdes

Las cunetas verdes corresponden a una de las tipologías de SUDS más implementadas para transportar y dirigir el flujo de escorrentía. Consisten en depresiones del terreno con un rango de pendientes longitudinales que permiten la circulación del agua. Caracterizadas por tener franjas de césped como estructura anexa a ambos lados; éstas direccionan la escorrentía superficial que fluye por los lados de la cuneta, de tal forma que el agua entre al sistema y sea transportado por la cuneta. Suelen implementarse en zonas de espacio público, dado que se requiere de un área longitudinal considerable para que el agua sea transportada apropiadamente, existen diferentes tipos de cunetas verdes que pueden implementarse según las condiciones del sitio y el interés particular de quien desarrolle un sistema de SUDS con esta tipología (Universidad de los Andes, 2017):

1. Cuneta Convencional: permite la infiltración natural hacia el suelo permeable
2. Cuneta Seca: Permanece gran parte del tiempo en estado seco; para esto, se implementa en la parte inferior de la cuneta un reservorio que facilite la infiltración y retención de un volumen adicional de escorrentía
3. Cuneta húmeda: Consiste en un canal que impide la infiltración (natural o con reservorio), con el fin de conservar una lámina de agua casi permanente en el sistema

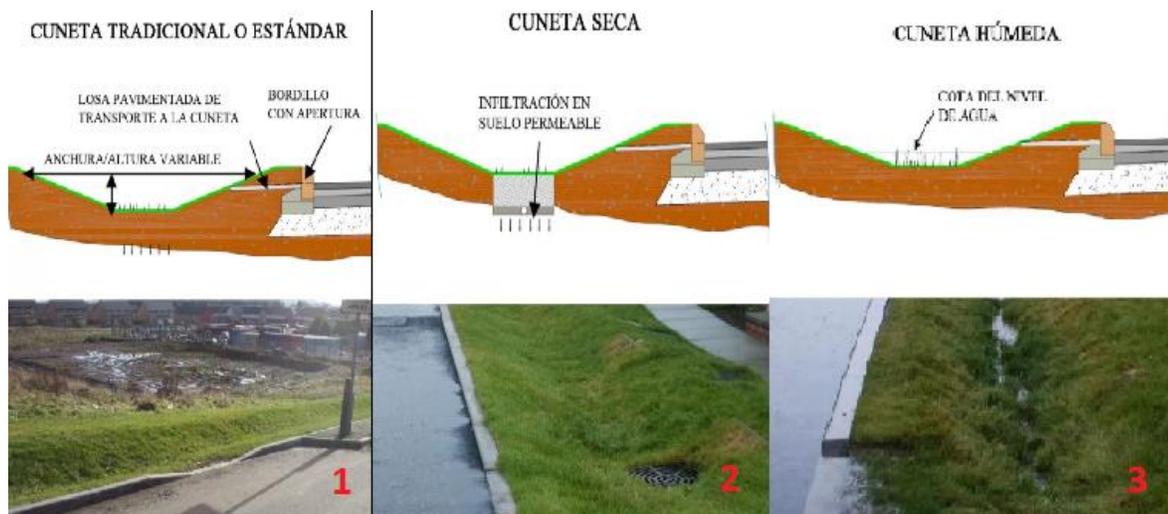


Figura 7 Cunetas Verdes (SUDS Scottish Working Party, 2009).

Pavimentos Permeables

Consisten en un grupo de sistemas cuyo principal objetivo es reemplazar el pavimento convencional por un tipo de pavimento que permita drenar el agua hacia el subsuelo, de manera que la escorrentía no se acumule en la superficie. Incluye un grupo de componentes subterráneos que no conforman los pavimentos convencionales, por medio de los cuales se da el proceso de filtración e infiltración hacia el subsuelo. Dado que este tipo de pavimentos es más sensible frente al peso y la velocidad del tráfico que puede soportar en comparación con los sistemas tradicionales, su implementación no se recomienda en avenidas de alto tráfico ni en zonas por donde transite tráfico pesado, pues es muy probable que el suelo y las capas superficiales se desestabilicen, haciendo que se fragmenten los intersticios de las capas. Por esta razón, los principales espacios de implementación de este tipo de estructuras consisten en los parqueaderos descubiertos, las bahías públicas de estacionamiento y en vías con baja carga peatonal o vehicular (Universidad de los Andes, 2017).

El esquema genérico de los sistemas de pavimentos permeables incluye cuatro capas principales, aunque en ciertos esquemas y casos específicos se pueden añadir algunas capas más para agregar mayor resistencia o almacenar un mayor volumen de retención. En primer lugar, se tiene la capa superficial que es aquella que difiere de manera más importante en los sistemas de pavimentos permeables. Esta capa puede estar conformada por una mezcla asfáltica permeable, por concreto poroso, grava porosa, adoquines entrelazados o adoquines de rejillas de concreto (Universidad de los Andes, 2017):



Figura 8 Pavimento Permeable de tipo mezcla asfáltica porosa (Universidad de los Andes, 2017)



Figura 9 Pavimento Permeable de tipo concreto poroso (Universidad de los Andes, 2017)



Figura 10 Pavimentos permeables de tipo adoquines entrelazados (Universidad de los Andes, 2017)



Figura 11 Pavimentos permeables de tipo adoquines de rejillas de concreto (Universidad de los Andes, 2017).



Figura 12 Pavimentos permeables de tipo grava porosa (Universidad de los Andes, 2017)

Por un lado, al almacenar, detener e infiltrar una fracción de la escorrentía que ingresa al pavimento, se reduce el pico de escorrentía, y se disminuye también el volumen de agua que ingresa al sistema de alcantarillado convencional. Adicionalmente, según la magnitud y la configuración del pavimento,

pueden recargarse acuíferos siempre y cuando se implementen sistemas que permitan la infiltración. En este punto es importante resaltar que existen tres posibles configuraciones para los sistemas de pavimentos permeables los cuales dependen del tipo de uso y las actividades (Universidad de los Andes, 2017).

Zanja de Infiltración

Esta estructura usualmente consiste en una excavación lineal y cuadrangular, que es rellena con material granular, y en casos particulares, acoplada con estructuras de drenaje complementarias. Esta tipología tiene como función principal la intercepción y detención temporal del flujo de agua de escorrentía proveniente de un evento de lluvia. El material granular empleado para este tipo de estructura cumple la función de filtro de sedimentos y partículas gruesas, de manera que las zanjas tienen potencial para mejorar la calidad del agua de escorrentía, a través de procesos de adsorción e intercepción de contaminantes. Existen diferentes tipos de materiales que pueden ser utilizados para dicha función. Este tipo de estructura de infiltración generalmente posee una capacidad limitada de operación, debido a que los sedimentos y partículas atrapados en el reservorio disminuyen paulatinamente la eficiencia de esta. Por esta razón, es necesario incorporar a esta tipología algunas estructuras previas de pre tratamiento que disminuyan la carga de sedimentos de la escorrentía interceptada. Las estructuras más comunes son las franjas de césped, que son coberturas lineales de césped muy denso ubicadas en la zona de ingreso de la escorrentía (Universidad de los Andes, 2017).



Figura 13 Zanja de infiltración (Universidad de los Andes, 2017)

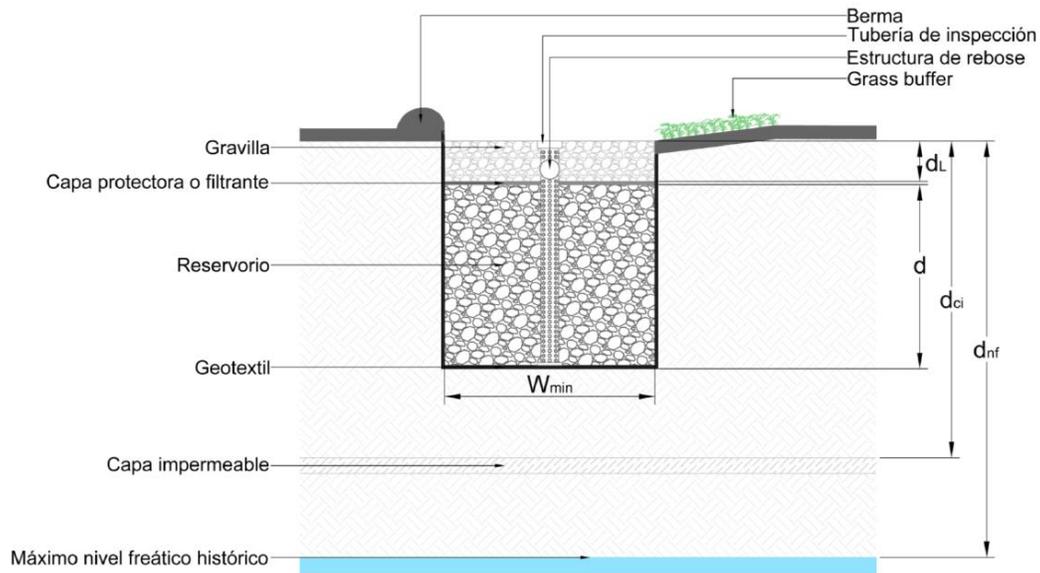


Figura 14 Perfil horizontal de una Zanja de Infiltración (Universidad de los Andes, 2017)

Zonas de Bio-retención

Las zonas de bio-retención corresponden a una tipología que se fundamenta en la implementación de especies vegetales para la detención, infiltración y posterior evacuación de escorrentía. Como se puede ver en la Figura 15, usualmente son depresiones del suelo en las que se planta una cobertura vegetal, sobre un sustrato, una capa filtrante y una capa de drenaje, de manera que se promueve la detención y el tratamiento de la escorrentía. Dado que esta tipología requiere de un área menor en comparación a otros SUDS, las zonas de bio-retención pueden implementarse varios espacios y contextos, que incluyen separadores de zonas viales, andenes, áreas de uso residencial, parqueaderos, zonas recreativas y áreas comerciales (Universidad de los Andes, 2017).



Figura 15 Ejemplos de Zonas de Bio-retención (Universidad de los Andes, 2017)

Sumidero tipo alcorque inundable

Este tipo de sistema es pertinente en zonas de bio-retención, es usado como un sistema de apoyo al sistema de captación de aguas lluvias en vías a través de sumideros laterales convencionales. Estos sumideros deben ser similares a los definidos por la Norma Técnica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, pero con la diferencia de que deben tener una longitud de ventana de captación mayor. Este espacio adicional se conformará de un alcorque que se inundará con agua lluvia, la cual será filtrada a través de un sistema de capas granulares con vegetación superficial.

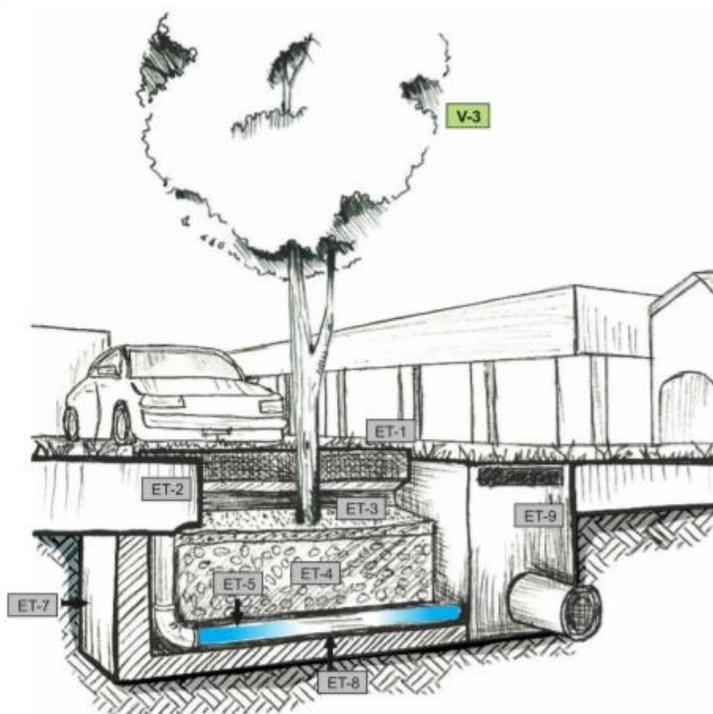


Figura 16 Ejemplo de sumideros tipo alcorque inundable (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011)

Estado del Arte

Según (Leguizamón, 2016) la actualización del Plan de Ahorro y Uso Responsable del Agua para la Universidad El Bosque – Sede Usaquén realizado en el 2016 el consumo de agua en las instalaciones de la Universidad El Bosque están clasificadas en 3 categorías dependiendo su uso:

- Uso doméstico: Esta categoría comprende todos los usos dentro de los baños como lo son uso de sanitarios, lavamanos y duchas. También se encuentran los usos de las concesiones como restaurantes, cafeterías y papelerías.
- Uso operacional y mantenimiento: Conservación de las buenas condiciones de aseo de las instalaciones y riego de jardines.

- Uso para fines de la academia: Todos los procesos educativos que requieren del uso de agua para cumplir a cabalidad sus objetivos de enseñanza y aprendizaje



Figura 17 Diagrama de la Clasificación por categorías de los usos del agua en la Universidad El Bosque (Leguizamón, 2016)

Según (Per Skougaard Kaspersen, 2017), las inundaciones pueden ocurrir como consecuencia de precipitaciones extremas cuando el sistema de drenaje urbano esta sobrecargado o cuando se sobrepasa la infiltración del suelo y la capacidad de almacenamiento, donde el agua puede acumularse en la superficie o fluir de las vías. En los resultados presentados por “Comparison of the impacts of urban development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding”, se dice que las ciudades europeas han aumentado su impermeabilidad durante los últimos 30 años y existe una tendencia predominante hacia la urbanización en todo el mundo.

Los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) son una alternativa al drenaje convencional, manejando el volumen de las aguas pluviales de la ciudad (Jato D, 2016), mostrando los beneficios potenciales de la instalación de SUDS en la prevención de inundaciones en comparación con las estrategias comunes de drenaje urbano que consiste en redes de alcantarillado de pozos y tuberías, donde a partir de sistemas de información geográfica (SIG) se realizó una seria de simulaciones de lluvia-escorrentía utilizando modelos informáticos de aguas pluviales con el fin de comparar los índices de flujo y las profundidades producidas por una tormenta de diseño antes y después de instalar SUDS.

En el estudio realizado por parte del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes; Para lograr establecer que tipología de SUDS se adecua al Parque Metropolitano San Cristóbal, el cual está ubicado en el sur oriente de Bogotá, se realiza una selección

de tipologías de acuerdo al análisis espacial de las restricciones para cada una de las tipologías, se escogieron los alcorques inundables, cuencas secas de drenaje extendidas y zonas de bioretención. A partir de un amplio estudio se lograron establecer los parámetros de diseño de los SUDS, uno de ellos es la tasa de infiltración, en donde mediante ensayos de campo se permite determinar la necesidad o no de conectar la tipología al sistema convencional de alcantarillado (Universidad de los Andes, 2016).

El resumen de las tasas de infiltración mínima medida en campo es ajustado mediante la ecuación de Horton, donde se determinan los parámetros de f_c (tasa mínima de infiltración del suelo), f_0 (capacidad de infiltración inicial) k (constante para el suelo) (Monsalve, 1999); en donde parámetro más importante a determinar es el f_c , dado que esta es la tasa de infiltración cuando el suelo está completamente saturado la cual es similar a la permeabilidad saturada del suelo. Esto permite tener una medida de la cantidad de agua que podría estar infiltrando una tipología de SUDS en un evento de escorrentía que esté drenando por la misma, por ende, este es el parámetro que se debe utilizar para el diseño (Universidad de los Andes, 2016).

Para los casos en donde no se pueda realizar mediciones de la tasa de infiltración, es necesario saber la tasa de infiltración el terreno (Trujillo A. &., Pavimentos Porosos utilizados como Sistemas Alternativos al Desarrollo Urbano, 2013) mediante el cálculo del número de curva que se da a partir del tipo de suelo que se presenta; El National Resources Conservation Service de Estados Unidos (NRCS, 2002) realiza una descripción de los cuatro tipos de suelos que existen, donde el tipo A tiene una alta capacidad de infiltración (Arenosa o areno-limosa); el tipo D posee una baja capacidad de infiltración (Suelos salinos con alto nivel freático), lo que traduce a una fácil escorrentía superficial; Los suelos tipo B y C tienen propiedades hidrológicas intermedias (franca, franco-arenosa, franco-arcillosa, arcillosa).

En el estudio de (Trujillo & Quiroz, Pavimentos Porosos utilizados como Sistemas Alternativos al Desarrollo Urbano, 2013), se utilizó la Metodología Chile en donde se debe calcular el volumen afluente, el volumen de infiltración y el volumen de almacenamiento a partir de la selección de una lluvia de diseño, haciendo uso de las curvas IDF, el área total para el aporte de aguas pluviales y el área del pavimento en donde se hizo énfasis de que un pavimento poroso nuevo posee una tasa de infiltración de 146.3375 mm/h, obteniendo como resultado que el máximo tiempo de vaciado de los tanques de almacenamiento recomendado debe ser menor a 48 horas debido a las tormentas que se presentan.

