

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO PLUVIAL,  
COMO ESTRATEGIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE PARA EL COMANDO DE  
POLICÍA DE BUCARAMANGA.

WILFREDO CABALLERO PICO

ANDREA LIZETH BALLESTEROS ARAQUE

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE-

ECAPMA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2019

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO PLUVIAL,  
COMO ESTRATEGIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE PARA EL COMANDO DE  
POLICÍA DE BUCARAMANGA

WILFREDO CABALLERO PICO  
ANDREA LIZETH BALLESTEROS ARAQUE

TRABAJO DE GRADO  
PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR  
DIANA MARCELA IBARRA MOJICA  
MSC. INGENIERÍA QUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA  
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE  
ECAPMA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA

2019

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Policía Nacional de Colombia, por brindarme los espacios para podernos capacitar y al Comando de Policía Metropolitana de Bucaramanga por abrirnos las puertas y poder crear este diseño conceptual de nuestro proyecto de grado.

A nuestra directora de proyecto la Ingeniera Diana Marcela Ibarra Mojica por su tiempo y mejor voluntad para desarrollar nuestro trabajo de tesis de la mejor manera.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por brindarnos las herramientas necesarias para nuestra formación de calidad, a los docentes, directivos por su tiempo y dedicación en transmitir sus conocimientos para nuestro aprendizaje de la mejor manera. De igual forma a todas las personas que contribuyeron de manera directa e indirecta en el desarrollo del proyecto.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida, la salud y la fuerza para lograr mis metas y superar los más grandes obstáculos.

A mi madre Luz Amparo Araque García por su gran apoyo, comprensión y protección interminables. porque sin su ejemplo de lucha no hubiera llegado hasta aquí.

A mi tía Nohora Nelly Buitrago por que como si fuera mi madre, me ha brindado su amor y, por su apoyo incondicional y depositado su gran fe en mí.

A mi amiga y compañera Olga Ariza, por ser un hombro donde pude apoyarme en los semestres con situaciones más críticas y demostrarme que siempre podré contar con ella..

*Andrea Ballesteros*

El presente proyecto de grado se lo dedico primordialmente a Dios y a la Virgen santísima, seres espirituales que me dan la fuerza y el gozo de labrar cada peldaño de mi vida, y este es uno de ellos poderme graduar como Ingeniero Ambiental uno de mis proyectos más deseados.

A mi madre por su amor maternal, sus enseñanzas, su temple, trabajo y dedicación por sacarnos adelante con su ejemplo. Gracias a usted he podido lograr mis sueños y convertirme en lo que soy. Tengo el orgullo y el privilegio de ser su hijo, tu eres la mejor madre.

A mi hija ella fue la motivación en los momentos difíciles, la cual le dio sentido a mi vida, estos logros se los dedico a ella, no obstante, quiero con mi ejemplo, disciplina y constancia sea punto de referencia para que ella pueda lograr sus metas, le doy gracias a Dios por ser mi hija y hacerme feliz como padre.

*Wilfredo Caballero*

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como fin diseñar mediante las bases de la ingeniería conceptual, un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales para el comando de Policía Nacional de Bucaramanga como estrategia de desarrollo sostenible. Para ello, se estableció un desarrollo metodológico de recolección de fuentes de información secundaria de las bases de datos de las estaciones meteorológicas e hidrológicas del Instituto de Meteorología y estudios ambientales IDEAM. Con base en la información obtenida se determinó la oferta hídrica pluvial de Bucaramanga y se diseñó conceptualmente un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales adaptado a las condiciones del comando de policía; se calculó la demanda máxima y se realizaron los cálculos para conocer si el sistema de aprovechamiento supliría con la necesidad del comando, acertando en un cubrimiento del 70 % del requerido, razón por la cual, se consideró este un método eficaz para la gestión ambiental de la Policía Nacional.

Finalmente, se hizo el análisis costo beneficio del proyecto donde el tiempo de retorno de capital invertido de acuerdo al presupuesto realizado, se cumple en aproximadamente 6 años, el ahorro anual del sistema de captación está por encima de los \$ 6.000.000 de pesos colombianos y aunque el tiempo de retorno es largo, la viabilidad del proyecto es factible en términos ambientales para las condiciones del lugar caso estudio del proyecto.

**Palabras clave:** Agua, Aprovechamiento Pluvial, Desarrollo Sostenible, Oferta Hídrica,

Tratamiento de aguas lluvias.

## ABSTRACT

The purpose of this study was to design, through the foundations of conceptual engineering, a rainwater harvesting system for the Bucaramanga national police command as a sustainable development strategy. For this, there is a methodological development of collecting secondary information sources from the databases of meteorological and hydrological stations of the Institute of Meteorology and environmental studies IDEAM. Based on the information obtained, Bucaramanga rainwater supply was determined and a rainwater harvesting system adapted to the conditions of the police command was formulated, a water requirement was calculated in terms of maximum demand of  $160 \text{ m}^3 / \text{month}$  and Check the calculations to know if the rainwater harvesting system would meet the need by making a 70% coverage of the requirement, which is why it is considered an effective method for the environmental management of the national police.

Finally, the cost-benefit analysis of the project was carried out where the return time of the capital invested from the agreement to the budget made, is fulfilled in approximately 6 years, the annual savings of the collection system is above \$ 6,000,000 Colombian pesos and although the return time is long, the viability of the project is feasible for the conditions of the project case study.

**Keywords:** Rainwater Treatment, Stormwater Use, Sustainable Development, Water, Water Supply

**CONTENIDO**

RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	5
3.1 Antecedentes.....	5
3.2 Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvia.....	11
3.2.1. Métodos de captación pluvial.....	12
3.2.2 Conducción.....	14
3.2.3. Tratamiento.....	15
3.3.3. Almacenamiento.....	16
3.3 Ventajas y desventajas de los proyectos de aprovechamiento pluvial.....	16
3.3.1 Ventajas.....	17
3.3.2 Desventajas.....	17
4 METODOLOGÍA.....	18
4.1 Procedimiento.....	18

4.1.1	Fase I: Establecimiento de la oferta y demanda hídrica del Comando de Policía	18
4.1.2	Fase II: Análisis de las condiciones físicas y estructurales del comando de policía	19
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5.1	Establecimiento de la oferta y demanda del comando de policía .....	21
5.1.1	Cálculo y análisis de la oferta hídrica pluvial de de Bucaramanga .....	21
5.1.2	Determinación del caudal o capacidad del sistema .....	1
5.1.2	Demanda de Agua del Comando de Policía de Bucaramanga .....	3
5.1.3	Oferta Vs Demanda .....	6
5.2	Fase II: análisis de las condiciones físicas y estructurales del comando de policía .....	9
5.2.1	Determinación del Volumen del tanque de almacenamiento .....	9
5.2.2	Inversión del Proyecto .....	13
5.2.3	Criterios de Construcción .....	14
5.2.4	Costo – Beneficio .....	17
6	CONCLUSIONES.....	21
7	RECOMENDACIONES.....	23
8	BIBLIOGRAFÍA.....	24
9	ANEXOS .....	1

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conjunto residencial DaimlerChrysler Potsdamer Plats .....	6
Figura 2. Project Healthy House .....	9
Figura 3. Modelo convencional de Aprovechamiento de Agua Pluvial .....	11
Figura 4. Métodos de captación de agua según su uso o destino .....	13
Figura 5. Filtro de bajante en un sistema de aprovechamiento pluvial .....	16
Figura 6. Polígono de puntos de estudio .....	22
Figura 7. Precipitación Máxima en 24 h .....	23
Figura 8. Precipitación máxima por Año .....	24
Figura 9. No días de precipitación en un año .....	25
Figura 10. Valores de precipitación Máx y Min .....	28
Figura 11 N° días de Lluvias Santander .....	29
Figura 12. Consumo Agua del comando de policía .....	5
Figura 13. Oferta disponible vs Demanda .....	7
Figura 14. Esquema del tanque de almacenamiento .....	14
Figura 15. Prototipo Real del Tanque de Almacenamiento .....	15
Figura 16. Área propuesta de construcción .....	16

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de captación según tipo de Aprovechamiento pluvial -----	14
Tabla 2. Estación Hidroclimatológicas y Meteorológicas del IDEAM -----	21
Tabla 3. Precipitaciones Maximas Anuales Bucaramanga - Santander -----	27
Tabla 4. Resultado de la Oferta Hídrica Pluvial -----	28
Tabla 5. Promedio Mensual de lluvias Bucaramanga -----	1
Tabla 6. Datos de Diseño-----	2
Tabla 7. Disponibilidad Hídrica Mensual -----	2
Tabla 8. Demanda mensual teórica-----	4
Tabla 9. Consumo de agua según facturación -----	4
Tabla 10. Análisis Estadístico Demanda Hídrica m <sup>3</sup> -----	5
Tabla 11. Oferta disponible y Demanda Acumulada -----	8
Tabla 12. Volumen mensual del tanque de almacenamiento-----	9
Tabla 13.Oferta hídrica Vs demanda acumulada durante el primer año de implementación -	10
Tabla 14.Oferta hídrica Vs demanda acumulada durante el segundo año de implementación	11
Tabla 15. Oferta hídrica Vs demanda acumulada durante el tercer año de implementación---	12
Tabla 16. Presupuesto del sistema -----	13
Tabla 17. Relación de facturación AMB 2018-----	17
Tabla 18. Gastos del servicio público de agua-----	18
Tabla 19. Totales -----	18

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible implica razonar sobre las condiciones de calidad de vida en los seres vivos como el consumo y el suministro de agua limpia, es por tanto que hoy día se ha incrementado la búsqueda alternativas que contribuyan al cuidado, ahorro y preservación del recurso, garantizando su disponibilidad para las generaciones futuras (Güiza Suárez, 2011)

A través de los sistemas aprovechamiento pluvial, se plantean soluciones para el abastecimiento en muchas ciudades y poblaciones que ante la reducción de la oferta hídrica y demanda existente requieren proyectos sostenibles con incorporación de estructuras capaces de almacenar, tratar y distribuir el agua lluvia para ser aprovechada por las comunidades. Para implementar estos sistemas es necesario inicialmente conocer la precipitación de la zona en la cual se desea instalar el sistema y sus requerimientos de consumo.

El presente proyecto se enfoca en el diseño conceptual de un sistema de aprovechamiento pluvial, como estrategia de desarrollo sostenible a implementar en el Comando de policía de Bucaramanga y contempla dos fases metodológicas; la primera, hace énfasis en el establecimiento de consumo o demanda de la población de acuerdo con las condiciones hidroclimatológicas reportadas de la ciudad, orientando la viabilidad del proyecto y la segunda, establece las condiciones estructurales que se requieren en el diseño como un análisis de viabilidad del proyecto.

## 1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La lluvia es la principal fuente de abastecimiento de agua para la mayoría de los ecosistemas, representa un estado de equilibrio dinámico en la naturaleza pero en cantidades de masa y volúmenes elevados causa inundaciones o daños estructurales en el desarrollo urbano, en épocas de sequías producen el desabastecimiento de las fuentes captadoras de agua lo cual, impide la disponibilidad del agua para la poblaciones. (Humberto, 2012) .

Es así que los climas inestables y cada vez más impredecibles, amenazan a las grandes urbes cada vez más pobladas. Dentro de las investigaciones que realiza FAO (Food and Agriculture Organization), se señaló que más del 50 % de la población mundial habita en áreas urbanas y el crecimiento demográfico exponencial supone una futura problemática de disponibilidad de recursos, razón por la cual cada vez hay mayor necesidad de requerimientos e insumos (Velasco et al., 2000), (DANE, 2005).

Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica en el mundo, tanto por las corrientes de agua dulce, como por la variabilidad climática, lo que da paso a la constante recarga de ríos, lagos, lagunas y los acuíferos (Sánchez Pérez, n.d.). Pese a ello, se han ido deteriorado y escaseando, manifestando el desabastecimiento de agua potable en algunos sectores.

El aprovechamiento de las aguas lluvias además de satisfacer necesidades básicas nace con beneficios ecológicos para prevenir la erosión, eliminar charcos y corrientes de agua, reducir la acumulación de sales en el suelo (Velasco et al., 2000).

En el caso del comando de policía, el cual se encuentra ubicado en el centro de Bucaramanga, presenta una problemática debida a los altos consumos de agua y elevados costos en la facturación de servicios públicos de agua y alcantarillado a razón de los productos y servicios

que allí se prestan. El gran flujo de personas que permanece en la institución durante las 24 horas del día, en un área administrativa con 3 dependencias y otra de alojamientos con dos bloques utiliza alrededor de 84 baterías sanitarias.

Por otro lado, la Policía Nacional en su misionalidad debe fortalecer niveles estratégicos y operacionales para el cumplimiento de los objetivos de su política ambiental y reducir los impactos causados por los servicios, procesos y productos que allí se prestan.

A razón de lo anterior, surge la necesidad de aumentar la disponibilidad de agua y se plantea como estrategia de desarrollo sostenible, el diseño conceptual de un sistema de aprovechamiento pluvial para el comando de la Policía Nacional ajustado a las condiciones de infraestructura y demanda requerida de la comunidad.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Formular un sistema de aprovechamiento pluvial, como estrategia de desarrollo sostenible para el comando de policía de Bucaramanga.

### 2.2 Objetivos específicos

- Establecer la oferta y la demanda de agua, del comando de la policía de Bucaramanga, de acuerdo al cálculo de oferta hídrica pluvial de la ciudad, y las necesidades del comando.
- Realizar el análisis de las condiciones locativas del comando de policía, con el fin de conocer qué tipo de sistema de aprovechamiento pluvial, es apto para el sitio.

