

VENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE  
AGUA LLUVIA EN UNA UNIDAD ECONÓMICA DE SOACHA, CUNDINAMARCA.

GUTIÉRREZ LÓPEZ LINA MARITZA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL  
TRABAJO DE GRADO  
EXTENSIÓN SOACHA  
2018

VENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE  
AGUA LLUVIA EN UNA UNIDAD ECONÓMICA DE SOACHA, CUNDINAMARCA.

GUTIÉRREZ LÓPEZ LINA MARITZA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de  
Ingeniero industrial

Director:

Msc. Montenegro Marín Franklin Guillermo

Codirector:

Msc. Robinson Pardo Pardo

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ingeniería

Ingeniería industrial

Trabajo de grado

Extensión Soacha

2018

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

## **DEDICATORIA**

La mayoría de los que venimos a la universidad, lo hacemos llenos de ilusión, angustia por el futuro, al ver el título de ingeniero tan lejos. Aquí hay mucho esfuerzo, mi compañero y yo, somos hoy, de aquellos que no perdieron la ilusión y entendimos que ese esfuerzo no se acaba, solo cambia de dirección.

Hacernos ingenieros no ha sido solamente nuestra ilusión, ha sido el sueño de nuestras parejas, y de nuestros familiares quiénes entienden la importancia de este paso, qué nos abrirá las puertas de un mejor futuro, de una nueva vida.

Solo me queda agradecer los retos que se impusieron desde la academia y la vida, ya que nos hicieron cada vez mejores y más fuertes.

A mi familia por su amor y apoyo incondicional.

Dedico este trabajo a mi compañero Carlos Valero que trabajo con todo su esfuerzo.

Gracias a Dios que nos permitió vivir con pasión esta carrera.

**Lina Maritza Gutiérrez López**

## **AGRADECIMIENTOS**

Fueron muchas las personas e instituciones que participaron en el proceso de este trabajo, inicialmente agradecimientos inmensos a mi compañero Carlos Andrés Valero coautor del trabajo a nuestro director Franklin Montenegro, por creer y fortalecer nuestra idea a través de su experiencia y conocimiento.

A nuestro codirector Robinson Pardo, quien nos facilitó y direccionó el análisis estadístico a través del software SPSS, gracias por su tiempo, su buena disposición, su paciencia y enseñanzas.

Al IDEAM por proporcionar información histórica importante para la investigación, gracias por su atención y cooperación.

A la Universidad de Cundinamarca - Extensión Soacha y la Dirección del Programa de Ingeniería Industrial, quienes nos facilitaron la instalación de pluviómetros y nos permitieron el acceso permanente para el registro de mediciones pluviométricas, además de proporcionar datos de consumo y en general por su cordial actitud en todo momento.

Al Ingeniero Mario Rojas de la empresa Flores del Tequendama, quien amablemente nos permitió el acceso a la empresa y nos brindó parte de su experiencia y conocimiento en el campo de aplicación del proyecto.

Finalmente, gracias al lector, que se toma parte de su tiempo en leer nuestro trabajo y nos permite compartirle algo de nuestra investigación y resultados obtenidos, gracias.

**Lina Gutiérrez**

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| CONTENIDO .....   | 6  |
| LISTA DE TABLAS .....   | 9  |
| LISTA DE FIGURAS .....  | 10 |
| LISTA DE ANEXOS .....   | 11 |
| GLOSARIO.....   | 12 |
| RESUMEN.....  | 13 |
| ABSTRACT .....  | 15 |
| INTRODUCCIÓN.....   | 17 |
| 1. ANTECEDENTES DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA EN EL MUNDO<br>..... | 21 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                     | 24 |
| 2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                   | 24 |
| 2.2. OBJETIVOS .....  | 27 |
| 2.2.1. OBJETIVO GENERAL.....  | 27 |
| 2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                      | 27 |
| 2.3. JUSTIFICACIÓN .....  | 28 |
| 3.MARCO TEÓRICO .....   | 31 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.1. ACERCA DE LA LLUVIA.....</b>                                 | <b>31</b> |
| 3.1.1. Medición. ....  | 31        |
| 3.1.2. Instrumentos de medición. ....                                | 31        |
| 3.1.3. Instalación y seguimiento de las medidas pluviométricas. .... | 32        |
| <b>3.2. ENTIDAD OFICIAL .....</b>                                    | <b>33</b> |
| <b>3.3. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA.....</b>                | <b>33</b> |
| 3.3.1. Área de captación.....  | 34        |
| 3.3.2. Canales de transporte. ....                                   | 34        |
| 3.3.3. Tanque de filtrado o primera captación. ....                  | 34        |
| 3.3.4. Sistema de filtrado.....                                      | 34        |
| 3.3.5. Tanque de almacenamiento. ....                                | 35        |
| 3.3.6. Sistema de distribución. ....                                 | 35        |
| <b>4. DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>                                  | <b>37</b> |
| <b>4.1. ZONA DE ESTUDIO.....</b>                                     | <b>37</b> |
| <b>4.2. INSTRUMENTOS .....</b>                                       | <b>37</b> |
| 4.2.1. Análisis Estadístico.....                                     | 37        |
| 4.2.2. Estadística Descriptiva .....                                 | 38        |
| 4.2.3. Diseño de Planos .....  | 38        |
| 4.2.4. Evaluación económica.....                                     | 38        |
| <b>5.DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>                        | <b>39</b> |
| <b>5.1. PRIMERA FASE.....</b>  | <b>39</b> |
| 5.1.1. Adquisición y construcción de pluviómetros (8).....           | 39        |
| 5.1.2. Calibración de pluviómetros. ....                             | 40        |
| 5.1.3. Ubicación e instalación de pluviómetros.....                  | 41        |
| 5.1.4. Seguimiento de las mediciones pluviométricas. ....            | 43        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5.2. SEGUNDA FASE .....</b>                         | <b>44</b> |
| 5.2.1. Pruebas con Tiras Reactivas.....                | 44        |
| 5.2.2. Análisis de Datos.....                          | 44        |
| 5.2.2.1. Diagrama de Cajas.....                        | 52        |
| 5.2.2.2. Pronóstico .....                              | 3         |
| 5.2.3. Posibles Usos.....                              | 5         |
| 5.2.4. Alcance del Sistema.....                        | 6         |
| <b>5.3 TERCERA FASE.....</b>                           | <b>8</b>  |
| 5.3.1. Evaluación Económica .....                      | 8         |
| 5.3.2. Análisis PEST.....                              | 10        |
| 5.3.3. Casos en el Mundo.....                          | 13        |
| 5.3.4. Potencial de Ahorro .....                       | 14        |
| 5.3.5. Casos de Referencia en la Zona de Estudio ..... | 15        |
| <b>6.CONCLUSIONES .....</b>                            | <b>23</b> |
| <b>7.RECOMENDACIONES.....</b>                          | <b>26</b> |
| <b>8.ANEXOS.....</b>                                   | <b>28</b> |
| <b>9.REFERENCIAS .....</b>                             | <b>58</b> |



## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Calibración de pluviómetros.....   | 40 |
| Tabla 2. Promedio Pluviómetros caseros y comerciales.....                                   | 45 |
| Tabla 3. Estaciones IDEAM Soacha .....  | 46 |
| Tabla 4. Precipitación anual 2000 -2017 estación San Jorge Gja.....                         | 47 |
| Tabla 5. Resultados análisis precipitación anual 2000 – 2017 .....                          | 48 |
| Tabla 6. Frecuencias abril 2018 días secos 11.....  | 50 |
| Tabla 7.Frecuencia mayo días secos 13 .....   | 51 |
| Tabla 8. Valores mensuales de precipitación en mm del 2000 al 2017 por el IDEAM .....       | 3  |
| Tabla 9. Precipitación promedio anual de los últimos siete años.....                        | 3  |
| Tabla 10. Matriz potencial de ahorro en litros VS área de captación en m <sup>2</sup> ..... | 6  |
| Tabla 11. Cuadro de condición .....   | 10 |
| Tabla 12. Beneficio económico por m ahorrado.....   | 14 |
| Tabla 13 Tarifas por m <sup>3</sup> oficiales del acueducto para Soacha. ....               | 15 |
| Tabla 14. Área de cada infraestructura y total en la extensión Soacha. ....                 | 20 |
| Tabla 15. Estimación consumo anual UdeC Extensión Soacha. ....                              | 21 |
| Tabla 16. Ahorro estimado en la Extensión Soacha. ....                                      | 21 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. A Pluviómetro / B Pluviógrafo .....  | 32 |
| Figura 2. Pluviómetro casero / Pluviómetro comercial .....   | 39 |
| Figura 3. Ubicación del Pluviómetro .....  | 41 |
| Figura 4. Pluviómetro punto 1 (universidad de Cundinamarca) .....  | 42 |
| Figura 5. Formato de registro de mediciones. Pluviométricas .....  | 43 |
| Figura 6. Diagrama de cajas para los meses de abril y mayo del año 2000 al 2017.<br>.....                            | 52 |
| Figura 7. Diagrama de cajas para los meses de abril y mayo integrando valores de<br>2018 (pluviómetros caseros)..... | 54 |
| Figura 8. Resultados de promedio de los últimos siete años y pronóstico de los siete<br>años siguientes.....         | 4  |
| Figura 9. Análisis PEST.....   | 11 |
| Figura 10. Ubicación almacén Alkosto con respecto a la zona de estudio (Soacha)<br>.....                             | 16 |
| Figura 11. Ubicación de la empresa respecto a la zona de estudio (7Km). .....  | 18 |
| Figura 12. Flores del Tequendama, finca Infinity dos reservorios de agua lluvia e<br>invernaderos. ....              | 19 |
| Figura 13. Extensión Soacha .....  | 22 |
| Figura 14. Vista superior de la extensión Soacha.....  | 22 |

## LISTA DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1. SISDHIM (sistema de información hidrológica y meteorológica)-IDEAM | 28 |
| Anexo 2. Adquisición y construcción de los pluviómetros .....               | 28 |
| Anexo 3. Calibración de pluviómetros.....                                   | 31 |
| Anexo 4. Ubicación e instalación de pluviómetros .....                      | 37 |
| Anexo 5. Formato de registro y medición .....                               | 41 |
| Anexo 6. Pruebas de pH.....   | 42 |
| Anexo 7. Promedios climatológicos 1981-2010 .....                           | 45 |
| Anexo 8. Visita empresa Flores del Tequendama finca Infinity.....           | 46 |
| Anexo 9. Modelado extensión Soacha UdeC - Rhinoceros .....                  | 53 |
| Anexo 10. Recibo del agua extensión Soacha .....                            | 57 |

## GLOSARIO

**BALANCE HÍDRICO:** Se trata de la relación existente entre la totalidad de los recursos hídricos que entran a un sistema y la totalidad de recursos que salen del mismo sistema en un cierto período de tiempo.

**CAPTACIÓN:** Acción y efecto de captar.

**LLUVIA:** Agua que cae de las nubes.

**PRECIPITACIÓN:** Agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra.

**PLUVIÓMETRO:** Aparato que sirve para medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y tiempo dados.

**UNIDAD ECONÓMICA:** Propiedad de todo ser, en virtud de la cual no puede dividirse sin que su esencia se destruya o altere la administración eficaz y razonable de los bienes.

Las definiciones fueron tomadas de (Real academia española., 2018) y

(Definición, 2018)

## RESUMEN

Este proyecto se centró en identificar las ventajas de la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en el municipio de Soacha, Cundinamarca, Colombia, más específicamente en las unidades económicas presentes en el área de estudio (zona centro y barrios aledaños).

El crecimiento demográfico desbordado, la ausencia de abastecimiento de agua por mecanismos propios del municipio, y la existencia de malos hábitos de consumo, son factores que se conjugan para producir una situación de riesgo con respecto al futuro del abastecimiento de agua potable (Gobernación de Cundinamarca 2014). A pesar de que existen diferentes estrategias para combatir esta problemática, se establece la posibilidad de promover la instalación de sistemas de captación de agua lluvia en unidades económicas, las cuales tienen un consumo de agua potable mayor en usos varios si se compara con los hogares residenciales.