Los pavimentos porosos son unos de los SUDS con mayor costo de instalación y mantenimiento, según (Fletcher, Duncan, Poelsma, & Lloyd, 2004) estos son algunos tipos de pavimentos con sus respectivos costos, (expresado en dólares australianos):

- Pavimentos permeables con infiltración: AU \$111/m²
- Pavimentos permeables sobre subrasante sellada y recolección de agua: AU \$119/m²
- Pavimentos permeables con bloques de concreto e infiltración: AU \$98/m²
- Pavimentos permeables con asfalto e infiltración: AU \$67/m²

Marco Normativo

Tabla 1 Marco Normativo

Acto administrativo	Declarado por	Descripción
Constitución Nacional de Colombia 1991	Presidencia de la Republica	Marco legal de carácter supremo, en especial Derechos colectivos y del ambiente
Decreto-Ley 2811 de 1974	Presidencia de la Republica	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 1541 de 1978	Presidencia de la Republica	Reglamenta las normas relacionadas con el recurso de aguas en todos sus estados.
Decreto 1594 de 1984	Presidencia de la Republica	Reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. (Vigencia Artículos: 20 y 21).
Decreto 3102 de 1997	Presidencia de la Republica	Reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo en agua.
Ley 373 de 1997	Congreso de Colombia	Establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Resolución 650 de 2010	Ministerio de Ambiente y Desarrollo	Adopción del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

Acto administrativo	Declarado por	Descripción
	Sostenible	
Ley 9 de 1979.	Congreso de Colombia	Normas sanitarias para la protección de la salud humana
Decreto 485 de 2011	Alcaldía Mayor de Bogotá	Por el cual se adopta el Plan Distrital del Agua
Decreto 566 de 2014	Alcaldía Mayor de Bogotá	Por el cual se adopta la Política de Ecourbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá, Distrito Capital 2014-2024
Acuerdo 489 de 2012	Alcaldía Mayor de Bogotá	Por el cual se adopta el Plan de Desarrollo Económico, Social, Ambiental y de Obras Públicas para Bogotá D.C 2012-2016. Bogotá Humana.
Resolución 2837 de 2007	Alcaldía Mayor de Bogotá	Por el cual se declara en ordenación la Cuenca Hidrográfica del Río Salitre
Decreto 456 de 2008	Alcaldía Mayor de Bogotá	Plan de Gestión Ambiental del Distrito Capital (PGA)

Metodología

La metodología planteada para el presente proyecto de investigación fue establecida teniendo en cuenta algunos referentes conceptuales, que permitirán el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados.

1. Diseño Metodológico

En la siguiente tabla se muestra el desarrollo del proyecto con base a cada objetivo

Tabla 2 Diseño Metodológico del proyecto

	FASE I	FASE II	FASE III
	Objetivo Específico 1	Objetivo Específico 2	Objetivo Específico 3
	Realizar un diagnóstico de la oferta y demanda hídrica de la Universidad El Bosque	Preseleccionar las tipologías de SUDS más factibles con base en las condiciones ambientales de la Universidad El Bosque	Medir el aporte de aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre por parte de la Universidad El Bosque
Enfoque	Existen enfoques cualitativos, cuantitativos y mixtos; el enfoque mixto representa el análisis de ambos enfoques, siendo así un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación, donde se establecen conclusiones para lograr un mayor entendimiento de un fenómeno bajo estudio (Hernández Sampieri y Mendoza, 2008). Con base a lo anterior, este proyecto posee un enfoque mixto, debido que usa la recolección de datos de variables hidrológicas, donde se utilizan instrumentos que son válidos y confiables en estudios previos, tratando un problema medible u observable; y al igual, se tiene un componente cualitativo relacionado al análisis social de los impactos que generan las inundaciones en la cuenca del Río Salitre.		
Alcance	Un estudio descriptivo tiene como objetivo especificar características, propiedades y rasgos de un fenómeno a analizar. También miden, evalúan y recolectan datos sobre las características del mismo.	Los estudios correlacionales tienen como objetivo evaluar qué relación existe entre dos o más conceptos o variables, de este modo pretende observar cómo se relacionan distintos fenómenos entre sí para predecir un concepto o una variable con base al	Es un estudio correlacional, donde se tiene en cuenta las variables hidrológicas y de territorio que define el aporte de aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre por parte de la Universidad El Bosque

	FASE I	FASE II	FASE III
	Objetivo Específico 1	Objetivo Específico 2	Objetivo Específico 3
	Realizar un diagnóstico de la oferta y demanda hídrica de la Universidad El Bosque	Preseleccionar las tipologías de SUDS más factibles con base en las condiciones ambientales de la Universidad El Bosque	Medir el aporte de aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre por parte de la Universidad El Bosque
	A razón de lo anterior, el alcance del primer objetivo específico se define como descriptivo, debido a que se realiza un diagnóstico de la oferta y demanda de la Universidad El Bosque, donde se realiza una recolección de datos.	comportamiento de otra variable. De acuerdo a esto, el segundo objetivo específico tiene un alcance correlacional, donde por medio de variables que se presenten en el terreno, se puede escoger un tipo de SUDS adecuado para la Universidad El Bosque.	
Unidad de Análisis	La precipitación que se obtiene en la Universidad El Bosque es la unidad de análisis de la investigación y la contribución que esta le da a la prevención de inundaciones hacia la Cuenca del Río Salitre, por medio de SUDS		

2. Técnicas e Instrumentos

Fase I: Realizar un diagnóstico de la oferta y demanda hídrica de la Universidad El Bosque

1. Estimación de la Oferta Hídrica en la Universidad El Bosque

1.1 Oferta Hídrica mensual

Para determinar la oferta hídrica mensual, se cuentan con series de precipitación mensuales y multianuales registradas en la estación pluviográfica Salitre Casa de Bombas perteneciente a la Empresa de Acueducto de Bogotá (Gamez, 2016); De manera que mediante el cálculo del coeficiente de escorrentía propuesto para las áreas urbanas (Monsalve, 1999), se cuantifica la cantidad de agua captada en el área de la Universidad El Bosque.

$$OH = \frac{P * Ce * A}{1000} \quad (Ec. 1)$$

Dónde:

OH: Oferta de agua en el mes (m³)
P: Precipitación promedio mensual (L/m²)
Ce: Coeficiente de escorrentía
A: Área de captación (m²)

1.2 Perdidas de la Oferta Hídrica

Se considera que una vez iniciado el escurrimiento de las aguas pluviales hasta llegar el punto de almacenamiento, se prevé una pérdida del 20% anual debido a la ineficiencia del sistema de captación (canaletas, almacenamiento y evaporación) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000).

Estas pérdidas se distribuyen uniformemente durante los doce meses del año de la siguiente manera:

$$O'H = OH - \left(OH * \frac{0.2}{12} \right) \quad (Ec. 2)$$

Dónde:

O'H: Oferta de agua en el mes teniendo en cuenta las pérdidas (m³)
OH: Oferta de agua en el mes (m³)

1.3 Oferta Acumulada (OHA)

Es la acumulación de la precipitación por meses que se tiene de la oferta hídrica teniendo en cuenta las pérdidas; se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$OHA = O_{(H-1)} + O'H \quad (Ec. 3)$$

Dónde:

OHA: Oferta acumulada al mes (m³)
O(H-1): Oferta acumulada al mes anterior (m³)
O'H: Oferta del mes teniendo en cuenta las pérdidas (m³)

2. Estimación de la Demanda Hídrica

Según (Chow, Maidment, & Mays, 1994), la demanda de agua se presenta bajo tres escenarios, el primero esta cuando existe información medida, el segundo cuando existe información medida pero esta insuficiente y el tercero cuando no existe información. En el caso de este proyecto la estimación de consumos de agua potable y no potable en la Universidad El Bosque se realiza mediante documentación proporcionada por la Unidad de Gestión Ambiental de la misma.

Al poseer esta información se presenta el primer escenario (información medida), teniendo en cuenta que la demanda de agua en general, representa el volumen de agua, expresado en millones de metros cúbicos, utilizado por las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado, lo que corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales. A partir de lo anterior, se establece el siguiente cálculo:

$$DT = DUD + DUI + DUS \quad (Ec. 4)$$

Dónde:

DT= Demanda total de Agua

DUD= Demanda de Agua para Uso Doméstico

DUI= Demanda de Agua para uso Industrial

DUS= Demanda de Agua para el Sector Servicios

Se realiza la sumatoria de cada una de las demandas por sectores, expresada en metros cúbicos (m³).

Fase II: Preseleccionar las tipologías de SUDS más factibles con base en las condiciones ambientales de la Universidad El Bosque

Por medio de un formato especial proporcionado por la Secretaria Distrital de Ambiente en unión con el Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental de la Universidad los Andes (CIIA), para analizar el posible lugar de implementación de SUDS en la Universidad El Bosque es necesario realizar la metodología de trenes (Figura 17), el cual realiza la evaluación de cinco criterios (mejoramiento de la calidad del agua, control de volúmenes de agua lluvia, amenidad, mantenimiento y costos) para definir las tipologías más adecuadas de acuerdo con los requerimientos del sitio.

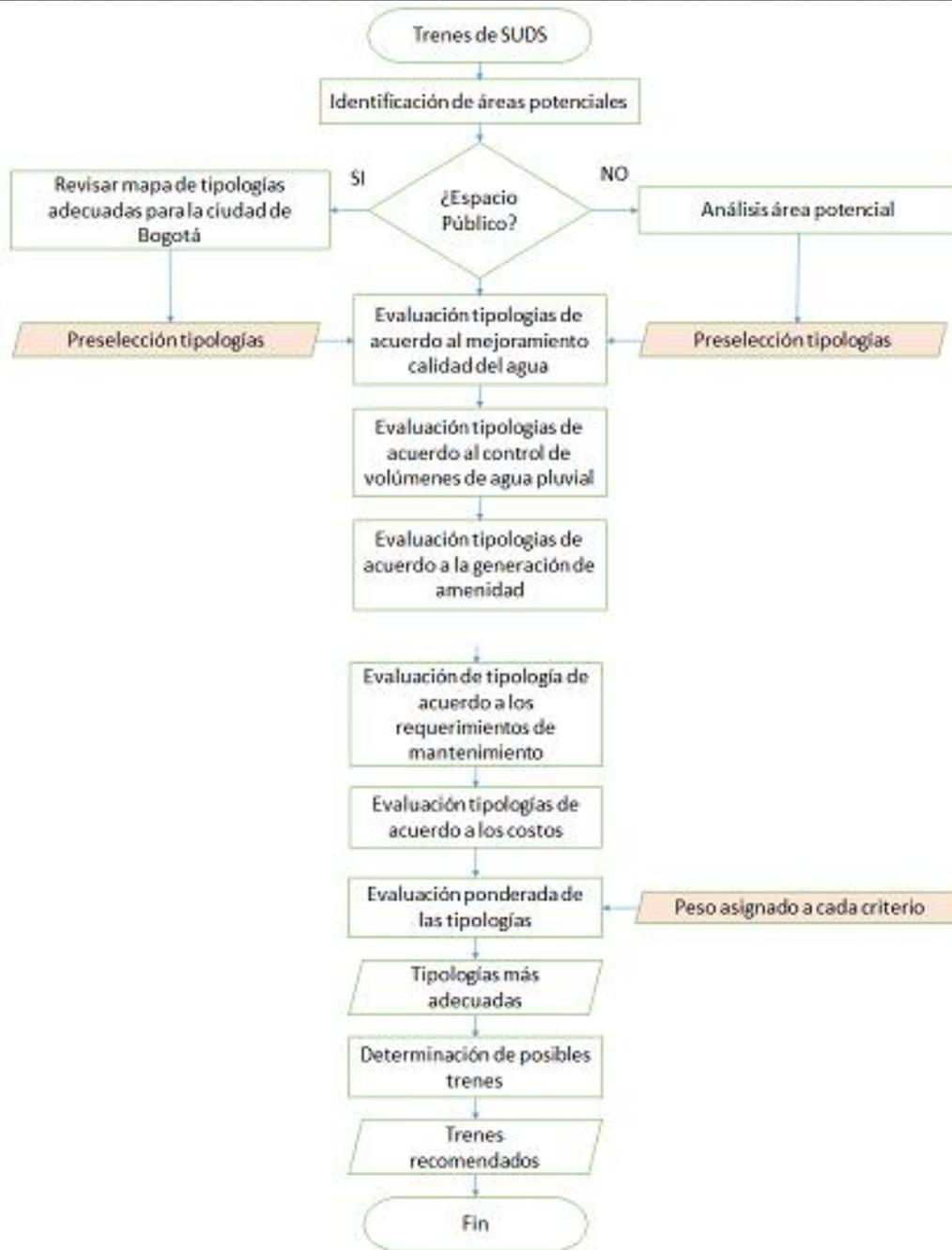


Figura 18 Metodología de Trenes de SUDS (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011)

Fase III: Medir el aporte de aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre por parte de la Universidad El Bosque

1. Recolección de datos hidrológicos de la Cuenca del río Salitre

Para la recolección de datos de la Cuenca del río Salitre, se utilizó como base los pluviogramas de los años 1975 hasta el 2017 registrados en la estación pluviográfica Salitre Casa de Bombas perteneciente a la Empresa de Acueducto de Bogotá, obtenidos en la Dirección de Ingeniería Especializada, en el área de Hidrología aplicada.

2. Balance Hídrico Mensual

Para la determinación del balance hídrico se tuvieron en cuenta los datos de precipitación (P) (datos proporcionados mediante la estación pluviográfica Salitre Casa de Bombas), con la cual se determinó la Escorrentía (Esc), Volumen (V) y Caudal (Q) para el área de la Universidad el Bosque.

3. Metodología Chile

La presente metodología se aplica en este ejercicio para determinar o calcular los volúmenes almacenados y las infiltraciones correspondientes a tormentas para diferentes periodos de retorno en pavimentos porosos, dado que esta es una de las tipologías seleccionadas en el objetivo 2 del presente estudio.

La metodología Chile fue desarrollada inicialmente por la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas -DICTUC- (1996). La aplicación de la presente metodología inicia con la selección de una lluvia de diseño para tres periodos de retorno (2, 25 y 100 años). El volumen almacenado para cualquiera de las anteriores intensidades se estima como la máxima diferencia entre el volumen afluente de aguas lluvias y el volumen infiltrado.

Las intensidades generadas por las lluvias en cada periodo de retorno fueron determinadas mediante el proceso de la metodología de las Curvas de Intensidad-Frecuencia- Duración (IDF), para duraciones de 30 y 60 minutos. Los caudales y los volúmenes de agua, fueron calculados, a su vez, mediante el Hidrograma Unitario Racional.

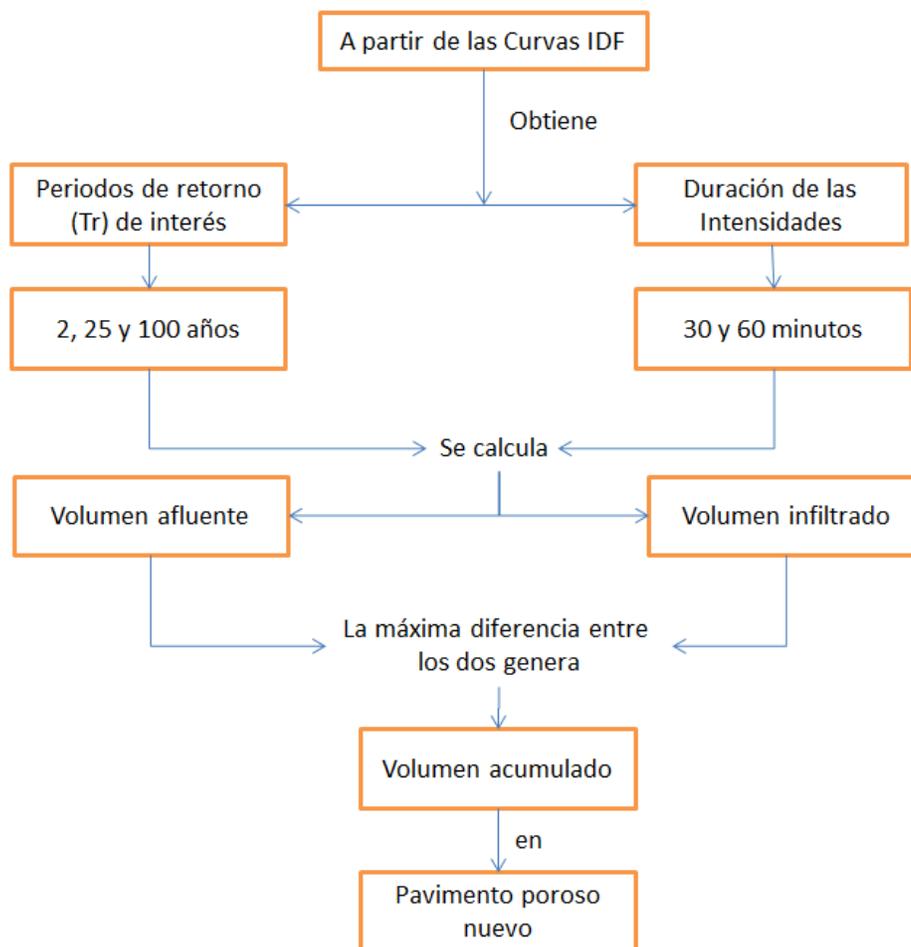


Figura 19 Cálculo de volumen acumulado de agua lluvia mediante la metodología Chile (Autor, 2018)

Para realizar la siguiente metodología, se tiene en cuenta el siguiente cálculo:

- **Calculo del Volumen afluente (V_{afl})**

Se utiliza con el fin de calcular la intensidad de lluvia que aporta una tormenta para diferentes periodos de retorno (2, 25 y 100 años) en la Universidad El Bosque, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_{afl}(d) = 1.25 (0.01C \cdot I_d \cdot Ad) = 0.00125C \cdot A \cdot P_d^T \text{ (Ec. 5)}$$

Dónde:

C: Coeficiente de escorrentía superficial correspondiente al área total aportante

A: área total aportante (m^2)

I_d : Intensidad de la lluvia de periodo de retorno **T** y duración **d** (mm/h)

d: Tiempo acumulado de lluvia (horas)

P_d^T : Precipitación acumulada en el tiempo **d** para la lluvia de periodo de retorno de **T** años

- **Volumen infiltrado (V_{inf})**

Implica la infiltración en el área de interés (donde se tendrá el pavimento poroso nuevo) de acuerdo con la capacidad de infiltración que se presenta en el suelo.

$$V_{inf}(d) = 0.001 (f * C_s * A_{pav} * d) \text{ (Ec. 6)}$$

Dónde:

f: Capacidad de infiltración del suelo (mm/h)

A_{pav} : Área del pavimento poroso (m^2)

d: Tiempo acumulado de lluvia (h)

C_s : Coeficiente de seguridad que afecta la capacidad de infiltración dependiendo de las propiedades del agua y las condiciones de mantenimiento que toma en cuenta los efectos de la colmatación en el tiempo que experimenta el suelo

Se recomienda calcular el coeficiente C_s según el siguiente procedimiento:



Figura 20 Coeficiente de seguridad (Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas -DICTUC-, 1996)

- **Volumen almacenado (V_{alm})**

El volumen de almacenamiento necesario se calcula como:

$$V_{alm}(d) = Max (V_{afl}(d) - V_{inf}(d)) \text{ (Ec. 7)}$$

Si la tasa de infiltración del terreno es siempre mayor que la intensidad de la lluvia, incluso que la de menor duración, entonces no se requiere un volumen de acumulación en la sub-base, sino que bastará con la superficie de contacto con la sub-rasante para la infiltración (Trujillo A. &., Pavimentos Porosos Utilizados Como Sistemas Alternativos Al Drenaje Urbano, 2013).