### 3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 Antecedentes

La captación de agua de lluvia tiene su origen hace 5 mil años cuando el ser humano aprovechaba el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte. En cuanto las civilizaciones crecieron geográficamente comenzó el desarrollo de la captación de aguas lluvia con mayor opción para el riego de cultivos y uso doméstico, estos sistemas de captación se han venido estudiando y mejorando (Garduño, 2009).

Países globalizados y desarrollados han hecho aplicación de mecanismos de almacenamiento y tratamiento de las aguas pluviales con el fin de mitigar diversidad del impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de las poblaciones (Rubio-arias, 2015). En obras civiles, principalmente edificaciones de origen vertical ya han iniciado a implementar estos tipos de sistemas utilizando la eco-arquitectura y otras fuentes de energías alternativa como la eólica o solar, de manera que impulsen prácticas para el ahorro y disponibilidad de los recursos. (Rubio-arias, 2015)

El Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, publico en 2016 un informe titulado “diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la ciudad de México” por medio del cual, se analizó el aumento en la densidad de la población relacionada con la complejidad de abastecimiento de agua potable en la ciudad y se estudiaron aspectos que pudieran incidir en la vulnerabilidad de la disponibilidad del recurso, desde temas jurídicos, condiciones de infraestructura, conflictos sociales-políticos y hundimientos dado a actividades de extracción de agua subterránea (Escolero, Kralisch, Martínez, & Perevochtchikova, 2016).

Otros continentes como Europa, Asia, África, Oceanía y América también han instaurado en sus obras de ingeniería, técnicas de aprovechamiento de aguas pluviales ajustadas a sus requerimientos de oferta y demanda hídrica. Algunos de los cuales son presentados a continuación:

**Europa:** Este continente ha sido ejemplo en el tratamiento de aguas residuales y aguas lluvias, puesto que muchos países que a él pertenecen han agotado sus principales fuentes hídricas y visto en la necesidad de implementar estrategias que soporten sus requerimientos básicos. En Alemania por ejemplo, un conjunto residencial denominado DaimlerChrysler Potsdamer Plats, tiene 19 edificios como se observa en la figura 1, con un área de 32.000 m<sup>2</sup> en los techos destinada para captación agua lluvia y su almacenamiento en un tanque artificial de 3.500 m<sup>3</sup> .

Figura 1. Conjunto residencial DaimlerChrysler Potsdamer Plats



Fuente: (Rojas-Valencia et al., 2012)

Otro proyecto promotor de la sostenibilidad urbana es el Belss-Luedecke-Strasse, el cual tiene una área destinada de recolección de 7000 m<sup>2</sup> que desvía el agua lluvia desde los parqueaderos y las zonas sociales hasta una alcantarilla pluvial con una capacidad de 160 m<sup>3</sup>/s atravesando un

sistema de tratamiento preliminar para eliminar contaminantes y garantizando un ahorro de hasta 2.430 m<sup>3</sup> de agua en un año. (Ballén Suárez, Ángel, García, Orlando, & Mosquera, 2015)

Por su parte, España en el 2012 elaboró un estudio de viabilidad económica y ambiental de este tipo de sistemas de recolección para ser utilizado como suministro doméstico de agua y desde el punto de vista financiero no reporto ser económico por las implicaciones que generaron las construcciones, por ello se estudiaron alternativas de materiales e infraestructura de otras características a implementar en las zonas residenciales. (Seguido & Instituto, 2017).

**África:** Este continente es considerado crítico, debido a la escasez de fuentes hídricas y de baja calidad que ha traído grandes problemáticas como pobreza, falta de recursos económicos y tecnología ineficiente. En este contexto, ya muchos países han hecho el intento de construir sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, entre ellos Malí , Malawi y Zimbabue pero su acogida no ha sido significativa dadas las bajas precipitaciones y la estructura de las viviendas poco aptas para capturar el agua en esta modalidad. (León, A; Córdoba, J; Carreño, 2016)

**Asia:** Este continente cuenta con un gran proyecto llamado Siglo 121, ejecutado en China, donde los procesos de recolección y almacenamiento de agua son capaces de abastecer los cultivos fuente de riquezas para alrededor de 5 millones personas y 1,18 millones de ganado de estas familias.

Japón por su parte ha implementado sistemas de aprovechamiento pluvial o llamados Ronjinson, los cuales reciben el agua lluvia de los techos para ser almacenada en un pozo subterráneo y es distribuido con motobombas, para beneficiar a las poblaciones. (Garduño, 2009)

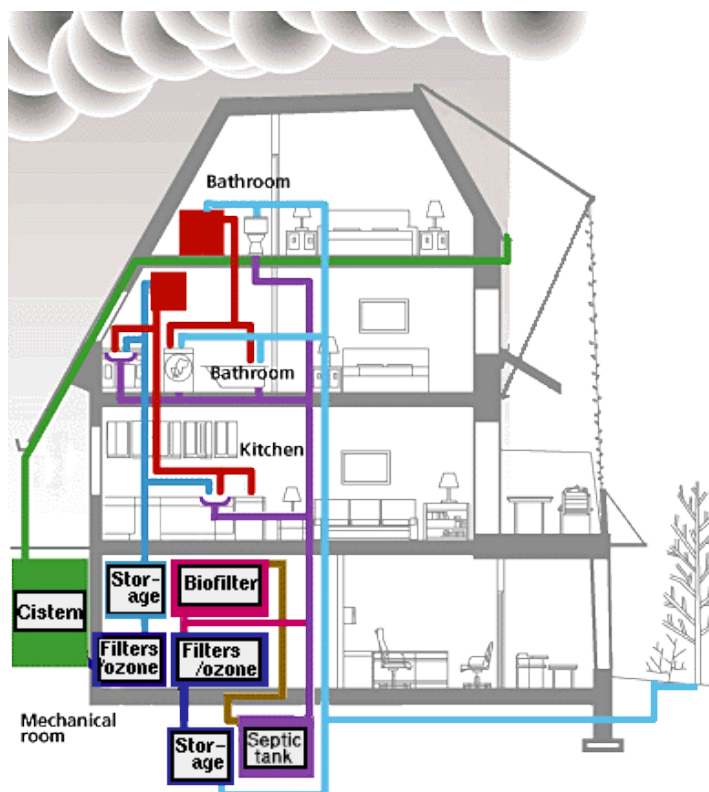
En Singapur se estima que el 86 % de las edificaciones cuentan con techos especialmente diseñados para la captación pluvial y uso en riego de jardines, aseo, combatir los incendios y para el servicio sanitario. (Ballén Suárez, Ángel, García, Orlando, & Mosquera, 2015)

**Oceanía:** En Sídney –Australia se analizó el potencial de ahorro de agua potable mediante la recolección de aguas lluvias, se hizo instalación de 10 tanques para cada familia y estimó un ahorro proporcional a la cantidad de precipitaciones que se presentaban en el sector con una relación costo beneficio menor a 1. Se replanteo el método de captación a mejores condiciones de almacenamiento con el fin de que el recurso tenga mayor disponibilidad. (Agatón, Córdoba,& Carreño,2016)

**América:** Se estima que más de medio millón de habitantes de Norteamérica, utilizan sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para uso doméstico y actividades económicas como la agricultura u otras industriales, además de esto existen en la actualidad más de 50 empresas especializadas en el diseño e instalación de estos sistemas de aprovechamiento.

En el proyecto Healthy House, perteneciente a la ciudad de Toronto en Canadá, cuenta con un sistema autosuficiente como se observa en la figura 2, no depende del acueducto municipal pues las canaletas recolectan el agua lluvia suficiente y la conducen a un tanque de almacenamiento de previo tratamiento de filtros de grava, arena y carbón activado que remueve las impurezas del agua y finalmente atraviesan la unidad de desinfección con luz ultravioleta.(Suárez, Ángel, García, Orlando, & Mosquera, 2015)

Figura 2. Project Healthy House



Fuente: (Ballén Suárez et al., 2015)

Por otro lado, en Colombia se han generado nuevos proyectos sostenibles ambientalmente como en la ciudad de Barranquilla mediante la canalización de los arroyos formados a causa de falencias en el sistema de alcantarillado, se logró regenerar de manera artificial un lago seco a causa del fenómeno del niño. Estos proyectos impulsado por la alcaldía despliegan soluciones no solo ante problemáticas ambientales sino económicas del territorio (Humberto, 2012)

Es de resaltar que pese a que Colombia cuente con una ubicación estratégica para la implementación de sistemas con aprovechamiento viable, la normatividad colombiana no precisa una regulación respecto a los sistemas hidrosanitarios que incorporan el aprovechamiento de aguas lluvias y solo algunos proyectos de gran escala en urbano han tenido éxito, uno de ellos fue el realizado por el abogado y ambientalista Hernán Vivas Rosas bajo el proyecto “cosecha de

agua” premiado en el programa de naciones unidas para el medio ambiente PNUMA, donde utilizó tanques para almacenamiento del agua lluvia y distribución familiar (Juarez, n.d.).

Los marcos normativos, se dictan con el fin recomendar soluciones a las problemáticas que deben ser vigiladas por las entidades públicas, incluyendo corporaciones autónomas, empresas de acueducto y recolección de residuos sólidos a fines de suplir necesidades de saneamiento básico y ambiental, como por ejemplo la constitución política de Colombia en los artículos 366, 367 y 370.

Además, la Ley 373 de 1997, establece un programa para el uso eficiente y ahorro del agua y da algunos parámetros enfocados en el aprovechamiento y uso del recurso agua con la Ley 9 de 1979, bajo medidas sanitarias mínimas se consideran los sistemas aprovechamiento del recurso hídrico.

En el decreto 2811 de 1974, ya se permite al propietario de cierta zona, en virtud de no afectar a ningún tercero, pueda establecer los adecuados sistemas de captación, almacenamiento y conservación de aguas de lluvias.

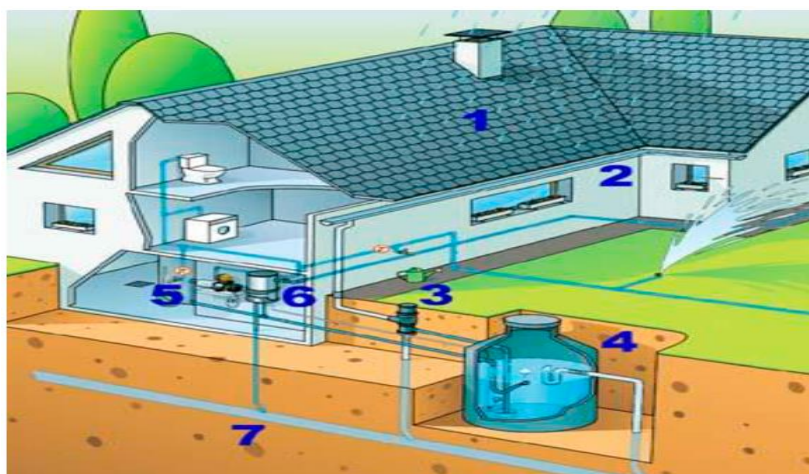
Sin embargo, el único reglamento que describe técnicamente los sistemas de recolección de aguas residuales domésticas y pluviales, se consignan para el sector de agua potable y saneamiento en la RAS – 2000, Sección II. TÍTULO D, manuales de aprovechamiento y captación de agua más las medidas de implementación, esta son el soporte o guía de los proyectos urbanos.

### 3.2 Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvia.

Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia no tienen grandes variaciones entre sí; la mayoría consta básicamente de tres componentes: captación, conducción y almacenamiento (Abdulla & AlShareef, 2006). Dependiendo de los usos para los cuales el sistema esté diseñado y de su complejidad, existen otros componentes adicionales, como el sistema de distribución por gravedad o por bombeo y el tratamiento incluyendo una desinfección cuando el agua es para consumo humano, tales que representan mayores costos (Texas Water Development Board, 2005).

Los sistemas comunes no tienen un gran nivel de complejidad, y son aplicables a cualquier infraestructura de vivienda o de origen vertical. En la figura 3, se ilustra un modelo convencional de aprovechamiento de aguas lluvias aplicado a una casa estilo americano.

Figura 3. Modelo convencional de Aprovechamiento de Agua Pluvial



Fuente: (León, et.al, 2016)

De acuerdo a la figura 3, se presentan los pasos del sistema de aprovechamiento pluvial clásico son:

1. Cubierta: Esta depende del tipo de material que se emplee y determina la cantidad del agua recolectada.

2. Canalón: Dirige el agua hasta su lugar de almacenamiento.
3. Filtro: Realiza una separación mecánica de los sólidos gruesos
4. Tanque de almacenamiento
5. Bomba: Distribuye el agua a los lugares previamente determinados.
6. Sistema de gestión agua de lluvia-agua de red: Mecanismo de control sobre la reserva de agua de lluvia y la conmutación automática con el agua de red.
7. Distribución

### **3.2.1. Métodos de captación pluvial**

Se puede definir a la captación pluvial como la recolección del escurrimiento de lluvia sobre una superficie para propósitos de aprovechamiento. El concepto hace énfasis en el almacenamiento del agua de lluvia para su utilización posterior y cuando se enfoca únicamente en el agua que cae en un sitio puntual, se denomina microcaptación o captación de microcuencas.

