



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA
LLUVIA COMO ALTERNATIVA PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO
VERDE DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL HUMEDAL LA VACA, SECTOR
NORTE UBICADO EN BOGOTÁ D, C.**

Edward Daniel Velásquez García

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA COMO
ALTERNATIVA PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO VERDE DE LA ZONA DE
INFLUENCIA DEL HUMEDAL LA VACA, SECTOR NORTE UBICADO EN BOGOTÁ D, C.**

Edward Daniel Velásquez García

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

Director:
Ing. Gina Paola González Angarita

Línea de Investigación:
Infraestructura Sustentable – Manejo Integrado del Recurso Hídrico

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

2019

Acta de sustentación



SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

ACTA No: 1046

El día **13 MAYO 2019**, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA COMO ALTERNATIVA PARA PROMOVER EL CRECIMIENTO VERDE DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL HUMEDAL LA VACA, SECTOR NORTE UBICADO EN BOGOTÁ D.C.**, escrito por **EDWARD DANIEL VELÁSQUEZ GARCÍA, CÉDULA 1030674617**, bajo la dirección de **GINA PAOLA GONZALEZ ANGARITA, CÉDULA 52,236,426**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **JAIME ALBERTO ROMERO INFANTE CÉDULA 19.493.138** y **DIANA XIMENA VANEGAS CÉDULA 38601639**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad.

Por lo tanto, el trabajo es: **Aprobado**.

En constancia, se firma en Bogotá, D.C. **13 MAYO 2019**


KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental


GERMÁN AGUDELO ASENCIO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería



“La Universidad El Bosque, no se responsabiliza de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

Dedicatoria

Dedico este proyecto primeramente a Dios, por estar presente en cada uno de mis pasos a lo largo de estos años y por darme la oportunidad de formarme como ingeniero. A mi madre y a mi padre que con gran esfuerzo me han llevado a ser quien soy hoy en día enseñándome que con constancia y dedicación todo es posible. A mi hermana y abuela por su apoyo incondicional y por ser ese ejemplo a seguir de perseverancia y paciencia y finalmente, a todas aquellas personas que dejaron una huella positiva en mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por iluminarme y llevarme a alcanzar muchas metas a lo largo de todo este proceso.

A mi familia por ser ese pilar e inspiración y que con gran apoyo me llevaron a culminar con éxito esta etapa.

A la Ingeniera Gina González y el Ingeniero Gonzalo Forero por compartirme su conocimiento para guiar este proyecto y formar parte de una meta más en mi vida. A todos aquellos que me aportaron su experiencia e información de utilidad para la realización de los objetivos de esta propuesta como la señora Dora, líder comunitaria del Humedal La Vaca, el equipo de ingeniería especializada del Acueducto y el departamento de infraestructura y medio ambiente de la Corporación de Abastos de Bogotá S,A.

Por último, a mis amigos y docentes de la Universidad El Bosque y de la Universidad Nacional Autónoma de México de los cuales guardo con aprecio muchos recuerdos y conocimientos recorriendo los rincones de Colombia y México y agradezco desde el más mínimo aporte a mi formación personal y profesional en ambos países.

Tabla de contenido

1.	Resumen	12
2.	Abstract.....	13
3.	Introducción	14
4.	Planteamiento del problema.....	16
5.	Justificación	17
6.	Objetivos.....	18
6.1	<i>Objetivo General</i>	18
6.2	<i>Objetivos Específicos</i>	18
7.	Marco de referencia.....	19
7.1	<i>Estado del Arte</i>	19
7.2	<i>Marco teórico</i>	23
7.2.1	<i>Tendencia de la precipitación en Colombia:</i>	23
7.2.2	<i>Uso de las aguas pluviales en Colombia:</i>	23
7.2.3	<i>Impermeabilización de la ciudad vs. Inundaciones:</i>	24
7.2.4	<i>Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS):</i>	24
7.2.4.1	<i>Medidas estructurales - SUDS:</i>	25
7.2.5	<i>Componentes de un sistema de recolección de agua lluvia:</i>	26
7.2.6	<i>Calidad de la escorrentía pluvial en techos</i>	27
7.3	<i>Marco conceptual</i>	28
7.4	<i>Marco normativo</i>	30
7.5	<i>Marco geográfico</i>	34
7.5.1	<i>Localidad de Kennedy:</i>	35
7.5.2	<i>Humedal La Vaca:</i>	36
7.5.3	<i>Corporación de Abastos de Bogotá</i>	39
7.6	<i>Marco institucional</i>	41
8.	Metodología	43
8.1	<i>Diseño de la investigación</i>	43
8.1.1	<i>Enfoque</i>	43
8.1.2	<i>Alcance</i>	43
8.1.3	<i>Unidad de Análisis</i>	44
8.1.4	<i>Método</i>	44
8.1.5	<i>Variables, técnicas e instrumentos</i>	44

8.2 Matriz metodológica.....	51
9. Plan de trabajo.....	53
9.1 Cronograma.....	53
9.2 Fases del proyecto.....	54
10. Resultados; Análisis y Discusión de Resultados.....	55
10.1 Objetivo específico 1.	55
10.1.1 Sistema hidrosanitario de la zona de influencia del HLV.	55
10.1.2 Usos del agua pluvial.....	56
10.1.3 Selección de cubiertas.....	57
10.1.4 Caracterización de cubiertas seleccionadas.....	60
10.2 Objetivo específico 2.	62
10.2.1 Precipitación media mensual de la zona HLV.....	62
10.2.2 Análisis de los eventos de riesgo por inundación.....	63
10.2.3 Análisis de curva IDF, determinación del caudal de diseño:.....	67
10.3 Objetivo específico 3.	69
10.3.1 Análisis de oferta y demanda.....	69
10.3.2 Dimensionamiento de tanques de almacenamiento.....	73
10.3.3 Trampa de sólidos.....	74
10.3.4 Dimensionamiento de tuberías.....	76
10.3.5 Selección de la bomba.....	79
10.3.6 Dimensionamiento de canales.....	80
10.3.7 Factibilidad de techos verdes.....	80
11. Conclusiones.....	88
12. Recomendaciones.....	90
13. Referencias Bibliográficas.....	92
14. Anexos:.....	100

Listado de tablas

Tabla 1. Valores promedio de contaminantes y desviaciones estándar.	28
Tabla 2. Normatividad colombiana vigente aplicable en relación al aprovechamiento del recurso hídrico.....	31
Tabla 3. Normatividad colombiana vigente aplicable en relación a la gestión de los humedales en Colombia.	33
Tabla 4. Componentes físicos, geológicos, geomorfológicos, bióticos y socioculturales del HLV.....	38
Tabla 5. Dimensiones y variables del estudio para el éxito de los objetivos.	44
Tabla 6. Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional según el tipo de superficie.	47
Tabla 7. Actividades, técnicas, instrumentos y resultados esperados por cada objetivo específico.....	51
Tabla 8. Cronograma de actividades.....	53
Tabla 9. Relación de los componentes básicos de un SCAPT, con el panorama actual de las cubiertas seleccionadas.	60
Tabla 10. Reportes de eventos de inundación y barrios afectados en la localidad de Kennedy.....	63
Tabla 11. Coeficientes de escorrentía. Norma NS 085, Acueducto de Bogotá.....	67
Tabla 12. Coeficientes ecuación IDF para las coordenadas: 4°37'52"N 74°9'34"W (HLV).....	67
Tabla 13. Análisis de oferta y demanda hídrica para los jardines verticales de las zonas 1 y 2 – Cubierta 1.....	70
Tabla 14. Análisis de oferta y demanda hídrica para los jardines verticales de la zona 3 – Cubierta 2.	71
Tabla 15. Pérdidas por fricción y por accesorios usando la ecuación de Darcy-Weisbach para la red de tubería 1.....	77
Tabla 16. Pérdidas por fricción y por accesorios usando la ecuación de Darcy-Weisbach para la red de tubería 2.....	78
Tabla 17. Especificaciones de las bombas para la conducción de agua pluvial en las tuberías 1 y 2. ...	79
Tabla 18. Criterios de diseño para las canaletas de las cubiertas 1 y 2.....	80
Tabla 19. Especies de flora sugeridas para la consolidación de techos verdes.	82
Tabla 20. Estudio de posibles costos y beneficios monetarios.....	86

Listado de ecuaciones

Ecuación 1. Método racional	47
Ecuación 2. Intensidad de lluvia	48
Ecuación 3. Tiempo de concentración	48
Ecuación 4. Fórmula de Manning	49
Ecuación 5. Pérdida de carga por fricción.....	49
Ecuación 6. Volumen del interceptor de primeras aguas	50
Ecuación 7. Intensidad de lluvia en las cubiertas 1 y 2.....	68
Ecuación 8. Caudal de diseño para la cubierta 1.	68
Ecuación 9. Caudal de diseño para la cubierta 2.	68
Ecuación 10. Relación necesidades de agua por cada jardín.....	72

Listado de figuras

Figura 1. Sistema de captación de agua lluvia en techos... ..	26
Figura 2. Techo verde en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Ambiente.....	26
Figura 3. Ubicación general de los humedales y aulas ambientales de la ciudad de Bogotá. Humedal La Vaca identificado con el número 12.	35
Figura 4. Unidades de planeación zonal de la localidad de Kennedy.....	36
Figura 5. Delimitación de la superficie y áreas en conflicto del Humedal La Vaca, comparación año 2004 – 2015.. ..	37
Figura 6. Espejo de agua del Humedal La Vaca.....	38
Figura 7. Plano de bodegas de la Corporación de Abastos de Bogotá, Corabastos.....	40
Figura 8. Zona de influencia directa del HLV.	40
Figura 9. Actores con participación en el área de estudio.....	41
Figura 10. Parque Ecológico Distrital Humedal La Vaca.....	46
Figura 11. Figura. Estructura de cada una de las fases que conforman el plan de trabajo.....	54
Figura 12. Sistema hidrosanitario (pluvial y sanitario) de la zona de estudio.....	55
Figura 13. Ubicación de la propuesta de jardines verticales en el HLV.	56
Figura 14. Cubierta seleccionada y ubicación del tanque de almacenamiento 1.....	58
Figura 15. Cubierta seleccionada y ubicación del tanque de almacenamiento 2.....	59

Figura 16. Panorámica de las cubiertas de las bodegas de Corabastos.....	61
Figura 17. Precipitación media mensual en mm de la zona HLV.	62
Figura 18. Registros históricos de eventos de inundación en la localidad de Kennedy entre los años 1921-2018.....	65
Figura 19. Sistema hídrico de Bogotá. Panorámica de quebradas, ríos, humedales, Río Bogotá..	66
Figura 20. Amenaza de inundación en Bogotá.....	66
Figura 21. Dimensiones de los jardines verticales en el Humedal La Vaca.	69
Figura 22. Diferencia entre los litros aprovechados y los consumidos asociados a la cubierta 1..	73
Figura 23. Diferencia entre los litros aprovechados y los consumidos asociados a la cubierta 2.	73
Figura 24. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 1.....	74
Figura 25. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 2.....	74
Figura 26. Trampa de sólidos sujeta al sistema de colección.....	75
Figura 27. Sistema de captación, conducción y almacenamiento de agua lluvia en el HLV.....	76
Figura 28. Componentes estables y medio de crecimiento de un techo verde.....	83
Figura 29. Sistema modular galocha.....	84
Figura 30. Proyección de 31 secciones de techo verde sobre la infraestructura de Corabastos.....	84
Figura 31. Corredor ecológico en el HLV entre sector norte y sector sur..	85

1. Resumen

El aprovechamiento de agua lluvia es una práctica milenaria que ha tomado impulso en los últimos años si se considera la presión que demanda la población, la pérdida de la calidad del agua, el creciente costo de consumo y el deterioro de los cuerpos hídricos que suministran el agua. Este estudio presenta el componente ingenieril aplicado a una propuesta de aprovechamiento sostenible de agua lluvia para la zona de influencia del Humedal La Vaca definida en las 42 hectáreas de la infraestructura de la central de abastos de alimentos más grande de Colombia, esto como alternativa de suministro hídrico para jardines verticales y techos verdes. El proyecto busca promover un uso eficiente del recurso hídrico a partir de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que a su vez mitiguen el riesgo de inundación característico de la zona. Para ello se desarrollan tres componentes principales: evaluación de las potenciales áreas de captación de agua lluvia, análisis de la tendencia de precipitación y la consolidación del diseño hidrológico donde se plantean diferentes usos del agua en el marco del crecimiento verde. Los resultados sugieren que es factible dado a que no existe ningún periodo de completa sequía durante todo el año, obteniendo 1'537.000 litros de agua lluvia anual que podría ser aprovechada de marzo a noviembre sin déficit, previendo meses como diciembre, enero y febrero donde el recurso estaría disponible en menor cantidad; con el agua almacenada se contemplaron usos como el riego, lavado de pisos y sanitarios. Finalmente, al contemplar los techos verdes se estima un promedio de retención de la esorrentía de más de un millón de litros de agua lluvia y funcionando además como corredor ecológico obteniendo enormes beneficios sociales, paisajísticos y ecológicos.

Palabras clave: Sistema urbano de drenaje sostenible; Humedal la Vaca; Agua lluvia; Aprovechamiento; Humedal; Inundaciones; Riesgo; Almacenamiento de agua lluvia; Techo Verde.

2. Abstract

The use of rainwater is a millenary practice that has gained momentum in recent years, considering the pressure that the population demands, the loss of water quality, the increasing cost of consumption and the deterioration of the water bodies that supply the water. This study presents the engineering component applied to a proposal for sustainable use of rainwater for the area of influence of La Vaca wetland defined in the 42 hectares of the infrastructure of the largest food supply center in Colombia, this as an alternative supply water for vertical gardens and green roofs. The project seeks to promote the efficient use of water resources from Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) that in turn mitigate the flood risk characteristic of the area. To this end, three main components are developed: evaluation of the potential rainwater collection areas, analysis of the precipitation trend and the consolidation of the hydrological design where different water uses are considered in the framework of green growth. The results suggest that it is feasible given that there is no period of complete drought throughout the year, obtaining 1'537,000 liters of annual rainwater that could be used from March to November without deficit, foreseeing months like December, January and February where the resource would be available in less quantity. With the stored water, uses such as irrigation, washing floors and toilets were contemplated. Finally, when contemplating the green roofs, an average retention of runoff of more than one million liters of rainwater is estimated, and it also functions as an ecological corridor, obtaining enormous social, landscape and ecological benefits.

Keywords: Urban sustainable drainage system; La Vaca Wetland; Water rain; Exploitation; Wetland; Floods; Risk; Rainwater storage; Green roof.

3. Introducción

El desarrollo de la humanidad siempre ha considerado el agua como elemento vital, las antiguas civilizaciones se desarrollaron a partir del beneficio que este recurso representaba. Los muiscas, por ejemplo, que habitaron el centro del actual territorio colombiano vivieron en planicies inundables lo que los llevo a utilizar técnicas de manejo de inundaciones y aprovechamiento de la pesca para sostener la población indígena de la época; hoy en día las inundaciones son un indicador de que se deben mejorar los mecanismos de respuesta y así mismo consolidar una mejor gestión integral del riesgo (Carvajal, 2011). Por otro lado, con miras a promover la sostenibilidad de las próximas generaciones y sabiendo que la demanda de agua aumenta con el crecimiento de la población cada vez se hace más necesario considerar medidas que tomen su fundamento en el uso eficiente del agua. Una alternativa es el aprovechamiento de agua lluvia, vista como solución ancestral que deja a un lado el concepto errado que se tiene del agua como un recurso renovable que se auto recupera con el ciclo hidrológico y pasa a tener en cuenta la pérdida de la calidad del recurso y el desmedido ritmo de contaminación comparado con el tiempo de renovación natural de los cuerpos de agua.

Colombia se caracteriza por tener una gran riqueza hídrica, por esta razón la mayoría de las poblaciones se abastecen de fuentes superficiales de agua (embalses, ríos, lagos y quebradas). Sin embargo, a pesar de contar con 4 de las 214 grandes cuencas del mundo, correspondientes a los ríos Magdalena, Guaviare, Casanare y Meta, es necesario analizar la distribución de este recurso, donde contradictoriamente las zonas más pobladas del país son las más vulnerables a eventos de escasez (Zamudio, 2012). En términos generales, las condiciones ideales que facilitan el acceso al recurso y el hecho de que no existen ciclos estacionales ha dejado de lado el desarrollo de tecnologías alternativas para el suministro de agua, entre ellas el aprovechamiento de agua lluvia (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006). Es aquí donde toma importancia el grado de vulnerabilidad ante eventos climáticos imprevistos.

Para el caso de la ciudad de Bogotá que está localizada dentro de la zona de confluencia intertropical la cual cruza la ciudad dos veces al año, se presentan dos épocas de lluvias que popularmente se denominan invierno. La primera se da en los meses de marzo, abril y mayo, y la segunda en los meses de septiembre, octubre y noviembre. Conforme a lo anterior, una de las problemáticas más importantes que tiene la ciudad de Bogotá es la amortiguación de aguas lluvias en el espacio público, sobre todo en los periodos de precipitación, debido a que el rápido desarrollo urbano ha generado la impermeabilización de la ciudad teniéndose pocas coberturas vegetales que ayuden a interceptar el agua lluvia (IDEAM, 2007); y este panorama es precisamente el evidenciado en la zona de estudio: el Humedal La Vaca (en adelante nombrado HLV) caracterizado por sus antecedentes de asentamientos irregulares y la consecuente pérdida de la capacidad del humedal en cuanto al almacenamiento y amortiguamiento ante eventos extremos de precipitación (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).

Desde la época colonial en ciudades como Bogotá se ha dado un proceso de separación del paisaje causando un desequilibrio en la dinámica de los procesos naturales, es por eso que la adaptación al cambio climático exige un proceso de restauración y la incorporación de estrategias de ingeniería que en últimas fomenten la productividad, la biodiversidad y las relaciones culturales que se han degradado con el paso del tiempo (Rojas, De Meulder, & Shannon, 2015). Es allí, donde se desarrollan los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como una de las herramientas promotoras de la adecuada gestión del agua, dando respuesta al aumento de la impermeabilidad urbana, la pérdida de la intercepción natural y la evapotranspiración; por otra parte, responden a problemas de calidad que atañen fundamentalmente

a la contaminación de los medios receptores en este caso particular se hará especial énfasis en los humedales del distrito (Perales & Doménech, 2008).

Recopilando todo lo anterior, aunado a la poca información encontrada sobre el aprovechamiento de aguas lluvias para contribuir a la sostenibilidad de los humedales en Colombia y con el valor agregado de destinar el recurso a usos no potables en organizaciones como Corabastos o el riego de jardines verticales en la zona colindante al humedal; se pretende además darle un uso adecuado al agua lluvia diseñando un sistema para aprovechar las precipitaciones que se dan en los meses lluviosos y así obtener múltiples beneficios como prevención de humedad en infraestructura, almacenar agua disponible para su uso posterior o contribuir al desarrollo de los SUDS en Bogotá que propenden por la captación del agua lluvia disminuyendo así los picos de las crecientes y potencializar con su uso los factores paisajísticos y ecológicos.

La misión del crecimiento verde en Colombia es una iniciativa liderada por el Departamento Nacional de Planeación y precisamente engloba todo lo abordado anteriormente, manteniendo dentro de sus principales objetivos elementos como proteger y asegurar el uso sostenible del capital natural y de los servicios de los ecosistemas, además de promover un crecimiento económico resiliente ante los desastres y el cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Es por esto que el presente proyecto se desarrolló dentro del marco de este concepto alineándose con las metas de alcance nacional al año 2030 y puntualizando el panorama en la Localidad de Kennedy que como en muchas zonas de Bogotá, no se tuvo una adecuada planeación urbanística y sus barrios hoy en día son producto de una serie de asentamientos ubicados por debajo del nivel del Río Bogotá pero que fueron legalizados con el paso de los años.

4. Planteamiento del problema

En la zona de estudio, el conflicto socioecológico se remonta desde los inicios de urbanización de la Localidad de Kennedy. En la década de 1930 con la creación de la hacienda llamada Techo se dieron una serie de acontecimientos que marcaron sólidos brotes de urbanización ilegal; hoy en día dicho desarrollo urbanístico se extiende alrededor de la zona de influencia del HLV. Con la creación de la central de Corabastos (la central de abastos más importante de Colombia) que con un área de cerca de $420.000m^2$ comercializa diariamente más de 15.000 toneladas de alimentos, es considerada hoy en día, como la segunda más grande en América Latina y dio paso al desarrollo del barrio Patio Bonito donde el terreno en cuestión se encontraba dos metros por debajo del Río Bogotá haciendo compleja su legalización. Con el paso del tiempo, los habitantes del sector han sido vulnerables en la época invernal ya que habitan en una zona que según la Sub Dirección de Desarrollo Social de Bogotá y el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático está catalogada como de riesgo con amenaza media – alta (Barragán & Sierra, 2013).

En relación al HLV se presenta disminución del área por procesos de invasión y urbanización, dejando dos fragmentos (sector norte y sector sur) totalmente desconectados, colmatados, poca área natural disponible, con un pronunciado déficit hídrico y fuerte presión social, resultando en una reducción sustancial de su capacidad de almacenamiento y amortiguamiento a eventos extremos de precipitación esto trajo como consecuencia alta pérdida de la biodiversidad propia de los humedales de esta región (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012) ya que como argumenta el IDIGER eventos de lluvias fuertes de gran duración generan volúmenes de agua desmedidos que los humedales no tienen la capacidad de recolectar y regular. Recientemente, el acueducto ha detectado varias descargas que llegan directamente a la laguna de sedimentación del humedal; a largo plazo se prevé que estas sean selladas provocando que el nivel del agua que alimenta el espejo de agua después de pasar por un biofiltro disminuya. Por otro lado, el cambio climático es la principal presión hacia el componente hídrico, la escasez de agua afecta cerca del 40% de la población mundial y este valor probablemente se incremente con el aumento de las temperaturas globales en los próximos años, según el análisis de vulnerabilidad y riesgo realizado por el IDEAM, Bogotá es considerada la ciudad más sensible a este fenómeno aunado a la dependencia externa que tiene de suministro que implica la conservación de los principales cuerpos naturales que regulan el agua como el Páramo de Sumapaz y los humedales distritales.

Recopilando todo lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera se podría promover el crecimiento verde de la zona de influencia del Humedal La Vaca en relación a la sostenibilidad del recurso hídrico?

5. Justificación

¿Por qué?

Según el (IDEAM, 2014), el 66% de la población colombiana podría estar en alto riesgo de desabastecimiento de agua para el año 2025 y Bogotá presentaría la mayor demanda de agua anual del país, con más de 1000 millones de m^3 al año, dicho valor aumentaría con el paso de los años; es por esto que se deben impulsar las prácticas de reutilización y aprovechamiento de aguas, como técnicas alternativas de abastecimiento. En la actualidad, se están viendo los grandes beneficios de retomar esta técnica de las antiguas civilizaciones, sin embargo, se está limitando regionalmente a lugares con escasez de agua, pues “sólo cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy alto, se piensa en buscar sistemas alternativos de abastecimiento” (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006). Si bien Colombia es un país que se caracteriza por su riqueza hídrica, es necesario contemplar la calidad del recurso y así mismo, difundir dichas prácticas donde también se pueda reducir la presión sobre los cuerpos hídricos, en este caso el HLV, y emplear mejor el recurso, en términos del ahorro y uso eficiente del mismo que con cada año que pasa se vuelve máspreciado, todo lo anterior para apoyar el crecimiento verde en el país.

¿Para qué?

Para incentivar buenas prácticas sostenibles en materia del uso eficiente del recurso hídrico que consideren el factor económico, social y ecológico donde además de contribuir a la sostenibilidad que demanda tener la protección RAMSAR en todos los humedales del distrito capital, se acelere su recuperación y sea posible hacerle frente a la condición particular que presenta la zona de estudio, siendo vulnerable a eventos climáticos donde un sistema de aprovechamiento de agua contribuiría a mitigar dicho riesgo. Aunado a que organizaciones como Corabastos con una influencia considerable sobre el HLV no posee un sistema de aprovechamiento pluvial y hasta el momento cuenta con una infraestructura que dirige el agua a los ductos donde es arrojada directamente al alcantarillado, siendo esta desperdiciada y mezclada con aguas residuales. El recurso podría alimentar la calidad del agua del humedal entrando por la laguna de sedimentación y a su vez mitigar el riesgo de erosión en el bosque protector, contemplando el uso eficiente del agua en función de la recuperación de este ecosistema. Es decir, que se podría divisar la posibilidad de usarla para actividades no potables como el riego de jardines verticales y techos verdes, sin que esto represente un costo económico adicional. Todo se contempla dentro del marco del crecimiento verde, porque dicha visión puede ofrecer tanto beneficios como oportunidades en países en desarrollo como Colombia, contribuyendo a garantizar medios de vida como el HLV más resilientes, una infraestructura a prueba de desastres potenciada en factores paisajísticos y ecológicos y un mayor acceso al recurso hídrico; en últimas buscando siempre alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible priorizando el objetivo 6 “agua limpia y saneamiento” y el objetivo 11 “comunidades y ciudades sostenibles”.

6. Objetivos

6.1 Objetivo General

Proponer un sistema de aprovechamiento sostenible de agua lluvia como alternativa para promover el crecimiento verde de la zona de influencia del Humedal La Vaca, Sector Norte ubicado en Bogotá D,C.

6.2 Objetivos Específicos

- Evaluar potenciales áreas de captación de agua lluvia en la infraestructura colindante al Humedal La Vaca para su posible aprovechamiento.
- Analizar la tendencia de precipitación en la zona de influencia del Humedal La Vaca para estimar el caudal a tratar.
- Realizar el diseño hidrológico del sistema de aprovechamiento de agua lluvia considerando el alcance, aplicabilidad y funcionalidad de los SUDS para buscar la seguridad hídrica y disminución del riesgo de inundación.

7. Marco de referencia

7.1 Estado del Arte

A continuación, se exponen nueve trabajos seleccionados que contribuyeron a dar un punto de partida al presente estudio, así como también se hace mención del aporte, análisis y utilidad para este documento por cada referente académico identificado desde el año 2010 hasta el año 2018; este apartado se construyó partiendo de los referentes internacionales hasta los locales:

Cuantificación del ahorro de agua de red a partir de agua lluvia descentralizada, aguas grises y sistemas híbridos de aguas pluviales y aguas grises en condiciones propias de climas tropicales. Malasia. 2018

Este reciente referente internacional, elaborado por (Cheng, y otros, 2018) en Malasia, aborda el reciclaje de agua lluvia para mitigar la escasez de agua en zonas urbanas. En él señalan que los datos sobre el potencial de ahorro de agua de los sistemas en mención no están bien documentados en ese país. Para ellos, su objetivo se centra en cuantificar dicho potencial, evaluar y a su vez recomendar el área de techo óptima para maximizar el rendimiento de los sistemas de aprovechamiento. Es útil para el presente trabajo ya que proporciona elementos técnicos indispensables a la hora de considerar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia. Como resultado, se evidencia que este tipo de sistemas suministraban más del 90% de la demanda de agua no potable, es decir dirigido a usos como lavado de inodoros, jardines, entre otros.

Es considerable porque muestra la eficiencia de sistemas de aprovechamiento ya implementados tanto para el escenario doméstico como para el comercial y muestra empíricamente como el agua lluvia se puede reusar en áreas urbanas especificando para cada uno de los sitios la demanda de volumen hídrico. Por otro lado, las condiciones propias de climas tropicales como el de Malasia son de total similitud al de Colombia; dado a la ubicación justo encima de la línea del ecuador.

Gestión sostenible del agua y la energía para viviendas con un óptimo reciclaje integrado de agua de lluvia y gris. Sudáfrica. 2018

En el marco internacional de la gestión sostenible del agua, (Wanjiru & Xiaohua, 2018) identifican claramente el contexto de los países en desarrollo que enfrentan retos relacionados al aprovisionamiento de recursos en medio de una población en rápido crecimiento. Es allí, donde se consideran nuevos sistemas de suministro de agua como alternativa para usos no potables. El aporte para el presente trabajo consiste en suponer los desafíos tecnológicos de operar estos sistemas, es por eso que este documento presenta dos estrategias de control predictivo, una de circuito cerrado y otro de circuito abierto. Ambos controladores hacen lo mismo pero el abierto es más fácil y económico de implementar, consiguiendo hasta un 31% de ahorro en el costo total de operación.