4. Aporte de aguas pluviales a la Cuenca del río salitre por parte de la Universidad El Bosque

El aprovechamiento de las aguas pluviales corresponden a la diferencia que se genera entre la oferta hídrica mensual para la Universidad El Bosque con la pérdida anual del 20% y la demanda hídrica que tiene la misma en función de aguas grises y aguas de consumo humano como se demuestra en la siguiente ecuación:

$$V_{(atm)} = Ai - A'i - DAG - DCH \text{ (Ec. 8)}$$

Dónde:

$V_{(atm)}$: Volumen de almacenamiento

Ai : Oferta hídrica en el mes

$A'i$: Pérdida del 20% anual (0.17/mes) de la Oferta Hídrica

DAG : Demanda de aguas grises

DCH : Demanda de agua para Consumo Humano

5. Cálculo de Caudales Pico- Método Hidrograma racional

El método racional es utilizado para determinar el caudal máximo que ocurrirá por una determinada sección, bajo la suposición que este acontecerá para una lluvia de intensidad máxima constante y uniforme en la cuenca correspondiente a una duración igual al tiempo de concentración de la selección (Gamez, 2016).

En el cual como primera medida se debe tener el tiempo de concentración (obtenido de las curvas IDF) el cual se determina con la siguiente ecuación:

$$Q = C * I * A \text{ (Ec. 9)}$$

Dónde:

Q : Es el caudal máximo en la sección de cálculo

C : es el coeficiente de escorrentía para el área de la Universidad el cual es de 0.85 (Monsalve, 1999)

I : Intensidad media máxima para la duración igual al tiempo de concentración

A : Área total

Resultados

Fase I: Realizar un diagnóstico de la oferta y demanda hídrica de la Universidad El Bosque

1. Estimación de la Oferta en la Universidad El Bosque

1.1 Oferta Hídrica mensual

La oferta hídrica (OH) indica la cantidad de agua que precipita (P) sobre el área (A) de la Universidad con un coeficiente de escorrentía (Ce) alto por ser impermeable como indica (Monsalve, 1999).

Tabla 3 Oferta Hídrica Mensual

Oferta Hídrica Mensual				
Mes	P(L/m ²)	A(m ²)	Ce	OH (m ³)
Enero	48,7	489652	0,90	21461,45
Febrero	72	489652	0,90	31729,45
Marzo	104,5	489652	0,90	46051,77
Abril	117,1	489652	0,90	51604,42
Mayo	113,2	489652	0,90	49885,75
Junio	51,4	489652	0,90	22651,30
Julio	41,7	489652	0,90	18376,64
Agosto	40,8	489652	0,90	17980,02
Septiembre	66,5	489652	0,90	29305,67
Octubre	132,6	489652	0,90	58435,07
Noviembre	138,5	489652	0,90	61035,12
Diciembre	78,5	489652	0,90	34593,91

Fuente: (Empresa de acueducto de Bogotá)

1.2 Pérdidas de la Oferta Hídrica Mensual

Las pérdidas de la oferta hídrica (OH) son del 20% anual debido a la ineficiencia del sistema de captación (canaletas, almacenamiento y evaporación) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2000) (Tabla 4)

Tabla 4 Pérdidas de la Oferta Hídrica Mensual

Perdidas de la Oferta Hídrica Mensual				
Mes	OH (m³)	20%	Meses del año	OH (m³)
Enero	21461,44716	0,2	12	21103,76
Febrero	31729,4496	0,2	12	31200,63
Marzo	46051,7706	0,2	12	45284,24
Abril	51604,42428	0,2	12	50744,35
Mayo	49885,74576	0,2	12	49054,32
Junio	22651,30152	0,2	12	22273,78
Julio	18376,63956	0,2	12	18070,36
Agosto	17980,02144	0,2	12	17680,35
Septiembre	29305,6722	0,2	12	28817,24
Octubre	58435,06968	0,2	12	57461,15
Noviembre	61035,1218	0,2	12	60017,87
Diciembre	34593,9138	0,2	12	34017,35

Fuente: (Autor, 2018)

1.3 Oferta Hídrica Acumulada (OHA)

La oferta hídrica acumulada corresponde a la acumulación mensual de agua que tiene la universidad respecto a la precipitación pluvial que se da en esa zona, teniendo en cuenta las pérdidas.

Oferta Hídrica Acumulada		
Mes	OH (m³/mes)	OHA (m³)
Enero	21103,76	21103,76
Febrero	31200,63	52304,38
Marzo	45284,24	97588,62
Abril	50744,35	148332,97
Mayo	49054,32	197387,29
Junio	22273,78	219661,07
Julio	18070,36	237731,43
Agosto	17680,35	255411,79
Septiembre	28817,24	284229,03
Octubre	57461,15	341690,18
Noviembre	60017,87	401708,05
Diciembre	34017,35	435725,40

Fuente: (Autor, 2018)

La figura 21 muestra la relación entre la oferta hídrica y la oferta hídrica acumulada

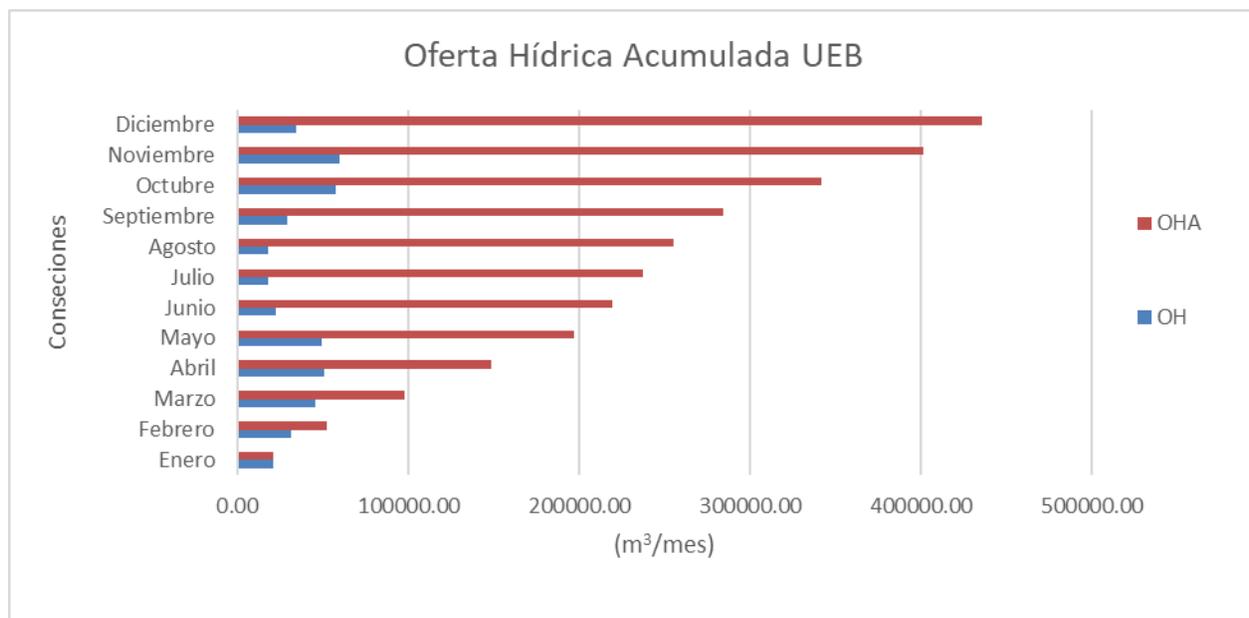


Figura 21 Relación Oferta Hídrica y Oferta Hídrica Acumulada (Autor, 2018)

2. Estimación de la Demanda Hídrica

Teniendo en cuenta los datos registrados en Plan de Ahorro y Uso Responsable del Agua para la Universidad El Bosque – Sede Usaquén realizado en el 2016 (Leguizamón, 2016), se actualizaron los datos para establecer la demanda hídrica del año 2017 utilizando el siguiente diagrama:

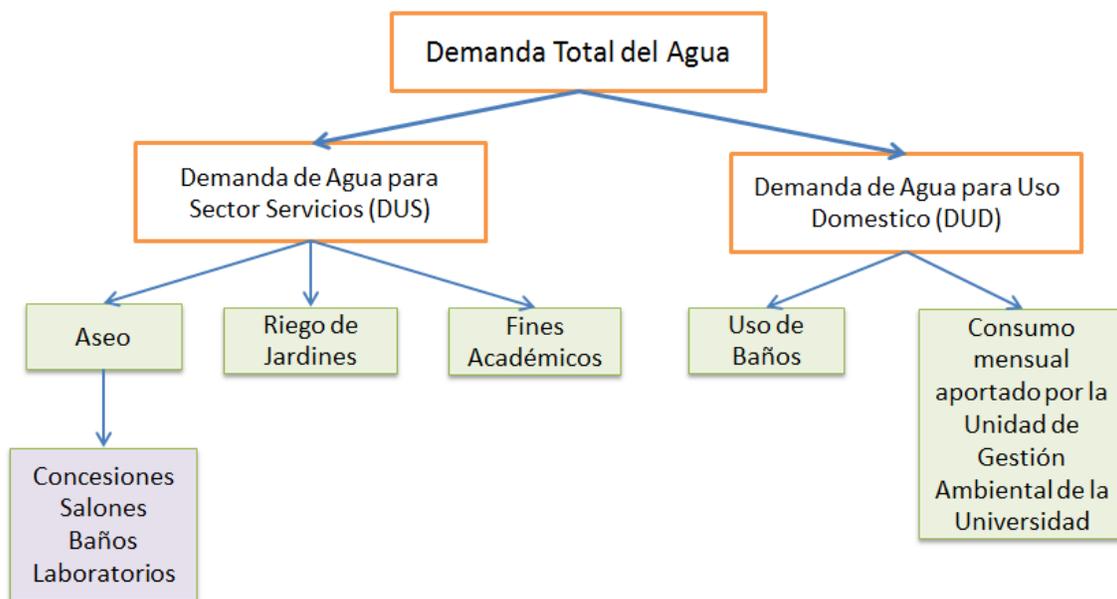


Figura 22 Diagrama de la Demanda Total del Agua para la Universidad el Bosque (Autor, 2018)

Demanda de Agua para Sector Servicios (DUS)

Aseo

El consumo de agua potable para realizar el aseo de las instalaciones se presenta a continuación:

- **Uso de las Concesiones**

En la siguiente tabla se muestra el consumo de agua (m³/mes) para cada una de las concesiones vigentes para el año 2017 en la Universidad El Bosque.

Tabla 5 Uso de agua por parte de las Concesiones

Uso de agua para aseo por parte de las Concesiones					
#	Nombre	Ubicación			Consumo agua (m ³ /mes)
		Edificio	Piso	Bloque	
1	Restaurante Hora de comer	Fundadores	6	M	0,84
2	Cafetería Refribreak	Fundadores	2	M	0,72
3	Juan Valdez Café	Fundadores	1	M	0,81
4	Restaurante Festino	Rectoría	1	D	13,26
5	OMA	-	1	B	0,48
6	Javi Copias	El Campito	1	F	0,29
7	Festino	El Campito	1	F	0,96
8	Empanadas Típicas	-	1	E	0,22
9	Punto Verde	Canchas Fútbol	1	A	0,34
10	La Barra	Canchas Fútbol	1	A y E	3,02
11	Tashi Wok y Sushi	Canchas Fútbol	1	A y E	0,67
12	Javi Copias	Casona	1	H	0,5
13	Don Perro	Casona	1	H	0,24
14	El Campito Mexicano	Casona	1	H	0,46
15	Frutería y Cafetería La Casona	Casona	1	H	0,29
16	Zona Común La Casona	Casona	1	H	1,8
Consumo de Agua Total					24,9

Fuente: (Leguizamón, 2016)

- **Salones**

Según (Leguizamón, 2016), existen 126 salones en la Universidad El Bosque que consumen 5.06 m³/mes para labores de aseo.

- **Baños**

Tabla 6 Aseo de Baños

#	Ubicación	Numero de Baños	Consumo de agua (m3/mes)
1	Bloque M	23	10,43
2	Bloque D	10	7,65
3	Clinicas Odo.	8	1,13
4	Bloque I	2	2,16
5	Auditorio P	2	0,2
6	Bloque B	2	2,2
7	Cueva	2	0,28
8	Bloque C	2	1,48
9	Bloque A	8	12,8
10	Bloque F	6	5,9
11	Bloque E	8	2,88
12	Bloque N	2	1
Total			48,11

Fuente: (Leguizamón, 2016)

- **Uso de Baños**

Según la información suministrada por la Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad El Bosque, la población para el periodo 2017-I y II es de 14447 personas, como se puede observar en la Tabla 2

Tabla 7 Número de Personas en la Universidad El Bosque

Año	Periodo	Personas	Incremento con respecto al periodo anterior	Incremento con respecto al periodo anterior (%)
2014	I	12537	-	-
2014	II	13073	536	4,10
2015	I	13109	36	0,27
2015	II	13492	383	2,84
2016	I	13570	78	0,57
2016	II	13807	237	1,72
2017	I y II	14447	640	4,43
Promedio		13434	318	2,32

Fuente: (Unidad de Gestión Ambiental, 2018)

Teniendo en cuenta que la actualización del Plan de Ahorro y Uso Responsable del Agua para la Universidad El Bosque está dada para el 2016 para un total de 13570 personas, donde para el uso de baños se tiene en cuenta esta población se estableció una regla de tres para establecer el consumo que se tiene para una población de 14447 personas como se muestra en la Tabla 3

Tabla 8 Consumo de agua para uso de baños

Uso de Baños			
#	Dato	Consumo de agua (m ³ /año) para año 2016	Consumo de agua (m ³ /año) para el año 2017
1	Sanitario con tecnología convencional	4976	5298
2	Sanitario con tecnología ahorradora	14228	15211
3	Orinales convencionales	298	317
4	Duchas y Lavamanos	6899	7345
Total		26401	28171

Fuente: (Leguizamón, 2016)

- **Riego de Jardines**

Se realizó un resumen de riego de Jardines según lo establecido en la actualización del Plan de Ahorro y Uso Responsable del Agua para la Universidad El Bosque, como se puede mostrar en la Tabla 4

Tabla 9 Consumo de agua para riego de la Universidad El Bosque

Consumo de agua para Riego			
#	Ubicación	Nº Tipos de Plantas	Consumo de agua (m ³ /mes)
1	Edificio Fundadores	19	7,436
2	Terraza Edificio Fundadores	5	3,6
3	Bloque D	9	39,048
4	Servicios Generales	1	0,48
5	Bloque I	4	1,92
6	Auditorio Principal	8	3,18
7	Bloque J	1	0,12
8	Bloque K	2	0,72
9	Biología	4	5,07
10	Bloque A	5	17,04
11	Plazoleta Principal	6	9,555
12	Bloque H	18	0,015
13	Entrada 7 ^a	3	5,52

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

14	Cueva	2	0,615
15	Bloque C	6	2,055
16	Bloque N	3	0,72
17	Bloque O	3	0,72
18	Bici parqueaderos	2	0,72
19	Bloque F	3	1,14
20	Jardines Verticales	4	24,7875
Total Consumo			124,4615

Fuente: (Leguizamón, 2016)

- **Aseo de Laboratorios**

Para el aseo de los laboratorios, según (Leguizamón, 2016), se utilizan 2.16 m³/mes

- **Uso para Fines Académicos**

Se realiza consumo de agua de 0.692 m³/mes para las peceras ubicadas en la facultad de Biología

Como se presenta en la Figura 23, se establece la Demanda Total del Agua del año 2017, puesto a que es la última información suministrada por la Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad el Bosque, como se puede observar en la Tabla 10

Tabla 10 Consumo de agua de la Universidad el Bosque

Año	Periodo	Consumo de agua (m3)
2014	I	18025
2014	II	16914
2015	I	14763
2015	II	14222
2016	I	14101
2016	II	16593
2017*	I y II	30612
Promedio		17890

(*) Información brindada hasta octubre del mismo año

Fuente: (Unidad de Gestión Ambiental, 2018)

Para establecer la información del consumo de agua total para el año 2017, se sumó el promedio de la división del consumo en diez meses a los dos faltantes, dando un total de consumo de 36734 m³

- **Demanda de Agua para el Sector Servicios (DUS)**

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

Se estableció la demanda de agua para el Sector Servicios para el año 2017 en la Universidad el Bosque, teniendo en cuenta que el consumo por m³ de agua es de dos mil seiscientos setenta y siete pesos (\$2.677) como lo registra el acueducto y alcantarillado de Bogotá.