Las técnicas empleadas en los sistemas de captación pluvial, en su mayoría han sido empíricas y desarrolladas a lo largo de la historia, muchos y variados son los métodos que cumplen con la finalidad de los proyectos para mejorar la oferta hídrica de un determinado lugar. En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), recomienda ciertas pautas de captación de acuerdo al uso, descritas a continuación:

- Microcaptación

Consiste en captar el agua lluvia, mediante escorrentía superficial dentro de un área específica, es usada principalmente en áreas de cultivos o jardines con el fin de que el líquido se infiltre en el suelo y pueda ser aprovechado por la vegetación, se construyen canaletas o surcos in situ. (FAO, 2013)

- **Macrocaptación**

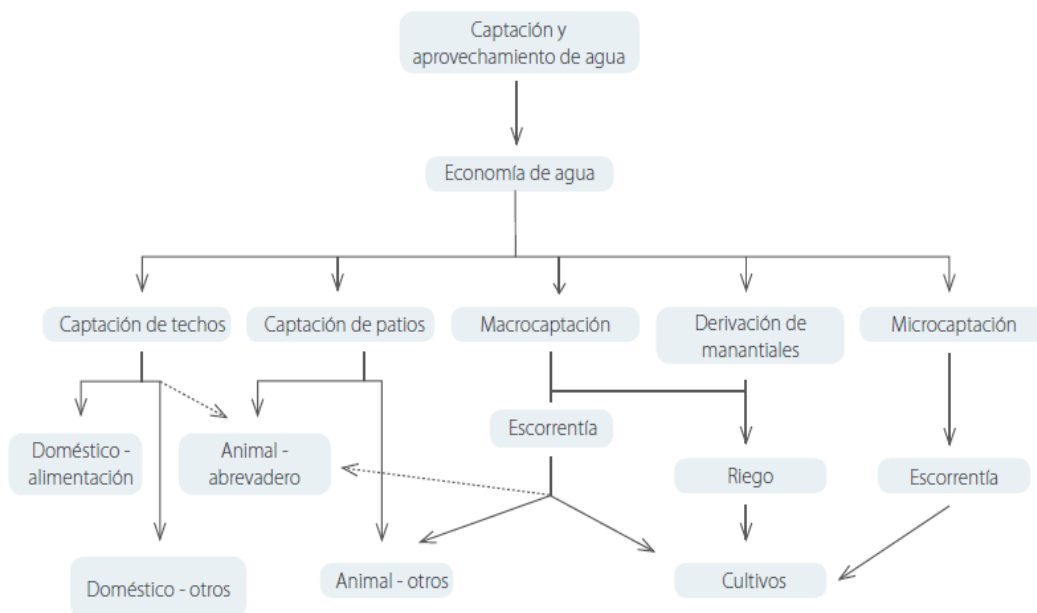
Igual que la anterior consiste en captar el agua lluvia de la escorrentía superficial, pero generada en áreas extensas para que estas sean aprovechadas por los cultivos, ya sea de una huerta o un jardín como el área es mayor se deben construir canales, surcos, zanjas o camellones con mayor pendiente por donde corre el flujo de agua lluvia para ser almacenada y proceder a la derivación por suministro de este recurso. (Velasco et al., 2000)

- **Captura de agua en techo de viviendas**

Es la modalidad más conocida dentro de los centros poblados urbanos, la cual consiste en captar la escorrentía de la superficie impermeable o poco permeable de los techos de viviendas, establos, edificios, placas, entre otras estructuras y de este modo mejorar la calidad y cantidad de agua para consumo doméstico.

En la figura 4, se presentan los principales métodos de captación que según la FAO deben utilizarse teniendo en cuenta su uso o destino final.

Figura 4. Métodos de captación de agua según su uso o destino



Fuente: (FAO, 2013)

La mejor alternativa para ejecutar en proyectos de expansión urbana, es la captación de techos, porque permite que el recurso pueda ser utilizado en las actividades domésticas, y es fácil de instalar.

La FAO, además recomienda que el tipo sistema de captación ideal, sea en relación al uso del agua, si es para el consumo doméstico, el agrícola, higiene e industrial, Como se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Sistema de captación según tipo de Aprovechamiento pluvial

<b>Aprovechamiento Pluvial</b>	<b>Subfinalidad de Uso</b>	<b>Sistema de Captación</b>
Consumo Domestico	Bebida, alimentación, higiene personal	Techos de las edificaciones
	Lavado de Ropa	
Consumo Animal	Aseo General de la edificación	Techos de las edificaciones, microcaptación por escorrentía
	bebederos	
	Higiene de los lugares	
Producción Vegetal	Huertas y jardines caseros	Techos de las edificaciones, micro y macrocaptación por escorrentía
	Forraje	
	Áreas de cultivos	

Fuente: Los autores a partir de la (FAO, 2013)

### 3.2.2 Conducción

Algunos autores mencionan que:

El sistema requiere elementos para transportar el agua colectada hacia el lugar de aprovechamiento, tratamiento o almacenamiento, para lo cual se usan comúnmente canaletas y tuberías que pueden ser de los siguientes materiales: plásticas de

policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE) o polipropileno (PP); metálicas de lámina de acero galvanizada y materiales naturales de madera o fibras. (Martínez, 2016)

### **3.2.3. Tratamiento**

Si el agua lluvia captada por los techos no es producto de la contaminación ni de formas de lluvias ácidas, es cuando mejor calidad físicoquímica y microbiológica presenta. Sin embargo cuando este fenómeno natural se presenta, es necesario llevar a cabo tratamientos que mejoren su calidad.

El agua que tiene como destino el uso doméstico, debe pasar previamente por un tratamiento inicialmente enfocado a la remoción de partículas gruesas y la desinfección. Los procesos más comunes para el tratamiento en los sistemas de aprovechamiento pluvial son los filtros de carbón activado y arena, seguidos de un proceso de desinfección con cloro. (Salamanca, 2014)

Existe diversidad de filtros para utilizar en un sistema de captación pluvial. Uno de ellos, son los filtros bajantes presentados en la Figura 5, que solo garantizan la remoción de sólidos y reducen levemente las concentraciones de turbiedad, por tanto, es importante tenerse en cuenta filtros más complejos con estructura de carbón activado, grava y arena, para finalizar en la cloración.

Fuente: (Sarai Francisca Guzmán Ruiz, 2014)

Figura 5. Filtro de bajante en un sistema de aprovechamiento pluvial



Fuente: (Sarai Francisca Guzmán Ruiz, 2014)

### 3.3.3. Almacenamiento

Es el sitio dispuesto para conservar en agua colectada por el sistema de captación antes de la distribución. Su diseño puede ser muy variado y este dependerá de condiciones físicas del espacio, de la calidad del agua necesitada antes de su aprovechamiento y del volumen específico requerido. A continuación, se presentan algunas características que deben tener los tanques de almacenamiento:

- Material de cemento o ferrocemento, metálicos o plásticos.
- Impermeable, con el fin de evitar pérdidas por goteo o transpiración.
- Altura máxima no mayor de los 2 metros, para minimizar la presión y estética del lugar.
- Cerrado, para evitar el ingreso de material particulado, la luz solar e insectos
- Disponer de un acceso, lo suficientemente grande para mantenimiento.
- Contemplar tamices y mallas que evite el ingreso de animales e insectos.
- Contar con las válvulas necesarias para el retiro y drenaje.(Correa, 2014)

### 3.3 Ventajas y desventajas de los proyectos de aprovechamiento pluvial

Como ventajas y desventajas de acuerdo con (Adler, Carmona, & Bojalil, 2008), se presentan las siguientes.

### **3.3.1 Ventajas**

- Alta calidad del agua, ya que esta proviene libre de sodio y otros contaminantes
- Tratamientos menos costosos
- El sistema es de carácter independientes, por tal es ideal para comunidades alejadas de la red de agua.
- No hay consumo energético dentro de los procesos
- Su mantenimiento es sencillo y de bajo costo
- Es aplicable a todas las comunidades urbanas y edificaciones, por la variedad de diseños
- Reduce los costos de los servicios públicos de suministro de agua de la red municipal
- No trae impactos ambientales severos, puesto que no se extrae el líquido del ecosistema
- El agua lluvia es considerada optima en cuanto a las actividades de riegos de jardines y huertas

### **3.3.2 Desventajas**

- Su inversión inicial es alta, razón por la cual los estratos bajos se pueden ver afectados
- La cantidad de agua captada, depende de la oferta hídrica pluvial que presenta la zona, y su variabilidad climática
- Se requiere de un área específica para colocar los tanques o las cisternas de almacenamiento, lo que puede ser un impedimento espacial para algunas zonas residenciales.

## 4 METODOLOGÍA

### 4.1 Procedimiento

Dentro del desarrollo metodológico del estudio, se establecieron dos fases, con el fin de cumplir con los objetivos y ofrecer una solución a la problemática planteada teniendo en cuenta los aspectos de búsqueda y consolidación del conocimiento, como las fuentes de recolección de información, la población y unidad de muestra.

#### 4.1.1 Fase I: Establecimiento de la oferta y demanda hídrica del Comando de Policía

Se desarrollaron las siguientes actividades, correspondientes al cumplimiento del primer objetivo:

- *Calculo y análisis de la oferta hídrica pluvial de la ciudad de Bucaramanga:*

En esta actividad se recopilamos fuentes de información secundaria de las bases de datos de las estaciones hidroclimatológicas del IDEAM, teniendo en cuenta las recomendaciones de guías para captación y aprovechamiento de aguas lluvia de la (FAO 2013), menciona que: “Para realizar un diseño, es necesario conocer el caudal máximo, analizar los datos de lluvias máximas de por lo menos 10 años atrás”. Por tal razón, se recopilamos información de la precipitación por un tiempo de 20 años atrás.

- *Determinación del caudal o capacidad del sistema que se requiere para el sistema de aprovechamiento pluvial, de acuerdo a la oferta hídrica pluvial de Bucaramanga:*

Se realizó el cálculo y análisis de la información locativa del comando, con el fin de conocer la oferta específica, disponible para satisfacer las necesidades del comando.

- *Determinación de la demanda de agua del comando de policía*

Para la determinación de la demanda de agua en el comando de policía, fue necesario analizar los datos del último año del servicio público de suministro de agua potable y alcantarillado, observar cuál es el comportamiento del consumo y su valor en pesos, a partir de allí establecer la dotación del comando de policía y los datos de flujo de personas que transitan en un día.

- *Análisis Oferta vs Demanda, con el fin de conocer el posible ahorro a futuro que genera el sistema de aprovechamiento pluvial.*

De acuerdo con la información obtenida, se hizo el análisis de la oferta o capacidad del sistema de captación pluvial con respecto a la demanda, con el fin predecir si la disponibilidad de recurso satisface al comando de la policía y evaluar si es factible invertir en este tipo de proyectos dada una oferta general promedio de precipitaciones mensuales de la ciudad de Bucaramanga.

#### **4.1.2 Fase II: Análisis de las condiciones físicas y estructurales del comando de policía**

- *Visita técnica al comando de Policía.*

Dentro de la visita de campo al lugar de estudio, se revisó sobre la calidad, material y área de las cubiertas, como también se logró obtener información general acerca del flujo poblacional y el uso del agua.

- *Establecimiento del lugar adecuado para implementar el sistema.*

Seguidamente de haber realizado la visita de campo, se analizaron los posibles lugares de ubicación del sistema de aprovechamiento pluvial, este debía cumplir con características específicas como área, volumen y condiciones estructurales.

- *Realización del diseño conceptual del sistema de aprovechamiento pluvial.*

Con la información obtenida previamente, se hizo aplicación del método dado por (Velasco et al., 2000), en el manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia arrojando los resultados del tamaño mínimo de diseño del tanque.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta el diseño metodológico aplicado, se presentan los resultados de cada fase con su respectivo análisis:

### 5.1 Establecimiento de la oferta y demanda del comando de policía

#### 5.1.1 Cálculo y análisis de la oferta hídrica pluvial de Bucaramanga.

##### 5.1.1.1 Estaciones del IDEAM en Bucaramanga

El IDEAM ha instalado 9 estaciones dentro de su red de monitoreo en Bucaramanga, de las cuales 4 de ellas ya no se encuentran en funcionamiento, lo que quiere decir que solo 5 llevan el registro y control de información recibida, como se relacionan en la tabla 2.