Finalmente se destaca que los estudios en otras partes del mundo han arrojado resultados similares y que este tipo de alternativas pueden ser financieramente factibles en el futuro cercano si se tiene en cuenta el empeoramiento de la inseguridad hídrica y el cambio climático.

Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. 2010.

Este proyecto de grado de la Universidad de Antioquia en Colombia presenta la ingeniería conceptual de una propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable en usos tales como la descarga de sanitarios o lavado de zonas comunes. Se fundamenta en la viabilidad técnica y económica que tendría la implementación en una institución educativa del municipio de Caldas, Antioquia. En correlación con el presente estudio se encuentra que, al estimar el presupuesto para la construcción del sistema y la proyección de ahorro generado, es técnicamente viable; sin embargo, requiere de una inversión inicial considerablemente alta y, por ende, la participación de apoyo externo.

Adicionalmente, se reporta que se lograría abastecer completamente las áreas de lavado de la institución durante nueve meses del año y los tres restantes abarcaría más del 90% de la demanda. El diseño consideró también las condiciones hidrológicas enfatizando los fenómenos de El Niño y La Niña por lo que señalan que los volúmenes podrían variar dependiendo de factores externos. Por último, el proyecto no consideró los detalles de instalación y construcción del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias por lo tanto recomiendan que para próximas investigaciones se hagan levantamientos en campo para la cuantificación exacta de los componentes del sistema y su ubicación. (Palacio, 2010)

Diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias a partir de la caracterización de la cubierta, para el uso en el proceso productivo de Corona Colcerámica S.A.S planta Sopó, Cundinamarca – Planta 1. UEB. 2014

Este trabajo de práctica empresarial elaborado por (Martinez, 2014), brinda un enfoque diferente a la temática abordada. En él se propone un sistema fundamentado en la recolección de agua lluvia con fines de abastecer el proceso productivo de la organización dedicada al área de acabados para la construcción, pisos y paredes. Para ello se realiza revisión documental de los planos actuales de la planta para identificar la estructura de las cubiertas, canaletas, bajantes y tubería de circulación de agua lluvia y a partir de dicha información se analizan variables como el material y la pendiente.

Dentro de sus resultados más representativos se encuentra que al momento de analizar la calidad del agua lluvia de la zona se incumplen varios parámetros y por ende se necesita un tratamiento previo. Por otro lado, procede a calcular el área de captación, el caudal medio de agua lluvia, el dimensionamiento del tanque y las condiciones necesarias para realizar el tratamiento correspondiente. Finalmente, para este caso particular la Planta ya cuenta con una estructura inicial muy completa para implementar el sistema de aprovechamiento, llegando a suplir un 10% del consumo anual, además señalan que la disponibilidad no se verá afectada debido a que no hay periodos de completa sequía durante el año, lo cual es un factor determinante a tener en cuenta en el presente estudio.

Dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para abastecer la población de altos de Cazucá (Soacha-Colombia) utilizando D.E.M. 2017.

Este artículo de investigación elaborado por (Forero, 2017), analiza el flujo de agua lluvia a partir de las características propias del terreno y las causas de los procesos de inundación de la Autopista Sur en Bogotá, vía ubicada en la parte baja de la cuenca. La cual es afectada por gran cantidad de sedimentos ocasionando problemas de movilidad para carros y peatones. Por lo tanto, dentro de la metodología usada

se modela el flujo de agua y se genera una alternativa para eliminar estos inconvenientes, además de hacer del problema, una oportunidad para el aprovechamiento de agua lluvia, mediante diferentes estructuras hidráulicas que permiten una conducción y almacenamiento por medio de la energía gravitacional, a estructuras de almacenamiento con el fin de proveer del recurso a la población de Altos de Cazucá, sin acceso al agua.

Es relevante para el presente trabajo, ya que aborda de manera directa la atenuación del caudal que genera inundaciones diseñando un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, consolidando el diseño de cada componente como lo son el dimensionamiento de embalses y conductos, además se soporta en elementos metodológicos de peso como la aplicación de la fórmula de Manning y la NS – 085 del Acueducto de Bogotá.

Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. 2010

(Estupiñan & Zapata, 2010) señalan el aprovechamiento de aguas lluvias como una práctica de mitigación muy interesante desde el punto de vista económico y ambiental; lo reconocen como un potencial aplacador de problemas relacionados con la acumulación de caudales pico durante periodos de altas precipitaciones que es precisamente el caso de la zona de estudio en el Humedal La Vaca. Este estudio resalta la factibilidad para transformar este problema presentado en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana en una oportunidad de aprovechamiento como alternativa de suministro para diversos usos, generando un nuevo concepto de campus sostenible.

Se exponen los requerimientos de infraestructura basada en criterios técnicos, financieros y de sostenibilidad ambiental; donde destacan que la zona de ubicación del proyecto presenta altos volúmenes de precipitación, pero por restricciones físicas del campus no es suficiente para cubrir la demanda hídrica total supliendo únicamente el 14% del consumo total del campus, beneficiando más de 30 mil personas. Dichos requerimientos obedecen a factores como la diversidad de la calidad del agua, los usos del agua, las condiciones topográficas y de infraestructura, las zonas potenciales de aprovechamiento, las relaciones oferta-demanda, los beneficios económicos y ambientales y los costos de instalación y operación. Un elemento importante de esta investigación que aporta significativamente al presente estudio es el análisis de calidad de las aguas lluvias; como resultado obtuvieron que el agua lluvia no es apta para ningún uso en el campus universitario sin tratamiento previo debido a la alta carga de contaminantes atmosféricos; situación que podría ser similar en la Localidad de Kennedy y donde al analizar el uso del recurso para el riego de jardines verticales es útil como base para considerar el contenido de metales pesados para que el suministro cumpla con la normatividad y los requerimientos vegetales adecuados.

Análisis de la captación y aprovechamiento del agua lluvia para utilización en el campus de la Universidad Católica de Colombia (Bogotá), de acuerdo a las características de sus sedes. 2016

Este trabajo de grado de la Universidad Católica de Colombia propuesto por (Robayo & Pérez, 2016) presenta un análisis de la captación para el aprovechamiento de aguas pluviales, toman como referente las altas precipitaciones que se presentan en la ciudad de Bogotá en la temporada de lluvias. A partir de esto, se aborda la temática contemplando la necesidad de re utilización del recurso por parte de la comunidad académica. Evalúan las diferentes cubiertas en función de la pendiente y posteriormente se

instalaron pluviómetros fabricados artesanalmente con el fin de medir la precipitación en el mes de septiembre para así poder analizar el comportamiento espacial de la lluvia.

El aporte de este estudio al presente trabajo es la matriz de valoración diseñada y apoyada por los datos experimentales de precipitación de la zona de estudio para seleccionar el lugar ideal con el mayor índice de aprovechamiento. Además, nuevamente recomiendan realizar estudios detallados a la calidad del agua pluvial con el fin de afianzar la implementación en relación a la normativa colombiana y el material suspendido recogido en el transcurso de la conducción. Finalmente, otro componente importante es que recomiendan evaluar un sistema de filtración de arenas antes de la llegada del fluido a los tanques de almacenamiento. Todo lo anterior, recopila aspectos fundamentales a tener en cuenta en la elaboración del diseño transponiendo la locación a la zona de influencia del HLV donde la calidad con la que llega el recurso sea para el humedal o para el aprovechamiento en Corabastos, debe estar en condiciones óptimas.

Pre-diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia y de detención de la escorrentía aplicado al bloque B de la Universidad El Bosque. 2016

Este proyecto de grado de la Universidad El Bosque elaborado por (Muñoz & Rodriguez, 2016), promueve la adopción de alternativas de consumo sostenible del agua, el trabajo de grado consiste en aportar herramientas que promuevan tecnologías enfocadas en la sostenibilidad de las edificaciones y demuestra los beneficios ambientales, sociales y económicos que conllevan la adopción de este tipo de estrategias dentro de la universidad. Una de las problemáticas planteadas es precisamente la baja capacidad del sistema de alcantarillado de Bogotá y esto lo atribuyen a la reducción del territorio de los humedales. Para ello inicialmente realizan un diagnóstico de la situación respecto a las prácticas de consumo de agua potable y respecto a la cantidad y calidad del agua susceptible de captación. Determinan la alternativa más adecuada y finalmente elaboran un estudio costo-beneficio.

Tras elaborar el pre-diseño y desarrollar el análisis costo-beneficio de la implementación concluyen que la puesta en marcha de este tipo de sistemas minimiza los volúmenes de escorrentía superficial y por otro lado dan paso a una propuesta de tratamiento donde el agua recolectada cumpliría con la normatividad vigente; la empresa escogida para proveer los diferentes insumos fue PAVCO reconocida por su visión que aborda metodologías y materiales ecológicos. Lo anterior con una inversión total de más de 41 millones de pesos colombianos pero que al largo plazo es consecuente con los beneficios en materia de ahorro beneficiando a más de 1200 estudiantes que visitan el edificio. Contribuye al presente estudio ya que se enmarca en la gestión y uso eficiente del agua lluvia y representa un panorama positivo para el desarrollo de este tipo de alternativas.

El impacto de la dinámica urbana sobre los humedales de Bogotá (Colombia). Análisis, modelización y propuestas en el marco del *crecimiento verde*. 2018

Esta tesis doctoral elaborada por (González, 2018), presenta una herramienta de diagnóstico y elaboración de propuestas para la futura gestión de los humedales en Bogotá. El documento aborda temas muy representativos como la dinámica urbana de los humedales, el enfoque normativo y científico, factores socioeconómicos, evaluación de la dinámica de los humedales en diferentes escenarios, y resalta ejemplos de avances en crecimiento verde en países como China con la construcción de Tianjin una ecociudad basada en el concepto de ecodistritos con capacidad para 35.000 habitantes; Estados Unidos con la estrategia alianza Misión Verde de San Antonio, Texas que impulsa las tecnologías limpias y la

sostenibilidad; Francia con el proyecto “2050 Paris Smart City”, que consta de 8 edificios principales con infraestructuras naturales y fuentes de energía sostenibles; México con la Ley General de Cambio Climático donde se ejemplifica la construcción de una Vía Verde, que plantea la instalación de 6.000 m² de infraestructura verde en más de 10.000 columnas y Corea del Sur con inversiones en Jeju una isla que busca disminuir sus GEI. Además, se enfatiza en que no es un concepto nuevo en Colombia e incorpora este modelo sobre los humedales de Bogotá haciendo frente a su deterioro y a la promoción de buenas prácticas sostenibles.

Expone el avance positivo que ha tenido el HLV con el paso de los años con un 52,38% de área recuperada que se logra al relocalizar 160 familias asentadas ilegalmente. Es relevante para este trabajo porque expone el potencial de las medidas de crecimiento verde las cuales podrían ser un excelente instrumento para la toma de decisiones precisamente sobre este tipo de ecosistemas estratégicos como lo son los humedales. Por otro lado, analiza directamente la zona de estudio (HLV) con infraestructura verde en el contexto de “ecobarrios” donde el elemento de jardines verticales se hace más distintivo y donde el sistema de aprovechamiento de agua lluvia podría servir de suministro precisamente para este tipo de estructuras.

7.2 Marco teórico

Las teorías abordadas a continuación, contemplan desde los aspectos más generales del comportamiento de las precipitaciones en Colombia hasta la descripción de los sistemas que se podrían considerar para el aprovechamiento pluvial.

7.2.1 Tendencia de la precipitación en Colombia:

El análisis de la información histórica de la precipitación en Colombia permite identificar variaciones de diferente escala relacionadas con la variabilidad de la estructura térmica superficial de los océanos Pacífico y Atlántico por lo tanto (Montealegre E. , 1999) postula el océano como controlador de clima. En otro orden de ideas, (Carvajal, 2011) establece que, al momento de analizar los episodios de inundación, es conveniente evaluar su probabilidad de ocurrencia y considerar condiciones adicionales para aprovechar ventajas de amortiguamiento de los ecosistemas ante grandes crecidas, dando un uso adecuado a estas áreas, conforme su vocación, sin sacrificar ecosistemas naturales. Se destaca, además, que los humedales están en peligro en el país. Existen más de 1.600 en las partes inundables de grandes ríos. En términos generales, Colombia es uno de los países más lluviosos del mundo con precipitaciones promedio de 3.240 milímetros de lluvia cada año según la ONU, con altos picos en los meses de abril, octubre y noviembre.

7.2.2 Uso de las aguas pluviales en Colombia:

La anterior hace énfasis a la gran disponibilidad de agua lluvia con la que cuenta Colombia, sin embargo, las aguas pluviales urbanas actualmente son subutilizadas debido a que no se encuentran comprendidas como un recurso; pero en cambio, sí representan un problema para su evacuación, debido a que el drenaje urbano tradicionalmente ha sido concebido para agrupar ligeramente el agua lluvia y conducirla fuera de las zonas urbanas; los cauces urbanos han sido canalizados y el alcantarillado diseñado para recolectar toda el agua producto de la escorrentía superficial, originando en los sistemas hídricos la pérdida de la riqueza natural y su capacidad de respuesta ante las crecientes presentadas. Así mismo, por 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, y otros, 2006).

7.2.3 Impermeabilización de la ciudad vs. Inundaciones:

En los últimos años, debido al rápido desarrollo urbano, los sistemas de drenaje urbano que forman parte del sistema de saneamiento de cualquier ciudad se han visto sobrepasados en capacidad debido a la gran cantidad de agua pluvial que estos reciben procedentes de zonas urbanas impermeables. En este proceso de endurecimiento, se han dejado de lado coberturas vegetales que interceptan la lluvia por tejados y suelos impermeables, las cuales se caracterizan por tener un umbral de escorrentía muy bajo. Así, a pesar de las importantes inversiones para mejorar los sistemas de drenaje urbano, los problemas relacionados con la cantidad de escorrentía superficial siguen produciendo importantes pérdidas económicas e incluso pérdidas humanas (Castro, Rodriguez, & Sañudo, 2013). Es importante enfatizar que la zona de estudio ubicada en la Localidad de Kennedy en la ciudad de Bogotá, presenta precisamente amenaza de inundación en las zonas más bajas a medida que se acercan al Río Bogotá.

7.2.4 Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS):

Ante este panorama emerge el concepto de SUDS con el objetivo principal de controlar las inundaciones y dando paso al aprovechamiento sostenible del agua lluvia considerando el uso eficiente del recurso hídrico. Hasta ahora la práctica habitual de drenaje urbano ha sido concentrar rápidamente el agua de lluvia y conducirla fuera de la ciudad. Con este objetivo los cauces urbanos han sido canalizados y las alcantarillas diseñadas para recibir toda el agua de escorrentía superficial, es así como los cuerpos de agua han perdido su riqueza natural y su capacidad de respuesta ante crecidas (Hernández, y otros, 2006). A partir de esto, se pasa de una problemática a una oportunidad en el marco del desarrollo sostenible evitando al máximo la alteración significativa del ciclo hidrológico en la zona de impacto (Ramirez, 2009). Son considerados en este estudio porque el beneficio más importante es que aumentan el porcentaje de superficie permeable en las ciudades minimizando así el riesgo de inundaciones (Pratt, Wilson, & Cooper, 2002).

En Bogotá, es frecuente ver los sistemas de drenaje desbordados en tiempos de lluvia debido a los grandes volúmenes de agua pluvial que se reciben provenientes de las zonas urbanas impermeables, “sobrepasando en muchas ocasiones la capacidad de los colectores y generando lo que en los últimos años se ha vuelto repetitivo en cada temporada invernal: inundaciones y encharcamientos en las vías y espacio público” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011).

La filosofía de los SUDS es reproducir, de la manera más fiel posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización o actuación humana. Su objetivo es minimizar los impactos del desarrollo urbanístico en cuanto a la cantidad y la calidad de la escorrentía (en el origen, durante su transporte y en su destino), así como maximizar la integración paisajística y el valor social y ambiental (Woods-Ballard, y otros, 2007).

Los objetivos de los SUDS se podrían resumir en los siguientes aspectos según (Victorian Stormwater Committee, 1999):

- Resguardar los sistemas naturales: proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos.
- Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje: maximizar el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.
- Proteger la calidad del agua: velar por la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.

- Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta: minimizar caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.
- Incrementar el valor añadido minimizando costes: disminuir el coste de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno.

Los SUDS son prácticas relativamente nuevas y dentro de sus múltiples clasificaciones se encuentran las medidas estructurales y no estructurales; donde las estructurales son las que gestionan la escorrentía mediante algún elemento constructivo y por otro lado las no estructurales son aquellas en las que intervienen herramientas como la planificación, mantenimiento, educación, regulación, control y participación ciudadana sobre el drenaje de aguas lluvias (Perales & Doménech, 2008).

7.2.4.1 Medidas estructurales - SUDS:

Se consideran medidas estructurales aquellas que gestionan la escorrentía contaminada mediante actuaciones que contengan en mayor o menor grado algún elemento constructivo o supongan la adopción de criterios urbanísticos, las más utilizadas según (Perales & Doménech, 2008) son:

- Cubiertas vegetales
- Tanques de almacenamiento de aguas lluvias
- Superficies permeables
- Franjas filtrantes
- Pozos y Zanjias de Infiltración
- Drenes Filtrantes o franceses
- Cunetas Verdes
- Depósitos de infiltración
- Depósitos de detención
- Humedales artificiales

Considerando lo anterior, para efectos del presente trabajo se profundizará en dos de ellos a continuación:

Tanques de almacenamiento de agua lluvia: Es el tipo de SUDS más sencillo de todos. Son estructuras que se disponen cuando el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso con fines no potables tales como el suministro de agua a sanitarios y orinales, lavado de vehículos y riego de jardines y zonas verdes. Para la captación se utiliza la superficie del techo, conociéndose a este modelo como **SCAPT** (sistema de captación de agua pluvial en techos) ilustrado en la figura 1.

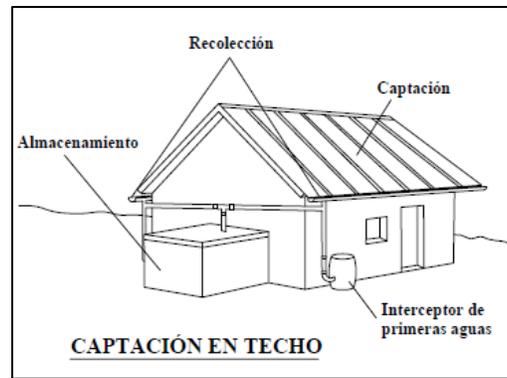


Figura 1. Sistema de captación de agua lluvia en techos.
Fuente: (CEPIS, 2004).

Cubiertas vegetales: Básicamente son techos o terrazas de cualquier tipo con cubierta vegetal (figura 2). Su capacidad de almacenar agua depende principalmente de su capacidad de retención, lo cual los hace ideales para la restauración de tiempos de concentración que permiten atenuar caudales pico y disminución de volúmenes de escorrentía. Adicionalmente, los techos verdes también podrían tener la capacidad de reducir cargas contaminantes de las aguas pluviales mediante la absorción de algunos metales pesados y por otro lado, se han determinado otros beneficios como reducir efectos de las islas de calor en las ciudades, aumenta la biodiversidad en los centros urbanos y mejora la calidad del aire (Sandoval & Torres, 2015).



Figura 2. Techo verde en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Ambiente.
Fuente: (Secretaria Distrital de Ambiente, 2011).

7.2.5 Componentes de un sistema de recolección de agua lluvia:

Los sistemas de recolección de agua lluvia no tienen grandes variaciones entre sí: la mayoría consta de básicamente tres componentes: captación, conducción y almacenamiento según (Abdulla & Alshareef, 2006). Además, (CEPIS, 2004) describe la importancia de integrar elementos adicionales los cuales se describen a continuación:

- Captación: La zona de captación es la superficie destinada para la recolección del agua lluvia, la mayoría de los sistemas de captación usan los techos de las edificaciones, las cuales debe tener

una pendiente no inferior al 5% y una superficie que faciliten el escurrimiento del agua hacia el sistema de recolección.

- **Recolección y conducción:** Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Para ello se pueden utilizar materiales como el bambú, madera, metal o PVC. Para el caso de las primeras aguas es necesario contar con un dispositivo de descarga, pues constituyen una posible fuente de contaminación.
- **Interceptor:** Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que las impurezas ingresen al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo.
- **Almacenamiento:** Es la unidad destinada a recolectar el agua lluvia necesaria, esta debe ser duradera y cumplir con especificaciones como que sea impermeable para evitar pérdidas por goteo, no debe estar a más de 2 metros de altura para minimizar riesgos por presión, debe tener tapa y disponer de una abertura con tapa sanitaria y mallas.
- **Distribución de Agua Lluvia – Sistema de Bombeo:** La red de distribución debe ser diseñado de forma que quede paralelo a la red de acueducto y además debe llegar a los puntos hidráulicos donde se utilizara el agua. Por otro lado, el sistema de bombeo debe tener la capacidad de distribuir el agua desde el tanque de almacenamiento hasta los sitios propuestos.
- **Locación y mantenimiento:** Los cálculos de los espacios a utilizar para la instalación del sistema debe ser estratégico y tomar en cuenta la capacidad de carga del suelo. En cuanto al mantenimiento debe garantizar la limpieza con el fin de evitar algún tipo de evento que amenace la calidad del agua.

7.2.6 Calidad de la escorrentía pluvial en techos

Es importante también, considerar la calidad del agua pluvial que se está recolectando, tanto al momento de captación como después de su almacenamiento; “se reconoce que la implementación de estos sistemas depende no solamente de la cantidad de lluvia u oferta hídrica disponible en un determinado lugar, sino también de la calidad de ésta y de los usos que se le quieran dar” (Mitchell, Mccarthy, Deletic, & Fletcher, 2008).

En la Localidad de Kennedy (Torres, y otros, 2011) observaron altas variabilidades, tanto espaciales como temporales, en la calidad de las aguas de escorrentía sobre tejados. Además, también se evidenció que factores como los materiales de los techos de las casas y la temporada del año (época seca y de lluvias), influyen directamente en las variaciones de la calidad del agua pluvial, por lo tanto, dependiendo de estas condiciones particulares en este estudio se plantea la posibilidad de adaptar el agua lluvia como fuente alternativa para usos como sanitarios y de orinales, lavado de pisos y fachadas e incluso riego.

En la tabla 1 se muestra el valor de los contaminantes obtenidos durante los eventos lluviosos del 15 de febrero al 30 de abril de 2010 en dos barrios de la Localidad de Kennedy (Villa Alexandra y Acacias).

Tabla 1. Valores promedio de contaminantes y desviaciones estándar (entre paréntesis).

Parámetro	Kennedy
pH	8
Turbiedad (NTU)	21 (19)
SST (mg/L)	124 (168)
DBO (mg/L)	20 (16)
Cd (mg/L)	0.1725 (0.3137)
Cu (mg/L)	0.0349 (0.0243)
Pb (mg/L)	0.2273 (0.0545)
Zn (mg/L)	2.4650 (1.6485)

Fuente: Adaptado de (Torres, y otros, 2011).

7.3 Marco conceptual

A partir de las teorías relacionadas anteriormente, se consolidan los siguientes conceptos en el marco del uso eficiente del agua partiendo de lo general (climatología) a lo particular (HLV).

Variabilidad climática: (Montealegre J. , 2009) establece que las fluctuaciones del clima durante determinados periodos de tiempo se denominan variabilidad climática. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal en cualquier variable meteorológica; la secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías. Por otro lado, (González, 2018) señala que la contaminación y el clima son dos factores que interactúan y ejercen influencia mutua, pues la contaminación producida por emisiones atmosféricas contribuye a la configuración y modificación de microclimas. En la actualidad el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) identifica cambios significativos en las precipitaciones y las temperaturas de la ciudad de Bogotá, donde las inundaciones en particular se relacionan con el fenómeno de La Niña dejando consecuencias considerables en términos sociales, económicos y ecológicos.

Cambio Climático: Se puede entender como un cambio en el clima atribuido a actividades antrópicas, como el producido por el incremento de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Es importante tener en cuenta que existe una diferencia entre este concepto y variabilidad climática. La variabilidad climática se presenta cuando un fenómeno genera un comportamiento anormal del clima, pero es un fenómeno temporal y transitorio. El cambio climático, por otra parte, denota un proceso que

no es temporal y que puede verificarse en el tiempo revisando datos climáticos (ej. la temperatura) (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño, 2018).

Uso eficiente del agua: A partir de los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por el (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2018) se encuentra como meta garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible partiendo de que la escasez del agua afecta a más del 40% de la población mundial y a su vez señalan que es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como los bosques, humedales y ríos.

Humedales en Bogotá: Los humedales son ecosistemas capaces de almacenar grandes cantidades de agua y se caracterizan por la presencia de una vegetación adaptada a las condiciones de humedad e inundación, esto justifica la presencia de la vegetación hidrófila y suelos hidromorfos. Estas características hacen atractivo el espacio natural a todas las aves que hacen viajes estacionales y buscan un hábitat con mejores condiciones climáticas (Mitsch & Gosselink, 1986). Los humedales ubicados al interior de la ciudad adquieren aún más importancia debido a las funciones y mecanismos naturales que desarrollan estos ecosistemas, entre los que se encuentran la regulación de la temperatura, reducción de ruido, drenaje de aguas lluvias, tratamiento de aguas residuales y oferta de espacios para la recreación (Bolund & Hunhammar, 1999).

Corredor ecológico: Son ecosistemas naturales o seminaturales que garantizan el mantenimiento de las poblaciones biológicas y la conectividad entre las áreas protegidas o de importancia ecológica. “Estos espacios se gestionan como unidades de planificación para la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de los recursos naturales y la repartición equitativa de las riquezas para las presentes y futuras generaciones” (Arruda, 2003).

Protección RAMSAR: Es el tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. El convenio tiene como misión “la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo” (RAMSAR, 2018). En agosto del año 2018 el complejo de humedales urbanos de Bogotá fue declarado con esta distinción los cuales suman más de 700 hectáreas, con esta designación el gobierno colombiano se compromete a adoptar las medidas necesarias para garantizar que se mantengan sus características ecológicas y a fortalecer acciones para responder a las amenazas de estos sitios (Humedales de Bogotá, 2018).

Crecimiento verde: Este concepto es incluido en el Informe Nacional de Competitividad 2017-2018 es visto como la respuesta a los retos de productividad, eficiencia y sostenibilidad ambiental que enfrenta Colombia; evidencia la importancia que tiene para el sector privado que el aumento de la productividad sea ambientalmente sostenible. Se basa principalmente en tres dimensiones: uso eficiente de los recursos, conservación de la base de activos naturales y preparación ante el cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Además, el Banco Mundial lo define como el crecimiento que es eficiente en su uso de los recursos naturales, limpio en el sentido que minimiza la contaminación y los impactos ambientales, y resiliente en la medida que da cuenta de los riesgos naturales y el papel de la gestión ambiental y del capital natural en la prevención de desastres físicos.

7.4 Marco normativo

El pilar de la normatividad relacionada al presente proyecto *“Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para promover el crecimiento verde de la zona de influencia del Humedal La Vaca, sector norte ubicado en Bogotá D.C.”* se encuentra soportada en cinco referentes normativos principales:

La constitución política de Colombia del año 1991: En el artículo 79. que señala que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y que es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines; y por otro lado en el artículo 80. donde especifica que el estado colombiano planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. A partir de esto, al HLV se le atribuye esta importancia ecológica y es allí donde se hace posible que el estado colombiano promueva acciones para garantizar su sostenibilidad.

Ley 373 de 1997: Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Esta ley aborda componentes importantes para el aprovechamiento del recurso hídrico como el reúso obligatorio del agua, medidores de consumo, consumos básicos y máximos, incentivos tarifarios, entre otros. Esta ley consolida la base principal en el marco del manejo integral del recurso hídrico y al día de hoy más de 20 años después, apalanca el marco del crecimiento verde hacia una Colombia más competitiva y sustentable.