Para el desarrollo de este proyecto se planteó una metodología de tres fases distribuidas en: (1) la toma de datos pluviométricos en una zona de estudio delimitada teniendo en cuenta factores la destinación económica de los predios allí ubicados, (2) el análisis de los datos recolectados y el establecimiento del alcance de un sistema de captación de agua lluvia, y (3) una evaluación económica que contemplo desde la teoría los aspectos atractivos para la implementación de este proyecto, así como la contextualización de casos y experiencias cercanas a la zona de estudio, para describir puntualmente las ventajas y desventajas encontradas en la ejecución de este tipo de sistema.

Mediante las tomas pluviométricas recolectadas, se pudo evidenciar que las zonas estudiadas contaron con un índice de precipitaciones de 168.835 litros por m<sup>2</sup> en promedio en un rango de tiempo de abril a mayo de 2018, lo cual se encuentra dentro del margen de la media estadística con respecto a los datos subministrados

por el IDEAM sobre el registro de precipitaciones de los años 2000 a 2017 en los meses de abril y mayo en la estación de San Jorge Gja ubicada en el municipio de Soacha, en ese orden de ideas se puede inferir que con los datos aportados por el IDEAM desde el año 2000 a 2017 es viable realizar la proyección de precipitaciones para el año 2018.

Posteriormente se analizó el agua lluvia mediante un análisis de acidez; teniendo en cuenta la presencia de lluvia acida en el sector de Cundinamarca (Gutiérrez N. 2014) y así de manera más acertada poder determinar sus usos teóricos; además de ello se contempló la presencia de materiales pesados en el agua recolectada teniendo en cuenta lo descrito por Zafra, Peña & Álvarez (2013) y se propuso como alternativa para la descontaminación del agua el uso de diferentes tecnologías como los materiales bio absorbentes.

En conclusión, los resultados sugieren que el afluente de precipitaciones en el municipio de Soacha es teóricamente viable para un sistema de captación de agua lluvia a pesar la calidad del esta.

## **ABSTRACT**

This project focused on identifying the advantages of the implementation of a rainwater collection system in the municipality of Sorcha, Cundinamarca, Colombia, more specifically in the economic units present in the study area (downtown area and surrounding neighborhoods).

The growth of the Ove population, the lack of water supply by the municipality's own mechanisms and the existence of bad consumption habits, are factors that combine to generate a situation of risk with respect to the future of the supply of potable water (Gubernation from Cundinamarca 2014). Although there are different strategies to combat this problem, it is possible to promote the installation of rainwater collection systems in economic units, which have a higher consumption of potable water in several uses compared to residential homes.

For the development of this project, a methodology of three phases was proposed, distributed in: (1) the collection of rainfall data in a delimited study area taking into account the economic destination of the properties located there, (2) the analysis of the data collected and the establishment of the scope of a rainwater harvesting system, and (3) an economic evaluation that contemplates from the theory the attractive aspects for the implementation of this project, as well as the contextualization of cases and experiences near the area of study, to describe punctually the advantages and disadvantages found in the execution of this type of systems.

Using the collected fluviometric measurements, it was possible to show that the studied zones had a rainfall index of 168,835 liters on average in a time range from April to May 2018, which is within the margin of the statistical average with respect to the data provided by the IDEAM on the precipitation record from 2000 to 2017 in the months of April and May at the San Jorge Gja station located in the municipality of Soacha, in that order of ideas it can be inferred that with the data contributed by

the IDEAM from the year 2000 to 2017 it is feasible to carry out the precipitation projection for the year 2018.

Subsequently, the rainwater was analyzed by an acidity analysis; taking into account the presence of acid rain in the sector of Cundinamarca (Gutiérrez N. 2014) and thus in a more accurate way to determine their theoretical uses; In addition, the presence of heavy materials in the collected water was considered, taking into account what was described by Zafra, Peña & Álvarez (2013) and the use of different technologies such as bio absorbent materials was proposed as an alternative for water decontamination.

In conclusion, the results suggest that the tributary of rainfall in the municipality of Soacha is theoretically viable for a rainwater collection system despite the quality of this.



## INTRODUCCIÓN

El objetivo general del presente proyecto es Identificar y analizar las ventajas y desventajas de la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en una unidad económica del municipio de Soacha, Cundinamarca, lo anterior teniendo en cuenta la escasez de recursos hídricos que es hoy uno de los temas que mayor importancia tiene en relación con los recursos naturales en el mundo. El agua posibilita mucho más que la supervivencia de los seres vivos, esta es primordial para el desarrollo sostenible, para la producción de alimentos, para la industria y, por ende, para un óptimo desarrollo socioeconómico (ONU,2018).

La percepción de escasez de agua potable es una problemática latente en todo el mundo, y dicha percepción se da por el aumento de usuarios del agua y no por falta de esta (Ochoa 2016). La demanda creciente de este recurso ha generado un desequilibrio en relación con la oferta existente, que no solo hace evidente su escasez, sino que también ha sido desencadenante de enfermedades como desnutrición, muertes y el aumento de la extinción de especies alrededor del mundo (Hernández, s.f.). De acuerdo con la ONU, *“340.000 niños menores de cinco años mueren cada año por enfermedades diarreicas”* y *“la escasez de agua ya afecta a cuatro de cada 10 personas”* (ONU,2018).

En el municipio de Soacha la problemática se hace más evidente, según su plan de desarrollo:

(...) el alto crecimiento poblacional alcanza la cifra promedio del 3,86% anual, las constantes migraciones que recibe de familias en difícil condición socioeconómica o desplazamiento forzado llegan a las 35.551 personas, existe un crecimiento desbordado y desordenado del territorio y en consecuencia un déficit en la prestación de los servicios públicos. (Alcaldía Municipal de Soacha, 2012, pág. 32)

Sumado a lo anterior, debemos tomar en cuenta que no solo el incremento en la población aumenta la demanda del recurso. el desarrollo industrial, los sistemas de

regadío en la agricultura y la urbanización masiva, son factores que acrecientan los usos del agua (Hernández, s.f.). Como lo señala la FAO en su informe sobre temas hídricos no. 38, la escasez de agua se caracteriza por: la falta física del agua para suplir la demanda, el grado de desarrollo que tengan las estructuras que controlan la distribución, el almacenamiento y el acceso, y por último el potencial que tengan las instituciones para suplir los servicios de agua necesarios (FAO, 2013).

Ahora bien, siendo tan evidente la problemática, la implementación de estrategias no se ha hecho esperar, el uso de aguas subterráneas poco profundas, el tratamiento de aguas, transvasar aguas de cuencas lejanas y la desalinización de agua de mar, entre otras, se han presentado como posibilidades para mitigar esta escasez (FAO, 2013).