Tabla 11 Demanda de Agua para el Sector Servicios de la Universidad el Bosque

DUS							
#	Dato		Consumo de Agua (m ³ /mes)	Costo de agua por m ³	Consumo de agua (\$/mes)	Consumo de Agua para el Año 2017 (m ³ /año)	Consumo de Agua para el año 2017 (\$/año)
1	Aseo	Concesiones	24,9	\$ 2.677	\$ 66.657	249	\$ 666.573
		Salones	5,06	\$ 2.677	\$ 13.546	50,6	\$ 135.456
		Baños	48,11	\$ 2.677	\$ 128.790	481,1	\$ 1.287.905
		Laboratorios	2,16	\$ 2.677	\$ 5.782	21,6	\$ 57.823
2	Riego de Jardines		124,4615	\$ 2.677	\$ 333.183	1244,615	\$ 3.331.834
3	Fines Académicos		0,692	\$ 2.677	\$ 1.852	6,92	\$ 18.525
Total Consumo			205,3835	\$ 2.677	\$ 549.812	2053,835	\$ 5.498.116

Fuente: (Autor, 2018)



Figura 23 Gráfica Demanda Hídrica por Sector Servicios (DUS) (Autor, 2018)

• **Demanda de Agua para Uso Doméstico (DUD)**

Se realiza la demanda de Agua para Uso Doméstico, teniendo en cuenta que el consumo aportado por la Unidad de Gestión Ambiental de la Universidad es la diferencia de la sumatoria del total consumo de DUS para el año 2017 y el Uso de baños de la Universidad el Bosque, con respecto al valor proporcionado por la Unidad de Gestión Ambiental, expresado en la Tabla 8 con un consumo de 36734 m³/año.

Tabla 12 Demanda de Agua para Uso Doméstico (DUD)

DUD				
#	Dato	Consumo de Agua para el Año 2017 (m ³ /año)	Costo de agua por m ³	Costo consumo de agua (m ³ /año)
1	Uso de baños	28171	\$ 2,677	\$ 75,413,767
2	Consumo mensual aportado por la Unidad de Gestión Ambiental	6509	\$ 2,677	\$ 17,425,035
Total		34680	\$ 2,677	\$ 92,838,802

Fuente: (Autor)

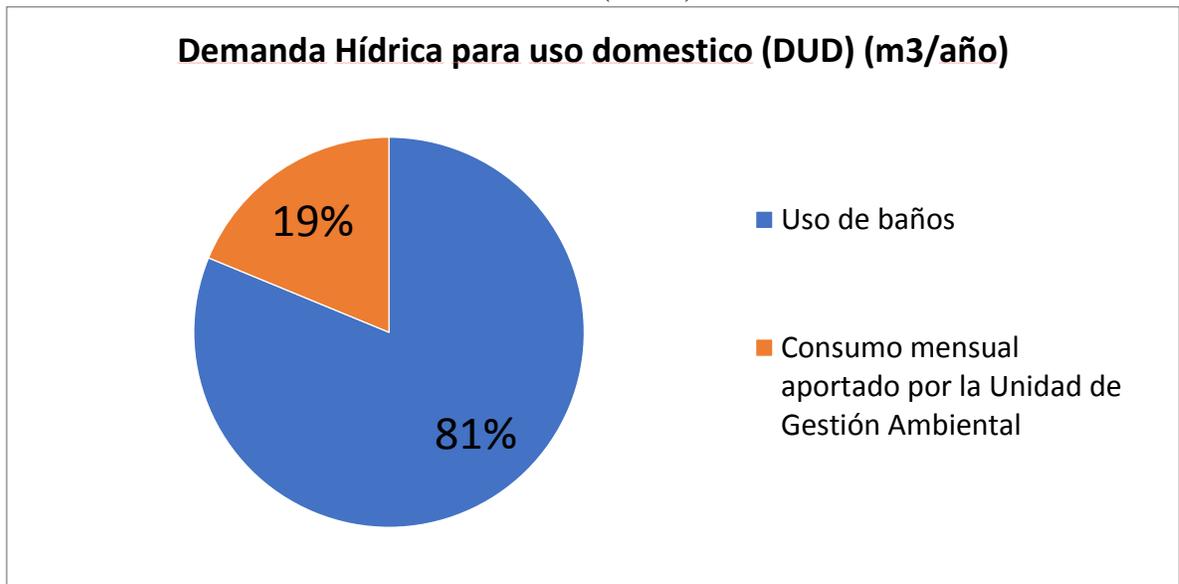


Figura 24 Gráfica Demanda Hídrica para Uso Doméstico (DUD) (Autor, 2018)

- **Demanda Total de Agua (DT)**

Se establece la demanda Total de Agua sin establecer una Demanda por Uso Industrial, debido a que la Universidad es una institución y no presenta ese tipo de demanda

$$DT = DUD + DUS + DUI$$

$$DT = 34680,165 \text{ m}^3 + 2053.835\text{m}^3 + 0 \text{ m}^3$$

$$DT = 36734 \text{ m}^3$$

Sabiendo que el costo del agua por metro cubico es de dos mil seiscientos setenta y siete pesos (\$2.677) y la demanda total de agua potable para la Universidad el Bosque es de 36734 m³, se tiene que el gasto económico que le representa a la institución es de noventa y ocho millones trescientos treinta y seis mil novecientos diez y ocho pesos (\$98.336.918) para el año 2017

Demanda de agua para el año 2017 en la Universidad El Bosque

Después del proceso de cuantificación de los consumos de agua por categoría dentro de la universidad es posible obtener un panorama más claro de la demanda de agua que presenta la Universidad. A continuación se presenta el resumen de los consumos de agua por cada categoría:

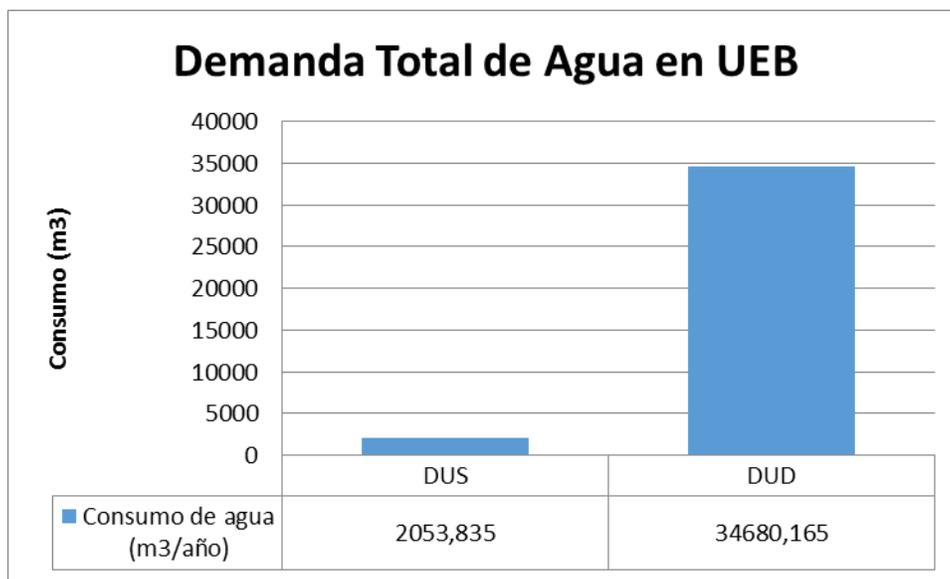


Figura 25 Demanda Total de Agua por Categoría (Autor, 2018)

En la siguiente grafica se puede observar la relación que tiene cada una cada una de las demandas hídricas de la Universidad el bosque por categoría

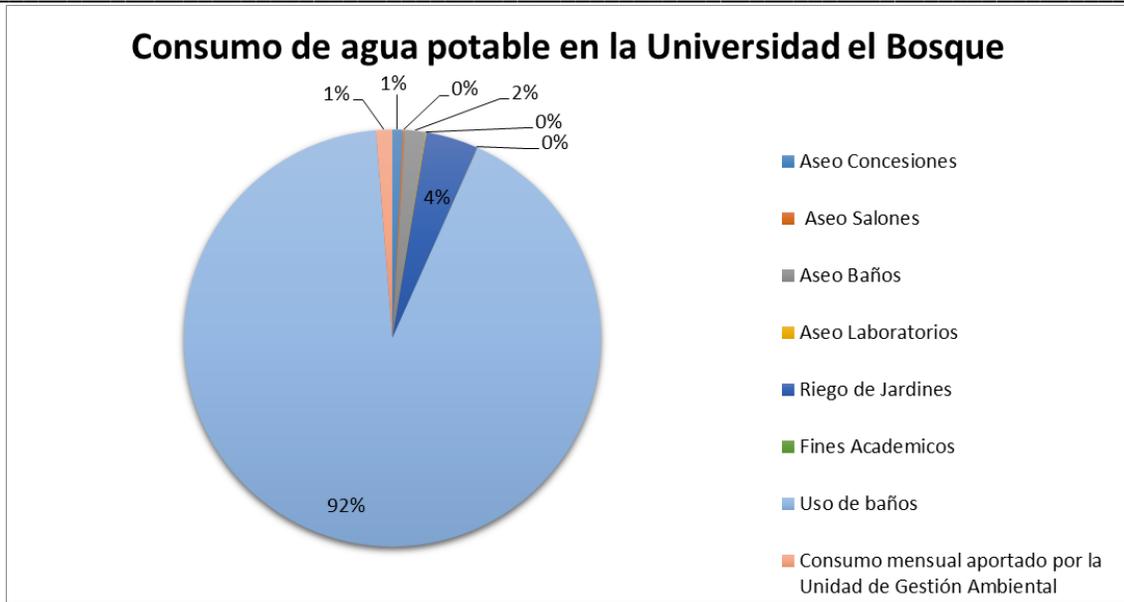


Figura 26 Consumo de agua potable de la Universidad el Bosque (Autor, 2018)

Para establecer el aprovechamiento de aguas pluviales que puede tener la Universidad el Bosque con respecto a la demanda hídrica, es necesario hacer un ajuste a la clasificación de la demanda total del agua estableciendo dos categorías; la primera con destino para aguas grises y la segunda las aguas para consumo humano como se muestra en la siguiente figura

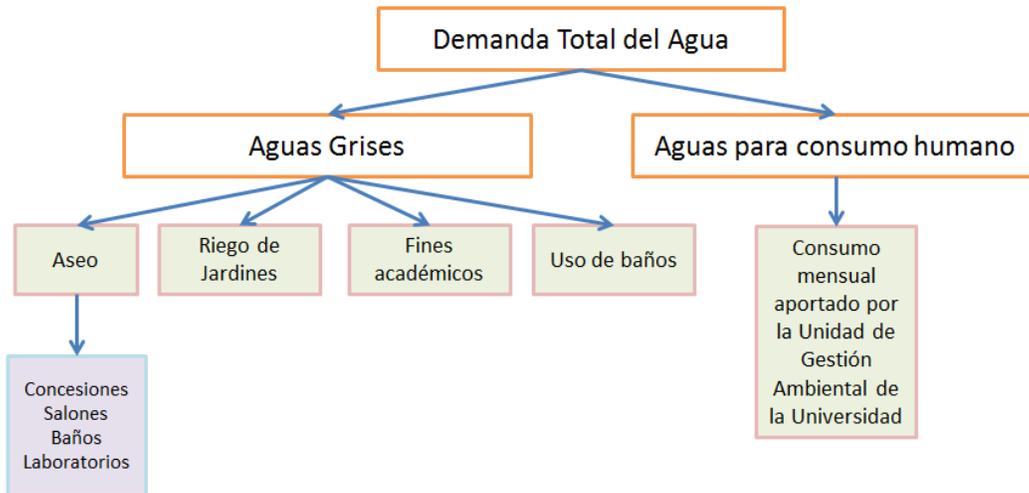


Figura 27 Clasificación de la Demanda Total del Agua (Autor, 2018).

Haciendo énfasis en la anterior ilustración, la demanda que hace uso de agua potable, pero puede realizar un uso de aguas pluviales esta en las aguas grises como se muestra en la siguiente figura

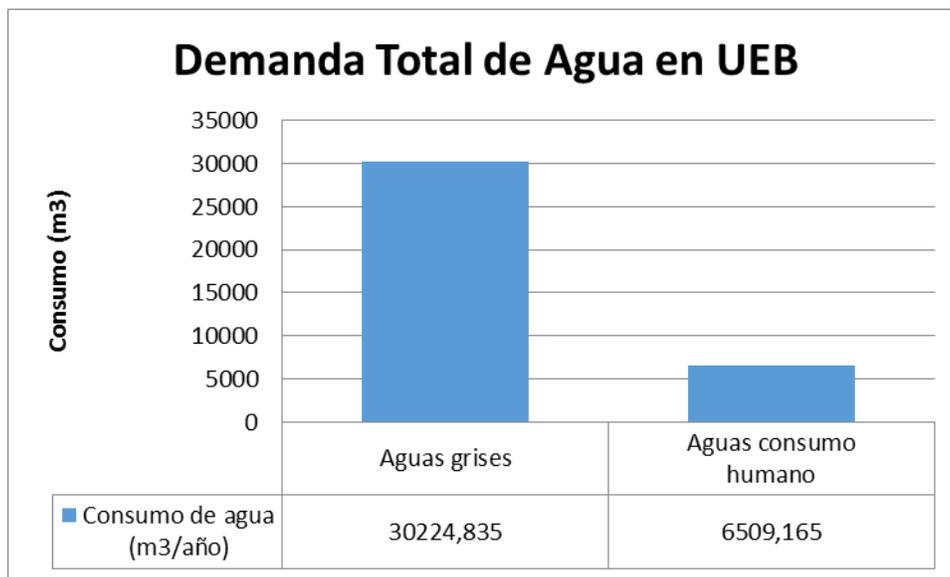


Figura 28 Consumo de agua por Categoría (Autor, 2018)

De esta manera el agua que ha sido para el uso de aseo y uso de baños puede ser reemplazado por aguas pluviales. En la siguiente tabla se muestra la relación entre el consumo de agua potable por aguas grises y aguas de consumo humano

Tabla 13 Gasto en el consumo de agua por categoría

Dato	Consumo (m ³ /año)	Costo por m ³	Costo Total/Año
Aguas grises	30225	\$2,677	\$ 80,911,883.30
Aguas consumo humano	6509	\$2,677	\$ 11,926,918.41
Total	36734	\$2,677	\$ 92,838,801.71

Fuente: (Autor, 2018)

La siguiente tabla muestra la relación de la oferta y la demanda hídrica en la Universidad El Bosque

Tabla 14 Relación Oferta y Demanda hídrica de la Universidad El Bosque

Mes	Oferta	Demanda		
	OH (m ³ /mes)	Aguas Grises (m ³ /mes)	Aguas consumo humano (m ³ /mes)	Demanda Total (m ³ /mes)
Enero	21103,76	2519	542	3061
Febrero	31200,63	2519	542	3061
Marzo	45284,24	2519	542	3061
Abril	50744,35	2519	542	3061
Mayo	49054,32	2519	542	3061
Junio	22273,78	2519	542	3061
Julio	18070,36	2519	542	3061
Agosto	17680,35	2519	542	3061
Septiembre	28817,24	2519	542	3061
Octubre	57461,15	2519	542	3061
Noviembre	60017,87	2519	542	3061
Diciembre	34017,35	2519	542	3061
Total	435725,40	30225	6509	36734

Fuente: (Autor, 2018)

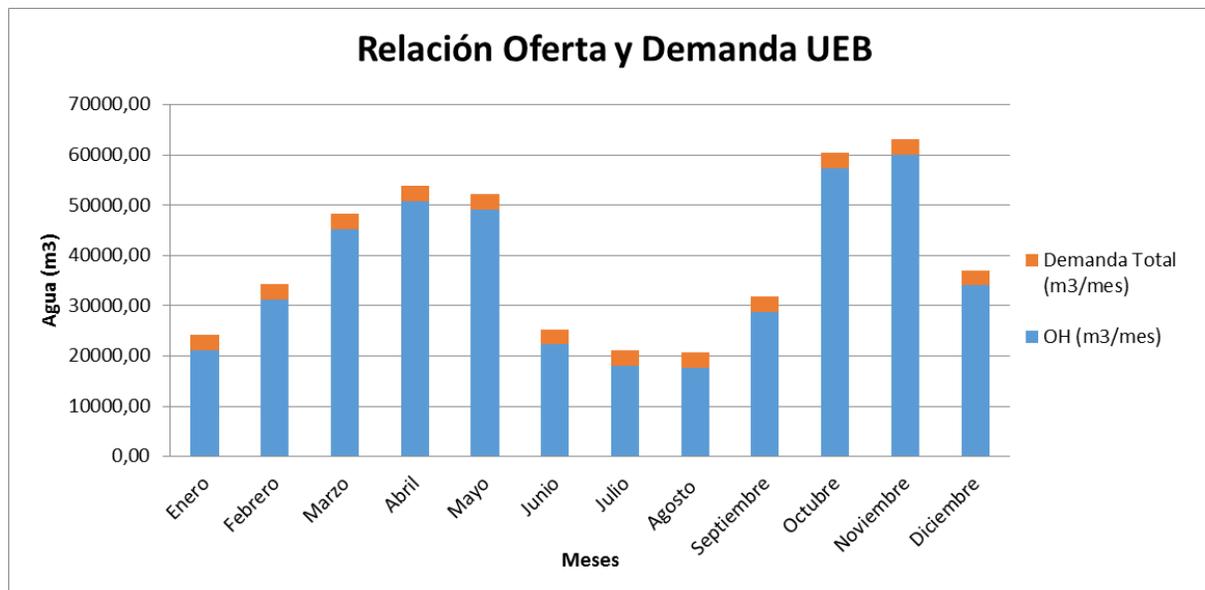


Figura 29 Relación Oferta y Demanda hídrica de la Universidad El Bosque (Autor, 2018)

Análisis de Resultados

La oferta hídrica nos indica la cantidad de volumen de agua que se precipita para la universidad en un área de 489.652 m², en el año se da un total de 435725,40 m³. En la tabla 14 se puede observar mayor intensidad de lluvias en los meses de marzo, abril, mayo, octubre y noviembre; al igual como lo explica la (Secretaría Distrial de Ambiente, 2011) estos meses junto con septiembre son épocas de lluvia, denominadas “invierno”.