Tabla 2. Estación Hidroclimatológicas y Meteorológicas del IDEAM

<b>Estación</b>	<b>Estado</b>	<b>Instalación</b>	<b>Suspensión</b>
La Floresta [23190590]	Activa	15/06/1978	
Himat r-11 [23190800]	Suspendida	15/06/1984	15/05/1989
Bucaramanga Ideam	Activa	15/10/1996	
Apto Gómez niño	Suspendida	15/06/1940	15/07/1974
Univ ind. Santander	Activa	15/01/1957	
Vivero chimita	Suspendida	15/08/1968	15/06/1971
Neomundo automatica	Activa	17/08/2005	Trasladada
Colombia [23197680]	Suspendida	15/12/1992	15/07/1999
Majadas [23197700]	Activa	15/10/2001	

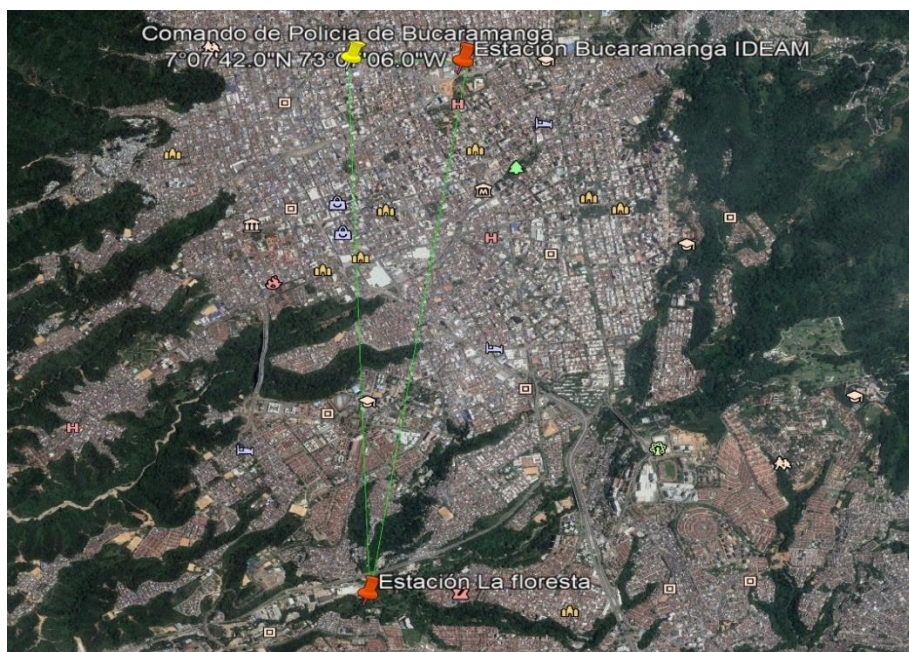
Fuente: Los Autores a partir del Información del IDEAM

Para el presente estudio solo se tomaron dos estaciones de monitoreo más cercanas a la estación de policía, con la información completa desde 1997 hasta el año 2017. Estas redes de monitoreo fueron:

- a. La estación Floresta, se encuentra ubicada en el barrio porvenir, perteneciente a la comuna 11 de Bucaramanga, es una estación convencional pluviográfica que se encuentra en una residencia privada, a la cual solo se puede tener acceso con previa autorización, esta mide parámetros como la curva IDF (intensidad duración y frecuencia), precipitación máxima en 24 horas, los números de días de precipitación y la total en un mes.
- b. La estación Bucaramanga IDEAM, se encuentra ubicada en el barrio la Aurora, donde es la actual sede del instituto, tiene como referencia la corriente del río Surata, es de origen pluviográfica convencional la cual mide parámetros como la curva IDF, precipitación máxima en 24 horas, los números de días de precipitación y la total en un mes.

En la figura 6, se presenta mediante un polígono de distancia en color amarillo la localización del comando de la policía y en color rojo las estaciones meteorológicas seleccionadas más cercanas para determinar el comportamiento pluvial.

Figura 6. Polígono de puntos de estudio



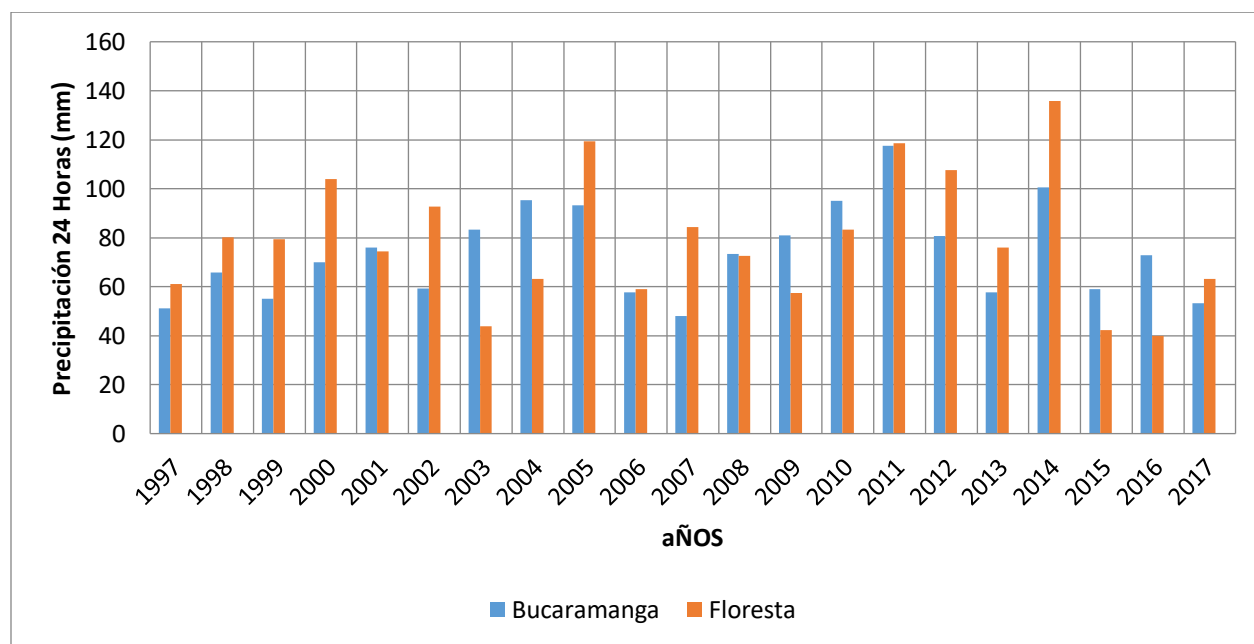
Fuente: Los autores a partir de Google earth

### 5.1.1.2 Datos históricos de las estaciones

Se realizó la solicitud al IDEAM, acerca de los datos de precipitación de los últimos 20 años. Seguidamente de radicar la información, estos fueron enviados en formato de texto (.txt) y se crearon las tablas de datos material base el proyecto como se observa en el Anexo 1.

De la información obtenida de las estaciones meteorológicas seleccionadas, para los años de 1997 hasta 2017, la cantidad máxima de lluvia en milímetros que se presentó en 24 horas, se muestra en la figura 7.

Figura 7. Precipitación Máxima en 24 h

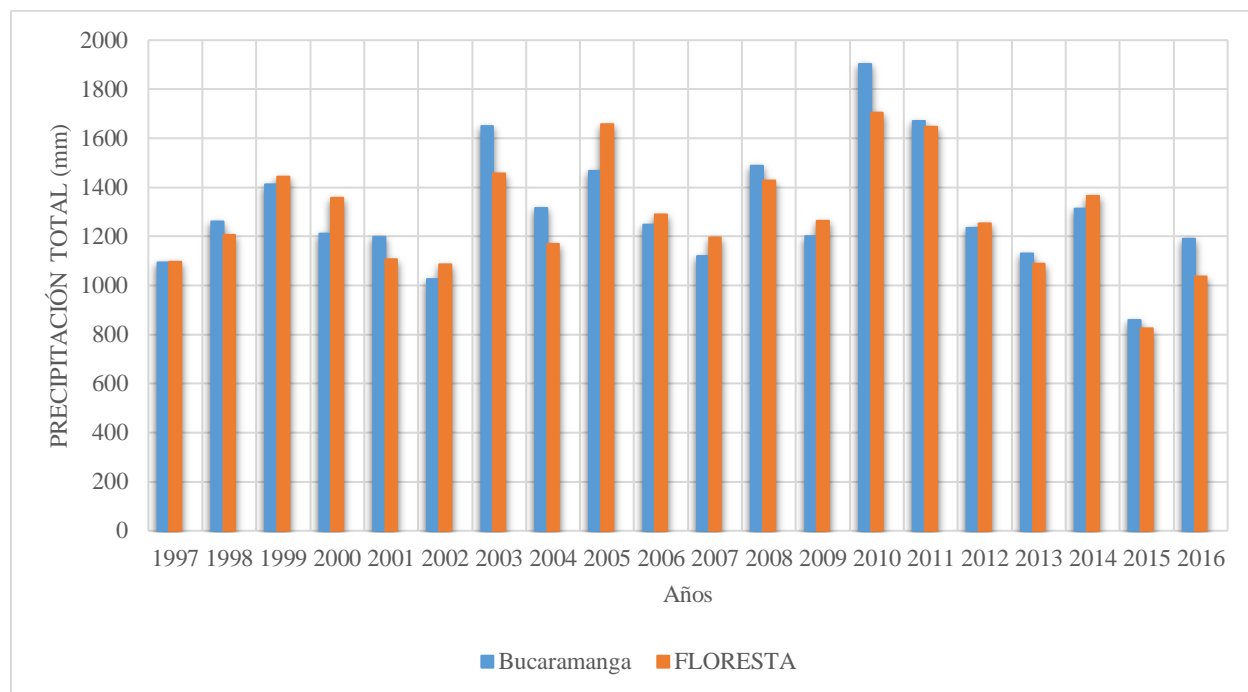


Fuente: Los Autores con base en datos del IDEAM

Esta información fue categorizada de acuerdo al mes en el que se presentó la precipitación, para el caso de la estación Bucaramanga IDEAM, la precipitación máxima fue en el mes de octubre del año 2011, con un total de 380,1 milímetros de lluvia, siendo esta también la más alta que se ha presentado desde la instalación de la estación pluviográfica, hasta el año 2017.

El año con mayor cantidad de precipitación fue en el 2010, con un registro de 1903,8 milímetros de lluvia en un año, como se observa en la figura 9.

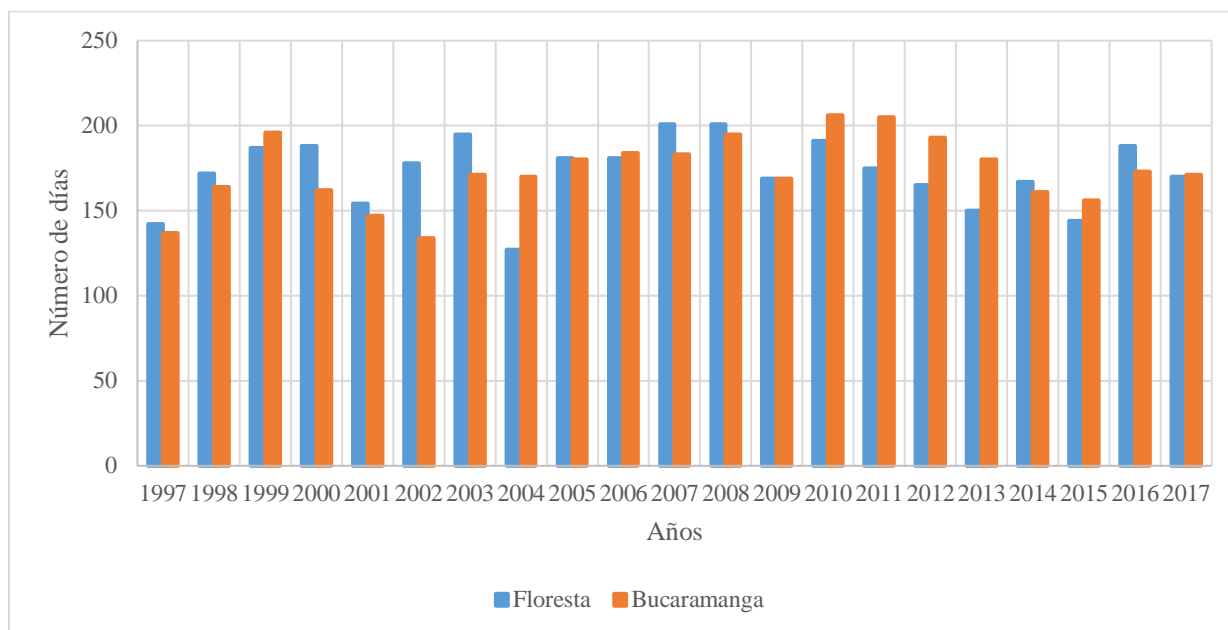
Figura 8. Precipitación máxima por Año



Fuente: Los Autores

Se obtuvo además información acerca de los números de días que llovió por mes, donde en septiembre de 2010 hubo 27 días de lluvia, como se identifica en la figura 9. Este es el dato más alto registrado desde la instalación de la estación, razón por la cual en ese mismo año se registraron los máximos días de lluvia 206 de 365 días.

Figura 9.No días de precipitación en un año



Fuente: Los Autores

En la estación La Floresta, se graficaron datos como el mes con mayor precipitación, el cual se registró en febrero del año 2005 con 389,4 milímetros de lluvia, dato similar que se obtuvo en la estación Bucaramanga, lo cual comprueba la veracidad y confiabilidad de las estaciones, de igual forma que la anterior el año con mayor cantidad de precipitación fue el 2010, con un registro de 1703,3 milímetros de lluvia

Además se obtuvo la información de la cantidad máxima de lluvia en milímetros que se presentan en 24 horas, las cuales están categorizadas de acuerdo al mes en el que se presente la precipitación, dado el caso de la estación La Floresta, la precipitación máxima en 24 horas, se presentó en el meses de Febrero y marzo del año 2005, con un total de 119,3 y 135,7 milímetros de lluvia respectivamente, siendo este también el rango más alto que se ha presentado desde la instalación de la estación pluviográfica, y como dato contextual histórico, durante ese mes se presentó la inundación en el municipio de Girón Santander, perteneciente al área metropolitana de Bucaramanga.

Por último se registran los números de días que ha llovido en un mes, donde de acuerdo a los datos obtenidos de la estación La Floresta en el mes agosto de 2007 llovió 26 días de ese mes, registrándose ese año como el más alto con 201 días de lluvia.

### **5.1.1.3 Oferta hídrica según el cálculo de precipitaciones**

Para determinar la oferta hídrica pluvial presente en el lugar de estudio, se realizó un análisis estadístico de la información recolectada, con el fin de observar el comportamiento de las precipitaciones a lo largo de los años en la ciudad de Bucaramanga.

Inicialmente se hizo el análisis de cada estación puesto la solicitud aclaró que las estaciones hidrometeorológicas, podrían presentar errores debido a fallas técnicas u omisión de información que posiblemente estaban incompletos por ausencia de instrumentos, desperfecto de la infraestructura o ausencia del observado. En estos casos se obtienen los datos por interpolación, regresión lineal, extrapolación u otros métodos, que aplica el instituto cuando no se cuenta con la información.