Una de las alternativas que se propone es la captación de agua lluvia, un recurso natural que representa muchas ventajas a la hora de implementarse y que permitiría incrementar la oferta de agua potable no solo a los hogares, sino a industrias y sectores agrícolas (PNUD, 2016). Entre las ventajas que señala Palacio (2010), encontramos:

- El no uso de energía para su operación.
- La gratuidad de este recurso hace que los costos se reduzcan a recolección, almacenamiento y distribución.
- Se elimina la instalación de sistemas de distribución de alta complejidad y costo.
- Usar este recurso reduciría inundaciones y erosión.
- Su recolección reduciría el flujo que llega al alcantarillado pluvial.

Teniendo en cuenta las virtudes que posee esta última alternativa, el presente trabajo de investigación pretende dar a conocer las ventajas y desventajas de la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en una unidad económica en el municipio de Soacha, Cundinamarca.

Igualmente se pretende contribuir a mitigar la problemática que rodea el preciado líquido dadas las condiciones del municipio. Se destacan los beneficios que pueden percibir las unidades económicas de la zona de estudio al considerar implementar uno de estos sistemas, así como las desventajas encontradas. Apoyados en una comprobación experimental, y en proyecciones estadísticas realizadas en el municipio y sectores aledaños (zona de estudio); comparadas con información reportada por el IDEAM, esta investigación surge a partir de la necesidad de acercar los proyectos académicos a las realidades locales. Así, se busca que el sector productivo perciba una propuesta sustentada en la academia en aras de contribuir a su funcionamiento eficiente y mejora continua. Se propone una metodología de tres fases que incluye: (1) la toma de datos pluviométricos en una zona de estudio delimitada teniendo en cuenta factores la destinación económica de los predios allí ubicados, (2) el análisis de los datos recolectados y el establecimiento del alcance de un sistema de captación de agua lluvia, y (3) una evaluación económica que contemple desde la teoría los aspectos atractivos para la implementación de este proyecto, así como la contextualización de casos y experiencias cercanas a la zona de estudio, para describir puntualmente las ventajas y desventajas encontradas en la ejecución de este tipo de sistema.

Así mismo se pretende que cualquier unidad económica presente en el área de estudio pueda adoptar este tipo de sistemas, luego de conocer la cuantía de recursos que puede ahorrarse, los posibles usos que se le puede dar, y la forma como esta estrategia contribuye al desarrollo social y económico del municipio.

Finalmente, el presente proyecto encontró limitación con respecto al tiempo necesario para la recolección de información estadística confiable ya que el mínimo de extensión en el tiempo para un registro confiable es de 30 años según lo recomendado por la Organización Mundial de Meteorología (OMM, 1989), por lo cual se vio la necesidad de verificar los datos la existentes en el IDEAM y así realizar las proyecciones de precipitaciones en el municipio de Soacha, además de ello se destaca la imposibilidad de realizar una evaluación económica exacta teniendo en

cuenta que la investigación se plantean atributos cualitativos dado que las condiciones de la investigación son generales para cualquier unidad económica y no se incluirán datos de costos asociados a la inversión inicial, mantenimiento u otros, debido a que estos varían según las características de cada sistema.

## **1. ANTECEDENTES DE LA REUTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA EN EL MUNDO**

Actualmente encontramos en el mundo diferentes tipos de sistemas de recolección de agua lluvia. Por ejemplo, en México, Cuba, Australia y España, el agua lluvia se aprovecha en universidades y colegios que cuentan con un sistema de recolección, para después utilizarla en los baños o en el lavado de las fachadas y labores de riego, lo cual representa un ahorro del recurso. En México se utiliza principalmente para usos domésticos, productivos, higiene, conservación del suelo, alimentarios, de saneamiento y agricultura. Cada vez se desarrollan más políticas encaminadas a la captación en ciudades como en el Distrito Federal de México. (Luna, Ordoñez & Romero, 2015)

En Cuba, se evaluó la eficiencia de la captación de agua lluvia, desde los techos de tres casas de cultivos bajo diferentes condiciones climáticas, los resultados demostraron que el agua lluvia captada protege los suelos y evita las pérdidas por erosión laminar potencial en los alrededores de las casas estudiadas, además garantizan agua de buena calidad para el uso doméstico y consumo humano a un total de 202 personas durante 30 días del periodo seco, con el agua captada por solo una casa de cultivo de 540 m<sup>2</sup>. En cada región es posible diseñar diferentes tipos de sistemas de captación de agua lluvia. (Ricardo, Méndez, Bonet, Sierra, & Cutie, 2015)

En Valencia (España), se habla de las estrategias de ahorro que se pueden adaptar en viviendas, y se evidencia la estrecha relación que hay entre el precio que por el agua paga el usuario y la motivación que tiene por ahorrarla (Cabrera,2016).

En Australia para el año 2007 cerca del 24% de los hogares tenían implementado un sistema de captación de agua lluvia, cifra que continuó elevándose en el 2010 con cerca del 32% y hacia el 2013 más del 34% de los hogares australianos tenía un sistema, prácticamente cualquiera que tuviese el espacio para implementar un

tanque de recolección, lo hacía. La preferencia por este tipo de sistemas se aplicó también para entidades gubernamentales, coliseos y grandes espacios, motivados principalmente por políticas de restricción severas frente al agua potable, los costos asociados con el uso de grandes volúmenes de agua y condiciones de extrema sequía en el sudeste de Australia. (Campisano, Butler, et al., 2011).

En Colombia, encontramos el caso de Antioquía (Medellín) con la propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en sus casas, como la descarga de sanitarios, el lavado de zonas comunes, entre otros. El aprovechamiento de agua lluvia es una opción técnicamente viable (Palacios, 2010).

En Bogotá la Universidad Católica, trabaja en proyectos de aprovechamiento de agua lluvia en donde se menciona la descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, este se realizó como una respuesta a la reducción de la oferta hídrica en muchas ciudades no solo de Colombia, sino del mundo entero, esto debido a la contaminación de las aguas superficiales y el proceso de degradación que sufren las cuencas; un ejemplo no muy lejano es la cuenca del río Bogotá, que es una de las más azotadas por la contaminación y degradación de la misma (Reyes & Rubio, 2014).