Convención RAMSAR de 1971: La Convención cuenta con la participación de Colombia a través del Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy en día llamado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, según la Ley 357 del 21 de enero de 1997 y que entró a regir el 18 de octubre de 1998. Ley, por medio de la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas", teniendo en cuenta que los humedales son considerados como áreas de especial importancia ecológica y constituyen un recurso de gran valor económico, cultural, científico y recreativo, cuya pérdida sería irreparable, y más para estos seres que es su hábitat. El 6 de agosto de 2018 el complejo de humedales urbanos de Bogotá fue declarado con esta distinción, la designación convierte a Bogotá en la primera ciudad del país que tiene un complejo de humedales urbanos que reciben el apoyo internacional que implica recibir el reconocimiento Ramsar. El complejo de estos ecosistemas está integrado por los humedales Tibanica, La Vaca Norte, El Burro, El Tunjo, Capellanía, Santa María del Lago, Córdoba, Jaboque, Juan Amarillo, La Conejera, Torca-Guaymaral (Humedales de Bogotá, 2018). En ese orden de ideas, se soporta la funcionalidad del sistema de aprovechamiento de agua lluvia al contemplar uno de sus usos para alimentar la calidad de agua del HLV y en últimas contribuir a su recuperación, conservación y funcionalidad.

Proyecto de ley 48 de 2017 Senado: El objeto de la iniciativa es implementar e incentivar el establecimiento de sistemas para la recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y el uso racional del agua potable y captación de energía solar en las edificaciones nuevas y preexistentes en el país, con el propósito de cuidar el recurso hídrico y contribuir a la preservación del Medio Ambiente. Para las nuevas edificaciones sería obligatorio, pero respecto a las edificaciones y usuarios preexistentes

como la infraestructura de Corabastos que se encuentra en la zona de influencia directa del HLV, se prevé que podrán adecuar sus instalaciones para contar con un sistema de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y con un sistema de captación y aprovechamiento de energía solar, conforme a la reglamentación de que trata el parágrafo primero del artículo 2 de esta iniciativa (FENALCO, 2018); por ende la presente propuesta estará a disponibilidad de dicha organización para las consideraciones pertinentes.

CONPES 3934 de 2018, Política de Crecimiento Verde: Este documento consolida la visión al año 2030 en materia de crecimiento verde. En esta política el gobierno colombiano reúne las iniciativas para posicionar la riqueza natural del país como fuente de desarrollo sostenible, crecimiento económico e inclusión social. Resaltando la participación de 8 ministerios en temas estratégicos como: bioeconomía y negocios verdes, economía forestal, eficiencia en el uso del agua, agricultura sostenible, eficiencia energética y desarrollo bajo en carbono, movilidad eléctrica, economía circular, ciencia tecnología e innovación.

A continuación, en la tabla 2 se relaciona el marco legal vigente en Colombia para el aprovechamiento del recurso hídrico. Allí se destacan elementos que le apuntan al uso eficiente del agua para el desarrollo distrital; como también se exponen reglamentos y normas técnicas que permiten tener en cuenta diferentes criterios de diseño y también se incluyen guías con lineamientos de construcción sostenible para el ahorro hídrico.

Por otro lado, en la tabla 3, se incluye lo concerniente a humedales resaltando la convención RAMSAR, normatividad relacionada a los usos del agua en los humedales y la declaración de los humedales como reservas naturales por parte del distrito.

Tabla 2. Normatividad colombiana vigente aplicable en relación al aprovechamiento del recurso hídrico.

Normativa	Entidad que la emite	Resolutivo
Ley 373 de 1997	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece el Programa para el uso eficiente y ahorro del agua. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1997)
Decreto 327 de 2004	Alcaldía Mayor de Bogotá.	Reglamenta el Tratamiento del Desarrollo Urbanístico en el Distrito Capital. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004)
Proyecto de Acuerdo No.186 de 2008	Alcaldía Mayor de Bogotá	Ordena la creación del Estándar Único de Construcción Sostenible para el Distrito Capital. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2008)
Decreto 1469 de 2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Reglamenta las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas y al reconocimiento de edificaciones. (Gobierno de Colombia, 2010)

Normativa	Entidad que la emite	Resolutivo
Decreto Distrital 566 de 2014	Secretaría Distrital de Ambiente.	Adopta la Política de Ecorurbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá, Distrito Capital 2014-2024. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2014)
Decreto 1285 de 2015	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Reglamenta los Lineamientos de Construcción Sostenible. (MVCT, 2015)
Resolución 0549 de 2015	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Adopta la Guía de Construcción Sostenible para el Ahorro de Agua y Energía en Edificaciones. (MVCT, 2015)
Reglamento Técnico de Construcción Sostenible (Guía de Construcción Sostenible)	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol)	Establece medidas de construcción sostenible para el diseño de nuevas edificaciones eficientes en el consumo de agua y energía. (CAMACOL, 2015)
Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2017	Ministerio de Desarrollo Económico; Ministerio de Vivienda	Fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, diseño, construcción, supervisión técnica, puesta en marcha, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto desarrollados en Colombia. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
Proyecto de Ley 48 de 2017 Senado	Congreso de la República de Colombia	“Por medio de la cual se dictan normas para implementar e incentivar sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y de captación de energía solar y se dictan otras disposiciones” (Congreso de la República de Colombia, 2017).
NTC 1500 de 2017 NS - 085 NS - 166	Acueducto	Código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias. Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado. Guía de SUDS para Bogotá.

Fuente: Actualizada con base en (Muñoz & Rodríguez, 2016).

Tabla 3. Normatividad colombiana vigente aplicable en relación a la gestión de los humedales en Colombia.

Normativa	Entidad que la emite	Resolutivo
Convención RAMSAR 1971	Comunidad Internacional	Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas.
Decreto-Ley 2811 de 1974	Congreso de la República de Colombia	Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente. Art. 8, literal f- considera factor de contaminación ambiental los cambios nocivos del lecho de las aguas. literal g, considera como el mismo de contaminación la extinción o disminución de la biodiversidad biológica. Art.137 Señala que serán objeto de protección y control especial las fuentes, cascadas, lagos y otras corrientes de agua naturales o artificiales, que se encuentren en áreas declaradas dignas de protección.
Decreto 1594 de 1984	Ministerio de Agricultura	Los usos de agua en los humedales, dados sus parámetros físicos-químicos son: Preservación de Flora y Fauna, agrícola, pecuario y recreativo. El recurso de agua comprende las superficies subterráneas, marinas y estuarianas, incluidas las aguas servidas.
Ley 99 de 1993	Congreso de la República de Colombia	Art.1. Dentro de los principios generales ambientales dispone en el numeral 2 que la biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible.
Acuerdo 19 de 1994	Concejo de Bogotá	Por el cual se declaran como reservas ambientales naturales

Normativa	Entidad que la emite	Resolutivo
		los Humedales del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones que garanticen su cumplimiento
Acuerdo 19 de 1996	Concejo de Bogotá	Por medio del cual se adopta Estatuto General de la Protección Ambiental del Distrito Capital y normas básicas para garantizar la preservación y defensa del patrimonio ecológico, los recursos naturales y el medio ambiente.
Ley 357 de 1997	Congreso de la República de Colombia	Por medio de la cual se aprueba la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas", suscrita en Ramsar el dos (2) de febrero de 1971.
Resolución N° 196 de 2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	"Por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia "
Decreto 624 de 2007	Alcalde Mayor	Por el cual se adopta la visión, objetivos y principios de la Política de Humedales del Distrito Capital.
Resolución 7473 de 2009	Secretaría Distrital de Ambiente	Por medio de la cual se aprueba el Plan de Manejo Ambiental del Humedal La Vaca

Fuente: Actualizada con base en (Secretaria Distrital de Ambiente, 2018)

7.5 Marco geográfico

La zona de influencia del Humedal La Vaca se encuentra en la ciudad de Bogotá, Colombia; específicamente en la localidad de Kennedy al suroccidente de la ciudad como se muestra en la figura 3.

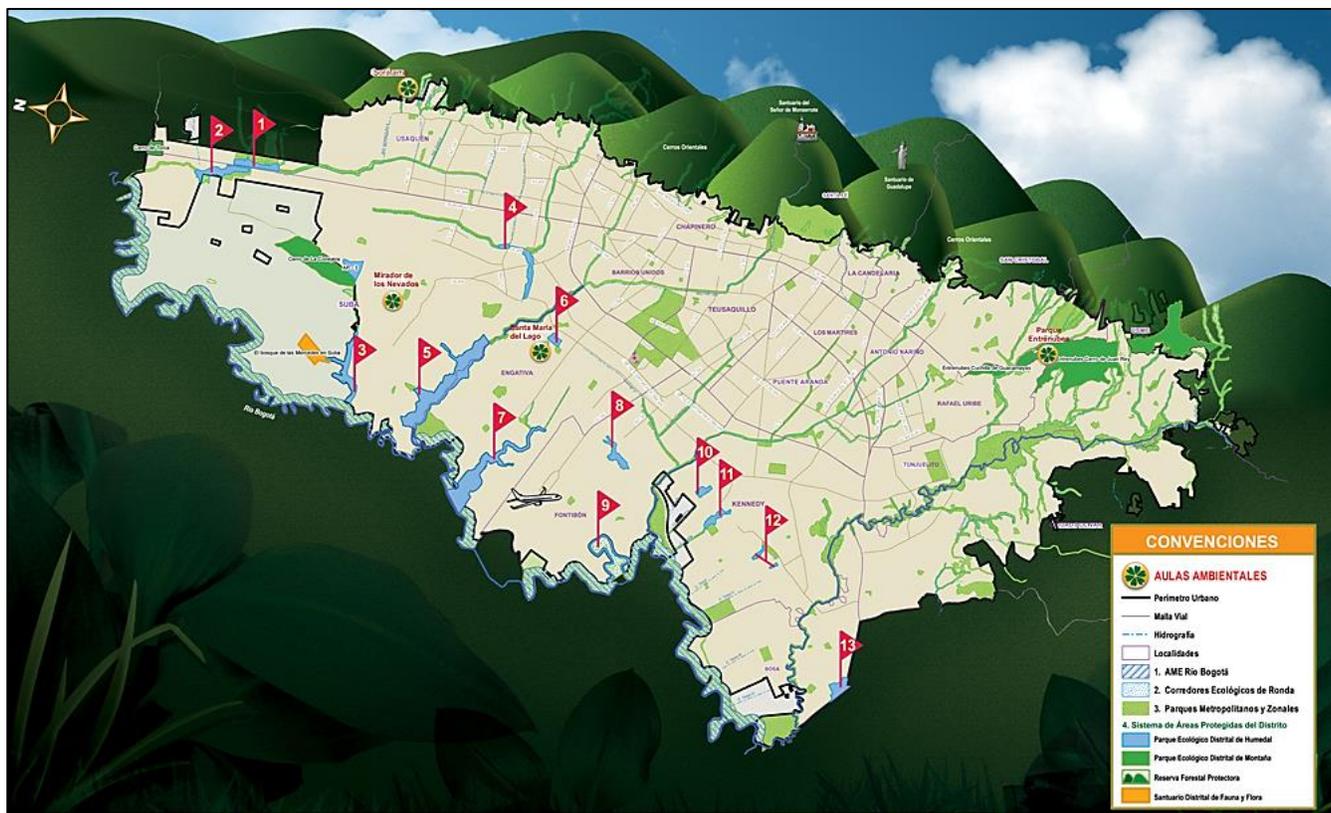


Figura 3. Ubicación general de los humedales y aulas ambientales de la ciudad de Bogotá. Humedal La Vaca identificado con el número 12.
Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016)

7.5.1 Localidad de Kennedy:

Topográficamente, la localidad de Kennedy está formada por un terreno en general plano, con pequeñas depresiones, que presenta 35% del área total como zona inundable, es decir, por debajo de las posibilidades de desagüe. El área de la localidad hace parte del valle aluvial del río Bogotá, el cual corre en forma lenta a lo largo de su cauce, lleno de recovecos. A su paso, el río Bogotá recoge las aguas de los ríos Fucha y Tunjuelo, con las mismas características del valle aluvial del río. El área de la localidad es susceptible de ser inundada tanto por el río Tunjuelo como por el río Bogotá y se caracteriza por dificultades en el drenaje. En las décadas del ochenta y noventa, la ocupación de terrenos para la vivienda dentro del esquema de la urbanización pirata continua con el relleno de humedales como el de La Vaca, dando pie a barrios como Villa La Torre, Villa La Loma, y otras zonas, como el sector El Tintal y predios cercanos a la ribera del río Bogotá, en su mayoría terrenos muy vulnerables a fenómenos naturales como las inundaciones invernales (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012).

El total de la localidad es de 3855.45 hectáreas de las cuales el 98.1% es área urbana y 1.8% es área rural. En relación con la extensión del Distrito Capital, la localidad de Kennedy representa el 11,12%, el tercer puesto en extensión. La zona de estudio (HLV) se encuentra ubicada en la UPZ Corabastos que como se muestra en la figura 4, corresponde al tipo *residencial de urbanización incompleta*, la cual consta de un área de 187, 51 hectáreas de las cuales 42 hacen parte de la Central de Abastos de Bogotá, es decir que

dicha infraestructura representa un espacio considerable del 22,38% del total de la UPZ (Alcaldía Local de Kennedy, 2018).

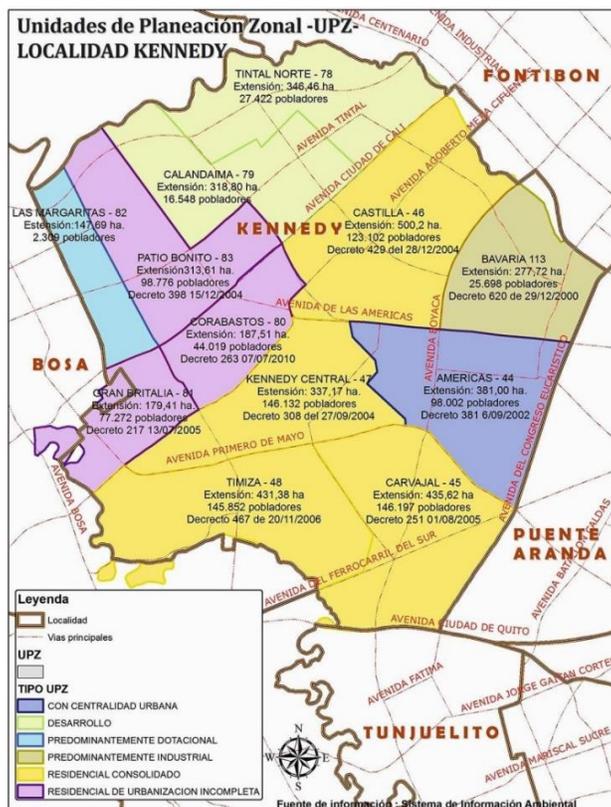


Figura 4. Unidades de planeación zonal de la localidad de Kennedy.

Fuente: Sistema de Información Ambiental (Consejo Local de gestión del Riesgo y Cambio Climático, 2018).

7.5.2 Humedal La Vaca:

El Humedal de La Vaca se encuentra ubicado al sur-occidente de la ciudad de Bogotá, y pertenece a la Localidad de Kennedy anteriormente abordada. Actualmente el humedal se encuentra fraccionado en dos sectores independientes (sector norte y sector sur), los cuales están separados por una zona densamente urbanizada y poblada por estratos bajos. La porción o sector denominado Norte objeto del presente trabajo comprende cerca de 7.0 hectáreas, y se ubica entre la Avenida Agoberto Mejía y la Carrera 91 Sur; entre el costado sur del cerramiento de Corabastos y la calle 41 Bis A Sur. La porción o sector denominado Sur tiene un área de aproximadamente 2.0 hectáreas, y está ubicado entre las Carreras 88 y 89C; y Calles 42C Sur y 42G Sur. En general su localización está enmarcada entre las Avenidas Agoberto Mejía y la Avenida Ciudad de Cali en el sentido oriente – occidente; y entre el cerramiento de Corabastos y la Avenida Villavicencio en el sentido norte – sur.

Posterior al proceso de urbanización en las áreas aledañas al humedal el cual inicia a mediados de los años 80, el humedal queda delimitado de acuerdo al Decreto 190 de 2004 a 7.3 hectáreas, incluyendo su ronda de protección (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009). En la figura 5, es posible evidenciar los resultados de las gestiones adelantadas con un área recuperada del 52,38% y la notable restauración del espejo de agua (González, 2018). En resumen, la influencia antrópica sobre este ecosistema básicamente

se compone de parqueaderos, infraestructura vial y asentamientos humanos que intersectan e interrumpen la conexión entre el sector norte y el sector sur (ver anexo 4).

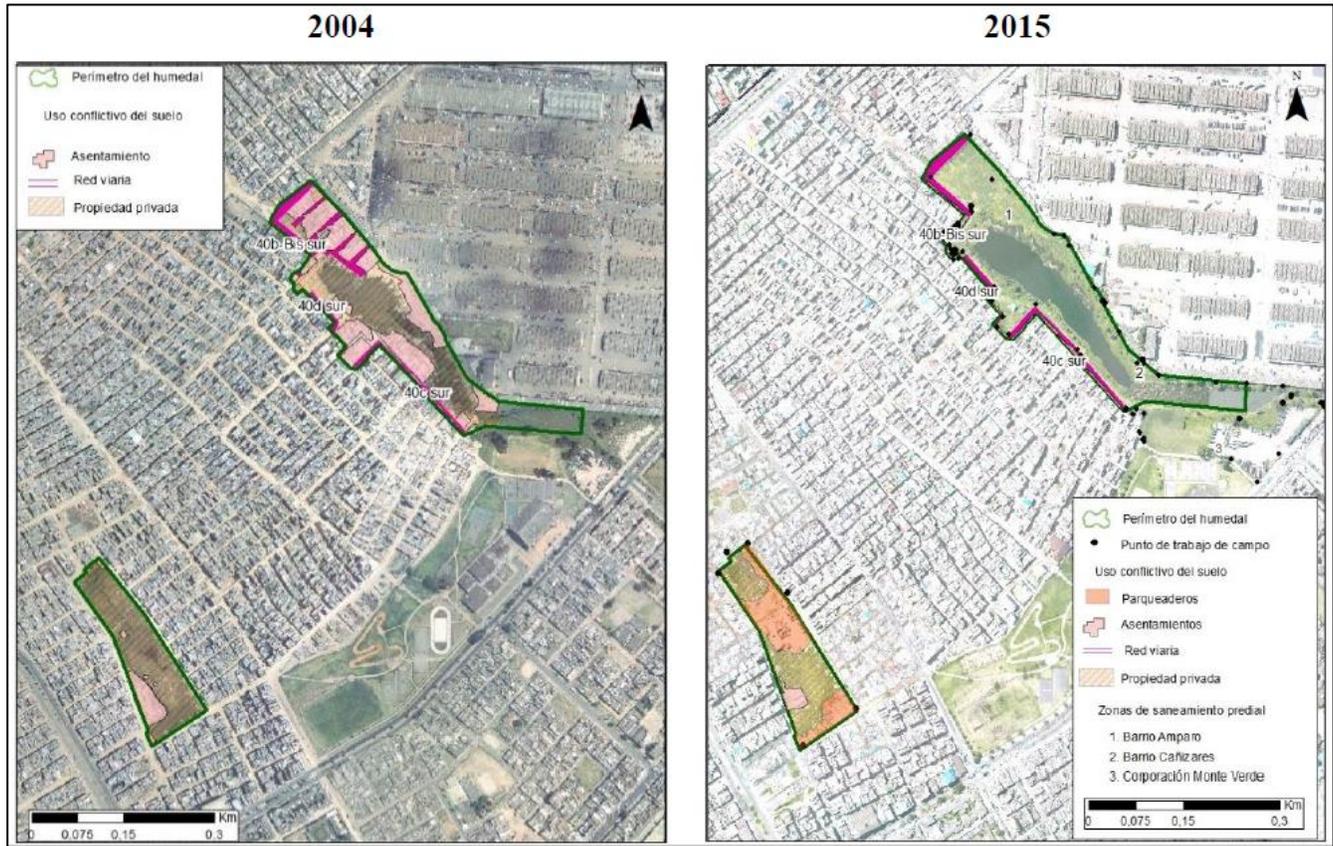


Figura 5. Delimitación de la superficie y áreas en conflicto del Humedal La Vaca, comparación año 2004 – 2015.

Fuente: Elaborado por (González, 2018).

Eventos como la construcción de la central de abastos más grande del país y el aeropuerto de Techo dinamizaron el proceso de ocupación urbana del área. Las condiciones precarias de vivienda han llevado a que se generen organizaciones de vecinos para presionar a las instituciones sobre la legalización de estos asentamientos. Es así como hoy en día, el humedal se encuentra totalmente rodeado por la matriz urbana. Para la realización del presente trabajo, fue necesario conocer las características propias del humedal y su zona de influencia, esto se desarrolla a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Componentes físicos, geológicos, geomorfológicos, bióticos y socioculturales del HLV.

Caracterización del Humedal La Vaca, Bogotá D.C.	
<p style="text-align: center;">Clasificación del humedal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de humedal: De planicie - Origen: Fluviolacustre - Posición orográfica: Sabana - Aspectos morfológicos: Espejo único, múltiple, áreas inundables morfométricamente no uniformes. - Altura: < 2.700 m.s.n.m - Ámbito político particular: Localidad de Kennedy <p style="text-align: center;">Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá & DAMA, Política de Humedales del Distrito Capital.</p>	
<p style="text-align: center;">Componente físico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura media anual: 13,6°C - Humedad relativa media anual: 79% - Brillo solar: Registro más alto enero 185 horas – mes; registro más bajo abril 112 horas – mes. - Velocidad del viento media mensual: 1,02 m/s equivalente a 3,67 km/h (brisa débil). - Precipitación: Régimen bimodal (dos periodos húmedos y dos secos) mayores precipitaciones ocurren entre abril y mayo y entre septiembre y noviembre. - Características del sistema hidrográfico: Desciende desde los cerros orientales en sentido oriente – occidente hasta el río Bogotá. - Evaporación: 1210 mm/mes igual a 16941 m³. 	<p style="text-align: center;">Geología y geomorfología</p> <p>El humedal de la Vaca hace parte del sector suroriental de la Altiplanicie de la Sabana de Bogotá, sobre los 2600 metros de altura y con una superficie de 4000 Km², aproximadamente. La Sabana de Bogotá constituye una gran cuenca de subsidencia tectónica bordeada por cerros que alcanzan los 4000 m de elevación y rellena por espesos sedimentos esencialmente de tipo lacustre, así como de sedimentos fluviales, aluviales y coluvio-aluviales procedentes de los cerros vecinos.</p> <p>En el área del HLV el relieve es de tipo plano y se encuentra conformado por un depósito de tipo fluviolacustre caracterizado por presencia de limos y arcillas de plasticidad alta, baja resistencia y alta compresibilidad que en algunas áreas se encuentra cubierto por rellenos antrópicos.</p>
<p style="text-align: center;">Componente biótico y ecológico</p> <ul style="list-style-type: none"> - El sector norte presenta comunidades herbáceas de botoncillo, junco, barbasco y sombrilla de agua. - Aves: Tingua piquirroja, sirirí, chamón parásito y monjitas. - Mamíferos: Únicamente especies de ratas invasoras. - Anfibios: Rana sabanera. 	<p style="text-align: center;">Resultados fisicoquímicos y bacteriológicos</p> <p>La empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá en la elaboración del Plan de Manejo Ambiental del HLV, obtuvo los siguientes resultados:</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Peces: Ningún registro. - Presencia de dípteros acuáticos y coleópteros. - Se registra una muy baja diversidad, ya que se presenta una clara caracterización que indica tendencia un ecosistema eutroficado, en donde la baja concentración de oxígeno y la presencia de materia orgánica en descomposición son características presentes en el humedal. 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>UBICACIÓN PUNTOS DE MUESTREO</th> <th>NORTE</th> <th>OESTE</th> <th>Fecha de Toma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Entrada</td> <td>103472.9574</td> <td>90724.1875</td> <td>23/ Mayo/ 2006</td> </tr> <tr> <td>Salida</td> <td>103791.82</td> <td>90425.8505</td> <td>23/ Mayo/ 2006</td> </tr> <tr> <td>Sector Sur</td> <td>103080.4555</td> <td>90184.8069</td> <td>18/ Julio/ 2006</td> </tr> <tr> <th>PARÁMETROS</th> <th>ENTRADA</th> <th>SALIDA</th> <th>SECTOR SUR</th> </tr> <tr> <td>Turbiedad (UNT)</td> <td>28</td> <td>24</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Ph (Unidades)</td> <td>7,02</td> <td>6,72</td> <td>6,6</td> </tr> <tr> <td>Alcalinidad Total (mg/l CaCO₃)</td> <td>330</td> <td>330</td> <td>410</td> </tr> <tr> <td>Dureza Total (mg/l CaCO₃)</td> <td>130</td> <td>170</td> <td>360</td> </tr> <tr> <td>Conductividad Eléctrica (us/cm)</td> <td>802</td> <td>711</td> <td>998</td> </tr> <tr> <td>Temperatura (°C)</td> <td>17,5</td> <td>18,5</td> <td>16,5</td> </tr> <tr> <td>OD (mg/l)</td> <td>0,24</td> <td>0,38</td> <td>0,24</td> </tr> <tr> <td>Salinidad</td> <td>0,1</td> <td>0,1</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>DBO₅ (mg/l)</td> <td>104</td> <td>41</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td>DQO (mg/l)</td> <td>164</td> <td>83</td> <td>172</td> </tr> <tr> <td>Nitrógeno Total (NTK) (mg/l)</td> <td>28</td> <td>24</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>Nitratos (mg/l)</td> <td>0,2</td> <td><0,10</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>Nitrogeno Amoniacal (mg/l)</td> <td>25,2</td> <td>19,6</td> <td>26,6</td> </tr> <tr> <td>Nitritos (mg/l)</td> <td><0,001</td> <td><0,001</td> <td><0,001</td> </tr> <tr> <td>Fósforo Total (mg/l)</td> <td>4,36</td> <td>3,57</td> <td>3,07</td> </tr> <tr> <td>Fosfatos (mg/l)</td> <td>12,61</td> <td>9,69</td> <td>7,72</td> </tr> <tr> <td>Grasas y aceites (mg/l)</td> <td>29</td> <td>6</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Sulfatos (mg/l)</td> <td>56</td> <td>1,31</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>Sólidos suspendidos totales (mg/l)</td> <td>420</td> <td>300</td> <td>680</td> </tr> <tr> <td>Sólidos Disueltos Totales (mg/l)</td> <td>377</td> <td>284</td> <td>627</td> </tr> <tr> <td>Coliformes Fecales (UFC/100 ml)</td> <td>4,6*10⁵</td> <td>2,6*10⁵</td> <td>2,6*10⁴</td> </tr> <tr> <td>Coliformes Totales (UFC/100 ml)</td> <td>8,4*10⁶</td> <td>1,4*10⁶</td> <td>6,2*10⁵</td> </tr> </tbody> </table>	UBICACIÓN PUNTOS DE MUESTREO	NORTE	OESTE	Fecha de Toma	Entrada	103472.9574	90724.1875	23/ Mayo/ 2006	Salida	103791.82	90425.8505	23/ Mayo/ 2006	Sector Sur	103080.4555	90184.8069	18/ Julio/ 2006	PARÁMETROS	ENTRADA	SALIDA	SECTOR SUR	Turbiedad (UNT)	28	24	15	Ph (Unidades)	7,02	6,72	6,6	Alcalinidad Total (mg/l CaCO ₃)	330	330	410	Dureza Total (mg/l CaCO ₃)	130	170	360	Conductividad Eléctrica (us/cm)	802	711	998	Temperatura (°C)	17,5	18,5	16,5	OD (mg/l)	0,24	0,38	0,24	Salinidad	0,1	0,1	0,3	DBO ₅ (mg/l)	104	41	52	DQO (mg/l)	164	83	172	Nitrógeno Total (NTK) (mg/l)	28	24	35	Nitratos (mg/l)	0,2	<0,10	0,2	Nitrogeno Amoniacal (mg/l)	25,2	19,6	26,6	Nitritos (mg/l)	<0,001	<0,001	<0,001	Fósforo Total (mg/l)	4,36	3,57	3,07	Fosfatos (mg/l)	12,61	9,69	7,72	Grasas y aceites (mg/l)	29	6	17	Sulfatos (mg/l)	56	1,31	85	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	420	300	680	Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	377	284	627	Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	4,6*10 ⁵	2,6*10 ⁵	2,6*10 ⁴	Coliformes Totales (UFC/100 ml)	8,4*10 ⁶	1,4*10 ⁶	6,2*10 ⁵
UBICACIÓN PUNTOS DE MUESTREO	NORTE	OESTE	Fecha de Toma																																																																																																										
Entrada	103472.9574	90724.1875	23/ Mayo/ 2006																																																																																																										
Salida	103791.82	90425.8505	23/ Mayo/ 2006																																																																																																										
Sector Sur	103080.4555	90184.8069	18/ Julio/ 2006																																																																																																										
PARÁMETROS	ENTRADA	SALIDA	SECTOR SUR																																																																																																										
Turbiedad (UNT)	28	24	15																																																																																																										
Ph (Unidades)	7,02	6,72	6,6																																																																																																										
Alcalinidad Total (mg/l CaCO ₃)	330	330	410																																																																																																										
Dureza Total (mg/l CaCO ₃)	130	170	360																																																																																																										
Conductividad Eléctrica (us/cm)	802	711	998																																																																																																										
Temperatura (°C)	17,5	18,5	16,5																																																																																																										
OD (mg/l)	0,24	0,38	0,24																																																																																																										
Salinidad	0,1	0,1	0,3																																																																																																										
DBO ₅ (mg/l)	104	41	52																																																																																																										
DQO (mg/l)	164	83	172																																																																																																										
Nitrógeno Total (NTK) (mg/l)	28	24	35																																																																																																										
Nitratos (mg/l)	0,2	<0,10	0,2																																																																																																										
Nitrogeno Amoniacal (mg/l)	25,2	19,6	26,6																																																																																																										
Nitritos (mg/l)	<0,001	<0,001	<0,001																																																																																																										
Fósforo Total (mg/l)	4,36	3,57	3,07																																																																																																										
Fosfatos (mg/l)	12,61	9,69	7,72																																																																																																										
Grasas y aceites (mg/l)	29	6	17																																																																																																										
Sulfatos (mg/l)	56	1,31	85																																																																																																										
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	420	300	680																																																																																																										
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	377	284	627																																																																																																										
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	4,6*10 ⁵	2,6*10 ⁵	2,6*10 ⁴																																																																																																										
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	8,4*10 ⁶	1,4*10 ⁶	6,2*10 ⁵																																																																																																										
<p style="text-align: center;">Problemática Ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> - La poca área natural disponible, ha resultado en una reducción sustancial de su capacidad de almacenamiento y amortiguamiento a eventos extremos de precipitación. - Desconexión entre el sector norte y el sur, ocasionando alta pérdida de la biodiversidad. - Estado hipereutrófico, calidad del agua no apta para la vida acuática. - Vertimientos directos por conexiones erradas en la red de alcantarillado. - Alto riesgo de inundación a pesar de que el alcantarillado mejoró considerablemente a partir de las graves inundaciones del año 1979. <p>Usos Compatibles: Recreación pasiva Recreación pasiva</p> <p>Usos Prohibidos: Agrícola y pecuario, forestal productor, recreación activa, minero, industrial de todo tipo, residencial de todo tipo, institucional salvo el educativo y de seguridad, mencionados.</p>	<p style="text-align: center;">Componente sociocultural</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conflicto de ocupación y uso del suelo. - Kennedy presenta el 12,6% de su población en situación de pobreza y el 2,2% en miseria. Es importante precisar que los niños entre 0 a 5 años y las mujeres entre los 15 y 49 años se catalogan como las poblaciones más pobres y en miseria. - En Kennedy predomina el estrato socioeconómico medio-bajo. La UPZ Corabastos cuenta con un total de 22 barrios, 14 de los cuales se localizan en zona definida como de preservación ambiental y 11 no tienen aún resoluciones de legalidad. Es decir, es un sector que presenta un alto componente de entorno informal urbano. - La Acción Popular 04-0016 interpuesta por el ciudadano Andrés Vela (2004), marca un hito jurídico en la historia del HLV, en él se demanda al Distrito Capital en particular al DAMA, a La EAAB.-ESP y a Corabastos por no adelantar las acciones de protección del ecosistema. 																																																																																																												