Uno de los métodos matemáticos para la estimación de un dato faltante es el de ecuaciones diferenciales, como el modelo aplicado de predicción o estimación del U.S Weather Bureau (Chow, Maidment, & Mays, 1994), el cual mediante una regresión normalizada se calcula:

$$Px = \frac{1}{n} \left( \frac{x}{xA} PA + \frac{x}{xB} PB + \frac{x}{xC} PC + \dots + n \right)$$

Dónde:

Px: Precipitación faltante

x: precipitación anual estación faltante

xn: precipitación anual de la estación n

Pn: Precipitación mensual de la estación n

Con los datos completos anuales de las estaciones que se presentan en la tabla 3, se estimó la oferta hídrica de Bucaramanga.

Tabla 3. Precipitaciones Maximas Anuales Bucaramanga - Santander

Año	Precipitación Anual (mm)	
	Bucaramanga	Floresta
1997	1094	1096,2
1998	1261,6	1206,4
1999	1411,6	1443,5
2000	1211,5	1356,9
2001	1197,8	1106,7
2002	1024,9	1087,2
2003	1650	1455,9
2004	1315,9	1169,1
2005	1467,9	1657,5
2006	1247,3	1290,7
2007	1119,9	1196,2
2008	1489,2	1426,8
2009	1200,3	1262,5
2010	1903,8	1703,7
2011	1669,4	1647,7
2012	1234,3	1253,2
2013	1131,1	1088,3
2014	1313,8	1365,7
2015	858,3	826,1
2016	1191,4	1037
2017	877,2	966,5

Fuente: Los Autores a partir de información IDEAM

Se compararon los valores de cada estación observando un comportamiento semejante durante el tiempo de estudio y una precipitación anual que oscila entre los 800 a 2000 milímetros de precipitaciones, lo que indica que Bucaramanga tiene una óptima oferta hídrica pluvial de

acuerdo con (FAO, 2013), quien establece mínimo valor anual de precipitación de 800 mm para la instauración de estos sistemas.

El análisis estadístico dado por los 40 datos de las precipitaciones anuales desde 1997 hasta el 2017 de las estaciones Bucaramanga IDEAM y la Floresta, determino un dato máximo de precipitación en la estación Bucaramanga para el año 2010 y un resultado mínimo en la estación la Floresta para el año 2015, como se describe en la tabla 4..

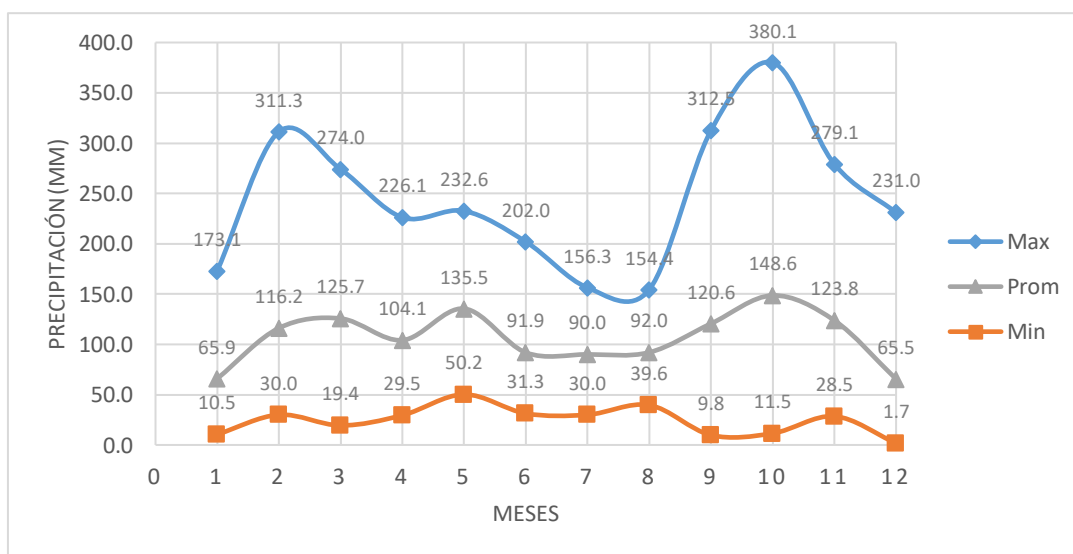
Tabla 4. Resultado de la Oferta Hídrica Pluvial

Oferta Hídrica Pluvial Anual (mm)			
Datos	Mínimo	Promedio	Máximo
40	826,1	<b>1276,14</b>	1903,8

Fuente: Los Autores

Ahora bien, los meses con mayor y menor precipitación de las dos estaciones se presentan en la figura 10, indicando que Enero, Septiembre, Octubre y Diciembre tienen los mínimos niveles de precipitación, por tanto predicen meses críticos para abastecer el sistema de aprovechamiento o tanque de almacenamiento.

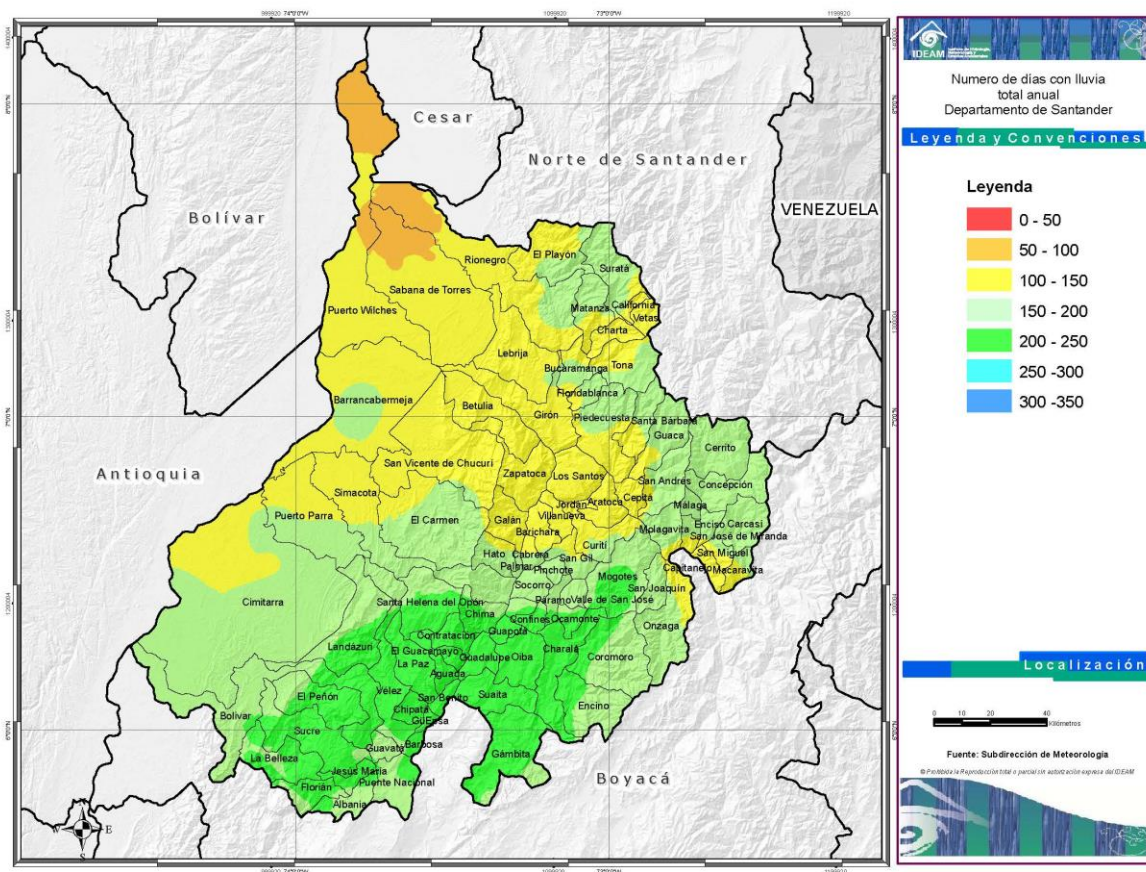
Figura 10. Valores de precipitación Máx y Min



Fuente: Los Autores

En la figura 11 , se muestra el mapa temático del departamento de Santander, con identificación pluviométrica en la ciudad de Bucaramanga del número de días con precipitación en un año, reportando 150 a 200 días , a lo que se puede decir que llueve más de la mitad del año en la ciudad.

Figura 11 N° días de Lluvias Santander



Fuente: IDEAM

### 5.1.2. Determinación del caudal o capacidad del sistema

Para proyectar la inicial viabilidad del proyecto se determinó la capacidad de captación del sistema de aprovechamiento pluvial, de acuerdo a la oferta hídrica pluvial de Bucaramanga calculada en el ítem anterior y se obtuvo una segunda oferta, la cual, es específica para las condiciones de área, escurrimiento y población obtenida en unidades m<sup>3</sup>.

La oferta disponible se calculó, teniendo en cuenta criterios de diseño establecidos el manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para sistemas de abastecimientos (FAO, 2013).

Siendo que la disponibilidad hídrica mensual (oferta específica), es:

$$A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

Dónde

$A_i$  = Oferta específica hídrica mensual del sistema

$Ce$  = coeficiente de escurrimiento (0.8 dato constante para techos de arcilla o metálicos, de acuerdo a la guía de diseño de la FAO)

$Ac$  = Área de la cubierta de captación

Para estos cálculos, fue necesario determinar la precipitación promedio mensual, de la información de los últimos 15 años, y según la estación del IDEAM Bucaramanga.

Tabla 5. Promedio Mensual de lluvias Bucaramanga

Mes (1997 - 2017)	$Pp_i$ (mm/m <sup>2</sup> )
Enero	65,9
Febrero	116,2
Marzo	125,7
Abril	104,1
Mayo	135,5

Mes (1997 - 2017)	P <sub>pi</sub> (mm/m <sup>2</sup> )
Junio	91,8
Julio	90,0
Agosto	92,0
Septiembre	120,5
Octubre	148,6
Noviembre	123,8
Diciembre	65,5

Fuente: Los Autores a partir del IDEAM

Seguidamente, y teniendo en cuenta la información de las condiciones físicas descritas en la tabla 6, se logró determinar la disponibilidad hídrica mensual del sistema, como se describe en la tabla 7

Tabla 6. Datos de Diseño

Datos de diseño		
Área de cubierta (techos)	2000	m <sup>2</sup>
Población	500	habitantes
Coefficiente de escurrimiento	0,8	adimensional
Demanda Máx.	160	m <sup>3</sup>

Fuente: Los Autores

Tabla 7. Disponibilidad Hídrica Mensual

Mes	A <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )
Enero	<u>122,016</u>
Febrero	<u>141,664</u>
Marzo	221,568
Abril	<u>135,608</u>
=Mayo	229,096
Junio	<u>99,16</u>
Julio	<u>140,112</u>
Agosto	<u>122,232</u>
Septiembre	163,24

Mes	Ai (m <sup>3</sup> )
Octubre	181,816
Noviembre	291,16
Diciembre	<u>111,272</u>

Fuente: Los Autores

El volumen disponible más alto se encontró en el mes de noviembre, con una oferta de 291,16 m<sup>3</sup> y el menor en el mes de Junio con 99,16 m<sup>3</sup> disponibles.

### 5.1.2 Demanda de Agua del Comando de Policía de Bucaramanga

Después de obtener los datos de precipitación mediante la recolección de información secundaria de la base de datos del IDEAM se procedió a realizar el cálculo de la demanda, teniendo en cuenta el dato de dotación de agua por persona de acuerdo con (RAS, 2003), para atender las necesidades básicas de los usuarios, para tal se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Dónde:

Di: es la demanda mensual en m<sup>3</sup>

Nu: es la población beneficiada por el sistema

Nd: los días analizados en el mes

Dot: la dotación por persona (L/hab\*día)

De acuerdo a los datos suministrados por el comando de policía, la población que reside en las instalaciones es de 130 personas más 370 personas que laboran entre las 6 am hasta las 6 pm, lo que equivale a una población aproximada 500 habitantes. El registro del consumo fue tomado de los recibos facturados de agua durante el 2018 y la dotación promedio por persona fue calculada

en la oferta específica, con 10,6 L/hab\*día. Los resultados de la demanda mensual se describen en la tabla 8 y 9:

Tabla 8. Demanda mensual teórica

<i>calculo de demanda</i>			
<b>Demanda [m<sup>3</sup>]Men sual</b>	<b>UN [Hab]</b>	<b>Nd [dia]</b>	<b>Dot [L/hab*día]</b>
<b>160,1</b>	500	30	10,67

Fuente: Los Autores

#### 5.1.1.4 Comparación de datos obtenidos con el consumo registrado

Con el fin de estimar un consumo real se procedió a verificar la facturación del comando de policía para el año 2018 de suministro de agua potable, como presenta la siguiente tabla 9.