Por otra parte, la Universidad Católica también participa en proyectos de recolección y reutilización de aguas lluvias en viviendas de interés social y bajos recursos en el barrio Yomasa en la ciudad de Bogotá D.C, en el cual se busca un aprovechamiento hídrico que permita recolectar, almacenar y reutilizar el agua para su posterior uso. En el proyecto se especifica la forma como se lleva a cabo la interceptación colectiva y el almacenamiento en los períodos húmedos para uso doméstico, como descargas de sanitarios, lavado de pisos, lavado de prendas de vestir, lavado de utensilios de cocina, riego de jardines, e incluso para generación de energía eléctrica (Suarez Ortega, & Rodríguez Herrera, 2014).

La Pontificia Universidad Javeriana cuenta con la identificación de los posibles usos del agua lluvia de esorrentía en el campus de la sede Bogotá., en este trabajo el

principal objetivo fue identificar los posibles usos del agua lluvia de escorrentía en el campus de la Universidad, mediante la relación de una serie de ensayos al agua lluvia captada en la zona alta de la universidad. El documento presenta un análisis en cuanto a la viabilidad económica y técnica del aprovechamiento del agua lluvia como una alternativa para ciertos usos dentro del campus, en función de la calidad y posibles usos del agua lluvia potencialmente aprovechable dentro de la universidad (Torres Murillo, 2011).

La Universidad de Cundinamarca cuenta con una propuesta de aprovechamiento de agua lluvia para la extensión de Zipaquirá. Este trabajo consideró (i) análisis de datos pluviométricos recolectados, (ii) presupuesto para la construcción del sistema, (iii) componentes del sistema y viabilidad técnica del proyecto, entre otros (Ramos Roperó & Sanchez Triviño, 2017).

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La crisis del agua está presente en todo el planeta y es imposible negar la responsabilidad humana, su participación, y tristemente, su negligencia ante las señales que la naturaleza envía para hacerse escuchar. El cambio climático cada vez hace más visibles sus consecuencias en el planeta afectando, entre muchos otros aspectos, al recurso hídrico. Las sequías, las inundaciones, la alteración de las temporadas de lluvia y de las estaciones climáticas son señales cada vez más palpables de la problemática (ONU, 2018).

El primer paso, consiste en entender que la percepción de escasez de agua en el mundo no se da por falta de agua sino por el crecimiento en el número de usuarios de este recurso (Ochoa, 2016). En los últimos cien años se ha triplicado el número de habitantes en el planeta y solo en el siglo XX se destruyeron la mitad de los humedales del mundo. Ríos como el Amarillo (China) y el Colorado (Estados Unidos) se secan apenas llegan al mar (Rijsberman, 2000); en el contexto suramericano la situación no se distancia mucho, ya que algunas fuentes hídricas comienzan a verse afectadas como el caso del Lago Poopó (Bolivia) (Atanasio, 2018)

En Colombia, el 8,6% de la población no tiene acceso al agua potable, esto es, cerca de 4'128,000 personas aproximadamente (Organización Mundial de la Salud, OMS 2015). Por otra parte, Colombia tiene un nivel de precipitación anual superior a los 3.200 mm anuales, ubicándolo entre los países con mayor nivel de precipitaciones del mundo según el (Banco Mundial). Estos niveles de precipitación se han visto afectados por el cambio climático, fenómenos como “el niño” y la “niña” han causado que los periodos secos y de lluvias en Colombia sean irregulares, poco predecibles, más intensos, y en ocasiones más prolongados, como en el año 2016 cuando el país afrontó la peor sequía en casi dos décadas; afectando a cerca de



120 municipios y provocando en el río Magdalena niveles no vistos desde 1973 (Lafuente, 2016). Algunos de los problemas asociados con lluvias torrenciales como las avalanchas, se presentan debido a la expansión urbana sobre áreas montañosas de estabilidad precaria, las lluvias son el factor detonante para ocasionar movimientos de masa que desencadenan catástrofes (Aristizábal, Martínez, & Vélez, 2010).

Situaciones de inundaciones a causa de las lluvias se ven frecuentemente en el país en temporada de invierno. El director de la CAR, Néstor Franco, aseguró que las inundaciones que se han vivido en la última temporada en la capital y los municipios vecinos obedecen a la incapacidad del sistema de drenaje y no al desbordamiento de algunos de los ríos (CAR, 2017). Esto se debe a que la legislación colombiana establece los requisitos mínimos que garantizan el desagüe de aguas lluvias, pero no menciona su aprovechamiento para fines hidrosanitarios o de riego (Instituto Colombiano de normas técnicas, 2004).

Si bien la crisis del agua se da por el aumento de la demanda en puntos específicos, de acuerdo con información del censo 2005 realizado por el DANE, la población total del municipio de Soacha proyectada para el año 2015 era de poco más de 500.000 habitantes, cifra que para el año 2015 se había sobrepasado en casi el doble. De acuerdo con información de las encuestas del SISBEN y otras fuentes; también se estima que la población creció un 77% entre 1993 y 2005, más del doble del ritmo de crecimiento de Cundinamarca que fue de 34%. Esto para el año 2015 cuando apenas empezaba el auge de construcción de viviendas tipo VIS (Alcaldía municipal de Soacha, 2015).

Según cifras del DANE, a marzo de 2014 Soacha tenía aprobadas licencias de construcción para más de 23.000 metros cuadrados, lo cual ubica a Soacha con más de 1 millón de habitantes en un futuro próximo.

Soacha se encuentra frente a una demanda desbordada de recursos en muy poco tiempo. Si comparamos el ciclo del agua, lo que tarda el recurso en renovarse, y el ritmo que lleva el municipio en consumo acompañado de la contaminación,

podemos divisar un panorama crítico frente al recurso hídrico (Palacio C. Natalia, 2010). Además de ello es de tener presente que las industrias hacen parte de los sectores de la sociedad que más consumen agua para su funcionamiento (Domínguez, 2018) y en Soacha para el año 2010 operaban más de 13.000 unidades económicas concentradas en el centro del municipio y barrios aledaños con un 58% de las unidades económicas activas del municipio (Cámara de Comercio de Bogotá y Alcaldía de Soacha, 2010). Todo lo anterior deja en evidencia un panorama de consumo poco alentador ya que se está contribuyendo a profundizar la problemática que rodea al preciado líquido, Cambiar la percepción del agua lluvia de residuo a recurso reutilizable sería un enorme paso para construir una sociedad sostenible a la altura del mundo moderno, de conformidad con lo anterior el problema que se propone resolver este proyecto es ¿De qué manera un sistema de captación de agua lluvia puede beneficiar una unidad económica de Soacha, Cundinamarca?