Fuente: Elaborado con base en el PMA del HLV. (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2009)

7.5.3 Corporación de Abastos de Bogotá

La historia de la central de abastos más grande del país se remonta a la concentración de casi tres millones de habitantes con que inició Bogotá en la década de 1970, esto generó entre otros problemas básicos, el de abastecimiento de alimentos en forma organizada y metódica. La infraestructura que existía era insuficiente y además generaba pérdidas y un manejo arbitrario de los precios. Las plazas públicas y los

supermercados no daban abasto, y hasta las calles se acondicionaban para el mercadeo agropecuario. Fue así como el 20 de julio de 1972 se inauguró la central. Como se observa en la figura 7, consta de 57 bodegas para venta y almacenaje de los productos alimenticios; Red de fríos para conservación y almacenaje de frutas; edificio de administración; tres cámaras de congelación y tres de refrigeración, y un túnel de congelación rápida. (Corporación de Abastos de Bogotá S.A., 2016)

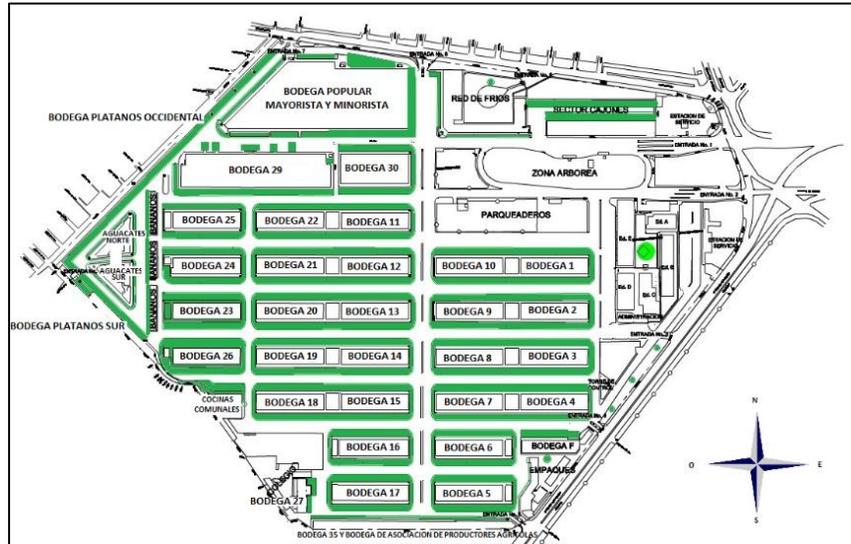


Figura 7. Plano de bodegas de la Corporación de Abastos de Bogotá, Corabastos.
Fuente: (Corabastos, 2016)

Comprende un área de 420.000 m², cuenta con un número aproximado de 6.500 mayoristas y minoristas que movilizan alrededor de 12.400 toneladas diarias de alimentos, sin mediar contratos y con pagos de contado. Abastece 10 millones de habitantes en Bogotá y algunas ciudades cercanas. El HLV se encuentra justo en la zona colindante a la corporación como se muestra en la figura 6 en el centro, la central mayorista Corabastos y a la derecha el Humedal La Vaca.



Figura 8. Zona de influencia directa del HLV.
Fuente: Milton Díaz, (El Tiempo, 2015)

7.6 Marco institucional

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como ya se mencionó en la tabla 2 adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia y en relación a la adopción de nuevas tecnologías como los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. En seguida se encuentran institutos como el IDEAM o el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático y la Secretaría de Ambiente; los primeros que ya han catalogado la zona de estudio con riesgo medio – alto de inundación y una tendencia de precipitación bimodal a lo largo del año y el segundo relacionado a la cooperación y promoción de nuevas tecnologías que garanticen un uso eficiente de los recursos en este caso el agua.

El acueducto por su parte definió el Programa de Recuperación Ecológica y Participativa de los 14 Humedales distritales, el cual tiene como objetivo recuperar, proteger y conservar estos ecosistemas, rescatando sus valores, atributos y funciones ambientales para la conservación de la biodiversidad, el disfrute paisajístico y la educación ambiental. A su vez, “mantiene nueve líneas de acción con el apoyo y el trabajo conjunto de la Secretaría Distrital de Ambiente, organizaciones sociales ambientales y otras entidades gubernamentales, en el marco de la normatividad ambiental vigente, la Política de Humedales del Distrito Capital y la Convención Ramsar” (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2018). El acueducto también es clave en el suministro de información para la presenta propuesta con elementos como los planos hidrosanitarios de la zona, entre otros.



Figura 9. Actores con participación en el área de estudio.

Fuente: Autor, 2018.

De acuerdo con (Villalobos, 2016), instituciones como la Fundación Banco de Semillas (FBS), el Jardín Botánico de Bogotá, la Red Intercultural Canto al Agua (RICA) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá contribuyeron a relocalizar 160 familias que se encontraban asentadas en los barrios Amparo, Monte Verde y Ampara Cañizares; y esto marcó grandemente el proceso de restauración y recuperación del HLV. Son instituciones que ya han ejercido acciones directas a favor del HLV.

Por otra parte, dentro de la política ambiental de (CORABASTOS, 2009), se evidencia un compromiso con la preservación del medio ambiente y la mejora continua de la gestión ambiental de acuerdo con los siguientes principios:

- Cumplimiento de los requisitos legales ambientales vigentes y otros requisitos adoptados de manera voluntaria.
- Prevenir la contaminación a través del uso eficiente de los recursos.
- Promoción de la toma de conciencia ambiental entre todos sus trabajadores, colaboradores y comerciantes.
- Minimización del impacto ambiental de las aguas residuales.
- Minimización de la generación y el impacto ambiental de los residuos a través del reciclaje.
- Estimular la adopción y el desarrollo de tecnologías productivas ambientales y sanas.

Con base en lo anterior, propuestas como el aprovechamiento de agua lluvia en un área tan considerable como la de la corporación son totalmente aplicables y bien vistas considerando sus efectos a largo plazo y es competencia directa de entidades como el Acueducto, Jardín Botánico, Secretaria de Distrital de Ambiente y la oficina de Infraestructura y Medio Ambiente de Corabastos.

8. Metodología

A continuación, se describe de manera detallada la estructura metodológica de la investigación y posteriormente se describen las fases y el diseño metodológico de cada uno de los objetivos planteados inicialmente:

8.1 *Diseño de la investigación*

8.1.1 *Enfoque*

De acuerdo con la naturaleza del proyecto, la presente propuesta se clasifica como un estudio cuantitativo, debido a que para el diseño hidrológico del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, se tendrán en cuenta variables medibles a partir de datos recolectados, en los que será posible predecir eventos masivos de precipitación (aguaceros) para poder aprovechar el recurso y promover un uso eficiente del agua.

Según, (Sampieri, 2014) la investigación cuantitativa es secuencial y probatoria, ofrece la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, otorga control sobre los fenómenos, así como un punto de vista basado en conteos y magnitudes. También, brinda una gran posibilidad de repetición y se centra en puntos específicos de tales fenómenos, además de que facilita la comparación entre estudios similares. Es así como se abordará la propuesta; al ser un diseño hidrológico en el que se tendrán en cuenta variables medibles como la precipitación, volumen del tanque de almacenamiento, pendientes, áreas de captación, entre otros; para consolidar un sistema que aporte o de solución a una problemática en este caso vinculada al HLV.

8.1.2 *Alcance*

Los objetivos específicos uno y dos que consisten en: “Evaluar potenciales áreas de captación de agua lluvia en la infraestructura colindante al Humedal La Vaca para su posible aprovechamiento” y “Analizar la tendencia de precipitación en la zona de influencia del Humedal La Vaca para estimar el caudal a tratar” respectivamente, tienen un alcance descriptivo, ya que se busca mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno especificando en este caso las características de la zona que hacen factible la captación de agua lluvia y determinando el comportamiento y las características de los fenómenos de precipitación en la zona del HLV.

Por otro lado, para el objetivo específico tres que consiste en: “Realizar el diseño hidrológico del sistema de aprovechamiento de agua lluvia considerando su alcance, aplicabilidad y funcionalidad para buscar la seguridad hídrica y disminución del riesgo de inundación”; el alcance es correlacional, ya que se identificaron las diferentes variables físicas y teóricas de la zona de estudio y a partir de las mismas se relacionaron para consolidar la modelación matemática dando forma al diseño del sistema de aprovechamiento de agua pluvial.

8.1.3 Unidad de Análisis

La unidad de análisis en el presente trabajo es la zona de influencia directa del Humedal La Vaca, sector norte ubicado en la ciudad de Bogotá. Al interior de la cuenca que drena al humedal, se encuentra localizada la UPZ 80, denominada CORABASTOS, la cual contiene los barrios aledaños al humedal así como la central de abastos, elemento urbano que ha ejercido enorme influencia en la historia del humedal y que coincide plenamente con las dinámicas sociales, culturales y económicas alrededor de este importante ecosistema; aun cuando dentro del territorio más cercano también se evidencian los barrios aledaños, se hará referencia al área de influencia directa más puntualmente a las 42 hectáreas de la Corporación de Abastos de alimentos no solo por ser parte de los cambios de ocupación del territorio sino porque la uniformidad de las cubiertas de las bodegas facilitan contemplar eficientemente el aprovechamiento de agua lluvia.

Resaltando también, que el Humedal La Vaca como los otros humedales de la ciudad de Bogotá, no es posible considerarlo como un elemento ecológico aislado, por el contrario, es parte del sistema hídrico de la ciudad y de la estructura ecológica principal no solo por factores hidrológicos sino también por la interconexión con los flujos de fauna que ha sido interrumpida con la expansión de la mancha urbana alrededor de los 15 humedales del distrito (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).

8.1.4 Método

El método a utilizar es el analítico – sintético; ya que se estudian las variables relacionadas directamente con la problemática anteriormente mencionada de forma individual (análisis) y luego se evalúan de forma integral para consolidar el diseño hidrológico del sistema de aprovechamiento de agua lluvia (síntesis).

8.1.5 Variables, técnicas e instrumentos

A continuación, se presentan las variables, técnicas e instrumentos más relevantes que serán usadas como herramienta y lineamiento a seguir para alcanzar los objetivos propuestos, consolidando así la tabla 5 y la tabla 7:

Tabla 5. Dimensiones y variables del estudio para el éxito de los objetivos.

Dimensión	VARIABLES de análisis	Aspectos	Indicadores / Descriptores	Unidades
Socio-ecológica	Cubiertas	Características estructurales	Tipo de cubierta	-
			Material	-
			Ubicación	Coordenadas geográficas
Socio-ecológica	Estructura Hidrosanitaria	Características estructurales	Distribución de la red	-
			Número de estructuras de red pluvial aptos	Unidades
			Número de pozos aptos	Unidades
Ecológica	Agua lluvia	Antecedentes de inundación	Número de reportes de inundaciones	Unidades

Dimensión	VARIABLES de análisis	Aspectos	Indicadores / Descriptores	Unidades
		Disponibilidad pluvial	Precipitación media mensual	mm/mes
		Intensidad de la lluvia	Aguaceros estimados por curvas IDF	L/s.ha
		Oferta y demanda pluvial	Litros de agua aprovechables y litros consumidos	L/mes
Social, Económica y Ecológica	Sistema de aprovechamiento	Tanque de almacenamiento	Volumen requerido	m ³
		Tuberías y canales	Longitud necesaria	m
		Sistema de bombeo	Pérdidas del sistema	m
			Tipo de bomba	-
		SUDS	Área de cubiertas aprovechable	m ²
			Escorrentía mitigable	m ³
			Composición estructural	-

Fuente: Elaboración propia.

8.1.5.1 Contextualización espacial y visitas a campo

Es importante determinar aquellas características del territorio que son factibles para el proyecto a partir de un análisis generalizado de la problemática y de las condiciones actuales de la zona de estudio, se tendrán en cuenta factores como la delimitación de la zona de influencia del HLV utilizando cartografía específica de la zona (planos hidrosanitarios, planos arquitectónicos, información del PMA, entre otros), observaciones en campo (tipo de cubiertas, espacios aptos para el almacenamiento); para en últimas, establecer los lugares con requerimiento de suministro y así fijar las áreas de captación.

Las visitas a campo consistieron en la identificación de la situación actual del humedal, caracterización de los muros y cubiertas más aptos para llevar a cabo el sistema de aprovechamiento de agua lluvia y recopilación de información por parte de los líderes comunitarios encargados de la administración del HLV y del Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente de Corabastos, algunas imágenes son mostradas en la figura 10 y anexo 4.



Figura 10. Parque Ecológico Distrital Humedal La Vaca.
Fuente: Elaboración propia en las visitas de campo.

8.1.5.2 Análisis de la tendencia de precipitación y riesgos por inundación

Inicialmente se elaboró un análisis de los eventos de inundaciones registrados en la base de datos del IDIGER para tener en cuenta la magnitud y reiteración del riesgo; posteriormente, de acuerdo a los registros pluviométricos históricos de la estación meteorológica más cercana con un rango disponible de datos considerable, se examinó la precipitación media mensual. Una vez realizado lo anterior, se cuantificó la intensidad de lluvia por medio de las curvas IDF dispuestas por el departamento de ingeniería especializada del acueducto de Bogotá; para finalmente poder cuantificar el caudal de diseño, haciendo uso del método racional.

8.1.5.3 Dimensionamiento de tanques de almacenamiento

Se realizó un análisis de oferta y demanda, de acuerdo al consumo hídrico vegetal y a usos varios como lavado y sanitarios. Con datos históricos de al menos 10 años; se procedió a analizar las cantidades de agua contempladas por mes y obtener el volumen del tanque de almacenamiento de acuerdo al mes con mayor disponibilidad del año, relacionando los datos en una tabla de oferta y demanda de acuerdo a la disponibilidad y al requerimiento hídrico establecido.

8.1.5.4 Dimensionamiento de tuberías y canales

Los canales de conducción de agua lluvia deben tener la capacidad de llevar un aguacero de un periodo de retorno adecuado para la obra, razón por la cual, para el dimensionamiento del mismo es necesario utilizar la tormenta de diseño o las curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) de las lluvias, la cual considera la cantidad de agua que cae en litros por cada segundo en una cantidad de área determinada en un solo evento o instante, es decir un aguacero. La capacidad de conducción de agua de un canal, depende de la geometría de su sección transversal, sus dimensiones, la pendiente del canal y los materiales de elaboración, de los que dependen las pérdidas por fricción (Forero, 2017). Para efectos del desarrollo del diseño hidrológico se hizo el cálculo del caudal de diseño en base a las curvas IDF suministradas por el departamento de ingeniería especializada del acueducto teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Caudal de diseño – Método racional. Teniendo en cuenta lo anterior se usó como herramienta fundamental el método racional el cual es una manera simple de estimar el caudal máximo que descarga un área de captación o cuenca hidrográfica (FAO, 2013), la selección de este método se justifica en que “este ha reportado resultados satisfactorios en cuencas urbanas, debido a la compatibilidad de sus restricciones con las características de dichas cuencas”, para este caso en particular, tamaño de drenaje menor a 200ha (Sandoval, Torres, & Navarro, 2013); se expresa de la siguiente forma:

Ecuación 1. Método racional

$$Q = Cia$$

Donde,

Q: El caudal máximo de la cuenca para un tiempo de retorno determinado, en l/s

C: Coeficiente de escorrentía o escurrimiento, adimensional (o K)

i: Intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración, en l/s*Ha

a: Área de la cuenca hidrográfica o área de captación en Ha.

El coeficiente de escorrentía o escurrimiento C aumenta con la intensidad de la lluvia, ese factor se lo puede relacionar con el tiempo de retorno de la precipitación según (Chow, Maidment, & Mays, 1988) como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional según el tipo de superficie.

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)					
	2	5	10	25	50	100
Áreas desarrolladas						
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)						
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)						
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)						
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)						
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1988).

Además del método racional, otra base metodológica para el óptimo cumplimiento de los objetivos propuestos es la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones (Ministerio de Vivienda, 2015) en la resolución por la cual se establecen medidas de construcción sostenible, se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones y se establecen otras disposiciones. Por otro lado, también es relevante la Guía de diseño para captación del agua lluvia.; documento elaborado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2004).

Para calcular la intensidad se utilizarán los datos que provee el departamento de ingeniería especializada del acueducto de Bogotá, y la duración que es equivalente al tiempo de concentración es decir el tiempo que tarda el agua desde que cae en el lugar más lejano hasta el punto de control, se calculó con base en la siguiente fórmula (Biblioteca Atrium de las Instalaciones, 1992):

Ecuación 2. Intensidad de lluvia

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

Ecuación 3. Tiempo de concentración

$$T = \left(\frac{0,871 \times L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Donde:

T: Tiempo (duración) de concentración en minutos.

L: Longitud del recorrido del agua del punto más lejano al punto de control en kilómetros.

H: Desnivel entre la cabecera y el desagüe.

Cuando ya se tiene por el método racional el caudal, se procede al dimensionamiento de las estructuras de conducción de agua lluvia aportada por las cubiertas anteriormente seleccionadas, para lo cual se hizo uso de la fórmula de Manning (ecuación 4) para canales y tuberías con flujo por gravedad, que se relaciona a continuación:

Ecuación 4. Fórmula de Manning

$$V = \left(\frac{1}{nR}\right)^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

R: Radio hidráulico en metros, para canales con sección circular = D/4.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning según el material. 0.013 pvc

S: Pendiente del canal en metro/metro.

D: Diámetro en metros

Q: V*A

8.1.5.5 Selección de la bomba

Para la selección de la bomba se tuvieron en cuenta las pérdidas a las que está sujeto el sistema, con la ecuación de Darcy-Weisbach que se relaciona a continuación y que además permite adecuar los diámetros de las tuberías de manera que no se vea afectada su integridad a partir de la velocidad del flujo:

Ecuación 5. Pérdida de carga por fricción

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

hf: es la pérdida de carga debida a la fricción,

f: factor de fricción de Darcy,

L/D: relación entre la longitud y el diámetro de la tubería,

v: velocidad media de flujo,

g: corresponde a la aceleración debida a la gravedad, y se supone constante (9.81m/s²).

Una vez consolidado el sistema de riego desde el punto de captación hasta la zona más lejana de suministro, se realizó la sumatoria de las pérdidas y este se contempló como el factor que deberá superar la bomba. Para encontrar la bomba con la capacidad adecuada se procedió a analizar las curvas que relacionan el caudal a manejar y las pérdidas a vencer (altura dinámica total) en el sitio web IHM, que consiste en una empresa colombiana con más de 94 años de experiencia en el desarrollo de soluciones ingenieriles (IHM, 2019).

8.1.5.6 Interceptor de primeras aguas

Éste elemento permite recolectar las primeras aguas lluvias que caen y lavan el techo, por lo tanto, considerando el uso al que será destinado el agua colectada que será riego y el agua sobrante a labores de lavado o limpieza, es necesario desviarlas para no ser almacenadas en el tanque y evitar inconvenientes con temas asociados al taponamiento de las tuberías e irregularidades con el saneamiento del sistema.

Su diseño, de acuerdo con los parámetros establecidos en la metodología del (CEPIS, 2004), establece que se requiere un litro de agua lluvia para lavar un metro cuadrado del techo, es decir que el volumen del tanque interceptor se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 6. Volumen del interceptor de primeras aguas

$$V_{int} = \left(1 \frac{L}{m^2} \times A_{techo} \right) \div 1000$$

Donde:

V_{int} : Volumen del interceptor en m^3 .

A_{techo} : Área de captación en m^2 .

8.1.5.7 Selección de SUDS

Los diseños y captaciones convencionales dirigen el agua lluvia al sistema de drenaje pluvial de manera concentrada y normalmente sin permitir su aprovechamiento. Durante la precipitación, la contaminación acumulada en la superficie en tiempo seco es arrastrada hasta las captaciones, por lo que se generan problemas de contaminación en los afluentes y colmatación de las captaciones (Rodríguez, 2013).

Además de promover un uso eficiente del recurso hídrico con el aprovechamiento de agua lluvia dirigido al suministro de jardines verticales y labores de riego, es allí donde los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son una potencial solución para la problemática que presenta la zona de estudio en los temas asociados al riesgo de inundación. Se seleccionó el más adecuado de acuerdo a los siguientes componentes: Espacio disponible, necesidad de cumplir funciones ecológicas, atenuación de caudales para prevenir inundaciones, uso del agua.

8.2 Matriz metodológica

A continuación, se relacionan cada uno de los objetivos planteados con la forma en la que se abordó la presente propuesta. Se muestran siete fases a las cuales se les atribuyeron actividades, técnicas, instrumentos y resultados esperados, de acuerdo a elementos de referencia metodológica como normatividad, antecedentes académicos, guías técnicas, entre otros.

Tabla 7. Actividades, técnicas, instrumentos y resultados esperados por cada objetivo específico.

Objetivo General	Objetivos Específicos	Fase	Actividad	Técnica	Instrumento	Resultado Esperado
Proponer un sistema de aprovechamiento sostenible de agua lluvia como alternativa para promover el crecimiento verde de la zona de influencia del Humedal La Vaca,	Evaluar potenciales áreas de captación de agua lluvia en la infraestructura colindante al Humedal La Vaca para su posible aprovechamiento.	Recolección de información y diagnóstico territorial	Realizar búsqueda bibliográfica de antecedentes y situación actual	Recopilación de información relacionada a la temática.	Bases bibliográficas. Referentes académicos, Factura del acueducto Corabastos.	Contextualización de la problemática en la zona de estudio.
			Definir espacialmente el área de influencia directa del HLV	Recopilación de datos geográficos, revisión documental.	Mapas de la zona, bases de datos con información SIG. PMA.	Cartografía específica de la zona de estudio.
			Identificar el panorama de disponibilidad pluvial	Observación directa y revisión geográfica.	Cámara, bitácora de campo.	Puntos posibles de aprovechamiento de agua lluvia.
		Selección del área de captación pluvial	Reconocer la infraestructura del territorio.	Observación directa en campo. Análisis espacial SIG.	Planos hidrosanitarios de la zona de estudio. Mapa interactivo del acueducto.	Caracterización de la infraestructura del área de estudio.
			Definir posibles usos eficientes del agua	Observación, recopilación de información bibliográfica y en campo.	Planos hidrosanitarios, ubicación de lugares con requerimientos de suministro.	Definición de posibles usos del recurso hídrico.
			Establecer potenciales áreas de captación	Observación en software especializado	Mapas de la zona.	Definición de las áreas de captación para alimentar el diseño.
				Estimar el volumen de precipitación mensual y anual.	Análisis de la distribución pluvial y revisión	Bases de datos IDEAM y base de datos IDIGER.

Objetivo General	Objetivos Específicos	Fase	Actividad	Técnica	Instrumento	Resultado Esperado
Sector Norte ubicado en Bogotá D.C.	Analizar la tendencia de precipitación en la zona de influencia del Humedal La Vaca para estimar el caudal a tratar.	Análisis de disponibilidad pluvial		antecedentes de riesgo por inundación.		
			Identificar meses con disponibilidad pluvial insuficiente	Balance hídrico	Datos IDEAM, Histogramas, datos históricos de lluvias.	Definición meses con y sin disponibilidad de agua lluvia.
			Interpretar curvas IDF de las coordenadas asociadas a la zona de estudio.	Método racional	Dato IDF proporcionado por el departamento de ingeniería especializada del acueducto.	Cuantificación de la intensidad de lluvia
			Cuantificar el volumen de agua aprovechable	Método racional	Datos IDEAM, Histogramas, datos históricos de lluvias.	Caudal de diseño. Volumen de agua aprovechable.
	Realizar el diseño hidrológico del sistema de aprovechamiento de agua lluvia considerando el alcance, aplicabilidad y funcionalidad de los SUDS para buscar la seguridad hídrica y disminución del riesgo de inundación.	Dimensionamiento del sistema de aprovechamiento	Diseñar embalses, tuberías, sistema de bombeo e interceptor de primeras aguas.	Método racional Fórmula de Manning Ecuación de Darcy Weisbach	Planos estructurales, redes hídricas de la infraestructura.	Dimensiones de tanques y sistema de tuberías.
			Articulación de SUDS en el marco de crecimiento verde	Consolidar técnica e hidrológicamente el sistema y seleccionar el SUDS más adecuado	Integración de los resultados de las primeras cuatro fases. Información secundaria.	Guía técnica construcción sostenible, Catálogo de materiales sostenibles para construcción.
		Pronóstico para el éxito de la propuesta	Identificar factores benéficos y riesgos externos	Bases de datos, bitácora de campo.	Guía técnica construcción sostenible, Catálogo de materiales sostenibles para construcción.	Proyección del SUDS Beneficios de la propuesta Riesgos definidos
			Asignación de responsabilidades. Consideraciones finales	Recopilación de todas las fases anteriores.	Plan de Manejo Ambiental del Humedal y Política ambiental de Corabastos.	Responsabilidades para implementación y seguimiento definidas

Fuente: Elaboración propia. Con base en la NS 085 y en los autores (Forero, 2017), (CEPIS, 2004) y (Ministerio de Vivienda, 2015).