La demanda hídrica de la Universidad El Bosque es de 36734 m³, lo que equivale al 8,4% de la oferta hídrica; Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), uno de los problemas más graves que deberá enfrentar el mundo es la escasez de agua potable. Se estima que la cuarta parte de la población carece de este recurso esencial para la vida y esta proporción se duplicara debido al calentamiento global y al crecimiento poblacional (Lira, 2012); Dada la necesidad de mitigar las sobrepresiones hídricas, es necesario establecer nuevas opciones de suministro de agua que logren interactuar de forma sostenible con el ambiente, para lo cual organizaciones mundiales propenden por el aprovechamiento de las aguas lluvia y la reutilización de las aguas grises (Estupiñan & Zapata, 2010).

El agua lluvia es utilizada en muchos países para usos no potables debido a que la pureza de este recurso es difícil de encontrar por su nivel de contaminación, el cual es dependiente de los componentes presentes en la atmosfera local (Estupiñan & Zapata, 2010). Como se observa en la tabla 14, la oferta que se da en la Universidad supera el 70% de la demanda hídrica para todos los meses del año, para lo cual sería aconsejable hacer uso de tecnologías no convencionales para el aprovechamiento de las aguas lluvia al tener como referencia la figura 26, donde el 92% de la demanda hídrica que se da en la Universidad El Bosque es para el uso de baños, a pesar de que el 53.90% de este consumo este dado a sanitarios con tecnología ahorradora (Leguizamón, 2016).

Esta práctica permite la restauración hidrológica de cuencas, generando beneficios ambientales (ecológicos, económicos, sociales) puesto a que se ha demostrado que los costos de recolección y tratamiento de las aguas pluviales suelen ser inversamente proporcionales a la escala de recolección (Eriksson, Auffarth, Henze, & Ledin, 2002). Como se observa en la tabla 13, hay un desperdicio del agua potable del 87% que puede ser reemplazado por aguas pluviales; esto ayudaría a mejorar la carga que tiene la ciudad con respecto a las inundaciones y los encharcamientos; al igual para la Universidad representa un gasto económico de \$ 80, 911,883.30 de pesos anuales que podrían ser utilizados para tecnologías que ayuden a la captación de aguas pluviales.

***Fase II:** Preseleccionar las tipologías de SUDS más factibles con base en las condiciones ambientales de la Universidad El Bosque*

- **Identificación de áreas potenciales**

Para identificar las áreas potenciales de la Universidad El Bosque, fue necesario obtener el plano de la institución, facilitado por parte del Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento. El plano fue dado en un archivo .dwg, por el cual para medir el área fue necesario el uso del programa AutoCAD; como se observa en la Figura 25, donde el área total de la universidad es de aproximadamente 489652 m².

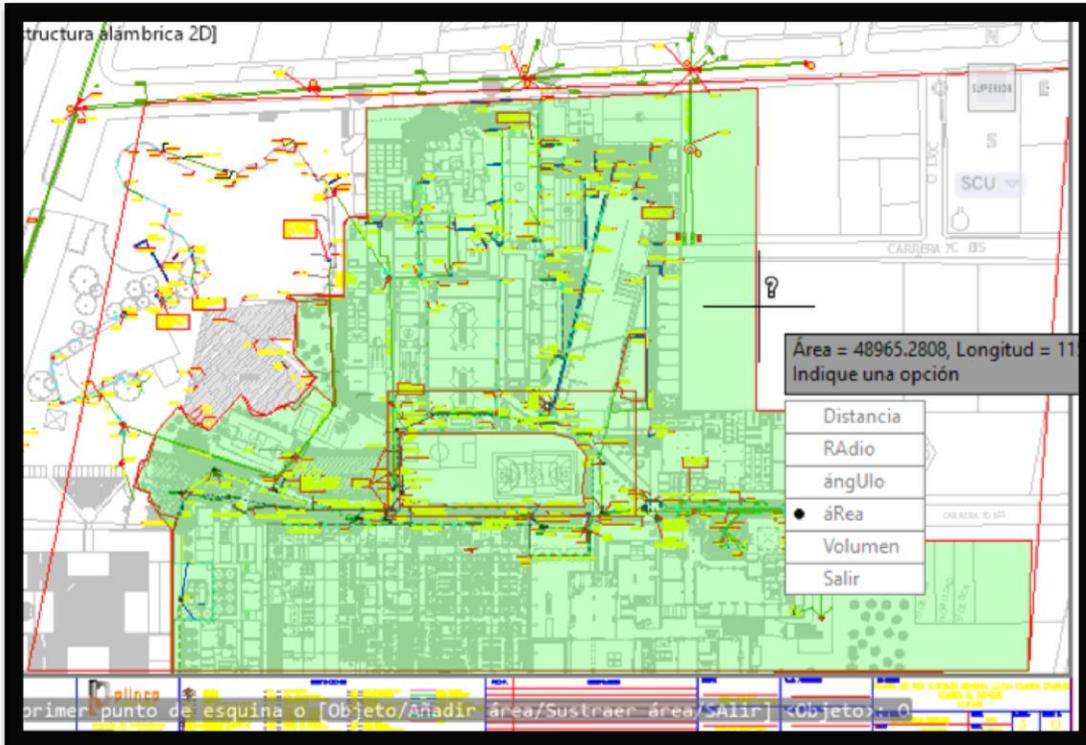


Figura 30 Área de la Universidad El Bosque (Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento)

Del área calculada anteriormente, no se tuvieron en cuenta los predios y edificaciones que se encuentran por fuera del área mater de la Universidad El Bosque. Con respecto al área anteriormente calculada, 1962 m² se presentan como áreas potenciales para el desarrollo de SUDS, actualmente hacen parte de espacios para actividades deportivas, presentando el mayor espacio verde proporcionado por la misma Universidad, como se puede observar en la Figura 31



Figura 31 Áreas potenciales de la Universidad El Bosque (Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento)

• Definición de Tipologías Factibles

En la identificación de las tipologías factibles (Cunetas verdes, tanques de almacenamiento, zonas de bioretención, alcorques inundables, cuenca seca de drenaje, zanjas de infiltración y pavimentos porosos) en el área de estudio, deben analizarse distintas variables para definir los espacios que se van a implementar con la tipología según las características del área disponible (Universidad de los Andes, Acueducto de Bogotá & Alcaldía Local de Bogotá, 2016).

Para realizar este tipo de ejercicios, la Universidad de los Andes con el acueducto y la Alcaldía Local de Bogotá, proporcionan un formulario especial, donde se ingresan los datos para seleccionar el tipo de Tipologías factibles. Se deben tener en cuenta las siguientes variables: (Ver anexo 1)

✓ Tipo de espacio

Dentro de las opciones disponibles se seleccionaron las áreas potenciales como “Parqueadero o parque”, debido a que las canchas están hechas en material impermeable, pero existen otras opciones como aparecen en la Tabla 10.

Tabla 15 Tipo de SUDS de acuerdo con áreas potenciales

TIPOLOGÍA ÁREAS POTENCIALES	CUNETAS VERDES	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	ALCORQUES INUNDABLES	CUENCA SECA DE DRENAJE	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	PAVIMENTOS PERMEABLES
Parque	X		X		X	X	X
Plaza		X	X	X			X
Andén		X	X	X			X
Vía (flujo vehicular bajo)		X				X	
Zona comercial		X	X	X			
Zona industrial		X					
Zona institucional		X	X	X			
Separador vial	X	X	X	X		X	X
Corredor verde	X		X			X	X
Jardín domiciliar		X	X				X
Parqueadero		X	X	X		X	X

Fuente: (Uniandes, 2018)

Análisis de Resultados

La definición de los sitios potenciales para localizar los SUDS es de gran relevancia ya que es muy conveniente implementarlos en sitios críticos o prioritarios para el manejo de la escorrentía y, adicionalmente, se debe contar con un espacio adecuado para su implementación y correcto funcionamiento, para su ubicación también se debe procurar reducir los impactos negativos sobre las actividades y estructuras pre-existentes en el lugar.

En el caso de las canchas de la Universidad El Bosque, estas pueden ser identificadas como dos tipos de áreas potenciales, la primera es de parque al poseer gran espacio verde y la segunda como parqueadero ya que las canchas están hechas de concreto. Según la Tabla 10, coinciden tres tipologías de SUDS para estas áreas las cuales son Zonas de bioretención, Zanjás de Infiltración y Pavimentos Permeables.

✓ **Pendiente Longitudinal**

Tabla 16 Restricciones recomendadas para la selección de Tipologías de SUDS

Parámetro		CUNETAS VERDES	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	ALCORQUES INUNDABLES	CUENCA SECA DE DRENAJE	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	PAVIMENTOS PERMEABLES
Pendiente longitudinal (%)	Máx	10	10	10	15	5	5
	Mín	1			1	1	0.5
Distancia al nivel freático (m)	Mín	1.5	1.8	1	3	3	3
Tasa de infiltración del suelo (mm/h)	Mín	13	7	7	7	7	13
Distancia a cimientos	Mín	4	6	2	6	6	6

Análisis de Resultados

La pendiente longitudinal que posee la Universidad El Bosque es diferente en las distintas áreas de la misma, sin embargo en el área potencial es inferior al 5%, dado que para que una pendiente sea de un 1%, esta debe presentar un desnivel de 1 metro (subida o bajada) en una distancia de 100 metros horizontales (Aristasur, 2018). Al estar ubicado una cancha de microfútbol en el área potencial, se describen unas reglas básicas para poder ejecutar el deporte y en esas se presenta la superficie del juego que según la Federación Colombiana de Fútbol de Salón: “esta superficie deberá ser homogénea, permitiendo el bote regular y el suave desplazamiento del balón, deberá ser lisa y no resbaladiza; se podrá construir de madera, cemento, baldosa o superficie sintética artificial”; por consiguiente no se puede presentar ningún desnivel en esta área (Federación Colombiana de Fútbol de Salón, 2016).

Hay que resaltar que las pendientes longitudinales bajas permiten el transporte del flujo de agua de una forma lenta y superficial, por consiguiente asegura que la escorrentía drene dentro de la estructura (Universidad de los Andes, 2017).

Dado que en cualquier SUDS que se quiera tener en cuenta, la distancia al nivel freático requerida debe ser mínimo de 3 metros; en la Universidad El Bosque esta distancia es de 6.08m, dato proporcionado por Sergio David Pardo, ingeniero civil residente en la obra actual de la “Clínica El Bosque”. El nivel freático es una característica que impone desafíos en el diseño y construcción de estructuras, debido a la afectación que se puede causar a los acuíferos por la distancia (m) que se encuentra el agua con respecto a la superficie del terreno; al involucrar proyectos que tengan en cuenta la infiltración y drenaje completo del agua acumulada entre eventos de lluvia, un nivel freático inferior al exigido por los SUDS impide la infiltración y almacenamiento de aguas pluviales (Universidad de los Andes, 2017).

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

Se pueden usar barreras impermeables para evitar que el agua subterránea que se encuentre contaminada fluya a cualquier componente de SUDS. Sin embargo, para la construcción de alguna tipología de SUDS es preferible sobre el nivel freático para minimizar el riesgo de que el agua subterránea afecte el sistema (puede remitirse a la figura 14), para esto es necesario basarse en una evaluación detallada del riesgo de las aguas subterráneas, aunque a menudo es suficiente con 1m de suelo insaturado, a no ser de que existan riesgos específicos (CIRIA, 2015).

En el caso de la tasa de infiltración del suelo, esta se calcula teniendo en cuenta el tipo de suelo que se presenta en el área potencial y haciendo pruebas de infiltración poder obtener información primaria de las condiciones reales. Dado a que ese dato no se tiene, existe una falencia en los parámetros hidrológicos del terreno para garantizar el almacenamiento de grandes volúmenes de escorrentía, ya que esto asegura la construcción y operación de tipologías aptas para detener y retener altos volúmenes de escorrentía. En vista de no tener este dato, se tuvo en cuenta la infiltración del suelo para un pavimento poroso nuevo, igual a 146.3375 mm/h (Trujillo & Quiroz, Pavimentos Porosos utilizados como Sistemas Alternativos al Drenaje Urbano, 2013).

✓ **Ancho (del área disponible)**

El ancho del area disponible es de 28.38 m como se muestra en la siguiente imagen

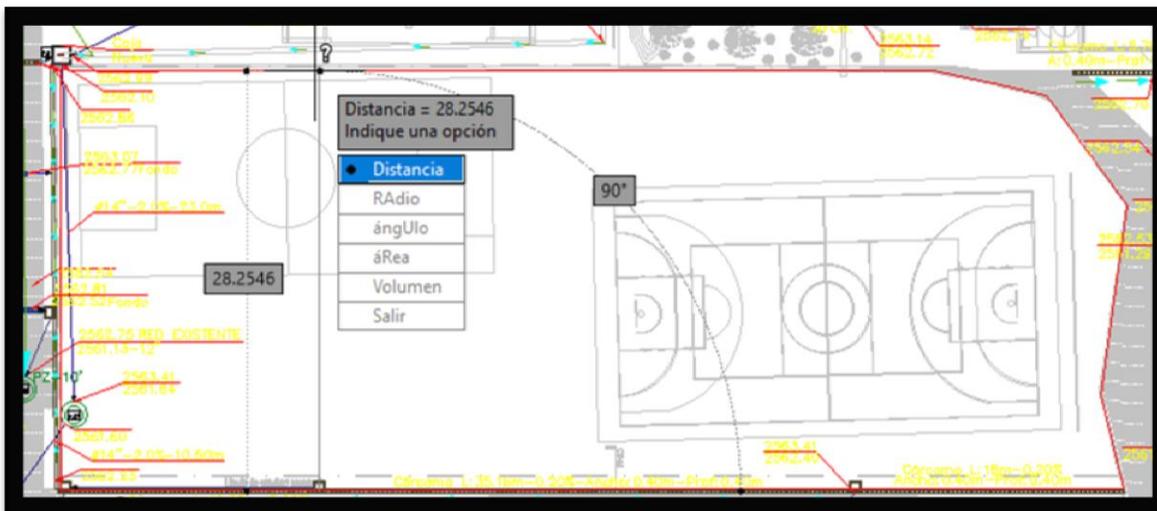


Figura 32 Ancho del área disponible (Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento, 2018)

✓ **Largo (del área disponible)**

El largo del area disponible es de 69.14 m como se observa en la siguiente imagen



Figura 33 Largo del área disponible (Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento, 2018)

• **Determinación de Tipologías de SUDS más adecuadas**

La definición de las tipologías se realiza a partir de los procesos que son factibles en el área y que, de acuerdo a los objetivos del proyecto, deben llevarse a cabo. La hoja Excel presentada por la Universidad de los Andes, detalla las calificaciones asignadas a las tipologías de acuerdo a cinco criterios (mejoramiento de la calidad del agua, manejo de volúmenes, amenidad y conflictos de uso, mantenimiento y costos), donde es necesario evaluar características distintas en cuanto a su implementación y operación, por lo tanto, es necesario evaluar de manera independiente las condiciones que estas presentan.

✓ **Mejoramiento de la calidad del Agua**

El criterio de mejoramiento de la calidad del agua se valora numéricamente respecto a la eficiencia de remoción donde el número uno (1) equivale a bajo, dos (2) a medio y tres (3) a alto. Al final de la Tabla, se promedian los resultados y la tipología que presente la calificación más alta es la más eficiente en la remoción de contaminantes.

Tabla 17 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según eficiencia de remoción de contaminantes

CONTAMINANTE \ TIPOLOGÍA	CUNETAS VERDES	PAVIMENTOS PERMEABLES	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	CUENCA SECA DE DRENAJE	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	ALCORQUES INUNDABLES
NUTRIENTES	2	1	2	2	1	0	2
METALES	1	2	3	1	2	0	1
PATÓGENOS	1	2	3	2	3	0	2
SEDIMENTOS	2	3	3	2	2	0	2
ACEITES Y GRASAS	2	3	2	3	2	0	3
BASURA Y ESCOMBROS	2	2	3	3	3	0	3
FILTRACIÓN Y SORCIÓN	1	2	3	3	1	0	2
TOTAL	1,6	2,1	2,7	2,3	2,0	0,0	2,1

Fuente: (Uniandes, 2018)

Estudios realizados desde finales de la década de 1970 muestran que la escorrentía de aguas pluviales en áreas urbanas e industriales puede ser una fuente importante de contaminación (Burton & Pitt, 2001); la inundación y la calidad química del agua, genera cambios hidrológicos e hidráulicos (físicos) en las cuencas hidrográficas asociadas con la urbanización, son reconocidas como grandes contribuyentes a la degradación del agua recibida. (Urban Drainage and Flood Control District, 2010), debido a que el aumento de la escorrentía es dañino para el ambiente, causando erosión en las corrientes receptoras y generando mayor carga de contaminantes aguas abajo.

Como se muestra en la siguiente tabla, estas son las fuentes principales de contaminación en el ecosistema urbano:

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

Tabla 18 Fuentes contaminantes en el ecosistema urbano

Categoría de las Fuentes Contaminantes	Sólidos	Nutrientes	Patógenos	Oxígeno Disuelto	Metales	Aceites	Sintéticos orgánicos
Erosión del suelo	X	X		X	X		
Vegetación despejada	X	X		X			
Fertilizantes		X	X	X			
Desechos Humanos	X	X	X	X			
Desechos animales	X	X	X	X			
Combustión y fluidos de vehículos	X			X	X	X	X
Combustión vehicular						X	
Desgaste vehicular	X			X	X		
Químicos procedentes de industrias y casas	X	X		X	X	X	X
Procesos industriales	X	X		X	X	X	X
Pinturas y conservantes					X	X	X
Pesticidas				X	X	X	X
Aguas pluviales sin el mantenimiento adecuado	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: (Urban Drainage and Flood Control District, 2010)

De modo que con respecto a la tabla 17, las zanjas de infiltración permiten una mejor remoción de contaminantes, seguidas por las zonas de bio-retención y los pavimentos permeables. En cuanto a la implementación de estas tipologías de SUDS, estas realizan una disminución al impacto que causan estas fuentes contaminantes, de tan manera que son una iniciativa potencial hacia la reducción de los problemas de contaminación que abarcan los cuerpos hídricos, permitiendo re naturalizar y proteger los cuerpos de agua.