## **2.2. OBJETIVOS**

### **2.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Identificar y analizar las ventajas y desventajas de la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en una unidad económica del municipio de Soacha, Cundinamarca.

### **2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Corroborar los índices de precipitación en el área de estudio con base en datos oficiales y pruebas experimentales.
- Establecer el alcance del sistema de captación a partir de proyecciones estadísticas y posibles usos.
- Proponer, a partir de una evaluación económica, aspectos atractivos que estimulen la inversión en sistemas de captación de agua lluvia. así como la contextualización de casos y experiencias cercanas a la zona de estudio, para describir puntualmente las ventajas y desventajas encontradas en la ejecución de este tipo de sistema.

### **2.3. JUSTIFICACIÓN**

El incremento exponencial de la demanda de agua en todo el mundo es una problemática latente, el crecimiento poblacional sumado a las malas prácticas de consumo y disposición hacen del preciado líquido un recurso en peligro. Como consecuencia, han surgido diferentes estrategias encaminadas a fomentar el ahorro de agua, a partir de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, se invita a utilizar de manera responsable el agua, haciendo uso de campañas televisivas, de radio, etc. promoviendo la toma de conciencia a la hora de consumir y disponer del agua que a muy bajo costo llega a nuestros hogares. Por otro lado, la Universidad Pública en aras de mejorar su imagen en la sociedad y de crear un impacto real en la misma, puede aportar desde la academia prácticas y metodologías que impacten de manera positiva a la comunidad.

Evidentemente, el aumento de la población en el municipio de Soacha acarrea nuevos retos en materia de abastecimiento de agua potable, y ahorrar el recurso se convierte entonces un tema de prioridad. El municipio de Soacha se abastece en un 99% por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB), en Soacha no hay acueducto capaz de abastecer a la población a pesar de contar con una gran zona de subpáramo donde nacen diferentes fuentes hídricas y de poseer una pequeña extensión del páramo de Sumapaz (Alcaldía de Soacha, 2018). El agua que recibe el municipio es suministrada por la EAAB bajo la clasificación de “venta de agua en bloque”, que entrega ciertos volúmenes de agua a un intermediario, en el caso de Soacha, EMAR S.A para suministrar el servicio (EAAB, 2018).

Recolectar agua lluvia es una práctica milenaria que hoy por hoy toma fuerza en todo el mundo, estos sistemas traen consigo no solo beneficios ambientales sino también económicos y culturales. Solo en Estados Unidos operan a gran escala más de una docena de empresas que en conjunto conforman la Asociación Americana

de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (ARCSA) que opera en todo el territorio norteamericano.

A pesar de los indiscutibles beneficios que proporcionan los sistemas de recolección de agua lluvia, también traen consigo ciertas limitantes como lo son el nivel de precipitación del área a intervenir, y el espacio disponible para el sistema entre otros. Aun así, la ARCSA abarca estados en Norteamérica donde se presentan estaciones y los índices de lluvia en algunos meses del año no superan los 100 mm. Tal parece ser el beneficio que representan estos sistemas, que empresarios de nivel mundial se están fijando en este negocio (Asociación Americana de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, 2018).

Un ejemplo de lo anterior es un proyecto en Fremont, California, donde los índices de precipitación no superan en promedio anual los 425 mm (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2017), y a pesar de esto, se hace una gran inversión en el proyecto de instalaciones “Seagate MRC2” de la empresa “Rainwater Management Solutions” que ha completado la puesta en marcha del sistema de recolección de agua de lluvia en la instalación MRC2 de Seagate en Fremont, California, un macro proyecto que captará agua de una superficie de 5.800 m<sup>2</sup> y se alimenta en dos tanques de almacenamiento de 112.500 litros, incluyendo 4 etapas de filtrado, sistemas de bombeo y luz UV.

Teniendo en cuenta la problemática latente en Soacha, se hace relevante la implementación de sistemas de captación de agua lluvia en las unidades económicas dispuestas a hacer la inversión, garantizando grandes beneficios puesto que en el municipio se tienen índices de lluvia en promedio anual de 743 mm, índice que presenta un régimen bimodal en los periodos de abril-mayo y octubre-noviembre, donde se presentan los niveles más altos de precipitación del año (Alcaldía municipal de Soacha, 2015).

La investigación se fundamenta en el atractivo que puede presentar la academia al sector empresarial de la región para adoptar métodos de operación más amigables con el medio ambiente, que de alguna manera creen conciencia del buen manejo de los recursos y nos permita acercarnos a un desarrollo sostenible.

### 3.MARCO TEÓRICO

#### 3.1. ACERCA DE LA LLUVIA

##### 3.1.1. Medición.

Antes de emprender el estudio de un sistema de captación de agua lluvia debemos comprender ¿Cómo se mide la lluvia? ¿Con qué instrumentos se mide? ¿Qué tan precisas pueden ser estas mediciones?

La lluvia se mide a través de varios tipos de instrumentos cilíndricos. Básicamente, se trata de un recipiente con una abertura de tamaño definido, que recibe y almacena las precipitaciones y mide el contenido a ciertos intervalos. El nivel de precipitación se mide en mm o, lo que es equivalente, Lt/m<sup>2</sup>. Esto nos indica que, por cada mm registrado en el instrumento, se recolectó 1 litro de agua por cada metro cuadrado (Jochen, 1986), partiendo de lo anterior es teóricamente viable deducir que el potencial de captación se puede obtener con la siguiente fórmula matemática:

$$P_{cap}(lt) = A * I_{pr}$$

Donde:

- P cap = Potencial de captación (en litros)
- A = Área de captación
- I pr = Índice de precipitación (en milímetros)

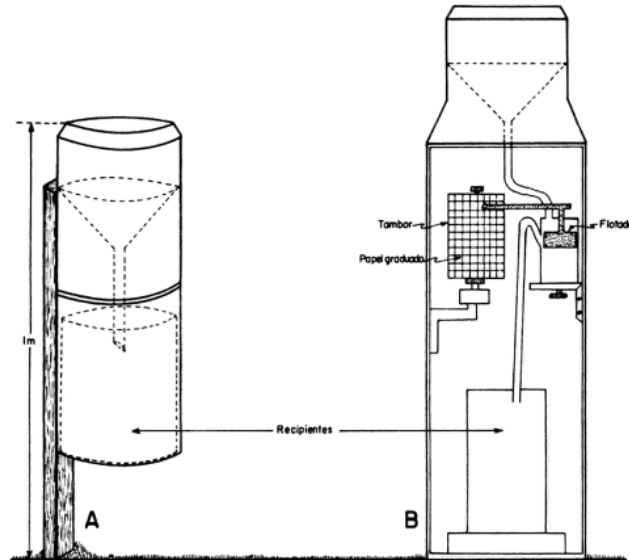
##### 3.1.2. Instrumentos de medición.