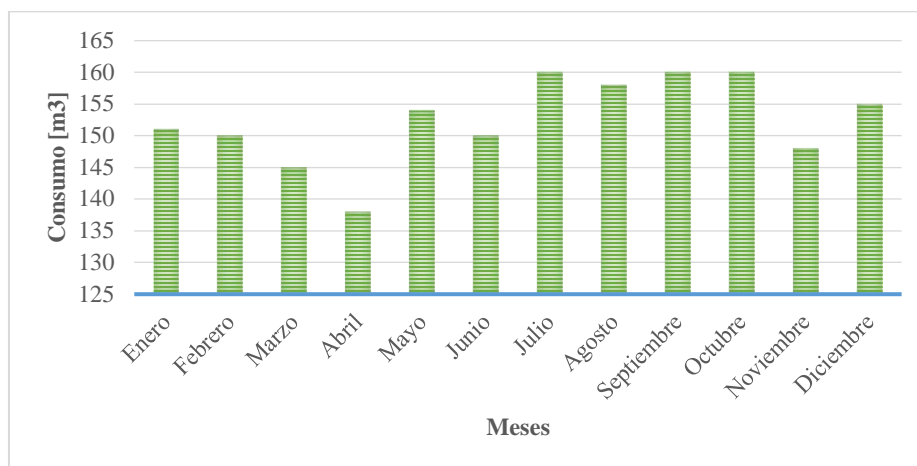
Tabla 9. Consumo de agua según facturación

<b>Mes</b>	<b>Consumo [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Valor por m<sup>3</sup> [\$]</b>	<b>Total consumo agua (\$)</b>
Enero	151	\$ 2.032,00	\$ 306.832,00
Febrero	150	\$ 2.032,00	\$ 304.800,00
Marzo	145	\$ 2.032,00	\$ 294.640,00
Abril	138	\$ 2.032,00	\$ 280.416,00
Mayo	154	\$ 2.032,00	\$ 312.928,00
Junio	150	\$ 2.032,00	\$ 304.800,00
Julio	160	\$ 2.032,00	\$ 325.120,00
Agosto	158	\$ 2.032,00	\$ 321.056,00
Septiembre	160	\$ 2.032,00	\$ 325.120,00
Octubre	160	\$ 2.032,00	\$ 325.120,00
Noviembre	148	\$ 2.032,00	\$ 300.736,00
Diciembre	155	\$ 2.032,00	\$ 314.960,00

Fuente: Los autores a partir de la facturación AMB

La variación mensual se presenta en el siguiente gráfico de barras con su respectivo análisis estadístico. Figura 12 y Tabla 10.

Figura 12. Consumo Agua del comando de policía



Fuente: Los Autores

Tabla 10. Análisis Estadístico Demanda Hídrica m<sup>3</sup>

<b>Análisis Estadístico</b>	
Media	<b>152,42</b>
Error típico	1,96
Mediana	152,50
Moda	160,00
Desviación estándar	6,80
Varianza de la muestra	46,27
Curtosis	0,21
Coefficiente de asimetría	-0,70
Rango	22,00
Mínimo	138,00
Máximo	160,00
Suma	1829,00
Cuenta	12,00
Nivel de confianza (95,0%)	4,32

Fuente: Los Autores

De acuerdo al análisis estadístico la media del consumo es de 152,42 m<sup>3</sup> de agua al mes, con un rango de 22 m<sup>3</sup> lo que equivale a una mínima demanda de 130,42 m<sup>3</sup> y máxima de 174.42 m<sup>3</sup> o del 13,7 % variación con respecto del consumo promedio.

El valor teórico arrojado por la ecuación  $160,1 \text{ m}^3/\text{mes}$ , correspondió a la demanda máxima facturada por el suministro de agua potable registrado por el acueducto.

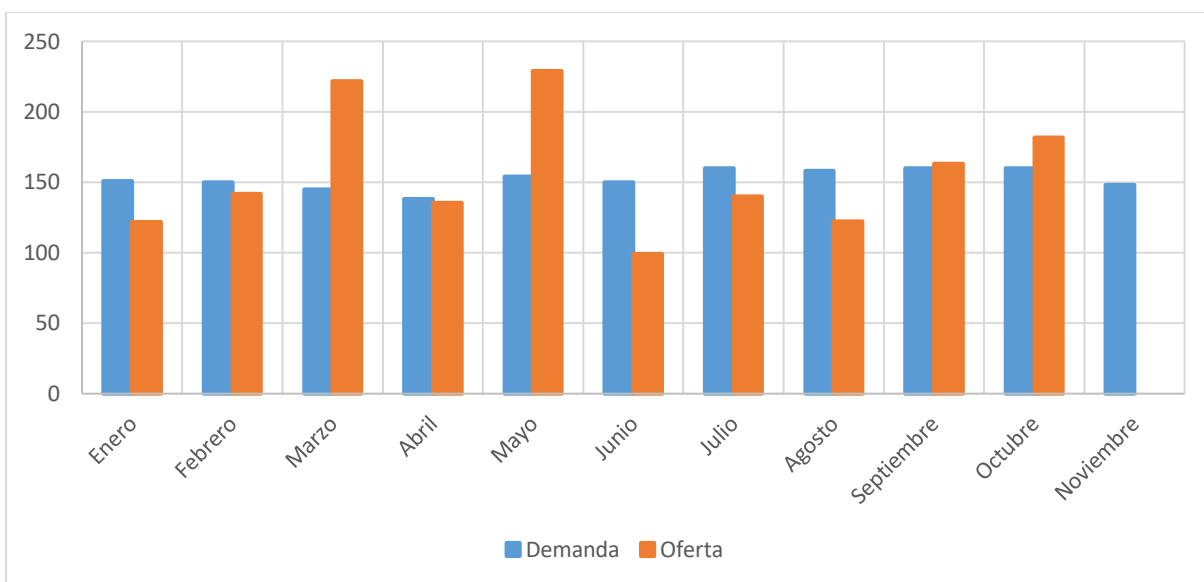
### **5.1.2 Oferta Vs Demanda**

Los datos analizados por 20 años contemplaron desde 1997 a 2017 y estimaron una Oferta pluvial anual mínima de 826,1mm, una máxima de 1903,8 mm y una promedio 1276,14 mm, lo cual, caracteriza la zona como de carácter húmedo y como necesario para implementar un sistema de captación y aprovechamiento.

En el análisis Oferta Vs demanda, se estimó la capacidad de captación del sistema como una oferta específica dadas las condiciones del comando, en términos de área de la cubierta y la población. Esta arrojó una disponibilidad máxima en volumen de  $291,16 \text{ m}^3$  para el mes de Noviembre y mínima para el mes de Junio de  $99,16 \text{ m}^3$ , que pretenderá suplir con la demanda promedio calculada de  $160 \text{ m}^3/\text{mes}$

En primera instancia, y para predecir la viabilidad del proyecto con la aptitud del sistema, se realizó una gráfica comparativa entre la oferta disponible vs la demanda según facturación del 2018. Esta es presentada en la figura 13

Figura 13. Oferta disponible vs Demanda



Fuente: Los Autores

Como se observa en la gráfica, los meses febrero, junio, julio y agosto, la demanda es mayor a la oferta disponible, sin embargo estos meses equivalen solo a un 30 % del total de meses en el año, lo que indica que hay un abastecimiento total durante el primer año del 70 % de los meses

Es importante resaltar, que también hubo meses en los que la Oferta disponible supero la demanda, por ello, puede contemplarse una reserva o agua acumulada del sistema que supliría los meses críticos . Para conocer esta reserva se realizó la siguiente estimación.

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

$$Da_i = Da_{(i-1)} + \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Donde

Dai: es la demanda acumulada al mes de estudio

Aai: es la oferta acumulada al mes de estudio

Efectuando las ecuaciones se obtuvo como resultado un acumulado de oferta disponible y demanda en metros cúbicos por mes, consignados en la tabla 11:

Tabla 11. Oferta disponible y Demanda Acumulada

<b>Oferta Aai (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Demanda Dai (m<sup>3</sup>)</b>
122,01	160
<u>263,68</u>	<u>320</u>
485,24	480
620,85	640
849,95	800
949,11	960
1089,22	1120
1211,45	1280
1374,69	1440
1556,51	1600
1847,67	1760
1958,94	1920

Fuente: Los Autores

Con los resultados obtenidos se puede inferir que la oferta acumulada disponible del sistema de aprovechamiento pluvial es de 1958,94 m<sup>3</sup>, superior al final del año con la demanda del comando de policía de 1920 m<sup>3</sup>, obteniendo una ganancia, de 38 m<sup>3</sup> anuales con los cuales se han de reutilizar como reserva del sistema para el siguiente año.

## 5.2 Fase II: análisis de las condiciones físicas y estructurales del comando de policía

### 5.2.1. Determinación del Volumen del tanque de almacenamiento

Para determinar el volumen del tanque, a implementar en el comando de policía se aplicó la siguiente ecuación:

$$V_i = A_i(m^3) - D_i(m^3)$$

Donde

$V_i$ : es el volumen del tanque necesario para un determinado mes

$A_i$ : Oferta hídrica en el mes  $i$

$D_i$ : Demanda hídrica en el mes  $i$

Como resultados se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 12. Volumen mensual del tanque de almacenamiento

Mes	$V_i (m^3)$
Enero	-37,984
Febrero	-18,336
Marzo	61,568
Abril	-24,392
Mayo	69,096
Junio	-60,84
Julio	-19,888
Agosto	-37,768
Septiembre	3,24
Octubre	21,816
Noviembre	131,16
Diciembre	-48,728

Fuente: Los Autores

Los valores negativos significan que en esos meses el agua será utilizada en su totalidad y que el mayor volumen de agua en almacenamiento será de 131,16  $m^3$  y este debe establecer el diseño.

Sumado a lo anterior, durante el primer año de implementación el sistema contara con agua disponible para soportar la demanda total en tan solo 5 meses del año, lo cual es reportado con signos positivos . En este punto, es importante aclarar que los meses negativos no significan un desabastecimiento total de la demanda del comando, sino que por el contrario existe el recurso disponible que no llega al 100% y se cubrirá entre el 60 y 85% del total requerido.

Ahora bien, como se espera que el sistema de aprovechamiento alcance el abastecimiento total de la demanda, es decir del 100%, se puede predecir una tendencia durante los dos años siguientes de implementación. Para ello, se partió de que el comportamiento fuera constante en términos de oferta y demanda y se calculó la oferta acumulada del sistema mes a mes, indicando un segundo año donde la demanda total es satisfecha en 7 meses y parcialmente en el restante. con signos positivos y negativos en la tabla 13 y 14.

Tabla 13.Oferta hídrica Vs demanda acumulada durante el primer año de implementación

Mes	Precipitación	Oferta Disponible	Demanda (m <sup>3</sup> )	Acumulado
		(m <sup>3</sup> ) Parcial	Parcial	(m <sup>3</sup> )
Enero	76,26	122,016	160	-37,984
Febrero	88,54	141,664	160	-56,32
Marzo	138,48	221,568	160	5,248
Abril	84,755	135,608	160	-19,144
Mayo	143,185	229,096	160	49,952
Junio	61,975	99,16	160	-10,888
Julio	87,57	140,112	160	-30,776
Agosto	76,395	122,232	160	-68,544
Septiembre	102,025	163,24	160	-65,304
Octubre	113,635	181,816	160	-43,488
Noviembre	181,975	291,16	160	87,672
Diciembre	69,545	111,272	160	38,944
<b>Faltante:</b>				<b>-332,448</b>

Fuente: Los Autores

Tabla 14. Oferta hídrica Vs demanda acumulada durante el segundo año de implementación

Mes	Precipitación	Oferta Disponible	Demanda (m3)	Acumulado
		(m3)	Parcial	(m3)
Enero	76,26	122,016	160	0,96
Febrero	88,54	141,664	160	-17,376
Marzo	138,48	221,568	160	44,192
Abril	84,755	135,608	160	19,8
Mayo	143,185	229,096	160	88,896
Junio	61,975	99,16	160	28,056
Julio	87,57	140,112	160	8,168
Agosto	76,395	122,232	160	-29,6
Septiembre	102,025	163,24	160	-26,36
Octubre	113,635	181,816	160	-4,544
Noviembre	181,975	291,16	160	126,616
Diciembre	69,545	111,272	160	77,888
<b>Faltante:</b>				<b>-77,88</b>

Fuente: Los Autores

En este sentido, el comando de policía solo tendrá que recurrir al servicio de agua desde el acueducto durante los dos primeros años de implementación y bajo pequeños volúmenes faltantes de 332,3 m<sup>3</sup> para el año 1 y 77,88 m<sup>3</sup> para el año 2. Ya para año 3 año de implementación, la eficacia del sistema es total, es decir la ofertar podrá suplir la totalidad de la demmnda del comando, no habrá ningún tipo de consumo del servicio del acueducto. Esto es descrito en la tabla 15.