Aunque la Universidad El Bosque no presenta muchas de esas fuentes contaminantes, debido a que posee un Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos (PGIRP) y la disposición de las sustancias no está conectada con la red de drenaje convencional (acueducto) (Unidad de Gestión Ambiental, 2016), cabe resaltar que la cuenca del Río Salitre si presenta este tipo de inconvenientes, ya que se reconoce

que existen amenazas tecnológicas relacionadas con incendios, explosiones, fugas, generadas por la liberación de sustancias químicas peligrosas en los establecimientos industriales, comerciales y en viviendas familiares en la localidad de Usaqué (Universidad Militar Nueva Granada; Alcaldía Mayor de Bogotá, 2007).

✓ **Manejo de Volúmenes de agua lluvia**

La Tabla 19 contiene las tipologías seleccionadas previamente y la evaluación correspondiente. La calificación numérica respecto a la eficiencia de reducción de volumen se efectúa en una escala de 1 a 3 en donde: uno (1) equivale a baja, dos (2) es media y tres (3) es alta. La tipología más eficiente en la reducción de escorrentía es la que presente la calificación más alta.

Tabla 19 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según eficiencia de control de volumen de escorrentía

TIPOLOGÍA CRITERIO DE CONTROL DE VOLUMEN	CUNETAS VERDES	PAVIMENTOS PERMEABLES	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	CUENCA SECA DE DRENAJE	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	ALCORQUES INUNDABLES
REDUCCIÓN VOLUMEN	1	3	3	2	1	2	1
REDUCCIÓN DESCARGA MÁXIMA	1	2	3	1	2	2	1
TOTAL	1,0	2,5	3,0	1,5	1,5	2,0	1,0

Fuente: (Uniandes, 2018)

Análisis de Resultados

El incremento de las superficies impermeables en las cuencas produce cambios en la hidrología de las mismas, debido al aumento de los volúmenes de escorrentía y de los caudales pico, generando una mayor probabilidad de erosión en los cuerpos de agua receptores. Las tipologías de SUDS que poseen mayor potencial de manejar la cantidad de volumen de agua lluvia son en primer lugar las zanjas de infiltración y en segundo lugar los pavimentos permeables, donde en cualquiera de las dos se pueden realizar mejor infiltración, evaporación, transpiración, o la utilización de aguas pluviales para usos no potables (Universidad de los Andes, 2017), como la sustitución de aguas grises.

Según (García, 2011), las ventajas de carácter técnico de los pavimentos porosos son la disminución de la carga hidráulica en el sistema en tiempo de lluvia y la reducción de las conducciones, adicionalmente la principal ventaja de carácter ambiental es que impulsa la reutilización de aguas pluviales para usos no potables.

✓ **Amenidad y Conflictos de uso**

La calificación se realiza numéricamente respecto a la contribución de la amenidad donde tres (3) equivale a alta, dos (2) es media y uno (1) es nula, y respecto a los conflictos de uso donde tres (3) equivale a bajo, dos (2) es medio y uno (1) es alto. Al final de la matriz se promedian los resultados y la calificación más alta es la tipología con mayor contribución a la amenidad y con menores conflictos de uso.

Tabla 20 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según contribución a la amenidad y conflictos de uso

TIPOLOGÍA AMENIDAD CONFLICTO DE USO	CUNETAS VERDES	PAVIMENTOS PERMEABLES	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	CUENCA SECA DE DRENAJE	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	ALCORQUES INUNDABLES
Amenidad	2	0	0	3	3	0	2
Interferencia con las actividades en el sitio	1	3	2	1	2	3	3
Riesgo para la seguridad (usuarios)	1	3	2	2	2	3	3
TOTAL	1,5	1,5	1,0	2,3	2,5	1,5	2,5

Fuente: (Uniandes, 2018)

Análisis de Resultados

La priorización de la amenidad en este ítem está asociada a los diálogos y reuniones que se tienen entre actores y entidades involucradas en el desarrollo de SUDS, por lo cual se valoraron servicios ambientales, sociales y económicos (Universidad de los Andes, 2017), el resultado de esta valoración muestra mayor amenidad y menor conflicto de uso en las cunetas verdes.

Como se evidenció en la Tabla 20, los SUDS que tienen mayor amenidad son los alcorques inundables, las cuencas secas de drenaje y las zonas de bio-retención. Por otra parte, las zanjas de infiltración son las que tienen menores conflictos de uso, puesto que no interfieren con las actividades que se desarrollan en la zona potencial, debido a que la parte superficial de la zanja es material sólido (piedras), permitiendo robustez frente a golpes de balones o el paso de personas que pueden pasar por encima del mismo. Mientras que los otros SUDS mencionados al principio pueden de alguna manera interferir en los eventos que se den en el lugar, como por ejemplo las zonas de bio-retención pues estas ocupan un espacio al cual las personas no pueden hacer uso.

✓ **Mantenimiento**

La evaluación de las tipologías seleccionadas se realiza en la Tabla 21. La calificación sigue una escala numérica respecto a la frecuencia y al número de actividades de mantenimiento, donde tres (3) equivale a baja, dos (2) es media y uno (1) es alta. La calificación más alta corresponde a la tipología con menor mantenimiento.

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

Tabla 21 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según frecuencia de mantenimiento

TIPOLOGÍA MANTENIMIENTO	CUNETAS VERDES	PAVIMENTOS PERMEABLES	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	CUENCA SECA DE DRENAJE	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	ALCORQUES INUNDABLES
TOTAL	3,0	1,0	1,0	1,0	2,0	3,0	2,0

Fuente: (Uniandes, 2018)

Análisis de Resultados

Los SUDS que necesitan un bajo mantenimiento son las cunetas verdes y los tanques de almacenamiento como se muestra en la tabla 21; los que mayor mantenimiento necesitan son las zanjas de infiltración, los pavimentos permeables y las zonas de bio-retención. Esto debido a que según (Fletcher, Duncan, Poelsma, & Lloyd, 2004) el costo de capital para cunetas verdes esta aproximadamente en AU \$4.50/m² este costo incluye las actividades de movimiento de tierra, suministro e instalación de la capa de suelo para la siembra de la cobertura vegetal, y el suministro fertilizantes y riego; para los tanques de almacenamiento en AU \$70 por año ya que las actividades de mantenimiento son mínimas y generalmente involucran limpieza o sustitución de los filtros y actividades de mantenimiento propias del sistema de bombeo según lo especifique el fabricante; para las zanjas de infiltración según (Louisiana Public Health Institute; Geosyntec Consultants, 2010) constituyen del 15 al 20% de su construcción, basado en la literatura de Estados Unidos, resaltando que dependiendo de su lugar de implementación se ve reflejado los costos de mantenimiento, teniendo en cuenta que existen mantenimientos menor (Remoción de basuras y escombros, sedimentos, vectores y condiciones que favorezcan su proliferación) y mantenimiento mayor (Reparación de los desgarres en el geotextil o reemplazarlo, verificación del funcionamiento de las zanjas al inicio de la temporada de lluvias).

Con respecto al mantenimiento de los pavimentos permeables, se debe tener en cuenta que el mantenimiento de esta tipología se ve reflejado en su desempeño, debido a que la tasa de infiltración de estos empezara a disminuir significativamente con el paso del tiempo. Se recomienda tanto en el diseño como en la operación que las tasas de infiltración sean superiores a la intensidad de la lluvia. De esta forma, la actividad de mantenimiento más relevante para esta tipología consiste en la aspiración de la capa superficial del pavimento con una alta frecuencia (se recomienda una frecuencia entre 8 y 15 días máximo). A su vez, no se recomienda llevar a cabo procesos de lavado con agua a presión o barridos por medio de aire comprimido pues esto puede remover el material de las capas y generar vacíos, afectando la resistencia de la estructura y su desempeño. (Universidad de los Andes, 2017).

✓ **Costos**

La Tabla 22 muestra la evaluación de las tipologías seleccionadas a partir de un rango de 1 a 3 en donde tres (3) equivale a bajo, dos (2) es medio y uno (1) es alto. Al final de la matriz se promedian los resultados y la tipología que presente la calificación más alta es la que representa menores costos.

Tabla 22 Matriz de evaluación de tipologías seleccionadas según costos

COSTOS	TIPOLOGÍA						
	CUNETAS VERDES	PAVIMENTOS PERMEABLES	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	CUENCA SECA DE DRENAJE	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	ALCORQUES INUNDABLES
Costos de capital	3	1	2	2	2	2	2
Costos de mantenimiento	3	2	2	2	2	2	2
TOTAL	3,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Fuente: (Uniandes, 2018)

Análisis de Resultados

Para la sección de costos, se observa el contraste entre pavimentos permeables y cunetas verdes; Los pavimentos de acuerdo a sus materiales presentan distintos costos, (Fletcher, Duncan, Poelsma, & Lloyd, 2004), de acuerdo con (Universidad de los Andes, 2017) en donde se menciona a URS (2003) y de acuerdo a este los costos del suministro para un pavimento permeable varían entre AU \$30 y AU \$50/m² y los costos de instalación son mayores a los asociados con un pavimento típico; Sin embargo hay que tener en cuenta que los pavimentos de asfalto convencionales tienden a deflactarse en menor tiempo que los pavimentos de asfalto poroso, pero relativamente presentan la misma magnitud (EPA, 1980); sus beneficios hacen que sea un potencial candidato de selección, pues algunas de sus ventajas son una mayor vida útil y la mitigación del aumento de temperatura generado por el pavimento común.

Para las zanjas de infiltración hay un costo capital de \$60/m³ – 80/m³ de zanja asumiendo 1 m de profundidad y 1 m de ancho. Este costo incluye mano de obra, materiales y movimiento de tierra, sin embargo no reportaron costos de mantenimiento (Universidad de los Andes, 2017).

Los criterios presentados previamente son evaluados y ponderados en la hoja "Evaluación de tipologías" (Universidad de los Andes, Acueducto de Bogotá & Alcaldía Local de Bogotá, 2016):

- **Evaluación de Tipologías**

En la Tabla 23 se presenta la matriz de evaluación que permite elegir la alternativa más adecuada a partir de la valoración de los criterios de selección y de los pesos establecidos. Teniendo en cuenta que todos los criterios de selección no tienen la misma importancia de acuerdo con los objetivos propios de cada proyecto se pueden asignar diferentes pesos a cada criterio evaluado. Al final de la Tabla 23 se

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

muestra el puntaje total, en donde las tipologías con mayor puntuación corresponden a las más adecuadas para el sitio.

Tabla 23 Criterios de Selección de Tipologías de SUDS

CRITERIOS DE SELECCIÓN	PESO
Mejoramiento de calidad de agua	25%
Control de volúmenes	40%
Amenidad y conflictos de uso	20%
Mantenimiento	5%
Costos	10%
Suma (100%)	100%

Fuente: (Uniandes, 2018)

La matriz de la Tabla 24 permite definir las tipologías apropiadas a implementar y está es la fase final de la evaluación de tipologías.

Tabla 24 Matriz selección de Tipologías

TIPOLOGÍA CRITERIOS DE SELECCIÓN	CUNETAS VERDES	PAVIMENTOS PERMEABLES	ZANJAS DE INFILTRACIÓN	ZONAS DE BIO-RETENCIÓN	CUENCA SECA DE DRENAJE	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	ALCORQUES INUNDABLES
Mejoramiento de calidad de agua	1.6	2.1	2.7	2.3	2	0	2
Control de volúmenes	1.0	2.5	3.0	1.5	2	2	1
Amenidad y conflictos de uso	1.5	1.5	1.0	2.3	3	2	3
Mantenimiento	3.0	1.0	1.0	1.0	2	3	2
Costos	3.0	1.5	2.0	2.0	2	2	2
TOTAL (máximo 5 puntos)	2.6	3.3	3.7	3.1	3	3	3

Fuente: (Uniandes, 2018)

Análisis de Resultados

Las tipologías más destacadas según el criterio de selección son las zanjas de infiltración y los pavimentos permeables, pues aunque presentan un alto costo en su mantenimiento y en la instalación, poseen un buen control de volumen y calidad del agua; Presentan diferentes ventajas, en el caso de las zanjas de infiltración estas proveen recarga de aguas subterráneas, poseen un alto grado de remoción de contaminantes y reducen las inundaciones aguas abajo (Universidad de los Andes, 2017).

En cuanto a los pavimentos permeables la ventaja más importante es el control de la escorrentía urbana para la prevención de inundaciones, al mismo tiempo que mejora la calidad del agua, además, según (Trujillo, A & Quiroz, D, 2013) estos permiten el crecimiento de vegetación. En el carácter ambiental, los arboles pueden vivir alrededor de 100 años o más, con respecto a los pavimentos tradicionales que disminuyen su tiempo de vida incluso a siete años; Sin embargo poseen limitaciones en cuanto a la toma de medidas especiales para la prevención de la compactación del suelo, aunque en el área potencial de la Universidad El Bosque no se requiera tanto, ya que no estaría diseñado para soportar tránsito pesado, otra de ellas es que los pavimentos permeables son propensos a la obstrucción por parte de finas partículas y sedimentos por lo cual necesita constante mantenimiento (Universidad de los Andes, 2017).

Aunque cabe resaltar que los tanques de almacenamiento no poseen una buena calificación, constantemente estos van acompañados junto con otros proyectos de SUDS, debido a su flexibilidad en disposición y el potencial de almacenamiento de las estructuras; Esta tipología puede implementarse al final de un tren de SUDS, puesto aunque no tiene la capacidad de mejorar la calidad del agua, si puede retenerla y permitir su uso posterior.

Fase III: Medir el aporte de aguas pluviales hacia la cuenca del Río Salitre por parte de la Universidad El Bosque

1. Recolección de datos hidrológicos de la cuenca del río Salitre

La recolección de datos (Anexo 4) se obtuvo mediante los pluviogramas de los años 1975 hasta el 2017 registrados en la estación pluviográfica Salitre Casa de Bombas perteneciente a la Empresa de Acueducto de Bogotá (Gamez, 2016).

2. Balance Hídrico

Para la obtención de la precipitación se tuvo en cuenta la precipitación media de todos los meses desde los años 1975 hasta 2017. En el balance hídrico se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

✓ Área (A)

El cálculo del área se tiene los anexos del 1 al 3 sin embargo, la tabulación de estas se puede observar en la tabla 25

Tabla 25 Áreas de la Universidad El Bosque

Dato	Unidad	Valor
Área Universidad	km ²	0.4896
Área Universidad	m ²	489652
Área con Zona Verde	m ²	2597.42
Área Pavimentada	m ²	487055

Fuente: (Autor)

El área potencial que esta mencionada anteriormente para la determinación de tipologías factibles, ha sido catalogada como zona verde y es la más grande (anexo 3) como se puede observar en la tabla 26

Tabla 26 Área de la Universidad con zonas verdes

Dato	Unidad	Valor
Área Zona Canchas	m ²	1962
Área Zona Verde 2	m ²	423.94
Área Zona Verde 3	m ²	211.48
Total	m²	2597.42

Fuente: (Autor)

✓ **Escorrentía Superficial (Esc)**

La escorrentía se tiene mediante el cálculo del Coeficiente de escorrentía (Ce) en el cual, para zonas pavimentadas, según (Monsalve, 1999) debido al alto escurrimiento que estas presentan se establecen rangos entre 0.80 y 0.90, para las zonas de parques o de uso recreativo, presentan rangos entre 0.20 y 0.30. Para el caso de la Universidad, se tuvo en cuenta la escorrentía con valores intermedios.

Es así como el cálculo de la escorrentía, la cual está dada en milímetros (mm) se da mediante la siguiente ecuación

$$Esc = \text{Área} * Ce \text{ (Ec. 9)}$$

✓ **Volumen (V)**

Para calcular el volumen que se da en la Universidad El Bosque y el área potencial, se multiplica la Escorrentía superficial (litros) por el área para obtener el volumen en m³.

✓ **Caudal (Q)**

El caudal que esta dado en m³/s, se da a partir del volumen almacenado en el área sobre el tiempo que en este caso se tuvo en cuenta mensualmente.

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

Mediante los datos anteriormente mencionados, se obtuvo el balance hídrico para la Universidad (Tabla 27) y para el área potencial (Tabla 28)

Tabla 27 Balance Hídrico de la Universidad El Bosque

Mes	P (mm)	A (m ²)	Ce	Esc (mm)	V (m ³)	Mes (s)	Q (m ³ /s)
Enero	48.7	487055	0.85	41.395	20161.64	2678400	0.0075
Febrero	72	487055	0.85	61.2	29807.77	2678400	0.0111
Marzo	104.5	487055	0.85	88.825	43262.66	2678400	0.0162
Abril	117.1	487055	0.85	99.535	48479.02	2678400	0.0181
Mayo	113.2	487055	0.85	96.22	46864.43	2678400	0.0175
Junio	51.4	487055	0.85	43.69	21279.43	2678400	0.0079
Julio	41.7	487055	0.85	35.445	17263.66	2678400	0.0064
Agosto	40.8	487055	0.85	34.68	16891.07	2678400	0.0063
Septiembre	66.5	487055	0.85	56.525	27530.78	2678400	0.0103
Octubre	132.6	487055	0.85	112.71	54895.97	2678400	0.0205
Noviembre	138.5	487055	0.85	117.725	57338.55	2678400	0.0214
Diciembre	78.5	487055	0.85	66.725	32498.74	2678400	0.0121

Fuente: (Autor, 2018)

Debido a que el volumen para el área potencial no es muy alto en comparación con toda la Universidad, se dejó el Caudal en L/s, haciendo referencia que 1000 litros equivalen a un m³.