9. Plan de trabajo

9.1 Cronograma

En la tabla 8 se ilustra el cronograma de actividades en las que se dio desarrollo al proyecto para alcanzar los objetivos, teniendo una duración total de 34 semanas.

Tabla 8. Cronograma de actividades.

Cronograma de actividades para el proyecto: "Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para promover el crecimiento verde de la zona de influencia del Humedal La Vaca, sector norte ubicado en Bogotá D.C."				2018 -2												2019-1																											
				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo			
Objetivo General	Objetivos Específicos	Fase	Actividad	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Proponer un sistema de aprovechamiento sostenible de agua lluvia como alternativa para promover el crecimiento verde de la zona de influencia del Humedal La Vaca, Sector Norte ubicado en Bogotá D.C.	Evaluar potenciales áreas de captación de agua lluvia en la infraestructura colindante al Humedal La Vaca para su posible aprovechamiento.	Recolección de información y diagnóstico territorial	Búsqueda bibliográfica de antecedentes y situación actual	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
			Definir espacialmente el área de influencia directa del HLV	■	■	■	■																																				
		Selección del área de captación pluvial	Identificación del panorama de disponibilidad pluvial	■	■	■	■																																				
			Reconocimiento del territorio - infraestructura.	■	■	■	■																																				
			Definir posibles usos eficientes del agua	■	■	■	■																																				
			Establecer potenciales áreas de captación	■	■	■	■																																				
	Análisis de disponibilidad pluvial	Estimar el volumen de precipitación mensual y anual	■	■	■	■																																					
		Identificar meses con disponibilidad pluvial insuficiente	■	■	■	■																																					
		Interpretar curvas IDF de las coordenadas de la zona de estudio	■	■	■	■																																					
		Cuantificar el volumen de agua aprovechable	■	■	■	■																																					
	Analizar la tendencia de precipitación en la zona de influencia del Humedal La Vaca para estimar el caudal a tratar.	Dimensionamiento del sistema de aprovechamiento	Diseñar embalses, tuberías, sistema de bombeo e interceptor de primeras aguas.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																												
			Realizar el diseño hidrológico del sistema de aprovechamiento de agua lluvia considerando el alcance, aplicabilidad y funcionalidad de los SUDS para buscar la seguridad hídrica y disminución del riesgo de inundación.	Articulación de SUDS en el marco de crecimiento verde	Consolidar técnica e hidrológicamente el sistema y seleccionar el SUDS más adecuado													■	■	■	■																						
	Realizar el diseño hidrológico del sistema de aprovechamiento de agua lluvia considerando el alcance, aplicabilidad y funcionalidad de los SUDS para buscar la seguridad hídrica y disminución del riesgo de inundación.	Pronóstico para el éxito de la propuesta	Identificar factores benéficos y riesgos externos																	■	■	■	■																				
			Asignación de posibles responsabilidades para implementación. Consideraciones y ajustes finales																					■	■	■	■	■	■	■	■												

Fuente: Elaboración propia.

9.2 Fases del proyecto

A continuación, se describen detalladamente cada una de las fases de las cuales se fundamentó el proyecto.

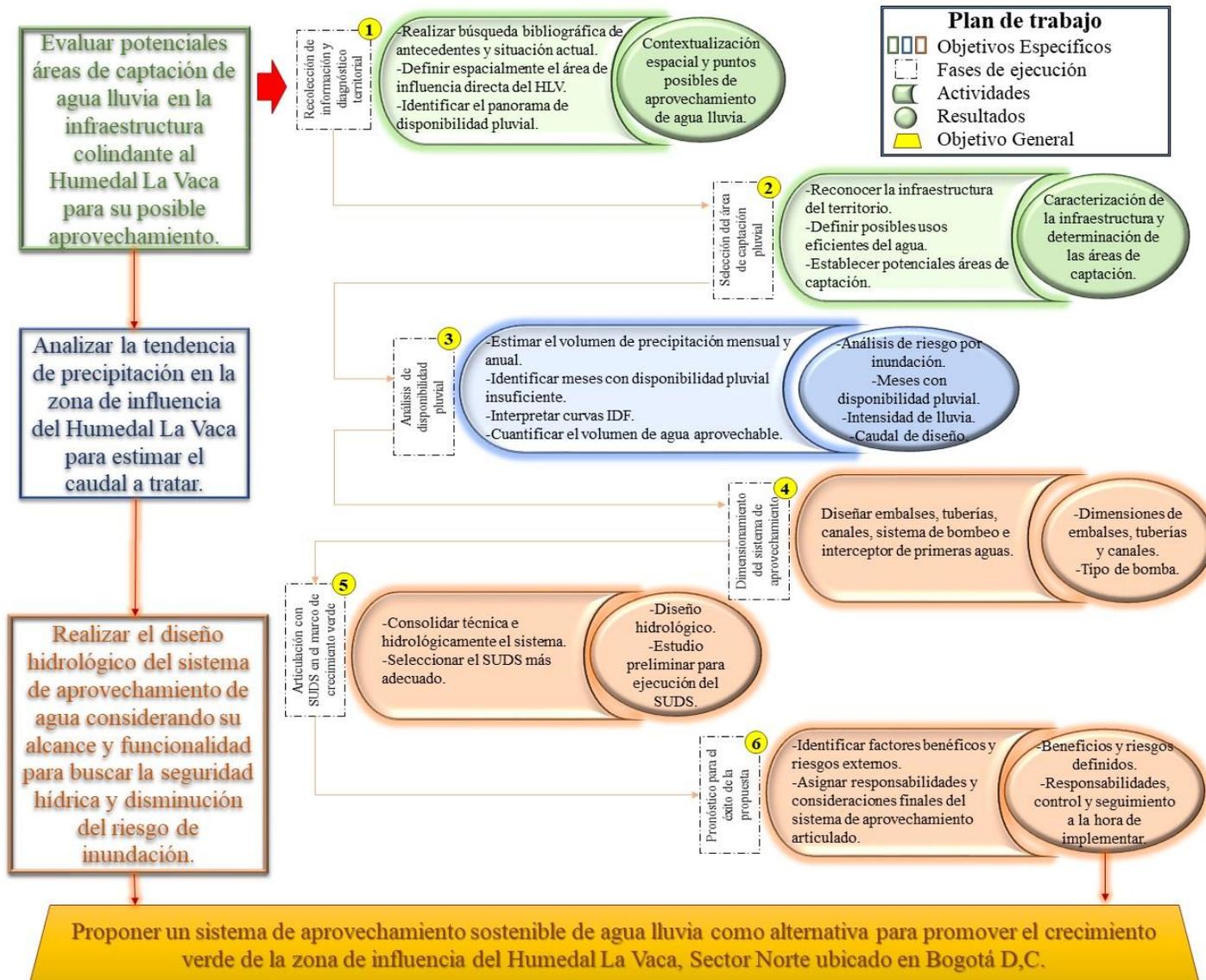


Figura 11. Figura. Estructura de cada una de las fases que conforman el plan de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

10. Resultados; Análisis y Discusión de Resultados

10.1 Objetivo específico 1.

“Evaluar potenciales áreas de captación de agua lluvia en la infraestructura colindante al Humedal La Vaca para su posible aprovechamiento.”

Dentro de la infraestructura colindante al HLV, la zona con mayor factibilidad de intervenir en el contexto del presente proyecto es la Corporación de Abastos más grande de Colombia (Corabastos) que como se observa en la figura 7 y 8, cuenta con cerca de 42 hectáreas que representan el 22% del área de la UPZ Corabastos. Que además se encuentra dentro de la zona de influencia directa del HLV según la delimitación consolidada en el PMA.

10.1.1 Sistema hidrosanitario de la zona de influencia del HLV.

Por consiguiente, se procedió a analizar el sistema hidrosanitario de la zona (figura 12) utilizando como herramienta el Mapa Interactivo del acueducto, donde se muestra un panorama de la estructura actual. A partir de este, se deduce que el sistema de alcantarillado pluvial cuenta con una red sumideros y pozos pluviales que rodean la Corporación de Abastos, así mismo también se encuentran ubicados entre cada una de las bodegas y el sistema los conecta con la red local para posteriormente llegar a la red troncal pluvial ubicada en el costado occidental del espejo de agua del HLV, este sistema está compuesto por numerosas secciones de colectores pluviales circulares de aproximadamente 84 metros cada uno, hechos de concreto reforzado con un diámetro de 2 metros.



Figura 12. Sistema hidrosanitario (pluvial y sanitario) de la zona de estudio.

Fuente: Adaptado de mapa interactivo acueducto.

Como ya se había mencionado anteriormente se evidencia un punto importante de captación en la zona occidental del HLV. Es allí, donde llegan todas las aguas pluviales que abarcan el complejo de bodegas, por lo tanto, este punto será considerado como relevante dentro del proceso de almacenamiento de agua lluvia, se le conoce como estructura de red pluvial, está compuesta de concreto y fue instalada en el año 2003 a una cota de 2.548 msnm, en las coordenadas 4°37'47.88"N 74°09'48.44"O.

10.1.2 Usos del agua pluvial

En ese orden de ideas, una vez analizada la infraestructura, para dar paso al desarrollo de cada uno de los objetivos y determinar las potenciales áreas de captación de agua lluvia, es importante tener en cuenta que, para efectos de la presente propuesta y las condiciones estructurales de la zona, se consideraron detenidamente cada uno de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) expuestos en el apartado 7.2.4. y con base a las observaciones realizadas en campo se evidenciaron una serie de jardines verticales que hacen parte de un proyecto de la Universidad Libre (ver anexo 3) cuyo fin está enmarcado en el crecimiento verde del humedal y hace parte del desarrollo teórico práctico de (González, 2018). Estos jardines verticales están instalados alrededor del HLV como se observa en la figura 13, y no cuentan con una red de suministro de agua.



Figura 13. Ubicación de la propuesta de jardines verticales en el HLV.

Fuente: Adaptado de (González, 2018).

Por lo tanto, partiendo de lo anterior, se fijó el suministro a los jardines verticales como uno de los usos potenciales del agua recolectada, por otro lado, además se conciben otros usos como el lavado entre otros que serán abordados con detenimiento más adelante. Para ello, se seleccionaron dos SUDS profundizados en el apartado 7.2.4.1; por un lado, la presente propuesta contempla la captación, almacenamiento y distribución pluvial (diseño de tanques de almacenamiento para el suministro de los jardines verticales)

y en segundo lugar se contemplan las cubiertas vegetales (estudio preliminar para techos verdes en el resto de bodegas con miras a atenuar la escorrentía de la zona y mitigar riesgo de inundación). Tras la revisión de la literatura usando como base la Guía de Techos Verdes en Bogotá de la (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011), este tipo de SUDS fueron seleccionados y considerados para la propuesta por las siguientes razones:

- Provee grandes beneficios ambientales como manejo sostenible del agua lluvia, reduciendo significativamente el volumen de escorrentía y atenuando el caudal de la zona que está clasificado como medio-alto y además se tienen antecedentes de grandes inundaciones en las partes más bajas de la zona de estudio.
- No requieren espacio adicional en el desarrollo urbano, pueden adaptarse fácilmente con la debida elección cuidadosa de los materiales adecuados y teniendo en cuenta parámetros ambientales de la zona de influencia del HLV.
- Mitiga el efecto de isla de calor ya que refrigera el espacio mediante el proceso de evapotranspiración de la vegetación y evaporación del agua retenida en otras capas del sistema, una importante función considerando que en estas bodegas se almacenan y distribuyen alimentos susceptibles a los cambios de temperatura.
- Funciona como corredor ecológico, en este caso articulando el HLV con el resto de humedales del distrito.
- Fomenta la biodiversidad gracias a la creación de hábitat natural para especies vegetales y animales, factor que según el PMA está gravemente afectado en el HLV (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).
- Mejora la calidad del aire, ya que captura CO₂, partículas en suspensión y otros compuestos contaminantes que han sido una problemática constante que afecta la localidad de Kennedy y más específicamente en Corabastos, ya que la central acoge una gran cantidad de vehículos de carga pesada que transportan más de 12000 toneladas de alimentos.

10.1.3 Selección de cubiertas

De acuerdo al análisis hidrosanitario realizado y a las observaciones en campo, las cubiertas principales pertenecientes a los muros que separan a Corabastos del HLV se seleccionaron partiendo de la factibilidad de diseño optimizando el territorio previendo la menor distancia entre la zona de captación y la zona de almacenamiento de la siguiente manera:

Las cubiertas que no colindan con el HLV, fueron descartadas dado a que no existe conectividad entre las bodegas para hacer llegar el agua a la zona de suministro que bordea el humedal. La cubierta que se observa en la figura 14 que corresponde a la sección de comercialización de plátanos de la Corporación cobijaría el suministro para los jardines verticales de las zonas 1 y 2, cuya área de captación consta de 1633,65 m² Por lo tanto, se propone que el tanque de almacenamiento 1 se ubique en el costado noroeste del HLV como se indica en la figura 14, en las coordenadas: 4°37'51.81"N 74°09'48.52"O.

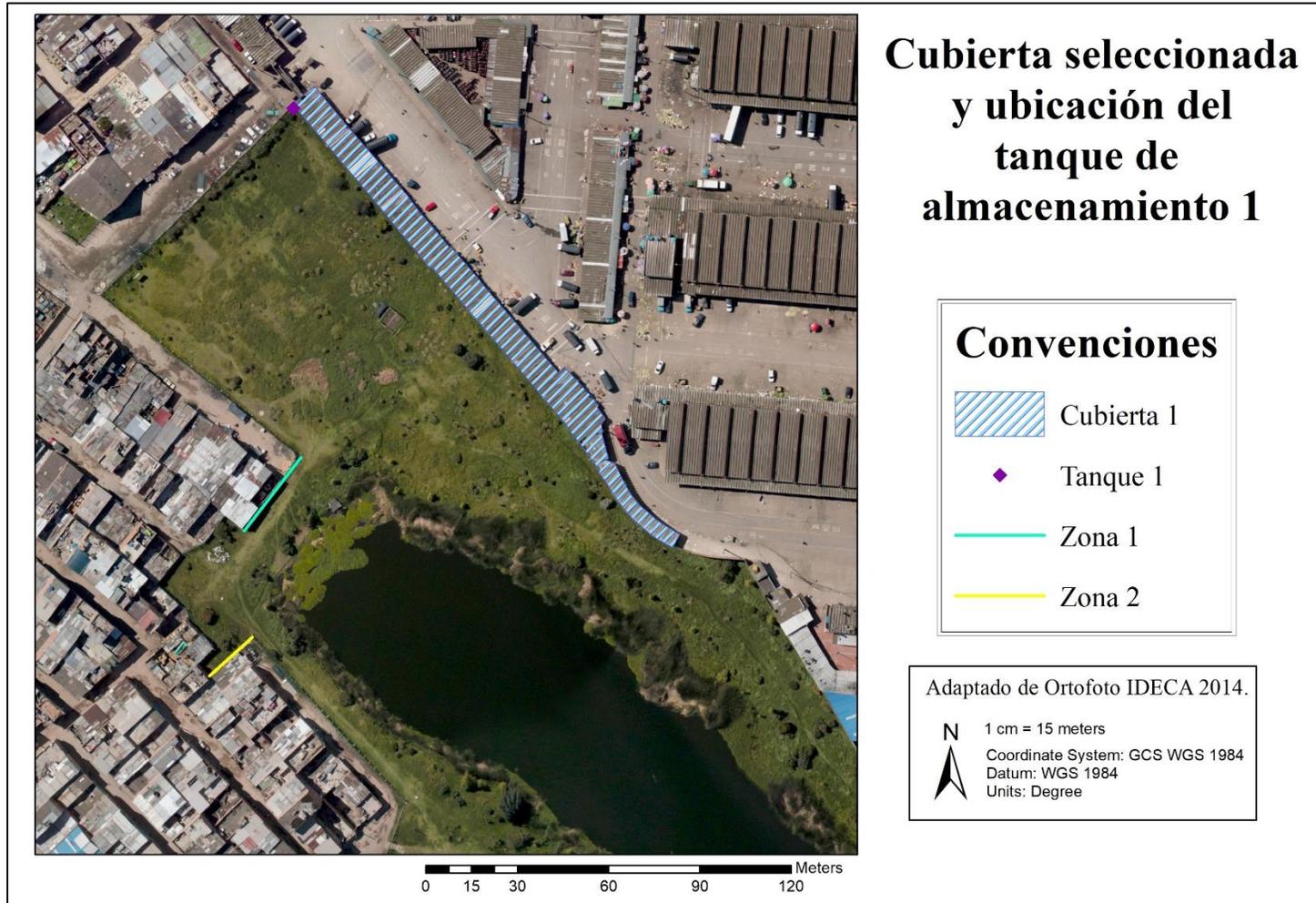


Figura 14. Cubierta seleccionada y ubicación del tanque de almacenamiento 1.

Fuente: Elaboración propia en ArcGIS,

Y la cubierta que cobijaría el suministro para el jardín vertical de la zona 3 consta de un área de 3382,30 m² (figura 15) justo en frente de la laguna de sedimentación del HLV que corresponde a la bodega de la Asociación de Productores Agrícolas de la Corporación. Por lo tanto, se propone que el tanque de almacenamiento 2 se ubique en las proximidades del biofiltro del HLV como se indica en la figura 15, en las coordenadas: 4°37'40.26"N 74°09'39.02"O.



Figura 15. Cubierta seleccionada y ubicación del tanque de almacenamiento 2.

Fuente: Elaboración propia en ArcGIS.

10.1.4 Caracterización de cubiertas seleccionadas

Una vez definidas las áreas de captación en las cubiertas ilustradas anteriormente, se procedió a realizar una caracterización para conocer las condiciones en las que se encuentra la infraestructura y de esta manera dar paso al diseño del sistema de acuerdo a los componentes que falten.

La tabla 9 aborda las principales variables necesarias para el diseño de un SCAPT (Sistema de captación de agua pluvial en techos) según (CEPIS, 2004), y las contrasta con las condiciones actuales que presentan las dos cubiertas seleccionadas evidenciadas en las observaciones en campo y en el material dispuesto por la oficina de Infraestructura y Medio Ambiente de Corabastos:

Tabla 9. Relación de los componentes básicos de un SCAPT, con el panorama actual de las cubiertas seleccionadas.

Componentes de diseño		SCAPT	Panorama Actual HLV	
Hidrometeorología	Estudio Hidrometeorológico	SI	NO	
Captación	Cubierta de Edificación	SI	SI	
	Pendiente de escurrimiento	SI	SI	
	Material de cubierta	Zinc	SI	-
		Latón	SI	-
		Pizarras	SI	-
Asbesto-Cemento		SI	SI	
Recolección y Conducción	Canaletas	SI	NO	
	Red de conducción	SI	NO	
	Bajantes de agua	SI	NO	
	Cajas de recepción	SI	NO	
	Material red de conducción	PVC	SI	SI
		Metálico	SI	-
		Gress	SI	-
Madera		SI	-	
Interceptor	Dispositivo de descarga	SI	NO	
Almacenamiento	Red de conducción	SI	NO	
	Tanque de almacenamiento	SI	NO	
	Tanque impermeable	SI	-	
	Tanque con tapa/cerrado	SI	-	
	Escotilla de ingreso a Tanque	SI	-	
	Control de Rebose de Tanque	SI	-	
	Bomba de succión en el Tanque	SI	-	

Fuente: Adaptado de (Martinez, 2014), según el panorama observado.

Con base en el diagnóstico anterior, se puede observar que actualmente se cuenta con un panorama muy limitado de los componentes básicos de un SCAPT, para la futura implementación. Los elementos faltantes se abordarán y diseñarán en el apartado 10.3 de manera que se logre alcanzar la totalidad de los componentes teniendo en cuenta los diferentes usos a los que será destinada el agua colectada, resaltando que dicho uso estará dirigido a fines no potables como sanitarios, orinales, riego, lavado de fachadas y pisos de las bodegas o del colegio de Corabastos que limita con el Humedal La Vaca, entre otros.

Es importante tener en cuenta que la infraestructura donde se desarrollan las actividades comerciales de la Central de Abastos de Bogotá S.A., cuentan con cerca de 47 años de uso (al año 2019), razón por la cual “se autorizó el desmonte de tejas, mantenimiento y reforzamiento de la estructura metálica e instalación de teja nueva para la cubierta de las bodegas 11, 22 y aleros, e intermedio de la bodega 26, priorizando las mencionadas bodegas de acuerdo al grado de deterioro que presentaban” con el fin de mitigar el riesgo de colapso (Corabastos, 2017); para lo cual dichas cubiertas fueron cambiadas por teja nueva termo acústica tipo sándwich y dependiendo del estado, lo conveniente sería adaptar el resto de bodegas a este nuevo tipo de tejado. En la figura 16, se puede observar que las bodegas de Corabastos constan de cubiertas tipo mixtas (planas y a dos aguas).



Figura 16. Panorámica de las cubiertas de las bodegas de Corabastos.

Fuente: Visor virtual de Corabastos, 2019.

Sin embargo, las cubiertas seleccionadas en las figuras 14 y 15 son únicamente planas y la dirección del flujo pluvial está dirigido al Humedal La Vaca. Es allí donde las aguas serán conducidas a un sistema de almacenamiento y por medio de un sistema de bombeo se velará por un uso eficiente del recurso hídrico para hacerlo llegar hacia las zonas de los jardines verticales, para ello a continuación se abordará a detalle el análisis de la tendencia de la precipitación de la zona y el diseño hidrológico del sistema.

10.2 Objetivo específico 2.

“Analizar la tendencia de precipitación en la zona de influencia del Humedal La Vaca para estimar el caudal a tratar.”

10.2.1 Precipitación media mensual de la zona HLV

Para consolidar el análisis de oferta y demanda es necesario conocer la precipitación media mensual y el comportamiento de las lluvias en la zona de estudio, para ello se tomaron como referencia las estaciones meteorológicas más cercanas que tuvieran la disponibilidad de datos en un rango de registros históricos que permita conocer la tendencia de la precipitación. Para ello se seleccionó la estación 2120154 ó P-051 Bosa Barreno, de tipo Pluviométrica dado a que cuenta con registros representativos de precipitación total y máxima desde 1986 hasta 2005 (19 años). Es tomada como referente en el presente estudio por la extensión y continuidad de sus registros además de que está localizada dentro de la zona de influencia del Humedal La Vaca y fue usada por el Acueducto y la Universidad Javeriana, para realizar el Plan de Manejo Ambiental (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).

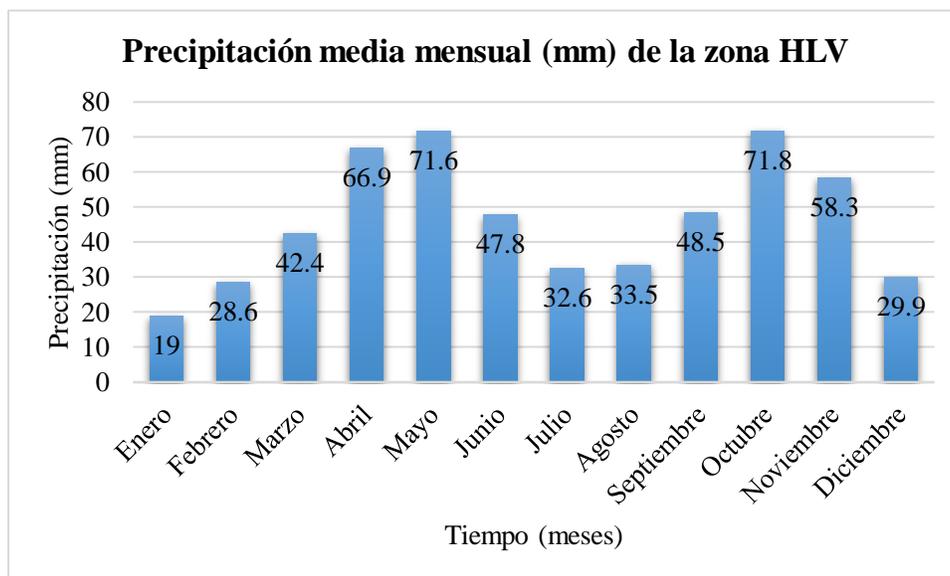


Figura 17. Precipitación media mensual en mm de la zona HLV.
Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009)

Al analizar la figura 17 la distribución de la precipitación se muestra de tipo bimodal con dos periodos húmedos alternados con dos periodos secos. Las mayores precipitaciones ocurren entre abril y mayo, y de septiembre a noviembre. Mientras que los periodos más secos se presentan de diciembre a marzo y de junio a agosto. También es posible evidenciar que el mes más seco es enero con 19 mm y el más lluvioso es octubre con 71,8 mm, resaltando la continuidad de los eventos de precipitación indicando que no existe ningún periodo de completa sequía.

Un factor importante a tener en cuenta considerando el uso proyectado al suministro de jardines verticales e incluso labores de lavado es la calidad del agua lluvia, si bien en el presente proyecto no se hicieron análisis de laboratorio asociados a la calidad del agua lluvia, la localidad de Kennedy en Bogotá D. C. se caracteriza por tener problemas asociados a la calidad del aire, es allí cuando en un evento de lluvia se

lavan los contaminantes suspendidos en la atmosfera. Desde otra perspectiva, (Torres, y otros, 2011) analizan la calidad de la escorrentía en techos de Soacha y de dos barrios de la localidad de Kennedy: Villa Alexandra y Acacias, ambos ubicados entre la zona de influencia del Humedal La Vaca y el Río Bogotá. Obteniendo como resultado que no es apta para usos domésticos presentando altos valores de turbiedad y altas concentraciones en SST, DBO5 y metales pesados. Es importante considerar que los resultados variaron en función de: los materiales de los techos de las casas en las que se muestreó, el componente espacial y el componente temporal. Concluyendo que el agua lluvia de escorrentía sobre tejados podría ser adaptada a algunos a usos restringidos como labores de limpieza. Dicha investigación, permite sentar una base para la presente propuesta, donde además de tener en cuenta el interceptor de primeras aguas en el diseño (8.1.5.6 y 10.3), se recomienda para futuras investigaciones llevar a cabo un análisis de las aguas lluvias en Corabastos e incluir un tratamiento al agua en caso de que sea necesario.

10.2.2 Análisis de los eventos de riesgo por inundación

Las inundaciones en zonas urbanas se han venido estudiando primordialmente con el propósito de enfrentar problemas críticos como daños materiales, pérdidas humanas, áreas afectadas, impactos ambientales y perdidas económicas causadas por ese fenómeno en las grandes ciudades. En este sentido las metodologías se centran principalmente en la relación que tiene el centro urbano con la red hidrográfica natural. La evaluación del riesgo en sistemas de drenaje urbano se ha estudiado a partir de la amenaza causada por los eventuales desbordamientos de sus ríos (Ashley, Garvin, Pasche, Vassilopoulos, & Zevenbergen, 2007). Como ya se había hecho mención en el apartado 7.2.3 y 7.5.1 el nivel de riesgo de inundación que presenta la Localidad de Kennedy aunado a la presión que ejerce el cambio climático sobre la dinámica de las precipitaciones abre el paso al aprovechamiento de este recurso donde además de mitigar el riesgo con tanques de almacenamiento se contemple el abastecimiento de estructuras como techos verdes y jardines verticales.

Utilizando la base de datos del IDIGER, se realizó un filtro de los eventos de inundación que se han presentado en la localidad de Kennedy con el paso del tiempo (Tabla 10).

Tabla 10. Reportes de eventos de inundación y barrios afectados en la localidad de Kennedy.