Entre los instrumentos de medición encontramos los pluviómetros y los pluviógrafos.

**Pluviómetro:** Existen varios tipos de pluviómetros actualmente, básicamente consiste en un recipiente cilíndrico de base plana calibrado para la medición en milímetros. La parte superior es perfectamente circular para garantizar el área de captación uniforme.

**Pluviógrafo:** Consiste en un instrumento donde el agua pasa por un cilindro con un flotador que se conecta a un brazo que transmite el movimiento del flotador a un papel graduado. Además de la precipitación, los pluviógrafos miden la intensidad de la lluvia.

**Figura 1. A Pluviómetro / B Pluviógrafo**



Fuente: (Jochen, 1986)

### **3.1.3. Instalación y seguimiento de las medidas pluviométricas.**

Antes de instalar y tomar registro de las precipitaciones, se deben tener en cuenta ciertas recomendaciones para garantizar la veracidad de la información recolectada

“Para la instalación de un pluviómetro se debe considerar:

- El lugar de instalación debe ser un sitio despejado y sin obstáculos para la captación de agua lluvia, no deben existir objetos circundantes cercanos.
- Nunca debe ser instalado cerca de una muralla o caída de agua, ni bajo cables eléctricos, o bajo el ramaje de un árbol.
- El soporte del pluviómetro debe ser firme y ubicado a nivel (horizontal 90°) para garantizar certeza en la recolección.
- El pluviómetro debe ser de fácil acceso para la toma de muestras diarias.



La toma de mediciones, la recolección de datos y el seguimiento a dichas mediciones debe hacerse teniendo en cuenta:

- La lectura de las mediciones debe tomarse todos los días entre las 6 horas y las 9 horas.
- En caso de no ser posible la medición en el horario establecido, se debe dejar constancia de la hora en la que se toma la medición (tarde o noche).
- Marcar la ausencia de mediciones con una X.
- Una vez tomada la medida, se vacía el recipiente y se ubica en posición nuevamente.” (Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, 2018).

### **3.2. ENTIDAD OFICIAL**

La entidad oficial en Colombia encargada del registro y medición de las precipitaciones es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que a su vez se encarga del Sistema de Información Hidrológica y Meteorológica (SISDHIM).

El SISDHIM registra información pluviométrica diaria, mensual, trimestral y anual. La información tiene una cobertura geográfica nacional, departamental y municipal. La unidad de medida es en milímetros, lo cual facilita el cruce de datos con la investigación. Anexo 1 (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM, 2018)

### **3.3. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA**

A pesar de la variabilidad de conceptos que pueden surgir de este enunciado, definimos sistema de captación de agua lluvia como todo conjunto de elementos que trabajan en sinergia para agrupar agua de lluvia en un solo punto para su posterior uso (Unidad de apoyo técnico en saneamiento básico rural (UNATSABAR), 2001). Este proceso puede darse por escorrentía de techos o por escorrentía superficial, dado que ambos sistemas tienen la misma finalidad. En esta investigación, cuando hablemos de sistema de captación de agua lluvia lo asemejaremos a cualquier sistema que cumpla esta función, independientemente

de si es en techos o suelos. Los componentes principales de los sistemas de captación de agua lluvia se describen a continuación:

### **3.3.1. Área de captación.**

Es el área en metros cuadrados destinada a recoger y conducir el agua lluvia hacia los canales de transporte, debe tener una pendiente pronunciada de no menos de 15 grados y su cálculo es horizontal. (UNATSABAR, 2001)

### **3.3.2. Canales de transporte.**

Están conformados por las canaletas, tubos, codos y uniones entre otros, que en conjunto transportan el agua captada hacia el tanque de filtrado o primera captación. Estos canales pueden ser de metal, madera o bambú, aunque se sugiere que sea en PVC de un diámetro mayor a los tubos que suministran agua potable. (UNATSABAR, 2001)

### **3.3.3. Tanque de filtrado o primera captación.**

Este tanque está diseñado para recoger los primeros litros de agua en cada precipitación, esto con el fin de recoger los sedimentos más pesados que se acumulan en el área de captación (techo), para que no lleguen al sistema de filtrado. Es de un tamaño mucho menor al del tanque principal. Su implementación se justifica si en el área de captación existen factores contaminantes como hojas, plástico, acumulación de tierra, entre otros. Si el área de estudio no presenta estos riesgos no es necesaria su implementación. (UNATSABAR, 2001)

### **3.3.4. Sistema de filtrado.**

El sistema de filtrado puede ser simple o complejo dependiendo de la calidad del agua lluvia que se recoja en el área de estudio. También influye en su diseño el uso posterior que se le va a dar al agua, así como el tiempo que durará almacenado el recurso. De esta manera, lo definimos como el elemento del sistema de recolección que se encarga de recoger las partículas más pequeñas en el agua antes de ser almacenada para su uso futuro. Puede ser diseñado desde un tanque de filtro de

arenas (lento), hasta unas rejillas y mallas de diferentes medidas (rápido), esto depende de los factores antes mencionados. (UNATSABAR, 2001)

### **3.3.5. Tanque de almacenamiento.**

Este es el espacio en el que se va a almacenar el agua lluvia, desde allí se lleva a cabo su distribución. Su tamaño debe ser estimado en la investigación a partir de datos pluviométricos, de consumo y tiempo de almacenamiento. Se sugiere que cumpla con las siguientes características:

- Ser de un material impermeable para evitar el desperdicio por goteo o por evaporación.
- Contar con una tapa que evite el ingreso de luz solar, insectos u objetos contaminantes.
- Tener un diámetro suficiente para que quepa una persona, esto con el fin de facilitar labores de mantenimiento y limpieza.
- Estar equipado con mallas protectoras que impidan el ingreso de polvo e insectos en las boquillas de alimentación y distribución.