Tabla 28 Balance Hídrico del área potencial

Coeficiente de escorrentía para espacios verdes							
Mes	P (mm)	A (m ²)	Ce	Esc (mm)	V (m ³)	Mes (s)	Q (L/s)
Enero	48,7	1962	0,25	12,175	23,89	2678400	0,009
Febrero	72	1962	0,25	18	35,32	2678400	0,013
Marzo	104,5	1962	0,25	26,125	51,26	2678400	0,019
Abril	117,1	1962	0,25	29,275	57,44	2678400	0,021
Mayo	113,2	1962	0,25	28,3	55,52	2678400	0,021
Junio	51,4	1962	0,25	12,85	25,21	2678400	0,009
Julio	41,7	1962	0,25	10,425	20,45	2678400	0,008
Agosto	40,8	1962	0,25	10,2	20,01	2678400	0,007
Septiembre	66,5	1962	0,25	16,625	32,62	2678400	0,012
Octubre	132,6	1962	0,25	33,15	65,04	2678400	0,024
Noviembre	138,5	1962	0,25	34,625	67,93	2678400	0,025
Diciembre	78,5	1962	0,25	19,625	38,50	2678400	0,014
Total	1005,5	1962	0,25	251,38	493,20	2678400	0,184

Fuente: (Autor, 2018)

Análisis de Resultados

Como se puede observar en la Tabla 27 con respecto a la Tabla 28, existe una gran diferencia en el volumen que se da para toda el área de la Universidad El Bosque con respecto al área de interés, donde el volumen total según el Balance Hídrico es de 493.20 m³ al año y la demanda que tiene la Universidad con respecto a aguas grises es de 30.225 m³, donde el aprovechamiento sería solo del 2%. Cabe resaltar que el coeficiente de escorrentía que se tuvo en cuenta es para zonas verdes, lo que implica que hay una mayor infiltración en el suelo con respecto al agua que precipita en la Universidad.

3. Metodología Chile

✓ Coeficiente de escorrentía superficial (Ce)

Se calcula el coeficiente de escorrentía superficial para la Universidad El Bosque como se muestra en la Tabla 29

Tabla 29 Coeficiente de escorrentía superficial para la Universidad El Bosque

Datos	Ce	Área (m ²)
Universidad El Bosque	0.846	489652
Zona pavimentada	0.85	487055
Zona de Canchas	0.25	1962

Fuente: (Monsalve, 1999)

✓ Intensidad de la lluvia de periodo de retorno

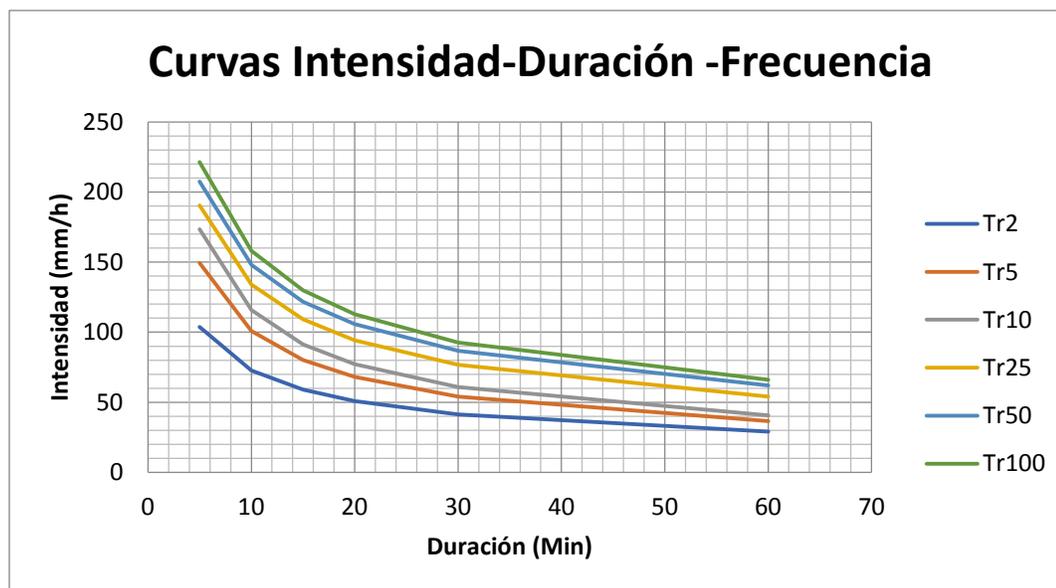
Para calcular la intensidad de la lluvia de periodo de retorno, se realizó ajustes en las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) de (Gamez, 2016), las cuales indican las intensidades que se presenta para aguaceros en diferentes duraciones y periodos de retorno (Tr), estos ajustes se pueden observar en el anexo 5. El ajuste final para las curvas IDF se puede observar en la tabla 30 y la Figura 26

Tabla 30 Tabla de Intensidad-Duración-Frecuencia

DURACION (min)	Tr 2 (mm/h)	Tr 5 (mm/h)	Tr 10 (mm/h)	Tr 25 (mm/h)	Tr 50 (mm/h)	Tr 100 (mm/h)
5	104	149	173	190	208	221
10	73	101	116	134	148	158
15	59	80	91	109	122	130
20	51	68	77	94	106	113
30	41	54	61	77	87	93
60	29	36	41	54	62	66

Fuente: (Gamez, 2016)

Figure 1 Gráfica Curvas IDF



Fuente: (Gamez, 2016)

Análisis de Resultados

Se presentan altas intensidades de lluvia para los diferentes periodos de retorno, lo que indica que en temporada de lluvias el escurrimiento superficial es alto; por lo tanto los ríos que albergan la cuenca del río salitre no poseen la capacidad de amortiguar altos volúmenes de agua que son aportados, lo cual provoca el desbordamiento en las avenidas que lo interceptan (Gamez, 2016).

✓ Tiempo acumulado de lluvia

Para el tiempo acumulado de lluvia se tuvo en cuenta una duración de 30 y 60 minutos, como se puede observar en la tabla 30, haciendo referencia a las intensidades de precipitación que se presentan en esas duraciones.

• Volumen Afluyente (V_{af})

Los datos anteriormente mostrados son para obtener el volumen afluyente (V_{af}), el cual está dado para periodos de retorno de 2, 25 y 100 años, para la Universidad El Bosque (Tabla 31) y el área potencial de la Universidad (Tabla 32)

Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
 Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
 Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre

Tabla 31 Volumen afluente para la Universidad El Bosque

Const.	Const.	Ce	Tr	Id	A	TIEMPO ACUMULADO			V _{afl} m ³
						minutos (min)	const. (min)	horas	
1.25	0.001	0.846	2	41	489652	30	60	0.5	10615.0
1.25	0.001	0.846		29	489652	60	60	1	15016.4
1.25	0.001	0.846	25	61	489652	30	60	0.5	15793.1
1.25	0.001	0.846		54	489652	60	60	1	27961.6
1.25	0.001	0.846	100	93	489652	30	60	0.5	24078.0
1.25	0.001	0.846		66	489652	60	60	1	34175.3

Fuente: (Autor)

• **Volumen Infiltrado (V_{inf})**

Teniendo en cuenta que la metodología Chile es utilizada para pavimentos porosos, se realiza unos cálculos con la suposición de que se presenta esta situación en la Universidad El Bosque. La capacidad de infiltración del suelo es igual a 146.3375 mm/h para un pavimento poroso nuevo (Trujillo & Quiroz, Pavimentos Porosos utilizados como Sistemas Alternativos al Desarrollo Urbano, 2013).

Tabla 32 Volumen infiltrado al área potencial de la Universidad El Bosque

Const.	F	Cs	Tr	Ap	TIEMPO ACUMULADO			V _{inf} m ³
					Minutos (min)	const. (min)	horas	
0.001	146.34	1	2	1962	30	60	0.5	143.56
0.001	146.34	1		1962	60	60	1	287.12
0.001	146.34	1	25	1962	30	60	0.5	143.56
0.001	146.34	1		1962	60	60	1	287.12
0.001	146.34	1	100	1962	30	60	0.5	143.56
0.001	146.34	1		1962	60	60	1	287.12

Fuente: (Autor)

• **Volumen almacenado (V_{alm})**

El volumen de almacenamiento es la máxima diferencia entre el volumen afluente y el volumen infiltrado como se muestra en la tabla 33

Tabla 33 Volumen almacenado

Tr	Duración (min)	Vaf	Vinf	Valm
		m3	m3	m3
2	30	10615,0	143,56	10471,48
	60	15016,4	287,12	14729,28
25	30	15793,1	143,56	15649,55
	60	27961,6	287,12	27674,46
100	30	24078,0	143,56	23934,47
	60	34175,3	287,12	33888,14

Fuente: (Autor)

Análisis de Resultados

Las curvas IDF Son de apoyo para realizar un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras civiles como lo sería un sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS), ya que permite conocer las intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno (Sociedad estándares de ingeniería para aguas y suelos Ltda, 2018).

Se puede observar en la Tabla 33 la cantidad de volumen almacenado para tormentas de lluvia con diferentes intensidades para periodos de retorno de 2, 25 y 100 años, lo que explica la cantidad de agua que se puede almacenar de esas lluvias en los pavimentos porosos. El consumo en m³ de agua para usos no potables de la Universidad que es 30225 m³ al año, donde en una lluvia de 30 minutos que ocurre en periodo de retorno de dos años (tormenta común), puede almacenar el 35% del consumo que se genera al año; A diferencia de una lluvia que ocurre cada 25 años con duración de una hora puede almacenar el 91% de este consumo.

4. Aporte de las aguas pluviales hacia la cuenca del Rio Salitre

Mediante la diferencia del volumen acumulado y el total de aguas grises se obtienen volúmenes que van directamente a la cuenca del río salitre Universidad como se muestra en la tabla 34

$$Aporte = 331.048 m^3 - 30.225m^3 = 300.823m^3$$

Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
 Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
 Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre

Tabla 34 Aporte de aguas pluviales a la cuenca del Río Salitre

Mes	Oferta Hídrica (m ³ /mes)	Pérdidas del 0.17% (m ³ /mes)	Demanda		Volumen acumulado (m ³)
			Aguas Grises (m ³ /mes)	Aguas consumo humano (m ³ /mes)	
Enero	21461,45	3648,45	2519	542	14752
Febrero	31729,45	5394,01	2519	542	38026
Marzo	46051,77	7828,80	2519	542	73188
Abril	51604,42	8772,75	2519	542	112958
Mayo	49885,75	8480,58	2519	542	151302
Junio	22651,30	3850,72	2519	542	167042
Julio	18376,64	3124,03	2519	542	179233
Agosto	17980,02	3056,60	2519	542	191096
Septiembre	29305,67	4981,96	2519	542	212358
Octubre	58435,07	9933,96	2519	542	257798
Noviembre	61035,12	10375,97	2519	542	305396
Diciembre	34593,91	5880,97	2519	542	331048
Total	443110,58	75328,80	30225	6509	

Fuente: (Autor, 2018)

5. Cálculo de Caudales Pico- Método Hidrograma racional

Se realizó el cálculo de los caudales pico para las diferentes intensidades de lluvia presentados en 2, 25 y 100 años para el área total de la Universidad en Bosque como se observa en la Tabla 35

Tabla 35 Método Hidrograma Racional

Método Racional								
Tr	Duración (min)	C	I (mm/h)	I (m)	Conv (s)	A (m ²)	Duración (s)	Q (m3)
2	30	0,85	41	0,041	3600	487055	1800	8486,93
	60	0,85	29	0,029	3600	489652	3600	12069,92
25	30	0,85	77	0,077	3600	489652	1800	16023,86
	60	0,85	54	0,054	3600	489652	3600	22475,03
100	30	0,85	93	0,093	3600	489652	1800	19353,50
	60	0,85	66	0,066	3600	489652	3600	27469,48

Análisis de Resultados

De acuerdo con la tabla 35 se muestran los volúmenes originados por las diferentes intensidades y periodos de retorno que determinan las tormentas de lluvia; todos estos volúmenes se dirigen al sistema de alcantarillado que además fluyen a la cuenca del río salitre.

Realizando un aprovechamiento de las aguas pluviales para satisfacer la demanda de aseo, uso de baños y riego de jardines en la Universidad, se abastecería solamente del 10% del volumen acumulado; sin embargo es necesario reducir la carga de aguas lluvia que drenan hacia la cuenca del río salitre ya que el aumento de las superficies impermeables en las ciudades, los sistemas de drenaje resultan ser incapaces para infiltrar los volúmenes de agua circulantes, generando con mayor frecuencia las inundaciones (Hernández, Bayón, Fresno, Pérez, & Jordanan, 2006).

Es notorio como emerge una problemática en el drenaje convencional, en donde las inundaciones y los encharcamientos florecen en épocas de lluvia; En los últimos 5 años, la capacidad del sistema de alcantarillado de Bogotá presenta problemas por deficiencias en la red de alcantarillado pluvial, con un porcentaje del 70% aproximadamente en condiciones aceptables tendientes a críticas, en materia de capacidad, según lo expuesto en el Ciclo de Capacitaciones del Agua 2016 por parte de la Subdirección de Eco-urbanismo y Gestión Ambiental Empresarial de Bogotá (SEGAE Bogotá, 2016). Esto se debe a una gestión insostenible del agua, debido a captación prematura de las fuentes hídricas o a la reducción de territorio de humedales, lo que genera problemas y falencias en el sistema que abastece la ciudad.

Como se mostró en la Figura 1, la cuenca del Río Salitre tiene una gran problemática de inundaciones y la forma de mitigar esta problema es mediante el aprovechamiento de aguas pluviales; además a nivel mundial el aprovechamiento del agua lluvia se ha convertido en todo un incentivo de gestión y uso eficiente del agua, en los casos en que la oferta del recurso hídrico representa un problema vital y en las zonas donde siendo suficiente, su suministro o potabilización representa costos socioeconómicos inalcanzables (Estupiñan & Zapata, 2010).

Discusión de Resultados

La demanda hídrica está creciendo de manera exponencial, semestralmente en la Universidad El Bosque hay un incremento promedio en la población de 2.32% (Tabla 2), lo que implica mayor demanda de agua potable; como lo menciona (Fletcher, Duncan, Poelsma, & Lloyd, 2004) el acelerado crecimiento demográfico que trae consigo problemas hidrológicos propios de las ciudades como el incremento de las superficies impermeables por lo cual diversos entes mundiales (FAO, UNESCO, ONU, etc.) informen sobre la necesidad de generar nuevos enfoques para gestionar sosteniblemente el agua, de manera que se reduzcan las presiones sobre los recursos hídricos disponibles en el planeta.

Para ayudar a mejorar las condiciones de disponibilidad de agua, es necesario promover el uso responsable; como lo defiende Peter Brabeck-Lethmathe, presidente global de Nestlé, el más grande productor de alimentos en el mundo, ya que la responsabilidad social es un negocio donde el valor compartido atrae más clientes en el mundo, afirmando “que no se trata de encontrar más agua, porque la cantidad disponible es fina, sino de trabajar en la eficiencia del uso” (Portafolio, 2013); donde en muchas partes del mundo (Ej. América del Norte) el recurso hídrico comienza a escasear a medida que el cambio climático cobra fuerza, señala Joan B. Rose, microbióloga co-directora del Centro de Promoción de Evaluación de Riesgos Microbianos y el Centro de Ciencias del Agua de la Universidad Estatal de Michigan (Kessler, 2011).

Colombia es uno de los países que no sufre por disponibilidad de agua, según (Puyana, 2005) es tres veces superior al promedio de los países suramericanos y seis veces más alta que los restantes del orbe, al igual que en la precipitación de aguas lluvia es uno de los cinco países más favorecidos; Es por eso que una de las estrategias más óptimas en el país, en la ciudad de Bogotá y a nivel institucional es la sustitución del agua que se consume en las redes de distribución de agua potable, que en el caso de la universidad es de 30225 m³, por aguas procedentes de la lluvia, debido a que los usos que se le dan no demandan una calidad higiénica-sanitaria alta (Lopez, Martinez, Fuertes, Vicente, & Lopez, 2011).

En la actualidad está ampliamente reconocido que se necesita un cambio en la manera de gestionar el agua lluvia en los entornos urbanos; No es suficiente con proteger la ciudad de las inundaciones, sino que es necesario tener en cuenta el efecto que genera y transporta aguas abajo la escorrentía superficial, debido a la impermeabilización de las vías; por otro lado las consecuencias del cambio climático son notorios y surge la necesidad de dar usos alternativos al agua lluvia, y comenzar a contabilizar ese imprescindible recurso natural como un elemento más a tener en cuenta dentro de la gestión hídrica (Bogotá, 2011).

Es por esto que la Secretaria de ambiente, planeación y hábitat, junto con la Universidad de los Andes han estudiado los SUDS con el fin de contrarrestar las problemáticas que se generan a partir de las demandas que posee la capital, ya que el drenaje alternativo posee ventajas para manejar la escorrentía

de las aguas superficiales que se da en los ecosistemas urbanos, usando la escorrentía superficial como un recurso, almacenando el agua lluvia cerca de su precipitación, reduce la contaminación que se da en la precipitación de aguas pluviales, hace manejo de los volúmenes de las mismas y demás beneficios ambientales (CIRIA, 2015).

Los SUDS se basan en reproducir en la medida el ciclo hidrológico natural previo a las actuaciones antrópicas, de este modo se busca disminuir la cantidad y calidad de la escorrentía y se maximiza la integración paisajística. Estos sistemas engloban un amplio espectro de soluciones que permiten afrontar el planeamiento, diseño y gestión de aguas lluvias, además que puede haber la posibilidad de la reutilización de las aguas grises, ya que con un mínimo tratamiento se podrían abastecer cientos de usos con exigencias menores. (Perales, Andrés Doménech, & Fernández, 2008)

La utilización de aguas pluviales permite la restauración hidrológica de cuencas y genera beneficios ambientales, energéticos y económicos, puesto que se ha demostrado que los costos de recolección y tratamiento suelen ser inversamente proporcionales a la escala de la recolección (Fletcher, Duncan, Poelsma, & Lloyd, 2004). Una ventaja adicional es la reducción de la demanda de agua potable, de acuerdo a las condiciones de infraestructura, calidad de las aguas, y precipitación en cada experiencia (Hatt, Deletic, & Fletcher, 2004).