Año	Número de reportes de eventos de inundación	Barrios afectados en la Localidad de Kennedy
1921	1	El Tintal
1938	1	El Vergel
1945	1	El Tintal
1955	1	Localidad de Kennedy
1960	1	Las Delicias
1965	1	Localidad de Kennedy
1968	1	Localidad de Kennedy
1973	2	Las Delicias
1975	2	Las Torres, Class, Las Vegas
1979	11	Chucua de La Vaca, Las Delicias, El Vergel, Patio Bonito, Saucedal, Tairona, Campo

Año	Número de reportes de eventos de inundación	Barrios afectados en la Localidad de Kennedy
		Hermoso, Tocarema, Paraíso, Patio Bonito II, Patio Bonito III, El Llanito.
1980	1	Patio Bonito
1981	2	Gran Britalia I
1982	1	Patio Bonito
1983	1	Tintalito
1984	1	Casablanca, San Carlos.
1986	1	Patio Bonito
1987	2	El Vergel, Patio Bonito.
1988	3	El Rubí, Patio Bonito.
1989	2	Villa Alsacia, Localidad de Kennedy.
1991	2	Patio Bonito, Carimagua, El Paraíso, Kennedy, Saucedal, Milenta.
1992	1	Las Torres, Patio Bonito.
1993	5	El Vergel, El Amparo, Localidad de Kennedy, Dintalito, Las Vegas, María Paz, Patio Bonito, Sumapaz, Saucedal.
1994	1	Patio Bonito
1995	2	Roma, Castilla, Sumapaz, Patio Bonito.
1996	3	Localidad de Kennedy, Patio Bonito.
1997	5	Carvajal, Patio Bonito.
1998	3	Patio Bonito, Localidad de Kennedy, Saucedal.
2000	1	Saucedal.
2002	5	Localidad de Kennedy, Tíntala, Patio Bonito, Tintalito, Villa de la Loma, Llano Grande, Las Acacias, San Carlos, El Vergel, Saucedal, El Amparo, Cañizales.
2003	1	Bavaria
2006	4	Localidad de Kennedy, Patio Bonito, Santa Liliana, Andalucía, El Vergel.
2007	2	Corabastos, Américas Occidental, El Vergel, Villa Alsacia.
2009	1	Localidad de Kennedy
2011	1	Localidad de Kennedy
2013	1	Localidad de Kennedy
2016	2	Localidad de Kennedy
2017	2	Localidad de Kennedy
2018	1	Localidad de Kennedy

Fuente: Elaboración propia, filtro de la base de datos del IDIGER.

Como resultado se generó el gráfico ilustrado en la figura 18 que asocia los registros de inundaciones desde el año 1921 al año 2018, evidenciándose que el riesgo ha sido constante hasta la actualidad; posiblemente debido a la poca planeación con la que se organizaron estos barrios asentándose ilegalmente en la zona. Resaltando barrios como Patio Bonito y Tintalito que están localizados justo en las proximidades del Humedal La Vaca y presentan eventos de inundaciones continuos a lo largo del tiempo hasta la actualidad.

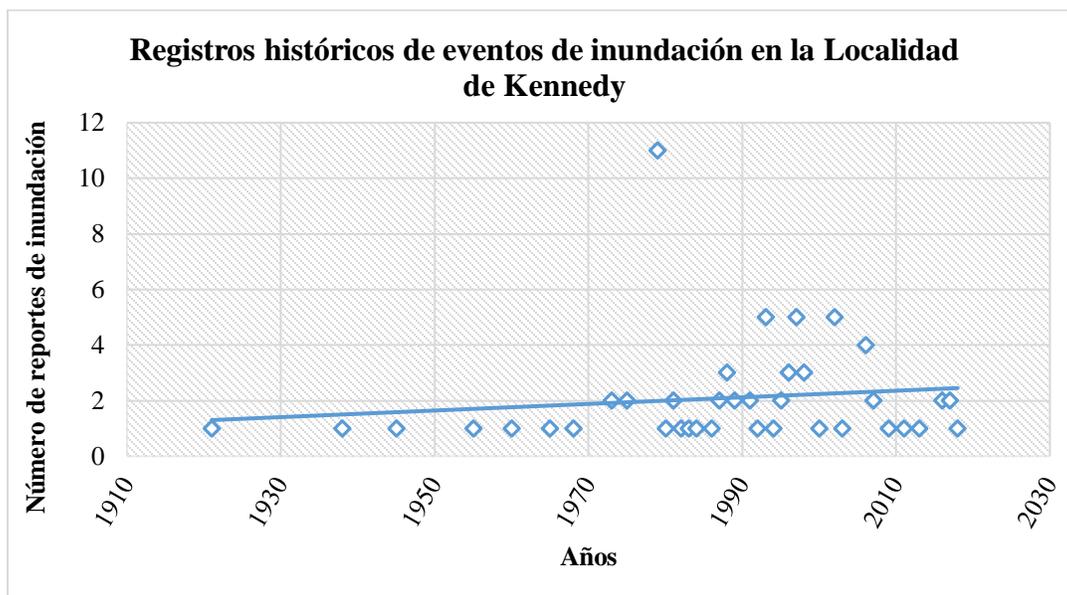


Figura 18. Registros históricos de eventos de inundación en la localidad de Kennedy entre los años 1921-2018.

Fuente: Adaptado de base de datos del IDIGER, Autor.

Es trascendental tener en cuenta que el dato del año 1979 correspondiente a 11 reportes, representan una serie de emergencias que se dieron en el mes de noviembre en más de 20 barrios de Bogotá con cerca de 35 mil evacuados. En ese orden de ideas, a pesar de las adecuaciones al acueducto y alcantarillado que ha realizado el distrito, cobra especial importancia los efectos del cambio climático y la crucial función hidrológica que tienen los humedales distritales con su capacidad para amortiguar estos eventos climáticos extremos.

Al analizar las cuatro cuencas de drenaje en las cuales se divide la ciudad de Bogotá correspondientes a los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo que transcurren principalmente en sentido oriente-occidente y Torca que transcurre en sentido sur – norte, y entregan al Río Bogotá como receptor principal. Es posible evidenciar (ver figura 19) que en Bogotá el agua fluye desde los Cerros Orientales por Quebradas, ríos, humedales hasta el Río Bogotá, atravesando de oriente a occidente la ciudad (IDIGER, 2018). Es decir, que el riesgo de inundación aumenta conforme la cercanía que se tenga a estos principales cuerpos de agua, y, por otro lado, es posible deducir que si se intercepta y aprovecha el agua lluvia justamente en la zona donde se ubica Corabastos se mitiga de manera inmediata el porcentaje de escorrentía que amenaza a los barrios bajos de la localidad que se encuentran en amenaza alta de inundación (ver figura 20).



Figura 19. Sistema hídrico de Bogotá. Panorámica de quebradas, ríos, humedales, Río Bogotá.

Fuente: (IDIGER, 2018).

Como principal antecedente además de la emergencia en 1979 de la problemática en la zona, se tiene que, en diciembre de 2011, ocurrió el desbordamiento del Río Fucha por la estación elevadora de Fontibón y, después de llenar el Canal Pondaje de Cundinamarca, por reflujo el agua salió inundando las partes más bajas de Kennedy y Bosa; resultando en más de 1.500 predios equivalente a cerca de 7.000 personas damnificadas por aguas de cañerías en donde se declaró el estado de emergencia durante 4 días por parte de la alcaldía de ese momento (Barragán & Sierra, 2013). Al día de hoy (2019) la Localidad de Kennedy cuenta con el 100% de la cobertura del servicio de acueducto, tras años en los que diferentes barrios informales pasaron a ser legales (Consejo Local de gestión del Riesgo y Cambio Climático, 2018).

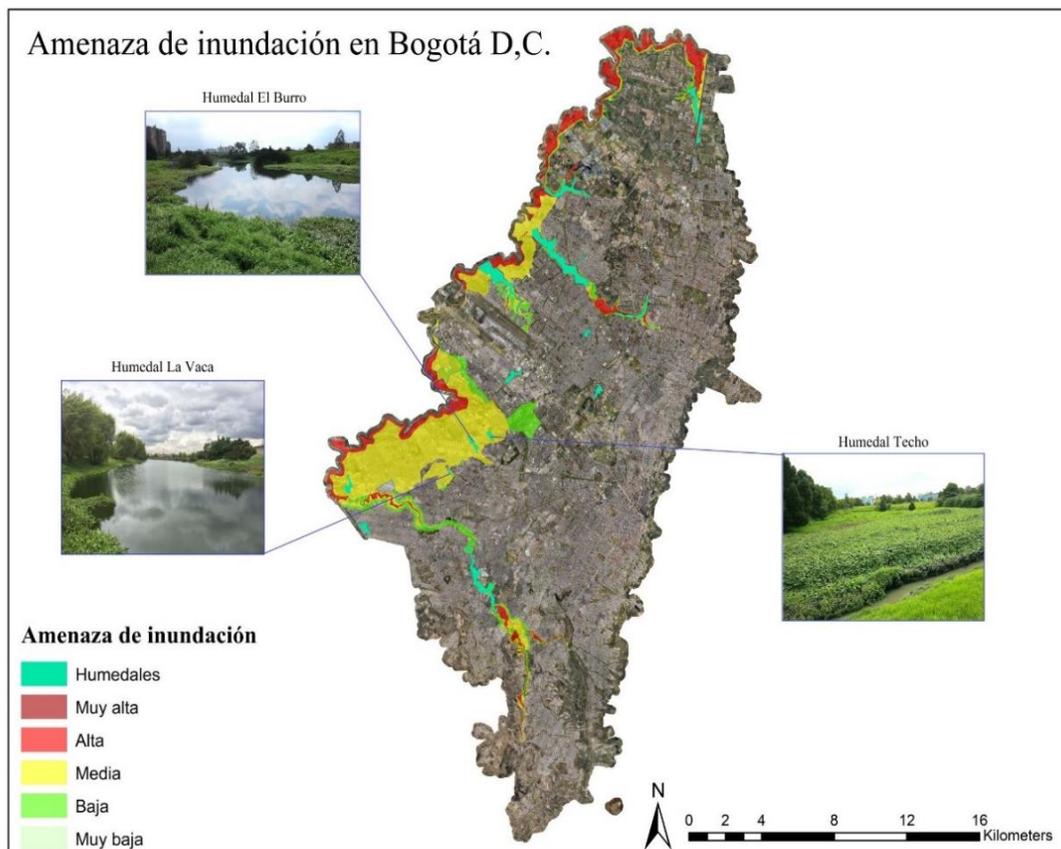


Figura 20. Amenaza de inundación en Bogotá.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (IDECA, 2018).

10.2.3 Análisis de curva IDF, determinación del caudal de diseño:

Para el cálculo del caudal de diseño según la norma NS 085 del acueducto de Bogotá se toma la ecuación 1 del método racional señalada en el apartado 8.1.5.4 donde: Para resolverla con mayor precisión se toma C (coeficiente de escorrentía) utilizando los valores de la NS 085 del acueducto de Bogotá.

Tabla 11. Coeficientes de escorrentía. Norma NS 085, Acueducto de Bogotá.

Tipo de superficie	C
ZONAS URBANIZADAS (Áreas residenciales, comerciales, industriales, vías, andenes, etc...)	
Cubiertas	0,85
Superficies en asfalto	0,80
Superficies en concreto	0,85
Superficies adoquinadas	0,75
Vías no pavimentadas y superficies con suelos compactados	0,60
ZONAS VERDES (Jardines, parques, etc...)	
Terreno plano (Pendiente menor al 2%)	0,25
Terreno promedio (Pendiente entre el 2% y el 7%)	0,35
Terreno de alta pendiente (Pendiente superior al 7%)	0,40

Fuente: (EAAB, 2017)

El coeficiente de escorrentía, al ser una cubierta convencional se tomó como 0,85 basados en la norma del acueducto de Bogotá NS 085.

Por otro lado, i (intensidad de la lluvia) se calculó mediante los coeficientes de las curvas IDF, que son datos resultado de la triangulación y estadística de datos de aguaceros estimados de acuerdo a los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas al sitio de diseño para elaborar las curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia) de las tormentas (Forero, 2017), esto lo realiza el equipo de ingeniería especializada del acueducto de Bogotá el cual suministró dichos datos para el presente proyecto (véase el Anexo 5). Se procedió a hallar dicho valor de la siguiente forma:

Tabla 12. Coeficientes ecuación IDF para las coordenadas: 4°37'52"N 74°9'34"W (HLV).

Id	Punto (E,N) EPSG:3116	Tiempo de retorno 3 años			Tiempo de retorno 5 años			Tiempo de retorno 10 años			Tiempo de retorno 25 años			Tiempo de retorno 50 años			Tiempo de retorno 100 años		
		C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2
0	990958,1003849	2093.42	20.6	-1.01687	2533.95	20.1	-1.02720	3151.29	19.9	-1.03933	4162.61	20.6	-1.05952	4695.90	20.6	-1.06145	5301.76	20.5	-1.06680

Fuente: Equipo de ingeniería especializada del acueducto de Bogotá.

Al existir población viviendo en la zona (sector urbano), como factor de protección se calculó un caudal de diseño para una tormenta con un periodo de retorno de 3 años para realizar el cálculo de las estructuras hidráulicas de manera que soporten un aguacero de esta magnitud. Entonces, la intensidad se calcula en base a los coeficientes proporcionados por la empresa de acueducto de Bogotá en la tabla 12, y la duración se estimó haciendo uso de la fórmula de (Biblioteca Atrium de las Instalaciones, 1992), dando como resultado un valor de 7,2 minutos para la cubierta 1 y 8,3 minutos para la cubierta 2.

Ecuación 7. Intensidad de lluvia en las cubiertas 1 y 2.

$$I_1 = 2093,42(7,2 + 20,6)^{-1,01687}$$

$$I_1 = (71,1951 \text{ mm/h ha}) * 2.78 = 197,9225 \text{ L/s ha}$$

$$I_2 = 2093,42(8,3 + 20,6)^{-1,01687}$$

$$I_2 = (68,4405 \text{ mm/h ha}) * 2.78 = 190,2645 \text{ L/s ha}$$

El valor calculado con esta fórmula de intensidad, da en unidades de milímetro/Hora*Hectárea, por lo cual debe multiplicarse por un factor de conversión de 2,78 para que quede en unidades litro/segundo*Hectárea para poder usar la intensidad en la fórmula del método racional, método que pide el valor en estas unidades para dar el caudal final en unidades de litros por segundo (Forero, 2017). En ese orden de ideas, se obtiene una intensidad de 197,9225 L/s*ha y 190,2645 L/s*ha respectivamente.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se procede a reemplazar en la ecuación 1 considerando cada una de las áreas de las cubiertas seleccionadas para el respectivo jardín vertical:

Para la cubierta 1, relativa a los jardines verticales de las zonas 1 y 2, el caudal de diseño está determinado por las ecuaciones 8 y 9:

Ecuación 8. Caudal de diseño para la cubierta 1.

$$Q_1 = 0.85 \times 197,9225 \text{ L/s} * \text{ha} \times 0,1633 \text{ ha}$$
$$Q_1 = 27,4726 \text{ L/s}$$

Por otro lado, para la cubierta 2, relativa al jardín vertical de la zona 3 el caudal de diseño está determinado por:

Ecuación 9. Caudal de diseño para la cubierta 2.

$$Q_2 = 0.85 \times 190,2645 \text{ L/s} * \text{ha} \times 0,3383 \text{ ha}$$
$$Q_2 = 54,7115 \text{ L/s}$$

Dicho caudal de diseño permite conocer la estructura de drenaje y conducción de agua lluvia que debe estar según la norma NS 085 preparada para soportar un aguacero con un periodo de retorno de 3 años.

10.3 Objetivo específico 3.

“Realizar el diseño hidrológico del sistema de aprovechamiento de agua lluvia considerando el alcance, aplicabilidad y funcionalidad de los SUDS para buscar la seguridad hídrica y disminución del riesgo de inundación.”

Para el diseño hidrológico del Sistema Urbano de Drenaje Sostenible se tomó como base la NS-085 y la NS-166; además de los lineamientos que dan los siguientes referentes: (CEPIS, 2004), (CAMACOL, 2015) y (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011).

10.3.1 Análisis de oferta y demanda

Primero se propondrán dos tanques de almacenamiento ubicados estratégicamente en función de la cercanía a los jardines verticales y a la zona directa del HLV. Para su dimensionamiento se utilizaron las áreas de los techos seleccionados, la precipitación media mensual de la zona, el coeficiente de escorrentía tomado de la NS-085 y se incorporó a un análisis de oferta y demanda para estimar las dimensiones que tendría el tanque para soportar el máximo de lluvia disponible. Teniendo en cuenta que los jardines verticales tienen las siguientes características, figura 21:

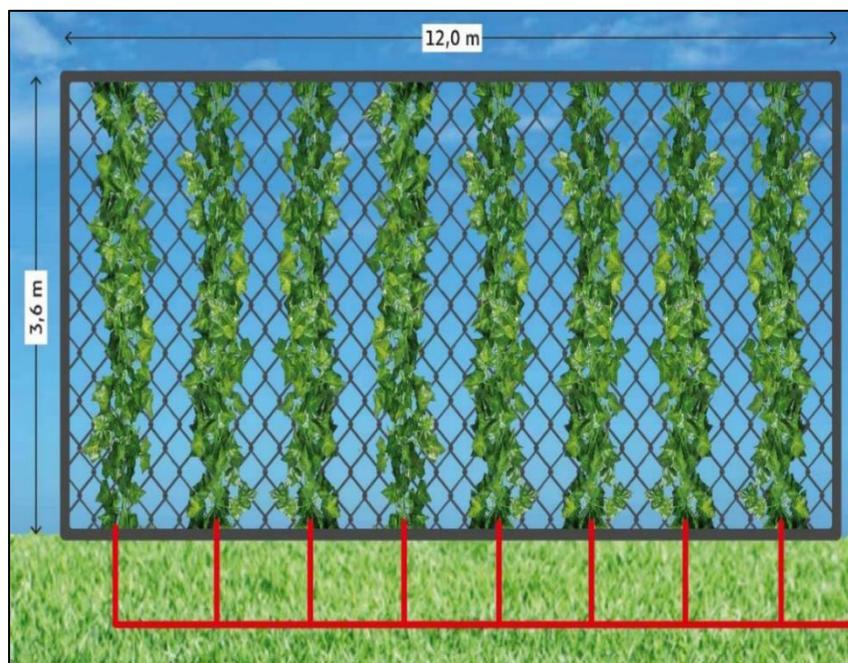


Figura 21. Dimensiones de los jardines verticales en el Humedal La Vaca.
Fuente: Universidad Libre, (González, 2018).

Los tres jardines verticales tienen las mismas dimensiones con un área de $43,2 \text{ m}^2$ cada uno. Se componen de ocho plantas (enredaderas) de las especies: *Uncaria guianensis* conocida como ña de gato y *Fagonia cretica* conocida como manto de María. Los requerimientos hídricos de las enredaderas básicamente se componen de 2 a 3 riegos por semana. Los estudiantes de la Universidad Libre calcularon una demanda de 21 mm por planta a la semana (González, 2018); a partir de dicho dato, se procedió a consolidar el siguiente análisis de oferta y demanda en la tabla 13 para los jardines verticales de las zonas 1 y 2; y en la tabla 14 para el jardín vertical de la zona 3:

Tabla 13. Análisis de oferta y demanda hídrica para los jardines verticales de las zonas 1 y 2 – Cubierta 1.

Meses	Precipitación media mensual (mm)	Precipitación media mensual (L/ha)	Área de captación (Hectáreas)	Litros de escorrentía mensual, con un C (0.85) según NS 085	Necesidades de agua por 2 jardines verticales (mm/mes) (16 plantas)	Demanda de agua para otros usos* (litros/mes)	Total de agua demandada (litros/mes)	Diferencia entre los litros aprovechables y los litros consumidos al mes	Litros acumulados
Enero	19	190000	0.163365	26383.45	2419.2	39500	41919.2	-15535.75	-18140.91
Febrero	28.6	286000		39714.03				-2205.17	
Marzo	42.4	424000		58876.75				16957.55	
Abril	66.9	669000		92897.51				50978.31	
Mayo	71.6	716000		99423.94				57504.74	
Junio	47.8	478000		66375.20				24456.00	
Julio	32.6	326000		45268.44				3349.24	7948.23
Agosto	33.5	335000		46518.18				4598.98	
Septiembre	48.5	485000		67347.22				25428.02	
Octubre	71.8	718000		99701.66				57782.46	
Noviembre	58.3	583000		80955.53				39036.33	
Diciembre	29.9	299000		41519.21				-399.99	

Disponibilidad pluvial	Color
Alta	
Media	
Baja	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Análisis de oferta y demanda hídrica para los jardines verticales de la zona 3 – Cubierta 2.

Meses	Precipitación media mensual (mm)	Precipitación media mensual (L/ha)	Área de captación (Hectáreas)	Litros de escorrentía mensual, con un C (0.85) según NS 085	Necesidades de agua por 1 jardín vertical (mm/mes) (8 plantas)	Demanda de agua para otros usos* (litros/mes)	Total de agua demandada (litros/mes)	Diferencia entre los litros aprovechables y los litros consumidos al mes	Litros acumulados
Enero	19	190000	0.33823	54624.15	1209.6	85000	86209.6	-31585.46	-35819.79
Febrero	28.6	286000		82223.71				-3985.89	
Marzo	42.4	424000		121898.09				35688.49	312663.81
Abril	66.9	669000		192334.49				106124.89	
Mayo	71.6	716000		205846.78				119637.18	
Junio	47.8	478000		137422.85				51213.25	
Julio	32.6	326000		93723.53				7513.93	
Agosto	33.5	335000		96310.99				10101.39	254838.16
Septiembre	48.5	485000		139435.32				53225.72	
Octubre	71.8	718000		206421.77				120212.17	
Noviembre	58.3	583000		167609.88				81400.28	-248.45
Diciembre	29.9	299000		85961.15				-248.45	

Disponibilidad pluvial	Color
Alta	
Media	
Baja	

Fuente: Elaboración propia.

Las necesidades de agua por cada jardín se obtuvieron a partir de la siguiente relación, considerando un área de riego con un ancho de 1,2 metros:

Ecuación 10. Relación necesidades de agua por cada jardín

$$\frac{21 L}{m^2 sem} \times 14,4m^2 \times \frac{4sem}{1 mes} = 1209,6 L/mes$$

Además de dicha relación, también se tuvieron en cuenta las siguientes especificaciones:

*Se asume que la demanda para otros usos, tendrá un volumen aproximado disponible para actividades como: labores de limpieza, sanitarios, orinales, riego, lavado de fachadas y pisos, entre otros.

A partir de las tablas 13 y 14, es posible evidenciar que los meses que tienen una precipitación media mensual baja que corresponden al periodo seco (señalados en rojo) justamente son los que presentarían déficit hídrico para los usos requeridos. Es decir, para el caso de la cubierta 1, tendría un déficit total de $18,5 m^3$ acumulados en los meses de diciembre, enero y febrero; y por otro lado, para el caso de la cubierta 2, se tendría un déficit acumulado de $45,9 m^3$ para los mismos meses. Sin embargo, dicho déficit se compensa con el acumulado de los meses anteriores que, al ser lluviosos (señalados en verde), presentan ofertas hídricas muy grandes. Esto muestra que el sistema sería aplicable y funcional; siempre y cuando al agua almacenada se le dé un monitoreo y manejo en términos de su calidad. En otro orden de ideas, si se considera la demanda hídrica que requieren los jardines verticales, se evidencia que se podría darles el suministro al 100% y en los meses secos se podría limitar el consumo asociado a los “otros usos” de manera que no se tengan problemas con el déficit, que, en términos generales, comparado con los litros acumulados disponibles, no sería muy grande.

Ahora bien, para los casos particulares de julio y agosto que presentan precipitaciones medias mensuales intermedias (señaladas en amarillo), tras realizar el análisis de oferta y demanda se encuentran cercanos al déficit; si se tiene en cuenta la variabilidad climática (7.2.1 y 7.3), es posible que, para algunos años, en dichos meses no se tenga disponibilidad de agua. En consecuencia, aplicarían los mismos términos mencionados anteriormente donde los meses anteriores suplirían la demanda hídrica.

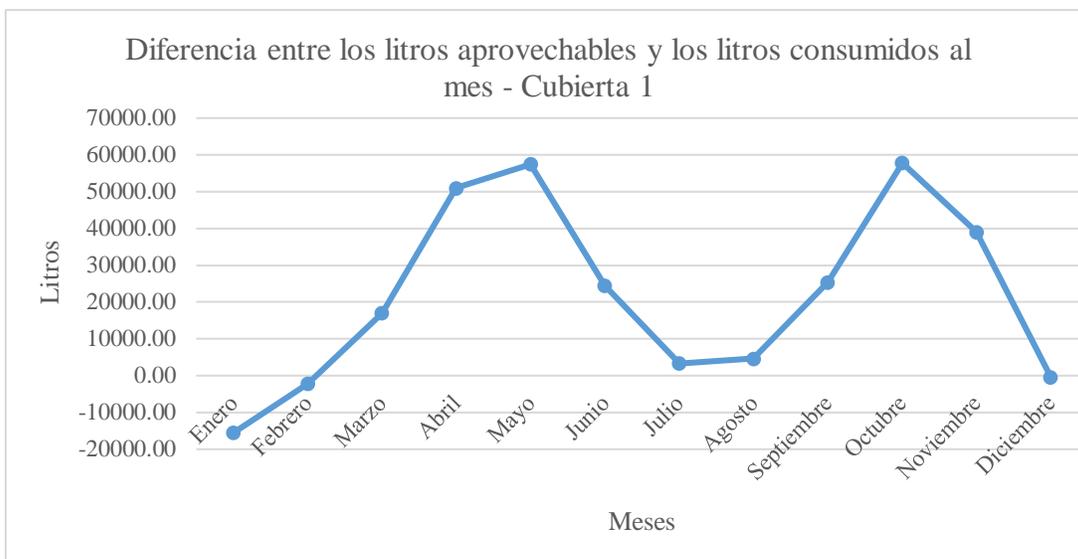


Figura 22. Diferencia entre los litros aprovechados y los consumidos asociados a la cubierta 1. Fuente: Elaboración propia.

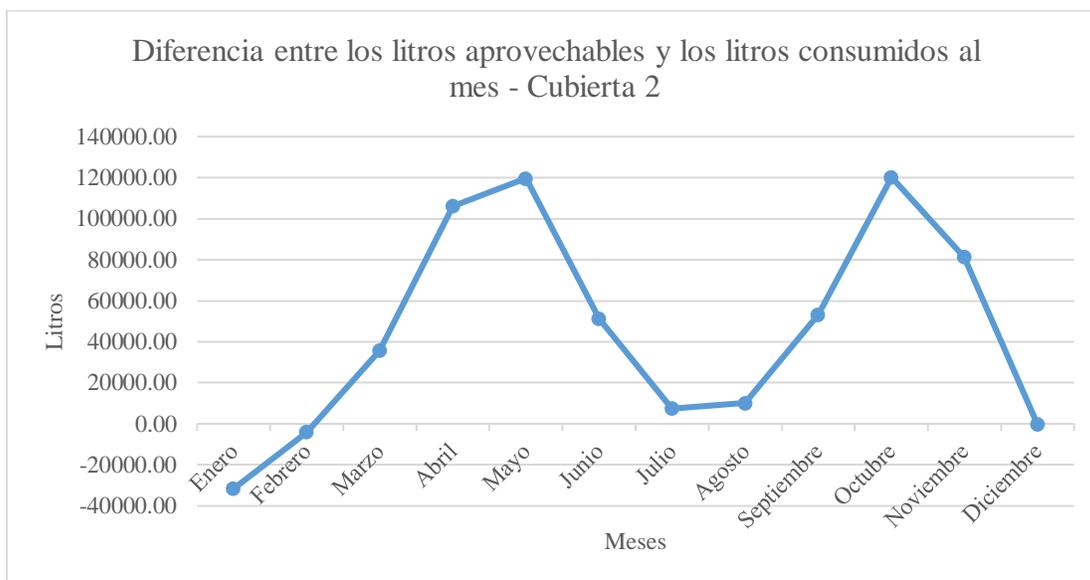


Figura 23. Diferencia entre los litros aprovechados y los consumidos asociados a la cubierta 2. Fuente: Elaboración propia.