Tabla 15. Oferta hídrica Vs demanda acumulada durante el tercer año de implementación

Mes	Precipitación	Oferta Disponible (m3)	Demanda (m3)	Acumulado
		Parcial	Parcial	(m3)
Enero	76,26	122,016	160	39,904
Febrero	88,54	141,664	160	21,568
Marzo	138,48	221,568	160	83,136
Abril	84,755	135,608	160	58,744
Mayo	143,185	229,096	160	127,84
Junio	61,975	99,16	160	67
Julio	87,57	140,112	160	47,112
Agosto	76,395	122,232	160	9,344
Septiembre	102,025	163,24	160	12,584
Octubre	113,635	181,816	160	34,4
Noviembre	181,975	291,16	160	165,56
Diciembre	69,545	111,272	160	116,832
<b>Faltante:</b>				<b>0</b>

### 5.2.2. Inversión del Proyecto

Con el fin de conocer cuánto es el gasto monetario que implica la realización de los sistemas de abastecimiento pluvial, se realizó la cotización con una empresa de la ciudad de Bogotá que cuenta con experiencia certificada en el diseño e instalación de tanques, llamada Aquagro SAS. A continuación se presenta el listado de valores unitarios que se requieren en el diseño de sistemas de captación

Tabla 16. Presupuesto del sistema

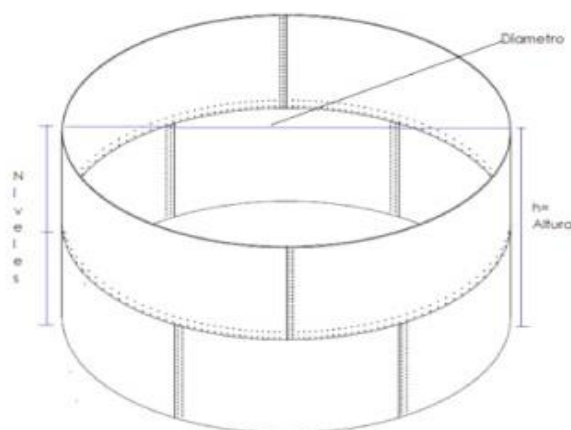
<b>Ítem</b>	<b>Valor (\$)</b>
Tanque de Almacenamiento (156 m <sup>3</sup> )	\$ 25.000.000,00
Sistema de Bombeo	\$ 3.500.000,00
Sistema de Recolección y Conducción	\$ 1.200.000,00
Mantenimiento	\$ 500.000,00
Operación del Sistema de Bombeo	\$ 2.500.000,00
Tratamiento preliminar	\$ 700.000,00
<b>Total</b>	<b>\$ 33.400.000,00</b>

Fuente: AQUAGRO SAS

### 5.2.3. Criterios de Construcción

El tanque de almacenamiento cotizado apropiado según al volumen mínimo calculo tiene las siguientes especificaciones técnicas: Diámetro de 8,14 metros, un radio de 4,07 m, altura (H) de 3 m, y una capacidad real de 154 m<sup>3</sup>. Su forma es observada en la figura 14.

Figura 14. Esquema del tanque de almacenamiento



Fuente: Aquagro SAS

El prototipo del tanque, se muestra la figura 15, el cual tiene como características, la protección contra la luz solar, importante para evitar la producción fotosintética en el interior, ya que el estar descubierto permite el ingreso de semillas y mediante la luz solar, estas germinan. Está hecho de materiales ecológicos que evitan la disolución de los componentes de su elaboración.

Figura 15. Prototipo Real del Tanque de Almacenamiento



Fuente: Aquagro SAS

Con el fin de conocer el volumen de almacenamiento real de tanque, se calcula  $V$  cilindro según la fórmula:

$$V_{cilindro} = \pi r^2 h$$

Dónde :

R: es el radio 4,07 m

H: es la altura 3 m

Los datos obtenidos son:

$$V_{cilindro} = \pi(4,07m)^2(3m)$$

$$V_{cilindro} = 156,12 m^3$$

El área total que ocupa el tanque, se utilizara con el fin de verificar el requerimiento de espacio en el comando, ya sea tanto subterráneo como superficial. El área total de superficie del cilindro es de :

$$ATS = \pi r h + 2\pi r^2 = 180,8 m^2$$

Dónde: ATS: es el área total de superficie

El comando de policía cuenta con el espacio suficiente para la implementación, ya que el área total del terreno sobrepasa los 2800 m<sup>2</sup>, y en cubierta 2000 m<sup>2</sup>. De acuerdo a lo observado en la visita de campo hay espacios apropiados como el expuesto de la figura 16, donde se encuentran los baños del comando y se puede adecuar para el diseño. Otra opción habría entre los bloques de la edificación.

Figura 16. Área propuesta de construcción



Fuente: Los Autores

El lugar propuesto, cuenta con un área suficiente para implementar el sistema de almacenamiento pluvial, además de esto es posible adecuar la superficie para que el sistema funcione como tanque elevado, pero los detalles dependerán de estudios civiles y arquitectónicos que determinen los criterios de la construcción.

Para tener en cuenta en la construcción, se han de seguir los siguientes pasos en el proyecto civil:

- a. Replanteo: tiene como objetivo definir los materiales y obras que se deben tener en cuenta en la ejecución de la obra.

- b. Construcción de area de captación: dependiendo del tipo de construcción que se realice, son necesarias las obras de nivelación del terreno, limpieza y descapote dado el caso que sea subterráneo.
- c. Construcción del area de acumulación: esta debe fijarse el metodo de protección del sistema y la capacidad de resistencia ante eventos naturales.
- d. Sistema de Conducción: este debe contemplar la distribución del recurso, que en el caso del comando de policia, debe ser con sistema de bombeo por el area total del comando dividida en 2 complejos de edificaciones, ademas de esto ha de contar con los sistemas de desinfección y tratamiento para el consumo humano.
- e. Cierre perimetral: se debe proteger el sistema con un equipamiento, que no permita el ingreso de personas no autorizadas al sistema

#### 5.2.4. Costo – Beneficio

Para realizar el analizar el costo – beneficios de la implementación de este tipo de proyectos, fue necesario contemplar el costo por m<sup>3</sup> de agua, siendo necesario aclarar que todo el agua consumida en el comando es para uso doméstico y que el valor cobrado de alcantarillado está en relación al consumo en m<sup>3</sup> como se presenta en la siguiente tabla 17.

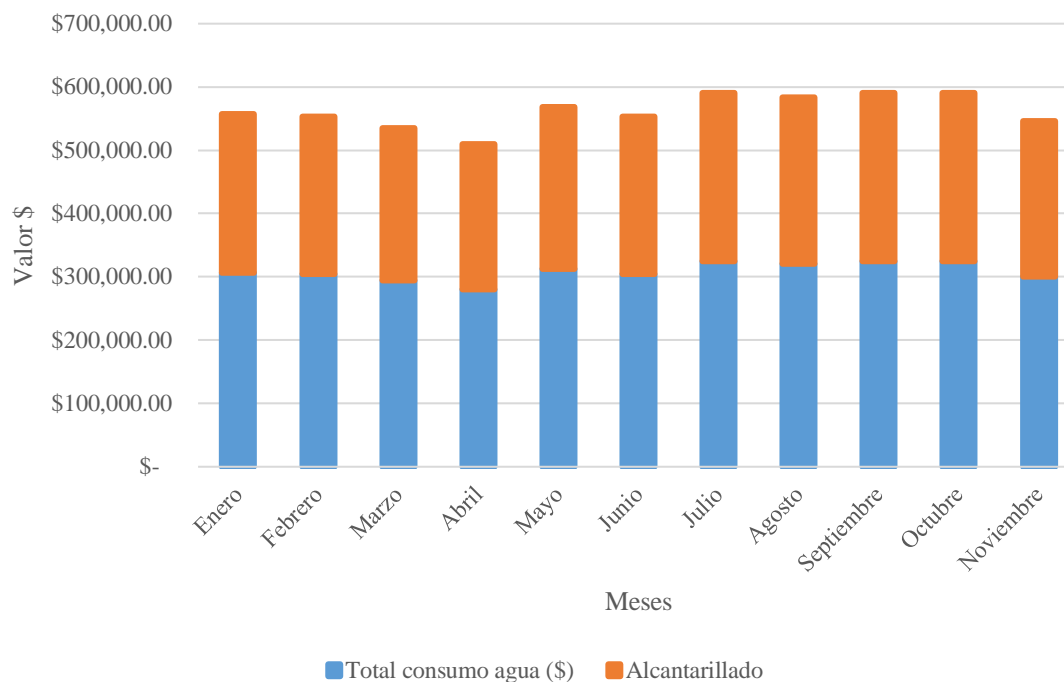
Tabla 17. Relación de facturación AMB 2018

Mes	Consumo [m <sup>3</sup> ]	Valor suministro por m <sup>3</sup> [\$]	Total consumo agua (\$)	Valor de Alcantarillado [\$/m <sup>3</sup> ]	Total de Alcantarillado (\$)
Enero	151	\$ 2.032,00	\$ 306.832,00	\$ 1.659,00	\$ 250.509,00
Febrero	150	\$ 2.032,00	\$ 304.800,00	\$ 1.659,00	\$ 248.850,00
Marzo	145	\$ 2.032,00	\$ 294.640,00	\$ 1.659,00	\$ 240.555,00
Abril	138	\$ 2.032,00	\$ 280.416,00	\$ 1.659,00	\$ 228.942,00
Mayo	154	\$ 2.032,00	\$ 312.928,00	\$ 1.659,00	\$ 255.486,00
Junio	150	\$ 2.032,00	\$ 304.800,00	\$ 1.659,00	\$ 248.850,00

Julio	160	\$ 2.032,00	\$ 325.120,00	\$ 1.659,00	\$ 265.440,00
Agosto	158	\$ 2.032,00	\$ 321.056,00	\$ 1.659,00	\$ 262.122,00
Septiembre	160	\$ 2.032,00	\$ 325.120,00	\$ 1.659,00	\$ 265.440,00
Octubre	160	\$ 2.032,00	\$ 325.120,00	\$ 1.659,00	\$ 265.440,00
Noviembre	148	\$ 2.032,00	\$ 300.736,00	\$ 1.659,00	\$ 245.532,00

Fuente: Los Autores a partir de la facturación AMB

Tabla 18. Gastos del servicio público de agua



Fuente: Los Autores

Con los datos analizados de la gráfica y en la tabla de registro de la facturación del servicio público de agua AMB, se estimó que los valores promedios consumidos tanto por abastecimiento del recurso hídrico, como de alcantarillado, fluctúan entre \$500.000 a \$600.000 pesos.

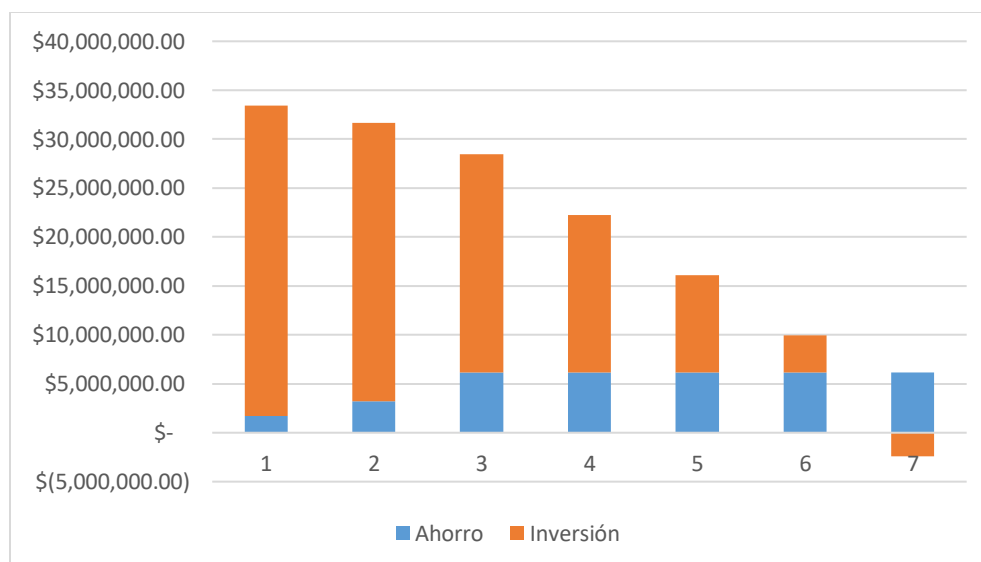
Tabla 19. Totales

Año	Ahorro	Inversión
1	\$ 1.720.330,81	\$ 31.679.669,19
2	\$ 3.225.000,00	\$ 28.454.669,19
3	\$ 6.178.734,00	\$ 22.275.935,19

<b>Año</b>	<b>Ahorro</b>	<b>Inversión</b>
4	\$ 6.178.734,00	\$ 16.097.201,19
5	\$ 6.178.734,00	\$ 9.918.467,19
6	\$ 6.178.734,00	\$ 3.739.733,19
7	\$ 6.178.734,00	-\$ 2.439.000,81

Fuente: Los Autores

Figura 17. Retorno a Capital



Fuente: Los Autores

A partir de la información recolectada se hace el análisis del periodo de retorno o recuperación de la inversión del sistema de captación pluvial, para esto se tomó el valor de inversión inicial y se dividió en el valor total anual ahorrado con el modelo obteniendo que entre el sexto y séptimo año se cubre el valor total de inversión, obteniendo ya una ganancia como se observa en la figura 17.

Por otra parte, se determina que el proyecto es viable ambientalmente, puesto que soporta la necesidad de la población requerida, contribuye al desarrollo sostenible en cuanto al ahorro y preservación de un recurso no renovable.

El sistema tendrá una larga duración, puesto de acuerdo con la (FAO, 2013), la vida útil de los sistemas se estima por los 50 años, dependiendo del material y el mantenimiento que se le dé .

## 6 CONCLUSIONES

Partiendo de que los elementos mínimos que deben tenerse en cuenta en la selección de un sistema de aprovechamiento pluvial son: las características de precipitación de la zona, las proyecciones de población a abastecer, los consumos de agua o curvas de demanda mensual y anual, las características físicas del sitio y las condiciones económicas y financieras. FAO (2013). Se establecieron en el estudio para determinar la viabilidad del proyecto.

Se determinó la oferta hídrica de la ciudad de Bucaramanga, con un promedio anual de 1276,14 mm calculados a partir de información de estaciones meteorológicas del IDEAM de un a base de datos de 20 años, determinando una óptima precipitación y clasificación de la zona según la guía para captación y almacenamiento de agua de lluvia de la FAO en cuanto a implementación de sistemas de aprovechamiento pluvial.

Se realizó análisis de la demanda teórica vs la oferta disponible teniendo en cuenta las condiciones espaciales del comando y se determinó la disponibilidad de agua mensual durante el primer año, la cual suple la necesidad completamente para los meses Marzo, Mayo, Septiembre, Octubre y Noviembre, y parcialmente para el restante de meses con un abastecimiento del 70 %.