Aunque existen desventajas asociadas al uso de aguas lluvias, debido a que se encuentran altos costos iniciales de construcción para su aprovechamiento, se le añade las dificultades que históricamente se han presentado en decenas de proyectos, impidiendo su integración y aplicabilidad exitosa, particularmente porque (i) se utiliza tecnología insuficiente para satisfacer las consumos, (ii) no existe confianza, aceptación, y participación entre los usuarios, (iii) la información hidrológica no es confiable, (iv) se presenta gran incertidumbre en la calidad del agua, (v) en los tanques de almacenamiento no se realizan adecuadas labores de mantenimiento y operación, y (vi) en algunos países resulta ser una práctica ilegal, si se aplica estrictamente la legislación (Estupiñan & Zapata, 2010).

Así mismo el aprovechamiento de aguas lluvia disminuye parte de la escorrentía en zonas impermeables, reduciendo a su vez el volumen pico de lluvia aguas abajo de la zona de captación, y con ello la presión sobre la infraestructura de desagüe (Fletcher, Duncan, Poelsma, & Lloyd, 2004). Sin embargo el volumen máximo de aprovechamiento no debe generar un impacto negativo en el desequilibrio del ciclo del agua, garantizando que la infiltración natural no decrezca notablemente (para evitar la reducción sustancial de los volúmenes de recarga de acuíferos), o se deje de alimentar los hidrosistemas superficiales hasta el punto que sus volúmenes lleguen a ser menores a los caudales ambientales (Fletcher, Duncan, Poelsma, & Lloyd, 2004), como se logra observar en la tabla 34 este problema no se vería reflejado ya que se podría aprovechar el 10% de las aguas pluviales.

Por otra parte, la información hidrológica es fundamental para realizar el análisis de factibilidad técnica de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias; el método racional determina el caudal instantáneo máximo de descarga en una cuenca hidrográfica, convirtiéndose en el modelo hidrológico más simple y usado para diseños de drenaje urbano (Fernández & Rivera, 2000).

Conclusiones

Los desequilibrios del ciclo hidrológico estimulan la concentración de caudales picos de escorrentía que en muchos casos pueden convertirse en inundaciones para la cuenca del Río Salitre. Frente a esta situación, el aprovechamiento de aguas lluvias puede transformar estos problemas en claras oportunidades de utilización, donde a través de este trabajo se busca establecer los beneficios ecológicos, económicos y sociales que representa los sistemas urbanos de drenaje sostenible y la minimización de los volúmenes de escorrentía durante los procesos de lluvia, generado un sistema sostenible en la Universidad el Bosque

El aprovechamiento de aguas pluviales beneficia económicamente a la Universidad el Bosque, donde se daría un ahorro del 87% de la demanda hídrica, representando un ahorro de ochenta millones novecientos mil ochocientos ochenta y tres mil pesos (\$80.911.883), si se llegara a tener una tecnología para que capte las precipitaciones en esta área.

Así mismo, mediante los valores estimados en la actualización del Plan de Ahorro del Agua del 2016, se determinan los usos de agua potable que pueden ser sustituidos por aguas pluviales. De esta forma se determina que los usos no potables corresponden a un 92% de la demanda de la Universidad el bosque, donde la descarga de inodoros a pesar de poseer tecnología ahorradora consumen 75 millones de pesos, mientras que el riego de jardines, aseo, usos de agua para fines académicos corresponden aproximadamente a un gasto de 5 millones de pesos. Este inventario permite establecer diferentes estrategias de uso eficiente en cada infraestructura auscultada, con lo cual para la Universidad el documento podrá convertirse en la carta de navegación para la toma de decisiones referente al uso eficiente del recurso hídrico.

Se muestra que las zanjas de infiltración y los pavimentos porosos, son los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) con mejor adaptación a las condiciones de la Universidad El Bosque, debido a que poseen mayor almacenamiento de aguas pluviales con respecto a los otros sistemas; sin embargo su costo inicial es elevado y para mantener la eficiencia del sistema es necesario recurrir a mantenimientos constantes (Especialmente a los pavimentos porosos).

Al realizar un aprovechamiento de las aguas pluviales en la Universidad para usos no potables (Uso de baños, aseo y riego de jardines) se reduciría un 10% la sobrecarga que tendría los alcantarillados y la cuenca del Río Salitre.

La hidrología es el aspecto con mayor relevancia en este estudio debido a que cumple un papel muy importante en el planeamiento del uso de los recursos hídricos, y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, disposición de aguas servidas, drenaje, protección contra la acción de ríos y recreación; es necesario para el estudio y construcción de obras hidráulicas debido a la fijación de las dimensiones hidráulicas en las obras de ingeniería como la determinación de caudales máximos hacia los alcantarillados o sistemas de drenaje urbano.

Recomendaciones

Para la implementación de un proyecto de aprovechamiento de aguas pluviales mediante SUDS, no solo se requiere un análisis de la oferta hídrica y la demanda, sino que también es necesario conocer todos aquellos factores sociales y culturales predominantes en la comunidad que se beneficiara del servicio, demostrando la gestión integral del recurso.

En el presente trabajo de grado se partió de los conceptos del Método Racional, sin embargo para tener en cuenta la infiltración es necesario que se realice mediante un infiltrometro en el área potencial para determinar la altura que la lámina de agua puede experimentar frente a la precipitación de diseño en cada una de las áreas receptoras.

Para mejorar el uso del agua en la Universidad el Bosque, se recomienda tener en cuenta el uso de estos sistemas de drenaje alternativo, así como diferentes programas de gestión, ahorro y uso eficiente del recurso hídrico, acompañado de campañas de sensibilización cultural en la población estudiantil y administrativa, buscando generar conciencia que el uso eficaz no sólo representa un mecanismo de reducción de costos, sino una alternativa de sostenibilidad ambiental.

Bibliografía

- Caracol Radio. (17 de 11 de 2015). *Caracol Radio*. Recuperado el 24 de 01 de 2018, de http://caracol.com.co/emisora/2015/11/17/bogota/1447773336_010492.html
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (1998). *Decreto 475 de 1998*. Bogotá D.C.: Congreso de la República de Colombia.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2004). *Decreto 327 de 2004*. Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2008). *Proyecto de Acuerdo No.186 de 2008*. Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Ecourbanismo*. Bogotá, D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Política Pública de Ecourbanismo y Contrucción de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises*. Greywater Action.
- American Water Works Association. (1998). Aeration and Air Stripping. En A. S. Engineers, *Water Treatment Plant Design* (págs. 61-65). McGraw-Hill.
- Aristasur. (3 de 04 de 2018). *Como Calcular la pendiente de un terreno*. Obtenido de <https://www.aristasur.com/contenido/como-calcular-la-pendiente-de-un-terreno>
- Arkiplus. (20 de 2 de 2018). *Arkiplus*. Obtenido de Ciclo del Agua: <http://www.arkiplus.com/el-ciclo-del-agua>
- Arquitecto Alexander Aranque. (2011). *Como reciclar las aguas lluvia para usos domesticos*. Obtenido de <http://arquitectoalexanderraque.blogspot.com.co/2016/03/como-reciclar-las-aguas-de-lluvias-para.html>
- Bogotá, A. M. (2011). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. Bogotá D.C: Subdirección de ecourbanismo y gestión ambiental.
- Bosque Nacional el Yunque. (20 de 2 de 2018). *Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/pdf/el_agua_y_las_cuencas_hidrograficas.pdf
- Burton, & Pitt. (2001). *Stormwater Effects Handbook: A Toolbox for Watershed Managers Scientists, and Engineers*. Obtenido de <http://www.epa.gov/ednrmrl/publications/books/handbook/index.htm>
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá D.C: McGraw-Hill.
- CIRIA. (2015). *The SUDS Manual*. London.
- Comisión Nacional del Agua. (2011). Estadísticas del Agua en México. En *Agua en el mundo*. México: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.
- Departamento de Desarrollo Físico y Mantenimiento. (2016). *Facturación mensual del servicio de acueducto*. Bogotá D.C.: Universidad El Bosque.
- Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas -DICTUC-. (1996). *Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvia en Sectores Urbanos (Guía de Diseño)*. Santiago de Chile.
- Dueñas, C. (1997). *Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones*. Madrid: Cámara del Senado.
- EAAB-ESP. (2016). *Estructura Tarifaria de Cargo Fijo y Consumo*. Bogotá D.C.

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

- EPA. (1980). *Porous Pavement (Vol. Phase I- Desing and Operational Criteria)*. United States of America.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). *Characteristics of grey wastewater. Urban Water*.
- Estupiñan, J., & Zapata, H. (2010). *Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá*. Bogotá D.C: Facultad de Ingeniería.
- Fan Liu, C. C. (2014). Rain Water Utilizing System Combing Artificial Wetland and Urban Drainage System. *Trans Tech Publications, Switzerland*, 5.
- Federación Colombiana de Fútbol de Salón. (2016). *Reglas de juego fútbol de salón AMF*. Colombia.
- Fernández, B., & Rivera, P. (2000). Paper presented at the Análisis experimental de la modelación hidrológica de cuencas urbanas. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica Cordoba 2000.
- Fletcher, T., Duncan, H., Poelsma, P., & Lloyd, S. (2004). *Stormwater flow and quality, and the effectiveness of non-proprietary stormwater treatment measures*. Victoria, Australia: Cooperative Reasearch Centre for Carchment Hydrology.
- Gamez, W. &. (2016). *Caracterización del estado del Humedal Córdoba a través del impacto originado por tormentas de diferentes duraciones, intensidades y periodos de retorno, con el apoyo de software especializado*. Bogotá D.C: Universidad el Bosque.
- Garcia, H. (2011). *Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos*. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gobierno de Colombia. (2002). *Alcaldia de Bogota*. Obtenido de Decreto 849 de 2002:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=6037>
- Gobierno de Colombia. (2010). *Alcalida de Bogota*. Obtenido de Decreto 1469 de 2010:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39477>
- Gromaire-Mertz, M. G. (1999). *Characterisation of urban runoff pollution in Paris*. Water Science and Technology, Vol XXXIX.
- Hatt, B., Deletic, A., & Fletcher, T. (2004). *Integrated Stormwater Treatment and Re-use Systems-Inventory of Australian Practice. CRC Catchment Hydrology Industry Report*.
- Hernández, F. (2011). *Captación de agua lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso*. Oaxacca.
- Hérmendez, J., Bayón, J., Fresno, D., Pérez, M., & Jordanan, J. (2006). *Construcción de pavimentos permeables para el control en origen de la escorrentía urbana: ejemplo práctico del aparcamiento del palacio de deportes de La Guía*. Universidad de Cantabria, Universidad de Oviedo y Ayuntamiento de Gijón.
- Hernández, S. (2014). *Investigación para el desarrollo de SUDS en la ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.
- Hur, S. N. (2017). Development of urban runoff model FFC-QUAL for first-flush water-quality analysis in urban drainage basins. *Journal of Enviromental Management* , 73-74.
- IDEAM. (2010). Estudio Nacional del Agua. En F. Sanchez, M. Garcia, O. Jaramillo, & N. Verdugo, *Agua Superficial: Caracterización y Analisis del Agua* (págs. 54-57).

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

- IDEAM. (2014). *Balance Hídrico*. Bogota D.C.: MADS.
- IDEAM. (2014). *Modelación Hidrológica*. Bogotá D.C.: Gobierno de Colombia.
- IDIGER. (20 de 2 de 2018). *Caracterización General de Escenario de Riesgo por Inundación*. Obtenido de Inundaciones en Bogotá: <http://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- Jato D, S. M. (2016). Rainfall–Runoff Simulations to Assess the Potential of SuDS for Mitigating Flooding in Highly Urbanized Catchments. *Environmental Research an Public Health*.
- Kamali, M. D. (2016). Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff. *Journal of Enviroment Management*, 43-46.
- Kessler, R. (2011). Estrategias para el manejo de aguas pluviales. *Enviromental Health Perspectives, volumen 119, no 12*.
- Kohler. (2012). *Composed Bathroom Faucet Collection*. Recuperado el 2016, de Widespread Faucets: <http://www.us.kohler.com/us/Composed-Bathroom-Faucet-Collection/article/CNT123400007.htm>
- Lawn, R., & Prichard, E. (2003). *Measurement of pH*. Great Britain: Real Society of Chemistry.
- Leguizamón, S. (2016). *Actualización del Plan de Ahorro y Uso Responsable del Agua para la Universidad el Bosque- Sede Usaquen*. Bogotá D.C: Universidad el Bosque.
- Li, Z., Boyle, F., & Reynolds, A. (2010). *Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland*. Desalination 2010.
- Lira, G. (2012). *Reciclaje de aguas lluvias para uso en viviendas*. Chile: RIOC; Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de La Frontera.
- Llinas, R. (2000). *El reto: Educación, ciencia y tecnología*. Bogotá D.C: T.M, Editores.
- Lopez, G., Martinez, F., Fuertes, M., Vicente, S., & Lopez, P. (2011). Dimencionado de depósitos domésticos de aguas pluviales utilizando series temporales de datos. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 51-64.
- López, W. (2004). *Prediseño de un sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía y reutilización de aguas grises, para usos no potables en la Universidad El Bosque*. Bogotá D.C.
- Louisiana Public Health Institute; Geosyntec Consultants. (2010). *Stormwater BMP Guidance Tool*. . Louisiana.
- Martinez, G. (2013). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible "SUDS" como alternativa de control y regulación de las aguas lluvia en la ciudad de palmira*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Ambiente e IDEAM. (s.f). *Estudio Nacional del agua* . Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1997). *Ley 373 de 1997*. Recuperado el 2016, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=342>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Uso Eficiente y Ahorro del Agua*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1449:plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-34>

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2005). *Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias*. Chile.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Bogotá D.C. Obtenido de Tit.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Colombia.
- Montealegre, J. (15 de 03 de 2018). *Técnicas estadísticas aplicadas en el manejo de datos hidrológicos y meteorológicos*. . Obtenido de Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología (HIMAT): <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/009198/009198.pdf>
- Montero, F. A. (2001). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.
- Montes, M. P. (2004). *La Gestión del Agua Lluvia y la Reducción de Riesgos Urbanos*. Colombia.
- NRCS. (2002). *Hydrology. National Engineering Handbook*. Washington D.C.
- Pachecho, M. (s.f). *La Gestión del Agua Lluvia y la Reducción de Riesgos Urbanos*. Colombia.
- PÁEZ, E. A. (s.f). EL CONSUMO DE AGUA EN BOGOTÁ: UNA REVISIÓN COMPARATIVA CON OTRAS CIUDADES PRINCIPALES EN AMERICA LATINA. Colombia.
- Per Skougaard Kaspersen, N. H.-N. (2017). Comparison of the impacts of Urban Development and climate change on exposing European cities to pluvial flooding. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 5-18.
- Perales, S., Andrés Doménech, I., & Fernández, E. (2008). *Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana*. Madrid: Asociación Española de Hidrogeólogos.
- Portafolio. (30 de Octubre de 2013). Si se sigue despilfarrando agua será inevitable una crisis.
- Puyana, G. (2005). *¿Cómo somos? Los Colombianos. Reflexiones sobre nuestra idiosincracia y cultura*. Bogotá: Panamericana Editorial.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Planeación. (20 de 2 de 2018). *Política de Ecurbanismo y Construcción Sostenible (PPECS)*. Obtenido de Problemas de Sostenibilidad: http://www.sdp.gov.co/PortalSDP/SeguimientoPolíticas/Politica_Publica_de_Ecourbanismo_y_Construccion_Sostenible/Problema
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2014). *Política pública de Eco-Urbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá*. Bogotá D.C.: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- SIAC. (15 de 02 de 2018). *Sistema de Información Ambiental de Colombia*. Obtenido de Oferta del Agua: <http://www.siac.gov.co/ofertaagua>
- Smith, T. M. (2007). *Ecología 6a edición*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Sturm, M., Zimmermann, M., Schütz, K., Urban, W., & Hartung, H. (2009). *Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia*. McGraw-Hill Professional.

**Tipología del sistema urbano de drenaje sostenible (SUDS) con
Mejor adaptación a las condiciones de la universidad el bosque y su
Relación hacia la prevención de inundaciones en la cuenca del río salitre**

SUDS Scottish Working Party, S. G. (2009). *SUDS FOR ROADS*. Scottish.

TOPTec. (2015). *TOPTec*. Obtenido de Tejas de PVC translúcida: http://www.toptec.com.co/?page_id=1100

Torres, A., Ortega, D., & Daza, E. (2011). *Propiedades filtrantes de los pavimentos porosos rígidos*. Universidad del Valle.

Trujillo, A., & Quiroz, D. (2013). *Pavimentos Porosos utilizados como Sistemas Alternativos al Drenaje Urbano*. Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana.

UNESCO. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015. Agua para un mundo sostenible, Resumen ejecutivo*.

Universidad de los Andes. (2017). *Investigación de las tipologías y/o tecnologías de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C. Producto 3 – Guía técnica de diseño y construcción de SUDS*. Bogotá D.C: Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA).

Universidad de los Andes, Acueducto de Bogotá & Alcaldía Local de Bogotá. (2016). *Investigación de las Tipologías y/o tecnologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá D.C*. Bogotá D.C.

Universidad Militar Nueva Granada; Alcaldía Mayor de Bogotá. (2007). *Amenaza- Vulnerabilidad y Riesgo de la cuenca del Río Salitre*. Bogotá D.C: Universidad Militar nueva Granada.

Urban Drainage and Flood Control District. (2010). *Urban Storm Drainage Criteria Manual Volume 3, Best Management Practice*. Colorado: Water Resources Publications, LLC.

Zhang, Y., Chen, D., & Ashbolt, S. (2009). *Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities*. Journal of environmental management.