10.3.2 Dimensionamiento de tanques de almacenamiento

El dimensionamiento de los tanques de almacenamiento, se realiza entonces, de manera que tengan la capacidad de almacenar la mayor cantidad de agua lluvia disponible tomando como referencia el mes de máxima precipitación y la diferencia entre los litros aprovechables y los litros consumidos como lo muestran las figuras 22 y 23, para ello se procede a tomar el mes de octubre; donde el primer tanque asociado a la cubierta 1 tendría una capacidad de 60 m³ y el segundo tanque asociado a la cubierta 2 tendría una capacidad de 120 m³. A continuación, se presenta el pre diseño en el software Pipe Flow en las figuras 24 y 25:

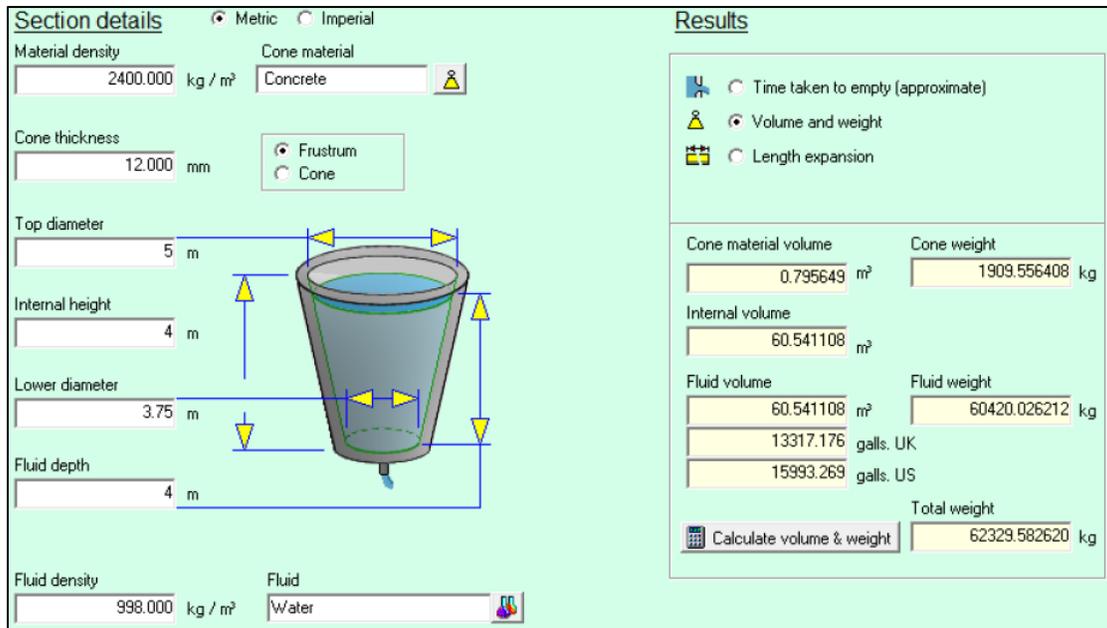


Figura 24. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 1.
Fuente: Elaboración propia en Pipe Flow.

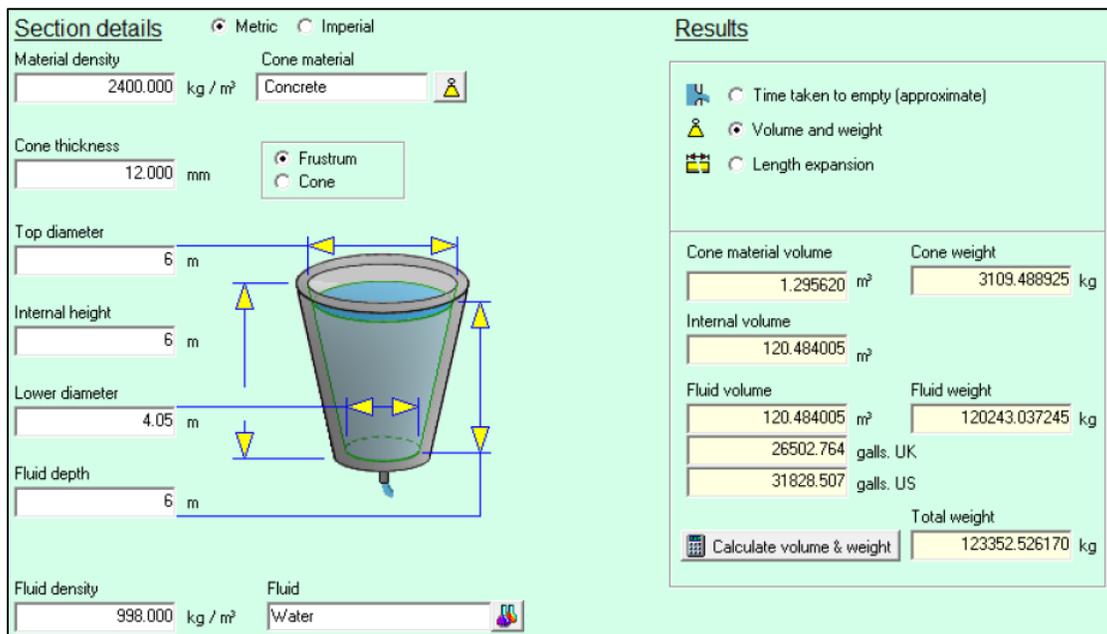


Figura 25. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 2.
Fuente: Elaboración propia en Pipe Flow.

10.3.3 Trampa de sólidos

Dado a que lo que se busca es la mayor cantidad de agua colectada posible, se adaptó una alternativa al interceptor de primeras aguas (8.1.5.6); considerando una trampa de sólidos antes de que el agua llegue al tanque de almacenamiento como se ilustra en la figura 26 este estará sujeto a las canaletas diseñadas más adelante y contarán con su correspondiente válvula inferior, de manera que se puedan lavar las primeras aguas y eliminar materiales indeseados como restos de hojas.

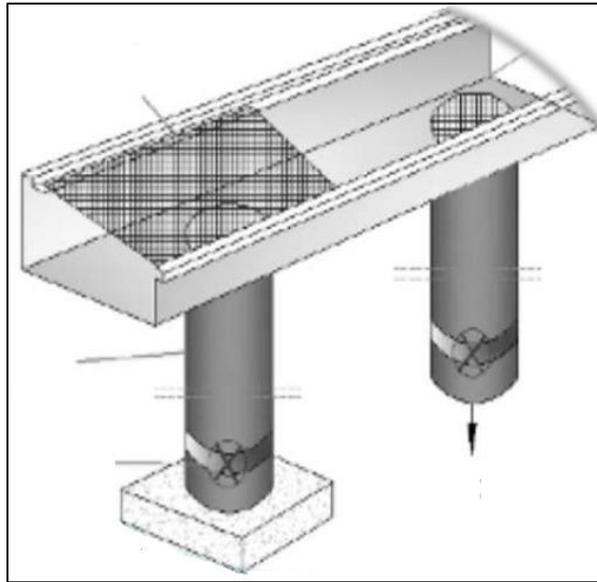


Figura 26. Trampa de sólidos sujeta al sistema de colección.

La rejilla en algunas secciones de la canaleta podría ayudar a reducir el volumen de materiales indeseados en el agua que se está recolectando. Esta puede ser malla tejida de acero inoxidable con la capacidad para filtrar partículas de diámetro igual o menor a 4 mm.

Es importante considerar que las actividades sujetas al mantenimiento del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, requieren del control y monitoreo constante del personal ya sea de la administración del Humedal La Vaca o de Corabastos, con el fin de mantener en óptimas condiciones las estructuras y evitar problemas de saneamiento y desgaste de las mismas. Por ende, dentro del plan de mantenimiento y adecuación a las estructuras de Corabastos se sugiere incluir un apartado relacionado al sistema de aprovechamiento de agua lluvia propuesto y al complejo de techos verdes, para ejecutarlo cada cierto tiempo.

10.3.4 Dimensionamiento de tuberías

Para el dimensionamiento de las tuberías y canales, se tomó como base la fórmula de Darcy-Weisbach, que relaciona las pérdidas de la energía del flujo de agua desde que sale de la bomba, hasta que llega al punto de suministro, se consideran factores como el número de accesorios (codos, T's) y las perdidas por fricción también relacionadas a las longitudes a alcanzar. En la figura 27, se muestra la propuesta de los lugares por donde pasaría la tubería, se dispuso de esta forma, de manera que se tenga la mayor continuidad posible y en miras de asegurar el menor impacto al HLV; teniendo en cuenta que en el mismo se realizan actividades de caminatas y educación ambiental, por lo tanto, se procuró no interferir con los senderos.



Figura 27. Sistema de captación, conducción y almacenamiento de agua lluvia en el HLV.
 Fuente: Elaboración propia.

Para conocer las pérdidas de carga hidráulica debido a la fricción y accesorios a lo largo de la tubería se empleó la ecuación de Darcy-Weisbach aplicada en las tablas 15 y 16 para cada uno de los tramos asumiendo un caudal de 0,0028; con la sumatoria de las mismas fue posible seleccionar la bomba con la capacidad adecuada. Un criterio utilizado para la propuesta fue adaptar el diámetro de la tubería de manera que la velocidad media del agua al interior de la tubería no pasara de 2 m/s.

Tabla 15. Pérdidas por fricción y por accesorios usando la ecuación de Darcy-Weisbach para la red de tubería 1.

Tramo de tubería	Longitud (m)	Diámetro (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	EK	Pérdidas por accesorios ha	Perdidas por fricción hf	Caudal Q (m ³ /s)
								0.0028
1-2	4.00	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.1342		K1 (T's) 1.38
2-3	88.00	0.0254	0.0005	5.5259	1.5563		15.0977	K2 (Codos) 0.69
3-4	0.00	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671		
4-5	84.14	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973		0.4511	
5-6	0.00	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671		
6-7	30.73	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	1.0739	0.1648	
7-8	0.00	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671		
8-9	5.40	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973		0.0290	
9-10	0.00	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671		
10-11	30.00	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973		0.1608	
11-12	0	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671		
12-13	26.6	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973		0.1426	
13-14	0	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671		
14-15	6.9	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973		0.0370	
15-16	0	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671		
16-17	3.4	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973		0.0182	
17-18	0	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671		
18-19	18	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	1.0739	0.0965	Total pérdidas (m)
Total	297.17					2.8189	16.1976	19.0166

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Pérdidas por fricción y por accesorios usando la ecuación de Darcy-Weisbach para la red de tubería 2.

Tramo de tubería	Longitud (m)	Diámetro (m)	Área (m ²)	Velocidad (m/s)	EK	Pérdidas por accesorios ha	Perdidas por fricción hf	Caudal Q (m ³ /s)	
								0.0028	
1-2	7.00	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.1342		K1 (T's)	1.38
2-3	25.62	0.0254	0.0005	5.5259	1.5563		4.3955	K2 (Codos)	0.69
3-4	0.00	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	0.0671			
4-5	15.50	0.0508	0.0020	1.3815	0.0973	1.0739	0.0831	Total pérdidas (m)	
Total	48.12					1.2752	4.4786	5.7538	

Fuente: Elaboración propia.

El diámetro para obtener las menores pérdidas de carga hidráulica debido a los accesorios utilizados (T's y codos) se fijó en 2" (0,0508 m) para ambos sistemas de tuberías (a excepción de la sección descarga que debe ser de 1" (0,0254) para poder adaptarse a la bomba), asegurando velocidades de 1,38 m/s aproximadamente, cumpliendo con el criterio de diseño anteriormente mencionado. Obteniendo así un total de 19.0166 metros y 5.7538 metros de pérdidas respectivamente. Todo esto con el fin de asegurar la integridad del sistema en caso de darse un evento masivo de precipitación. Por otro lado, las tuberías fueron dispuestas a la par de la estructura que delimita el humedal de manera que no se vean interceptados los senderos por donde transitan generalmente grupos de personas en actividades asociadas a la educación ambiental y a la administración del humedal en general.

10.3.5 Selección de la bomba

Con los valores de las pérdidas calculadas se procedió a encontrar la bomba con la capacidad adecuada en el sitio web de IHM (ver anexo 6), relacionando la altura total de pérdidas: 19.0166 metros y 5.7538 metros respectivamente con el caudal a tratar 10,08 m³/h. A continuación, en la tabla 17, se ilustran las referencias de las bombas seleccionadas:

Tabla 17. Especificaciones de las bombas para la conducción de agua pluvial en las tuberías 1 y 2.

Tubería 1		Tubería 2	
Bomba 1,1 / 2 A -1W		Bomba 1 A – 1/ 2W	
Motor	Monofásico	Motor	Monofásico
Potencia	1 HP	Potencia	1/2 HP
Voltaje	110/220 V	Voltaje	110/220 V
Velocidad	3500 RPM	Velocidad	3500 RPM
Peso	21.5 Kg	Peso	16.5 Kg
Dimensiones	0.45/0.24/0.27 Mts	Dimensiones	0.36/0.19/0.23 Mts
Ref.	63889F00A2	Ref.	63887000A2



Bomba Caracol Súper, tomado de (IHM, 2019).

Aplicaciones:

- Elevación de agua tanque bajo - tanque alto
- Transferencia de líquidos
- Sistemas de recirculación de agua
- Enfriamiento de moldes en pequeñas industrias
- Riego tipo jardín
- Fuentes de agua

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de: (IHM, 2019).

10.3.6 Dimensionamiento de canales

Dado a que las unidades estructurales seleccionadas no cuentan con canaletas que permitan recolectar y direccionar el agua a los tanques de almacenamiento, se procedió a dimensionarlos de manera que estén preparadas para soportar un evento de aguacero. Por medio de la fórmula de Manning se relacionó el caudal de diseño calculado anteriormente y la longitud que tendría la canaleta, nuevamente considerando que la velocidad al interior de la canaleta no sobrepase los 2 m/s. Haciendo uso del manual técnico de sistemas de canales y bajantes de PAVCO, se seleccionaron canal de tipo Amazona, especificaciones en el Anexo 7.

El canal Amazona PAVCO tiene una capacidad de 90 m² de cubierta, por cada bajante. Entonces la relación se plantea de la siguiente manera en la tabla 18 para ambas canaletas:

Tabla 18. Criterios de diseño para las canaletas de las cubiertas 1 y 2.

	Cubierta 1	Cubierta 2
Caudal de diseño	27.4726	54.7115
Diámetro	0.2540	0.2540
n (PVC)	0.0130	0.0130
Pendiente	0.0020	0.0080
Velocidad	0.5475	1.0951
Área	0.0507	0.0507
Caudal de corroboración	27.7446	55.4893

Fuente: Elaboración propia.

10.3.7 Factibilidad de techos verdes

Techos Verdes: Para dar respuesta a la pregunta de investigación: “¿De qué manera se podría promover el crecimiento verde de la zona de influencia del Humedal La Vaca en relación a la sostenibilidad del recurso hídrico?”: se diseñó el sistema de aprovechamiento de agua lluvia, anteriormente expuesto, como garante de un manejo eficiente del recurso hídrico en la zona de influencia del HLV contemplando usos como el suministro hídrico a jardines verticales, labores de riego, lavado de sanitarios o pisos de bodegas, entre otros. Por otro lado, al considerar la disminución de la escorrentía y la atenuación del caudal en eventos masivos de precipitación para reducir el riesgo de inundaciones se hará elección de otro Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS) partiendo de la gran cantidad de bodegas con las que cuenta Corabastos y se realizará un pre-diseño del mismo:

Elección del SUDS: Una vez contemplado el análisis de precipitación realizado anteriormente, la infraestructura urbana e hidrosanitaria de la zona y las condiciones socioecológicas que vinculan la Corporación de Abastos más grande del país con el Humedal La Vaca. Se contempla dentro del diseño hidrológico, como otro posible uso sostenible del recurso, la adecuación de Techos Verdes (también conocidos como Green Roofs) sobre cada una de las bodegas de Corabastos que constan de 31 secciones que suman un aproximado de 72180 m² (figura 30), algunas de las cuales podrían llegar a ser centros productivos de alimentos y a su vez contribuir como corredores ecológicos a la biodiversidad que está

vinculada al Humedal La Vaca, en su mayor parte fauna que se ha visto afectada a lo largo de los años por la fragmentación de su hábitat.

Con el valor agregado de los múltiples beneficios que traen este tipo de medidas estructurales dentro de los SUDS, como ya se mencionaba en el apartado 7.2.4.1. “Una cubierta vegetal puede reducir hasta el 60% de la escorrentía y hasta un 85% de la evacuación de aguas durante las dos primeras horas de una lluvia intensa” (Grupo Técnico de Techos Verdes, 2010). Según norma alemana DIN 1986 el coeficiente de desagüe de agua pluvial para superficies techadas ajardinadas con un mínimo de 10 cm de espesor, es de 0.3, significa que el caudal de desagüe es del 30% de la lluvia caída y el 70% queda retenida en la cubierta vegetal para ser desaguada con posterioridad o se evapora. Esto también, como medida de apoyo a la red hidrosanitaria para contrarrestar las posibles inundaciones en las zonas abordadas en el apartado 11.2, principalmente barrios como Patio Bonito, El Tintal, El Vergel y Tintalito.

Dentro del pre-diseño de los Techos Verdes sobre las bodegas de Corabastos se considerarán aspectos generales sujetos a una evaluación más detenida, para ello se siguieron los lineamientos de documentos como la Guía de Techos Verdes en Bogotá de la (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011), diseño y construcción de SUDS de (Castro, Rodríguez, & Sañudo, 2013), y recomendaciones del (Grupo Técnico de Techos Verdes, 2010).

Para empezar, se definió el tipo de techo verde de acuerdo a las condiciones de la zona del HLV, se propone que el techo verde sea autorregulado con el fin de lograr los propósitos planteados con el mínimo de materiales, inversión económica, y peso. Dentro de las funciones básicas de un techo verde autorregulado se encuentran retención de agua, disminución del volumen de escorrentía, atenuación del caudal de evacuación, aislamiento térmico y acústico (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011), como su nombre lo indica no requiere mayor intervención humana.

El estudio preliminar para consolidar el diseño definitivo debe considerar características técnicas del inmueble a intervenir en este caso la infraestructura de Corabastos, el propósito del techo verde que corresponde a disminuir el volumen de escorrentía y servir de corredor ecológico y finalmente factores climáticos y medioambientales que en términos generales corresponden a los ya evaluados en el Plan de Manejo Ambiental del Humedal La Vaca. En ese orden de ideas, se definieron los siguientes componentes:

10.3.7.1 Cobertura vegetal

Al ser el componente activo más importante del techo verde, se tuvieron en cuenta variables como el origen, potencial invasor, tipo de crecimiento de la planta, altura, propagación, rango altitudinal, clima, suelo, agua, requerimientos lumínicos, mantenimiento, entre otros. A continuación, en la tabla 19 se presenta un listado de algunas plantas sugeridas:

Tabla 19. Especies de flora sugeridas para la consolidación de techos verdes.

Nombre	Características	Ilustración
<p>Científico: <i>Kalanchoe blossfeldiana</i></p> <p>Común: Coralito o Calanchoe</p>	<p>Alcanza entre 30 y 40 cm de altura, sus requerimientos son mínimos dado a que requiere poco riego, necesita abundante luz y tolera la plena exposición solar.</p>	
<p>Científico: <i>Sedum sp.</i></p> <p>Común: Sedum, suculentas.</p>	<p>Alcanza entre 30 y 60cm, sus hojas tienen la capacidad de almacenar agua por lo que se adapta bien a la sequía. No requiere suelos profundos y el riego debe ser poco frecuente. Se debe plantar al sol en un lugar bien iluminado.</p>	
<p>Científico: <i>Lampranthus roseus</i></p> <p>Común: Clavel chino, rayito de sol</p>	<p>Alcanza hasta 40 cm de alto, admite cualquier terreno drenado, requiere de poco riego y resiste la sequía, tolera plena exposición solar y resiste hasta -6° C.</p>	
<p>Científico: <i>Tulbaghia fragans</i></p> <p>Común: Tulbagia</p>	<p>Alcanza entre 40 y 60 cm de alto, requiere de un riego mínimo, está indicada para sitios con plena exposición solar e incluso tolera las heladas moderadas.</p>	

Fuente: Elaboración propia, con base en: (Secretaría de Ambiente, 2015)

10.3.7.2 Componentes estables y medio de crecimiento

Se propone la tecnología modular galocha (véase el anexo 8, alusivo a (Ecotelhado, 2018)), dado a que tiene una alta capacidad de retención de agua y pesa solo 80 kg por m². Está hecho a partir de material reciclado de las industrias de calzado, empaques y textil. Es de poco mantenimiento ya que consta de una bandeja en polietileno de alta densidad que actúa como reserva de humedad y nutrientes para las plantas y cuenta con una capacidad de retención de agua lluvia de 20 litros por m², es decir que, si se implementa

la totalidad del área proyectada en la Figura 30, se obtendría una retención de 1'443.600 litros de agua lluvia por cada evento masivo de precipitación (aguacero) en la zona de Corabastos.

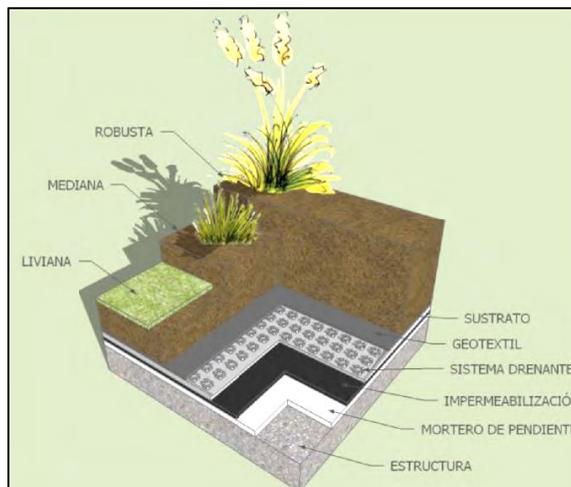


Figura 28. Componentes estables y medio de crecimiento de un techo verde.
Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011).

Se propone entonces, implementar un plan piloto sobre las bodegas 11, 22 y 26; las cuales fueron intervenidas y reestructuradas con teja nueva termo acústica tipo sándwich y la calidad del tejado es apto para adecuarse y soportar el peso del techo verde con los componentes estables y el medio de crecimiento ilustrado en la figura 28. Para posteriormente, dar paso al resto de bodegas con las adecuaciones pertinentes, teniendo en cuenta que, a largo plazo, presentaría grandes beneficios ecológicos para la zona.

10.3.7.3 Mantenimiento, seguimiento y proyección

En cuanto a la preservación y sostenibilidad ambiental y sanitaria para el año 2018, se tuvo una inversión total por el valor de \$878,472,941 pesos, destinados al servicio de control de vectores, instalación de mallas para el control de palomas para el sector de granos, servicio de vector para sondeo y succión de las redes de alcantarillado, terminación y puesta en funcionamiento del centro de clasificación de residuos sólidos (CCR) y la siembra de 113 especies con sistema de riego y protección en la zona arbórea y diferentes actividades en apoyo al Humedal La Vaca (Corabastos, 2018). Se resalta el compromiso y apoyo que ha tenido la Corporación de Abastos de Bogotá con el Humedal La Vaca, es necesario incentivar más inversiones como la mencionada anteriormente en propuestas como la abordada en el presente trabajo que tiene beneficios en todas las dimensiones.

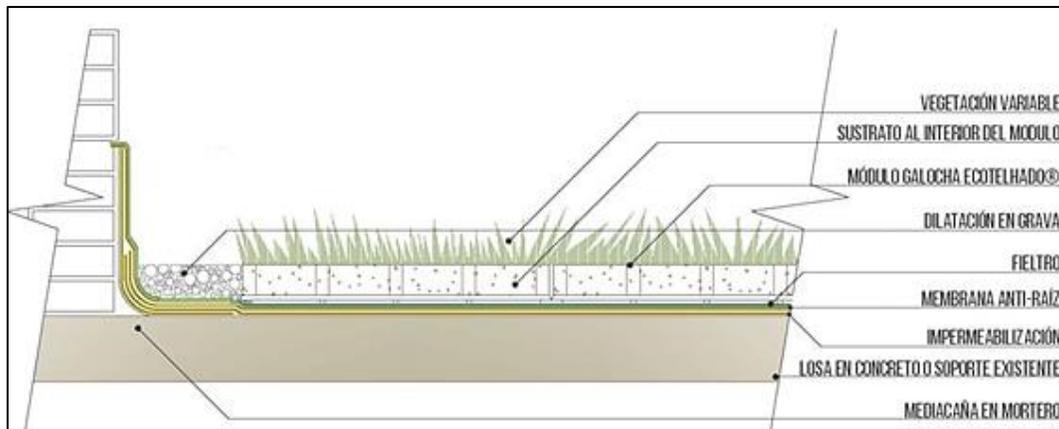


Figura 29. Sistema modular galocha.
Fuente: (Ecotelhado, 2018)



Figura 30. Proyección de 31 secciones de techo verde sobre la infraestructura de Corabastos.
Fuente: Elaboración propia.

La proyección de la figura 30, se realizó teniendo en cuenta de no cubrir la totalidad de la cubierta, destinando espacios para el flujo de la escorrentía y áreas transitables para realizar el respectivo mantenimiento. Es importante resaltar que el sistema modular galocha es muy liviano y lo ideal sería procurar una buena impermeabilización y una correcta adecuación de la membrana anti raíz con el fin de proteger la integridad de la estructura sin que el inmueble se vea afectado negativamente.

El impacto paisajístico como se muestra en la figura 31 muestra una consolidación robusta del corredor ecológico formado entre el parque Cayetano Cañizares y el Humedal La Vaca, sector norte y sector sur.

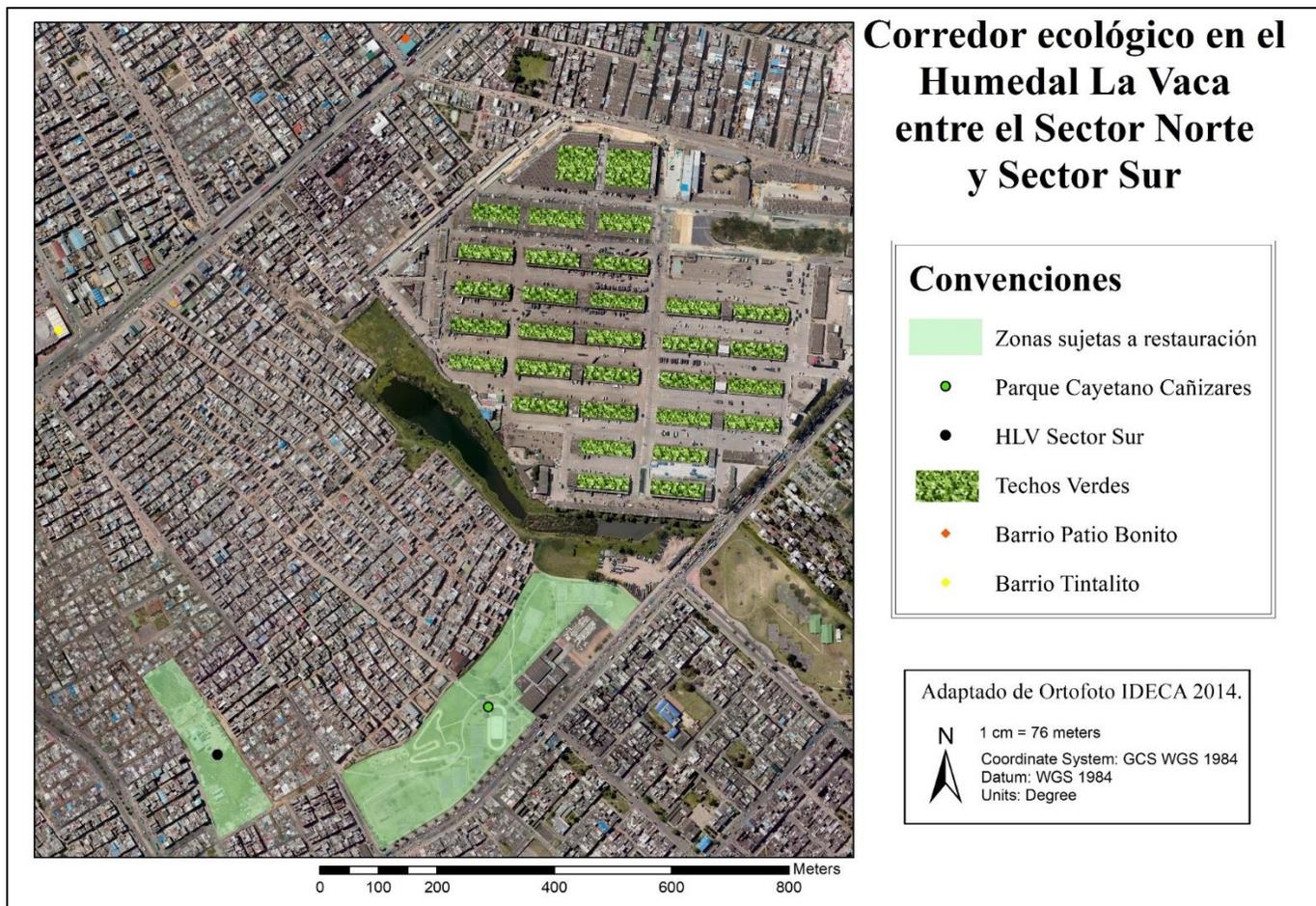


Figura 31. Corredor ecológico en el HLV entre sector norte y sector sur.