A razón de que algunos meses del año ofrecieron una oferta disponible mayor a la demanda requerida, se logró calcular una oferta acumulada e identificar la tendencia del sistema de aprovechamiento pluvial para cumplir con el abastecimiento total esperado; en esto se obtuvo un resultado para el año 3 del 100% de abastecimiento a la demanda total y una independencia con respecto al acueducto.

Se estimó el volumen del tanque mínimo para abastecer la población con un valor  $131,16 \text{ m}^3$  y se calculó un área mínima de superficie para la instalación del sistema de  $180 \text{ m}^2$ , teniendo en cuenta los criterios de este diseño el área total disponible del comando es de  $2000 \text{ m}^2$  y términos de espacio se consideró viable. Es de resaltar, que durante una etapa posterior al proyecto con el equipo de ingeniería civil, deberá recalcularse el volumen del tanque, su diámetro y altura y demás implicaciones observadas durante la ingeniería de detalle.

Se hizo el análisis costo beneficio del proyecto, evidenciando un periodo de retorno a capital de 6 años, puesto que el ahorro total anual obtenido gracias al sistema de aprovechamiento pluvial ofrece un ahorro superior a los 6 millones de pesos. El proyecto al tercer año ya será autosuficiente e independiente del acueducto, lo cual concluye su viabilidad en cuento a los objetivos del proyecto y su contribución a los objetivos de desarrollo sostenible por la disponibilidad de agua limpia, saneamiento y acción por el clima.

## 7 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio civil y arquitectónico que incluya planos, listado de los materiales específicos y con estudio de la zona adecuada para instalación del sistema de abastecimiento pluvial en el comando de policía, ya que el presente estudio tuvo como características evidenciar las bases de la ingeniería conceptual, y no se tienen a detalle las especificaciones de construcción del sistema.

Se podría realizar una caracterización fisicoquímica de las aguas pluviales captadas en el sistema, para establecer apriorí un adecuado tratamiento que permita asegurar la calidad del agua apta para consumo humano y para el abastecimiento de la comunidad. Estas variables deben cumplir con mínimos parámetros de calidad o límites máximos permisibles reportados en el decreto 1594 de 1984 para usos del agua.

Este tipo de proyectos debido a la inversión inicial alta, son fácilmente financiados tanto por el estado como por entidades gubernamentales internacionales como la unión europea, la ONU y la FAO, por tal se recomienda hacer un estudio financiero completo para determinar la petición de financiación por parte de alguna de estas entidades dispuestas a invertir en proyectos que garanticen la sostenibilidad de los recursos.

La captación y el aprovechamiento de la lluvia representan solo una de las estrategias en el uso racional del agua, pero para lograr éxito en cualquier acción o proyecto, es necesario considerar diversos aspectos, como educación, concientización y capacitación de los usuarios, que permitan desarrollar en la comunidad una real cultura del uso eficiente del agua

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, A. (2008). Manual de Captacion de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos, 1–47. Retrieved from [http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION oct 2008.pdf](http://www.pnuma.org/recnat/esp/documentos/MANUALDECAPTACION%20oct%202008.pdf)
- Ballén Suárez, J. A., Ángel, M., García, G., Orlando, R., & Mosquera, O. (2015). Sistemas De Aprovechamiento De Agua Lluvia Para Vivienda Urbana. *João Pessoa (Brasil)*.
- Bansal, A. S., Dwivedi, N., & Adsett, M. (1997). Serum and blister fluid cytokines and complement proteins in a patient with Henoch Schönlein purpura associated with a bullous skin rash. *The Australasian Journal of Dermatology*, 38(4), 190–192. Retrieved from [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=pubmed&DbFrom=pubmed&Cmd=Link&LinkName=pubmed\\_pubmed&LinkReadableName=RelatedArticles&IdsFromResult=9431712&ordinalpos=3&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed\\_ResultsPanel.Pubmed\\_RVDocSum](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?Db=pubmed&DbFrom=pubmed&Cmd=Link&LinkName=pubmed_pubmed&LinkReadableName=RelatedArticles&IdsFromResult=9431712&ordinalpos=3&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_RVDocSum)
- Cely, O. C. (2015). Revisión sobre los usos y variables para determinar la calidad del agua pluvial en superficies de cubierta. *Revista De Investigación*, 8(2), 146-159..
- Chow, v. D., Maidment, L., & Mays. (1994). Hidrología Aplicada. *Editorial Mc Graw-Hill*, (Bogota-Colombia), 583.
- Congreso de la Colombia. (1997). Ley 373 de 1997, Programas para el uso eficiente y ahorro del agua, 9(1), 1–9.
- Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S. E., & Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México , México, 68(3), 409–427.
- FAO. (2013). *Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia- Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile. <https://doi.org/10.1111/jce.13019>
- Garduño, manuel anaya. (2009). Antecedentes De La Captacion De Agua De Lluvia. México, DF.

- Güiza Suárez, L. (2011). Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia. *Opinión Jurídica*, 10, 123–139.
- Guzmán, Ruiz, S. F. (2014). Sistema de captación de aguas pluviales adaptable a casas habitación, 1–149.
- Hernandez, Hernandez, M. (2017). El uso de aguas pluviales en la ciudad de alicante. de viejas ideas a nuevos enfoques, 63(03080), 7–25.
- Humberto, Á. (2012). Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático - caso de estudio: ciudad de Barranquilla, Colombia. *Rev.Ing.*, 54–59.  
<https://doi.org/10.16924/riua.v0i36.135>
- Juarez, M. (n.d.). Colombia: Premian Proyecto &quot;Cosecha de Agua Lluvia&quot;, por Marta Juárez | Servindi - Servicios de Comunicación Intercultural. Retrieved August 28, 2018, from <https://www.servindi.org/actualidad/1605>
- León, A; Córdoba, J; Carreño, U. (2016). Revisión del estado del arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Tecnura*, 20(50), 141–153. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10>
- Pinto Nieves, H. A. (2013). Diseño de jardín de lluvia a escala de laboratorio en la sede Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena, 1–109.
- RAS. (2003). Guia RAS 001: Definicion Del Nivel de Complejidad Y Evaluacion de La Poblacion, La Dotacion Y Nivel de Demanda. *Definicion Del Nivel de Complejidad y Evaluacion de La Poblacion, La Dotacion y Nivel de Demanda*. Retrieved from <http://www.minvivienda.gov.co/GuiasRAS/RAS - 002.pdf>
- republica de colombia, Tolendino, L. F., & Vahle, M. O. (1984). DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2(1), 258–263. <https://doi.org/10.1109/JSAC.1984.1146039>
- Rojas-Valencia, M. N., Gallardo-Bolaños, J. R., & Martínez-Coto, A. (2012). Implementación y Caracterización de un Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), 16–23. Retrieved from

<http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v15n1/v15n1a2.pdf>

Rubio-arias, H. (2015). Captacion Pluvial: Una alternativa sustentable, (June).

Sánchez Pérez, G. (n.d.). *Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia*. Retrieved from <https://guao.org/sites/default/files/biblioteca/Desarrollo y medio ambiente una mirada a Colombia.pdf>

Unicef. (2006). El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo. *La Infancia, El Agua y El Saneamiento Básico En Los Planes de Desarrollo Departamentales y Municipales.*, 31–56. Retrieved from <http://www.unicef.org.co/pdf/Agua3.pdf>

Velasco, H., Silva, A., Veenhuizen, R., Pérez, S., Prieto, M., Anaya, M., ... Morales, R. (2000). Manual de Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia, Experiencias en América Latina. *Fao*, 1–14. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf>

## 9 ANEXOS

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION en 24 horas (mms)					
FECHA DE PROCESO : 2018/11/09			ESTACION : 23190830 BUCARAMANGA IDEAM		
LATITUD 0707 N	TIPO EST PG	DPTO SANTANDER	FECHA-INSTALACION 1996-OCT		
LONGITUD 7307 W	ENTIDAD 01 IDEAM	MUNICIPIO BUCARAMANGA			
ELEVACION 1025 m,s,n,m		CORRIENTE SURATA			

Anexo 1. Datos Estación Bucaramanga

<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>
1997	154,2	36,2	95,2	158,6	99,4	52,3	78,6	39,6	185,4	30,7	67,6	96,2	1094
1998	69,3	174,7	93,1	79,1	232,6	114,7	141,2	54,5	43,2	167,5	28,5	63,2	1261,6
1999	64,9	153	75,3	78,2	121,7	67,2	154,9	122	240,3	75,8	174,8	83,5	1411,6
2000	173,1	109	158,5	29,5	110,7	87,1	133,2	78,3	179,2	55,2	82	15,7	1211,5
2001	66,2	30	134,7	39,1	216,6	105,5	46,9	60,9	154,1	107,1	202,3	34,4	1197,8
2002	45,5	65,2	115,3	197,5	104,7	133,2	89,4	42,7	53,5	64,8	92,8	20,3	1024,9
2003	54,2	178,3	139,1	151,2	105,9	202	111,2	75,9	231,7	169,8	142,3	88,4	1650
2004	89,7	79,7	150,2	100,5	135,9	31,3	86,3	103,2	75,5	136,9	146,2	180,5	1315,9
2005	69,1	311,3	25	69,7	118,9	45,5	69,2	60,1	217,3	213,2	178,9	89,7	1467,9
2006	74,3	92,5	183,4	181,7	113,6	71,3	77,1	86,3	74,3	170,4	57,5	64,9	1247,3
2007	39,9	33	197,8	86,8	121,1	76,1	77,6	145,1	66	181,6	62,2	32,7	1119,9
2008	81,9	287	274	88,7	158,7	73	63,8	93,4	78,3	119,2	149,7	21,5	1489,2
2009	97,7	74,3	177,3	72,8	69,2	87,5	63,8	154,4	9,8	241,9	135,2	16,4	1200,3
2010	22,2	90,6	19,4	68	215,9	186,6	156,3	135,5	312,5	186,7	279,1	231	1903,8
2011	46,8	109,9	77,2	144,7	180,8	137,6	130,9	151,2	82,3	380,1	112,8	115,1	1669,4
2012	52,5	77,8	102,7	226,1	68,3	150	80,6	99,1	61,5	101,3	83,9	130,5	1234,3
2013	84,1	224	95,4	31,6	185	45,6	30	117,9	85,1	91,7	135,8	4,9	1131,1
2014	26,9	79,4	83,1	116,2	50,2	77,3	83,2	95,2	160,3	347,4	168	26,6	1313,8
2015	23,3	94,1	120,7	39,9	184,7	56,2	73,9	101,9	58,3	11,5	92,1	1,7	858,3

<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>
2016	38,1	103	140,3	120	165,4	72,6	72,6	49,3	102,4	166,8	138,2	22,7	1191,4
2017	10,5	36,7	181,1	106,5	85,6	56,2	70,1	65,3	60,5	100,4	68,9	35,4	877,2

## Anexo 2. Datos Estación La Floresta

<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>
1997	145,8	36,6	75,9	134,3	123,7	110	102,5	82,3	113,3	52,9	62,7	56,2	1096,2
1998	102,1	124,8	50	52,3	124,6	63,6	167,6	99,8	112,6	219,6	37,6	51,8	1206,4
1999	48,1	90,8	79,6	66,4	168,4	126,3	180,6	100,5	287,3	111,3	117,2	67	1443,5
2000	124,7	184,1	123,3	44,9	170	147,4	150,2	91,6	157,8	36,9	87,1	38,9	1356,9
2001	78,9	37	123	60	154,2	109,1	60,5	61,3	101	118,2	168,4	35,1	1106,7
2002	21,7	52,1	106,7	162,7	188,9	153,7	125,1	70	44	61	71,7	29,6	1087,2
2003	97,5	174,6	117,9	191,5	68,4	133,2	97,7	59,9	194,6	144,4	123,5	52,7	1455,9
2004	86,6	60,9	151,3	65,4	150,9	32,1	85,1	60,8	83,5	78,7	240,2	73,6	1169,1
2005	94,9	389,4	107,3	116,4	188,1	60,7	53,6	82,7	164,5	211,2	117,5	71,2	1657,5
2006	83,4	90,9	175,2	123,1	139,1	193,9	70,4	84,2	76,7	153,1	94,7	6	1290,7
2007	70,3	79,2	240,9	83,9	143,8	93,2	54,6	112,4	95	121,7	68,4	32,8	1196,2
2008	69,1	188,6	206,9	161,1	164,1	37,4	53,1	93,5	107,6	162,4	162,2	20,8	1426,8
2009	128,8	89,4	149,2	114,6	55	98,9	86,4	152,6	22,9	208,8	138,5	17,4	1262,5
2010	17,2	59,7	48,5	79,5	293,3	127	112	149,7	252,1	197,4	198,2	169,1	1703,7
2011	1,5	67	135,7	158,8	240,3	159,5	102,4	163,3	81,8	346,4	113,5	77,5	1647,7
2012	159,3	60,1	58,4	161,9	72,1	164,5	56,5	102,4	71,1	187,7	87,5	71,7	1253,2
2013	41,9	186,3	63,8	12,9	180,2	72,2	54,8	154,1	64	107,9	138,6	11,6	1088,3
2014	47,1	100,5	160	116	47,1	145,4	83,8	110,6	68	332,6	136,3	18,3	1365,7
2015	26,6	67,8	122,4	46,4	151,8	38,5	73,1	153,9	67,9	8,8	65,2	3,7	826,1
2016	28,3	39,4	101,3	104,8	127,7	82,2	167,1	58,8	52,1	114,9	102,5	57,9	1037
2017	12,5	35,5	202	171,7	72,5	65,3	60,5	100,4	68,9	35,4	85,6	56,2	966,5