Fuente: Elaboración propia.

La fauna de los humedales se ha visto especialmente afectada precisamente por la fragmentación del hábitat, para el caso del Humedal La Vaca, ha tenido una restauración importante en las últimas décadas al punto de que ya se presentan avistamientos de avifauna.

Los humedales del distrito capital juegan un papel fundamental dentro de la estructura ecológica principal de Bogotá, no solo por la fauna endémica sino también debido a que Colombia se convierte en paso obligado de muchas especies de aves migratorias; entre la diversidad de aves a atraer con el aumento del parche ecológico ilustrado anteriormente y el espejo de agua del Humedal La Vaca, se encuentran especies como: el gorrión andino, la mirla, tingua de pico amarillo, tingua de pico rojo, varias especies de colibríes, gavilán bailarín, cucarachero común, turpial amarillo, garza ganadera, sirirí, entre otros abarcando cerca de 200 especies de aves en toda la sabana de Bogotá (Asociación Bogotana de Ornitología., 2000). Finalmente, si se deja de abordar el HLV como un elemento ecológico aislado, también es posible divisar beneficios a otros humedales aledaños como el humedal de Techo y el humedal El Burro que también hacen parte de la Localidad de Kennedy.

En cuanto al estudio preliminar de los costos asociados al sistema de aprovechamiento propuesto y sus posibles beneficios monetarios, se relacionan en la tabla 20 en pesos colombianos al año 2019 de acuerdo a la lista de precios de PAVCO y el portal CYPE Ingenieros S, A.:

Tabla 20. Estudio de posibles costos y beneficios monetarios.

Sistema	Descriptor	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)	Inversión (\$)	Agua lluvia aprovechada anual (m ³)	Valor consumo (m ³)	Costo ahorrado anual (\$)
SCAPT	Tubería 2"	209.12 m	11,900	2,488,528	18,518,178	1,537	8,010	12,311,370
	Tubería 1"	88 m	4,200	369,600				
	Codos	8	9,850	78,800				
	T's	24	12,500	300,000				
	Tanques	2	-	5,000,000				
	Canaletas	55	88,500	4,867,500				
	Conexiones	51	17,250	879,750				
	Bomba 1	1	523,000	523,000				
	Bomba 2	1	411,000	411,000				
	Personal	3	1,200,000	3,600,000				

Fuente: Lista de precios de PAVCO y tarifas EAAB.

De la tabla anterior es posible evidenciar que la inversión es recuperable en el primer año y medio de uso del sistema, por otro lado, muestra un costo ahorrado de cerca de 12'311.370 millones de pesos colombianos anuales con tan solo usar dos de las bodegas más pequeñas de Corabastos S, A, teniendo en cuenta el costo del m³ de agua asociado al servicio de acueducto y alcantarillado de la EAAB. Si se proyectan los SCAPT a las otras 31 bodegas cuya área disponible para captación directa de agua lluvia sería mucho mayor a la contemplada anteriormente, sin tener en cuenta el área proyectada para techos verdes mostrada en la figura 31 que aún también contribuirían dado a que la descarga de agua lluvia después de pasar por el complejo de vegetación y el sustrato se depositaría directamente al SCAPT; siendo así se tendrían volúmenes de agua más grandes y por ende, beneficios económicos muchísimo más robustos y representativos.

Por otro lado, para el plan piloto de techo verde sobre la bodega 26, se estimó el valor a partir de las siguientes características: cubierta plana no transitable, no ventilada, ajardinada intensiva, impermeabilización con láminas de poliolefinas, 2000 metros cuadrados de cubierta, por un valor de 264'000.000 incluyendo la mano de obra según la cotización realizada con (CYPE Ingenieros S, A.,

2019). Esta inversión a largo plazo traería consigo enormes beneficios sociales, ambientales y corporativos ya mencionados en el apartado 10.1.2 donde cada uno de ellos se traducen en acciones de responsabilidad social por parte de Corabastos S, A. y a su vez traen consigo beneficios económicos que serían interesantes de analizar en próximos proyectos alineados con la presente propuesta.

Es así como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible como los propuestos, bien implementados son herramientas muy completas que le apuntan a la integración de infraestructura verde (jardines verticales y techos verdes) en las zonas en conflicto que se encuentran en las inmediaciones de los humedales, de manera que se contemplan como elementos mitigables de inundaciones en lugares como la zona alta y baja de la Localidad de Kennedy (10.2.2), aunado al uso eficiente del recurso hídrico en actividades como riego y lavado que con la presión de factores como el cambio climático cada vez se hacen más importantes desarrollar e implementar con miras a lograr un desarrollo sostenible.

Como lo menciona (González, 2018), experiencias exitosas en ciudades como Tianjin, París y Ciudad de México son un referente importante para los escenarios actuales y la dinámica urbana de desarrollo que presenta una ciudad como Bogotá. Es decir, estas iniciativas son indispensables para aminorar los impactos ambientales negativos sobre los servicios ecosistémicos de todos los humedales del distrito en escenarios futuros como la construcción de la Avenida Longitudinal (ALO) donde se hace necesario integrar su construcción con estrategias precisamente enmarcadas en el crecimiento verde.

11. Conclusiones

La evaluación de las potenciales áreas de captación para aplicar el SUDS muestra que los 420.000 m² que corresponden a la Corporación de Abastos de Bogotá S.A., constituyen un área considerable y representativa para establecer un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, pudiendo evidenciar en sus cubiertas un total de 5016 m² dirigidos al almacenamiento pluvial y posterior uso en labores lavado y riego de jardines verticales y por otro lado, un total de 72180 m² dirigidos a la consolidación de techos verdes representando aproximadamente el 18,3% de la totalidad del área de Corabastos.

Al determinar las condiciones actuales de la infraestructura de la Corporación de Abastos de Bogotá S.A., se observó que a pesar de que la red hidrosanitaria y pluvial subterránea dirigen las aguas lluvias a un mismo punto en las cercanías del Humedal La Vaca en el sector noroeste, por otro lado la estructura de los tejados seleccionados no es muy completa ya que no cuentan con un sistema de captación de aguas lluvias, canaletas, bajantes y tuberías que lleven el agua lluvia a un mismo lugar, sin embargo se concluye que teniendo en cuenta los criterios de diseño de la presente propuesta, la estructura a adecuar no es muy compleja y es bastante factible.

Dentro del diseño de aprovechamiento del agua lluvia de la zona por medio de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible se priorizó el suministro a los tres jardines verticales implementados por los estudiantes de la Universidad Libre porque su desarrollo y su finalidad al igual que la presente propuesta se enmarca en el crecimiento verde del HLV y el consecuente aporte a la sostenibilidad del complejo de humedales del distrito capital de Colombia.

A partir del análisis de la tendencia de precipitación en la zona de influencia del Humedal La Vaca se concluye que es factible considerar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia dado a que no existe ningún periodo de completa sequía durante todo el año, sin embargo, se debe prever que para los meses como diciembre, enero, febrero, julio y agosto el recurso estará disponible en menor cantidad.

A pesar de las adecuaciones al acueducto y alcantarillado que se han adelantado por parte de la alcaldía de Bogotá para mitigar los impactos por inundación en Localidades como Kennedy, los registros históricos muestran eventos continuos de inundaciones desde el año 1921 hasta la actualidad. Por lo tanto, se concluye que paralelo a estas obras se deben considerar factores como la inadecuada gestión de los residuos sólidos que afectan y taponan la red pluvial de alcantarillado, el cambio climático que incide en las fluctuaciones de eventos de precipitación y la baja capacidad de retención de los humedales Techo, El Burro y La Vaca que en últimas perpetúan el riesgo de inundación en la zona y abre las puertas a la aplicación de alternativas como los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible.

Después de realizar el análisis de oferta y demanda se muestra una cantidad total aproximada anual de 1536 m³ de agua lluvia que se podrían aprovechar sin déficit de marzo a noviembre para cubrir los requerimientos de las enredaderas en los jardines verticales y el agua sobrante en usos asociados a limpieza de sanitarios y lavado de fachadas y pisos; resaltando la posibilidad de uso en el colegio al interior de Corabastos, dada la cercanía que tiene con el tanque de almacenamiento 2 e incluso alimentar el caudal de la laguna de sedimentación para su posterior circulación por el biofiltro y de esta manera cubrir el déficit hídrico que presenta el espejo de agua del Humedal La Vaca en temporadas secas.

Se concluye que los techos verdes desde la visión de los SUDS tendrían una incidencia importante en la zona con una retención de más de un millón de litros de agua lluvia por cada evento de precipitación, contando con la funcionalidad de elementos como las características del sustrato, el sistema drenante y la capacidad de las plantas para retener el agua, calificando el sistema modular galocha como el más idóneo.

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible son excelentes herramientas para minimizar el impacto urbanístico promoviendo buenas prácticas dirigidas al uso eficiente del recurso hídrico para lugares como la zona de influencia del Humedal La Vaca y del resto de humedales del distrito. Con el caso particular de la Localidad de Kennedy de que además de tener riesgo de inundación presenta índices negativos de calidad del aire, más en el HLV con la afluencia de vehículos de carga pesada, es allí, donde al robustecer la matriz vegetal de las zonas aledañas a los humedales con corredores ecológicos da como resultado enormes beneficios paisajísticos, ecológicos, sociales, entre otros. Finalmente, se concluye que con la elaboración de esta propuesta se aplicaron conocimientos propios de la ingeniería ambiental y se alcanzaron de manera óptima los objetivos propuestos.

12. Recomendaciones

Considerar la red hidrosanitaria como una fuente aprovechable de agua pluvial, utilizando la red troncal pluvial subterránea que hace llegar las aguas de toda la zona a la estructura de red pluvial con fines de suministrar el recurso hídrico a las diferentes actividades que se adelantan a favor del crecimiento verde de la zona a cargo de la administración del Humedal La Vaca en cabeza de la comunidad que se ha empoderado para dar lugar a la restauración ecológica. Haciendo hincapié en que según el PMA la EAAB. -ESP. exigiría a Corabastos dar un manejo interno a las aguas pluviales antes de que lleguen al Humedal La Vaca para que llegue con una calidad óptima.

Extender los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible a otros escenarios en Bogotá como alternativa enmarcada en el crecimiento verde para evacuar espacialmente la escorrentía y mitigar de alguna manera los impactos negativos que han causado la extensión de la mancha urbana sobre la estructura ecológica principal de la ciudad, perdiendo su capacidad para amortiguar los eventos masivos de precipitación.

Es necesario tener en cuenta la calidad de la escorrentía pluvial de los tejados a los cuales se les quiere implementar un sistema de aprovechamiento, es allí, donde la apropiación por parte de los líderes comunitarios del sector que trabajan día a día por la restauración del Humedal La Vaca cobra especial importancia, en las actividades destinadas a la limpieza de los tanques para evitar riesgos de saneamiento. Por otro lado, se recomienda previo a la implementación realizar un lavado exhaustivo de la superficie de los techos para remover cualquier material nocivo como pueden ser cadáveres de insectos o aves, residuos por actividades de mantenimiento, excretas de aves, entre otros, y realizar un análisis fisicoquímico del agua lluvia de la zona de estudio con fines de incluir o no un pre tratamiento en la presente propuesta.

Dado a que se encontró que las condiciones actuales de los tejados están deterioradas con cerca de 47 años de uso a excepción de algunas bodegas que han sido adecuadas con teja nueva termo acústica tipo sándwich, se recomienda realizar primero una prueba piloto de techo verde en la bodega 26; al tiempo que se renueva el tejado del resto de las bodegas.

Compactar la mancha ecológica en el sector sur del HLV de la mano con actividades de reforestación en el parque Cayetano Cañizares, esto supone la sincronización con los lineamientos para el crecimiento verde en ciudades como Bogotá, permitiendo incentivar el regreso de la biodiversidad característica en la zona y mitigar los impactos de la fragmentación en los humedales.

Incluir dentro del plan de Mantenimiento de Corabastos, el monitoreo tanto de los tanques de almacenamiento como de los techos verdes, donde se defina un rango de tiempo para vaciar los tanques y de esta forma alimentar el caudal de la laguna de sedimentación.

Considerar la adecuación de trampa antiroedores y mallas de acero inoxidable al sistema de captación y almacenamiento de agua lluvia con el fin de proteger la calidad del agua lluvia colectada y evitar la proliferación de microorganismos y vectores.

Para próximos estudios alineados con la presente propuesta es necesario continuar con la estimación de los costos asociados a la instalación y operación de los SUDS abordados más detalladamente, consolidando un análisis de costo - beneficio. Así mismo, proyectar e incentivar los SUDS enmarcados en el crecimiento verde al resto de humedales del distrito, resaltando aquellas unidades ecológicas que se vean intervenidas con la futura construcción de la Avenida Longitudinal.

13. Referencias Bibliográficas.

- Abdulla, F., & Alshareef, A. (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan. *NATO Security through Science Series*, 291-300.
- Alcaldía Local de Kennedy. (2018). *Extensión*. Obtenido de <http://www.kennedy.gov.co/content/localidad-kennedy>
- 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. (2012). *Plan Ambiental Local de Kennedy*. Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883162/PAL+Kennedy+2013-2016.pdf>
- Arruda, M. (2003). *Corredores ecológicos: uma abordagem integradora de*. Brasília: IBAMA.
- Ashley, R., Garvin, S., Pasche, E., Vassilopoulos, A., & Zevenbergen, C. (2007). *Advances in Urban Flood Management*. New York : Taylor & Francis.
- Asociación Bogotana de Ornitología. (2000). *Aves de la Sabana de Bogotá, guía de campo*. Bogotá.
- Ballén, J., Galarza, M., & Ortiz, R. (2006). Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia. *Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água João Pessoa (Brasil)*. Obtenido de [http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoS%20\(1\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoS%20(1).pdf)
- Barragán, D., & Sierra, A. (2013). *Las inundaciones en Kennedy (Barrio Tierra Buena) afrontadas desde el diseño de información*. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001071.pdf>
- Barragán, D., & Sierra, A. (2013). *Las inundaciones en Kennedy afrontadas desde el diseño de información*. Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001071.pdf>
- Biblioteca Atrium de las Instalaciones. (1992). *Biblioteca Atrium de las Instalaciones. Agua. Tomo 1*. Barcelona: Atrium. Colección Técnica de Bibliotecas Profesionales.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*(29), 293-301.
- CAMACOL. (2015). *Reglamento Técnico de Construcción Sostenible*. Bogotá D.C.: Corporación Financiera Internacional.

- Carvajal, Y. (2011). Inundaciones en Colombia. ¿Estamos preparados para enfrentar la variabilidad y el cambio climático? *Revista Nacional de Investigación Memorias*, 9(16), 105-119. Obtenido de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/me/article/view/140/141>
- Castro, D., Rodriguez, J., & Sañudo, L. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)*. Universidad de Cantabria. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Rodriguez-Hernandez/publication/257231993_Disenio_y_Construccion_de_Sistemas_Urbanos_de_Drenaje_Sostenible_SUDS/links/55c8998208aebc967df8ec47/Diseno-y-Construccion-de-Sistemas-Urbanos-de-Drenaje-Sostenible-SUDS.p
- Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. (2018). *¿Qué es el cambio climático?* Obtenido de CIIFEN: http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=100&Itemid=133
- CEPIS. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. (O. P. Salud, Ed.) Obtenido de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf>
- Cheng, J., Chong, M., Poh, P., Vieritz, A., Talei, A., & Chow, M. (2018). Quantification of mains water savings from decentralised rainwater, greywater, and hybrid rainwater-greywater systems in tropical climatic conditions. *Journal of Cleaner Production*(176), 946-958. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617329505>
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw Hill.
- Congreso de la República de Colombia. (2017). *PROYECTO DE LEY 48 DE 2017 SENADO*. Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/Proyecto%20de%20ley%20%20048%20de%202017.pdf>
- Consejo Local de gestión del Riesgo y Cambio Climático. (Junio de 2018). *Caracterización General de Escenarios de Riesgo*. Obtenido de Localidad de Kennedy: <http://www.idiger.gov.co/documents/220605/314085/Identificaci%C3%B3n+y+priorizaci%C3%B3n.pdf/24386a78-ea2b-4abe-9516-9b9c37955fc4>
- CORABASTOS. (24 de Junio de 2009). *Política Ambiental*. Obtenido de Directiva de Gerencia No. 046 de 2009: <https://www.corabastos.com.co/aNuevo/images/documents/02-DIRECTIVA046-2009POLITICAAMBIENTAL.PDF>
- Corabastos. (2016). *Plan de emergencia*. Obtenido de Plano de bodegas: <https://www.corabastos.com.co/aNuevo/index.php/documentacion/plan-de-emergencias>
- Corabastos. (2017). *Informe de Gestión*. Obtenido de <https://www.corabastos.com.co/aNuevo/sitio/edeGestionGerencia2017.pdf>

- Corabastos. (2018). *Informe de gestión 2018*. Bogotá D.C. Obtenido de <https://www.corabastos.com.co/aNuevo/index.php/about-joomla/noticias/765-informe-de-gestion-2018>
- Corporación de Abastos de Bogotá S.A. (2016). *Instalaciones y Servicios*. Obtenido de <https://www.corabastos.com.co/aNuevo/index.php/about-joomla/nuestra-historia>
- CYPE Ingenieros S, A. (2019). Generador de precios Colombia. Obtenido de Cubiertas verdes: http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/Cubiertas/Planas/No_transitables__no_ventiladas/QAD050_Cubierta_verde__sistema_Urbanscape_.html
- EAAB. (2017). *Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado*. Obtenido de NS-085: https://www.acueducto.com.co/webdomino/sistec/consultas.nsf/9f360681749225e805256a22006a465e/05256d89005e772c85256a11006c9078?OpenDocument&ExpandSection=1.5%2C1.4%2C1.3%2C1.2&Highlight=0,ns,085#_Section1.5
- Ecotelhado. (2018). *Sistema modular galocha*. Obtenido de <http://ecotelhado.com.co/ecotejados-techos-verdes/>
- El Tiempo. (9 de Noviembre de 2015). *Así se ve el suroccidente de Bogotá desde el cielo*. Obtenido de <http://images.cdn-eltiempo.com/bogota/imagenes-aereas-de-bogota-asi-se-ve-el-suroccidente-desde-el-cielo/16423440>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (Octubre de 2009). *Plan de Manejo Ambiental del Humedal La Vaca*. Obtenido de <http://metrodebogota.gov.co/sites/default/files/5.2.2.4%20PMA%20VACA.pdf>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2018). *Gestión Ambiental del Sistema Hídrico*. Obtenido de <https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB/Home/Ambiental/Inicio!/ut/p/z1/tVNNU8IwEP0tHnqEhLRF6i2IAzKIDirSXJw0Tdpom5Q2LeqvN4oeHPkYB8IMJsnu27dvNruAgAUgijYyoUZqRTP7Dkn3MQgGuIMgmg5HgQvxfIYu8d05hDcemAMCSMFkDMKACo8FPeh5Xhx0fUQpcoUQPucd3xeB-EAyZQqTgpBTGjVdB1aU>
- 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*. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1265/ing05.pdf?sequence=2>
- FAO. (Abril de 2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA*. Obtenido de Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe: <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>
- FENALCO. (27 de Febrero de 2018). *Ponencia para primer debate del Proyecto de Ley que busca implementar sistemas de recolección y tratamiento de aguas lluvias*. Obtenido de <http://www.fenalco.com.co/content/ponencia-para-primer-debate-del-proyecto-de-ley-que-busca-implementar-sistemas-de-0>

- Forero, G. (2017). Dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para abastecer la población de altos de cazucá (Soacha-Colombia) utilizando D.E.M. *Revista de Tecnología*, 16(1), 113-128.
- Gobierno de Colombia. (2010). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de Decreto 1469 de 2010: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39477>
- González, G. (2018). *El impacto de la dinámica urbana sobre los humedales de Bogotá (Colombia). Análisis, modelización y propuestas en el marco del crecimiento verde*. Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza.
- Grupo Técnico de Techos Verdes. (2010). *Recomendaciones Técnicas para Proyectos de Cubiertas Vegetales*. Obtenido de <https://www.cdt.cl/2010/01/recomendaciones-tecnicas-para-proyectos-de-cubiertas-vegetales/>
- Hernández, J., Bayón, J., Castro, D., Calzada, M., Canteras, J., Ballester, F., . . . Lasa, P. (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*. Paper presentado en el III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Universidad de Cantabria. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/267546916_CONSTRUCCION_DE_PAVIMENTOS_PERMEABLES_PARA_EL_CONTROL_EN_ORIGEN_DE_LA_ESCORRENTIA_URBANA_EJEMPLO_PRACTICO_DEL_APARCAMIENTO_DEL_PALACIO_DE_DEPORTES_DE_LA_GUIA
- Humedales de Bogotá. (6 de Agosto de 2018). *Once humedales de Bogotá serán declarados como sitios RAMSAR*. Obtenido de <http://humedalesbogota.com/2018/08/06/once-humedales-de-bogota-seran-declarados-como-sitios-ramsar/>
- IDEAM. (2007). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y la cuenca alta del Rio Tunjuelo*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>
- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- IDECA. (10 de Octubre de 2018). *Resolución 1972 AMENAZA INUNDACION*. Obtenido de <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=ffe81706015e45f5b071a5ca239a287b>
- IDIGER. (27 de Noviembre de 2018). *Caracterización General de Escenario de Riesgo de Inundación por Desbordamiento*. Obtenido de <http://www.idiger.gov.co/rinundacion>
- IHM. (2019). *Ignacio Gomez, SAS*. Obtenido de <http://www.igihm.com/bombas-motobombas.php?id=1>
- Jardín Botánico de Bogotá. (2018). *Álbum de plántulas para jardín vertical*. Bogotá.

- Martinez, D. (2014). *Diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias a partir de la caracterización de la cubierta, para el uso en el proceso productivo de Corona Colcerámica S.A.S planta Sopo, Cundinamarca – Planta 1*. Trabajo de grado, Universidad El Bosque, Bogotá.
- 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. (2018). *El crecimiento verde es clave para una Colombia competitiva y sostenible*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/3343-el-crecimiento-verde-es-clave-para-una-colombia-competitiva-y-sostenible>
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico de para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000*. Bogotá D.C.: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- Ministerio de Vivienda. (2015). *Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>
- Mitchell, V., Mccarthy, D., Deletic, A., & Fletcher, T. (2008). Urban stormwater harvesting - sensitivity of a storage behaviour model. *Environ. Modelling & Software*, 782-793.
- Mitsch, W., & Gosselink, J. (1986). *Wetlands*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Montealegre, E. (1999). *La influencia de los procesos de interacción océanoatmósfera del Pacífico tropical y el Atlántico en la variabilidad interanual de la precipitación en Colombia*. Tesis de grado Magister en Meteorología, Universidad Nacional de Colombia.
- Montealegre, J. (2009). *Estudio de la Variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala*. Nota Técnica 022 - 2009, IDEAM, Bogotá D.C. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+clim%C3%A1tica+de+la.pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3>
- Muñoz, R., & Rodriguez, J. (2016). *Pre-diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia y de detención de la escorrentía aplicado al bloque B de la Universidad El Bosque*. Trabajo de grado, Universidad El Bosque, Bogotá.
- MVCT. (2015). *Decreto 1285 de 2015*. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- MVCT. (2015). *Resolución 0549 de 2015*. Bogotá : Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Palacio, N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia*. Monografía, Universidad de Antioquia, Escuela Ambiental. Obtenido de

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>

Perales, S., & Doménech, I. (2008). *LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE: UNA ALTERNATIVA A LA GESTIÓN DEL AGUA DE LLUVIA*. Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <http://ovacen.com/wp-content/uploads/2015/05/gestion-del-agua-en-el-planeamiento.pdf>

Pratt, C., Wilson, S., & Cooper, P. (2002). Source control using constructed pervious surfaces. Hydraulic, structural and water quality performance issues. 152.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento*. Obtenido de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>

Rahman, R., & Thakur, P. (Julio de 2018). Detecting, mapping and analysing of flood water propagation using synthetic aperture radar (SAR) satellite data and GIS: A case study from the Kendrapara District of Orissa State of India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), S37-S41. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982317301126>

Ramirez, J. (2009). Construcción verde en concreto. *Noticreto, revista de la técnica y la construcción*(2), 20-27.

RAMSAR. (2018). *La convención de RAMSAR y su misión*. Obtenido de <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-convencion-de-ramsar-y-su-mision>

Robayo, J., & Pérez, R. (2016). *Análisis de la captación y aprovechamiento del agua lluvia para utilización en el campus de la Universidad Católica de Colombia (Bogotá), de acuerdo a las características de sus sedes*. Trabajo de Grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13903/4/AN%C3%81LISIS%20DE%20LA%20CAPTACI%C3%93N%20Y%20APROVECHAMIENTO%20DEL%20AGUA%20LLUVIA%20PARA%20UTILIZACI%C3%93N%20EN%20EL%20CAMPUS%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20CAT%C3%93LICA%20DE%20CO~1.pdf>

Rodríguez, H. (2013). *Drenaje urbano elementos de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Rojas, C., De Meulder, B., & Shannon, K. (2015). Water urbanism in Bogota. Exploring the potentials of an interplay between settlement patterns and water management. *Habitat International*(48), 177-187.

Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación. Sexta edición*. Ciudad de México: McGraw Hill.

Sandoval, S. (2015). *Avances en hidrología urbana*. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.

- Sandoval, S., & Torres, A. (2015). *Avances en hidrología urbana*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Sandoval, S., Torres, A., & Navarro, K. (2013). Estimación de la confiabilidad de inundación en alcantarillados pluviales de Bogotá mediante métodos de generación aleatoria. *Sociedad Y Servicios Ecosistémicos: Perspectivas Desde La Gestión Del Agua, Las Inundaciones Y El Saneamiento Sostenible*, 49-61.
- Secretaría de Ambiente. (2015). *Guía de techos verdes y jardines verticales*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2009). *Plan de Manejo Ambiental del Humedal La Vaca*. Obtenido de <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-busqueda/plan-de-manejo-humedal-la-vaca>
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2011). *Guía de Techos Verdes en Bogotá*. Bogotá.
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2011). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible*. Documento Técnico de Soporte, Subdirección de Ecoturismo y Gestion Ambiental Empresarial. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73754/Sistema+Urbanos+de+Drenaje+Sostenible>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2014). *Política pública de Eco-Urbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá*. Bogotá D.C.: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2016). *Humedales y Aulas Ambientales de Bogotá*. Obtenido de http://ambientebogota.gov.co/c/journal/view_article_content?groupId=2205059&articleId=2485093&version=1.4
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2018). *Normatividad colombiana relacionada a humedales*. Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/normatividad2>
- Torres, A., Méndez-Fajardo, S., López-Kleine, L., Marín, V., González, J., Suárez, J., . . . Ruiz, A. (2011). Evaluación preliminar de la calidad de la escorrentía pluvial sobre tejados para su posible aprovechamiento en zonas periurbanas de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14(1), 127-135. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-42262011000100016
- Victorian Stormwater Committee. (1999). *Urban Stormwater Best practice environmental management guidelines*. Melbourne, Australia: CSIRO.
- Villalobos, D. (13 de Mayo de 2016). Efectos de la dinámica urbana en el humedal de La Vaca. (G. Gonzalez, Entrevistador)

- Wanjiru, E., & Xiaohua, X. (2018). Sustainable energy-water management for residential houses with optimal integrated grey and rain water recycling. *Journal of Cleaner Production*(170), 1151-1166. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261732214X>
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). The SUDS Manual. *CIRIA 697, 1*(17), 1-25.
- Zamudio, C. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos. *Revista Gestión y Ambiente, 15*(3), 99-112. Obtenido de <https://www.redalyc.org/html/1694/169424893007/>