El material por utilizar es dependiente de las condiciones físicas en donde se vaya a ubicar el tanque, y puede ser de plástico reforzado, metal o concreto. (UNATSABAR, 2001)

### **3.3.6. Sistema de distribución.**

Está compuesto por tubería, llaves y un impulsor del recurso, que van conectados al tanque de almacenamiento. En este apartado pueden suceder 2 escenarios:

1. Si el agua lluvia es recogida en el primer nivel de la estructura, el agua deberá ser bombeada con la ayuda de una motobomba hacia un nivel superior o hasta el nivel de la estructura donde va a ser utilizada, esto para poder ser suministrada por gravedad.
2. Si el agua lluvia se recoge en uno de los niveles altos de la estructura, se elimina el uso de una motobomba para su distribución.

El sistema de distribución propuesto apunta a que sea suministrada por gravedad para eliminar costos de la instalación de una motobomba y un segundo tanque, lo cual además permite ahorrar en costos de mantenimiento y reparación futuros. (UNATSABAR, 2001).

## **4. DISEÑO METODOLÓGICO**

La elaboración de esta investigación se realizara mediante una metodología mixta de tipo cualitativo descriptivo dada la recolección de información se aplicarán técnicas de observación, toma de muestras y recolección de datos de fuentes externas para la determinación la confiabilidad de los datos recolectados con los obtenidos para determinar el promedio de precipitación pluvial en el municipio de Soacha, y su posterior uso en actividades diferentes al consumo humano, la investigación tendrá tan bien un enfoque cualitativo para la evaluación económica y un análisis de los posibles usos de acuerdo a pruebas realizadas e información recolectada.

### **4.1. ZONA DE ESTUDIO**

El proyecto de investigación fue desarrollado en los sectores donde se recolectaron los datos pluviométricos, a saber, Soacha Centro, San Humberto y San Mateo (Ver Figura 3) dado que en estas zonas se concentra más del 50% de las unidades económicas del municipio (Camara de Comercio de Bogotá y Alcaldía de Soacha, 2010) y fueron de más fácil acceso para los investigadores.

### **4.2. INSTRUMENTOS**

#### **4.2.1. Análisis Estadístico**

Con ayuda del software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), se relacionarán los datos pluviométricos experimentales frente a los datos suministrados por el IDEAM, con el fin de elaborar un análisis a partir de un diagrama de cajas entre otros análisis. (IBM, 2010)

#### **4.2.2. Estadística Descriptiva**

Es la rama de la matemática donde se recolecta, presenta, caracteriza y describe el comportamiento de un conjunto de datos (Orellana, 2001), para la investigación se utilizará la versión 5 de evaluación del programa SPSS.

#### **4.2.3. Diseño de Planos**

En la aproximación a casos cercanos se efectuó un modelo de la extensión Soacha a fin de poder apreciar el potencial de un sistema de captación de agua lluvia en las instalaciones de la extensión, esto a través del programa Rhinoceros que es una herramienta de diseño que facilito el modelado de sólidos y superficies de modo que se pueda apreciar de mejor manera el área de captación de aguas lluvia. Para la investigación se utilizó la versión 5 de evaluación (Rhinoceros, 2018).

#### **4.2.4. Evaluación económica**

La evaluación económica aplicada a proyectos tiene como objeto determinar las ventajas y desventajas que se relacionan a la inversión y el riesgo que implica la iniciativa antes de su implementación. En el escenario donde no se tiene certeza de la aprobación de uno u otro proyecto, la evaluación económica ofrece herramientas para adoptar decisiones racionales acertadas. La evaluación económica integra dentro de su análisis, variables como los costes monetarios y los beneficios expresados en otras unidades como beneficios sociales, de forma que no se centra únicamente en apreciaciones cuantitativas de un proyecto. (Gutiérrez, Labaien, Martínez, Malagón, Sabalza, Villena, Zabala 2009)

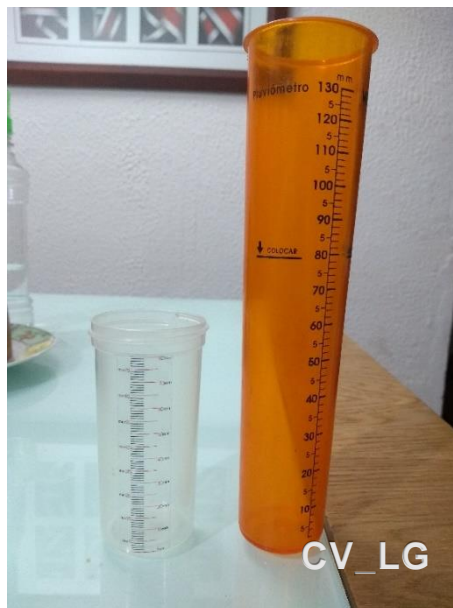
## 5.DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1. PRIMERA FASE

#### 5.1.1. Adquisición y construcción de pluviómetros (8).

Al iniciar la primera fase de la investigación se plantea la construcción y adquisición de pluviómetros. Se adquieren dos (2) pluviómetros comerciales con capacidad para recolectar hasta 130 mm en cada episodio de lluvia, donde se incluyen el método de instalación e instrucciones. Por razones de presupuesto, se decide construir los seis (6) pluviómetros restantes, siguiendo las recomendaciones descritas por (Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas,2018). Se adquirieron recipientes de plástico, cilíndricos de boquilla redonda y base plana. Igualmente, se elaboró un adhesivo con las mediciones en milímetros para evidenciar los registros posteriores, todo esto a la vez que se evaluaba la forma como serían instalados, adquiriendo materiales extra para la instalación como madera, tornillos, abrazaderas de metal entre otros (Anexo 2).

#### Figura 2. Pluviómetro casero / Pluviómetro comercial



Fuente: (Elaboración propia)

### 5.1.2. Calibración de pluviómetros.

Teniendo en cuenta que al construir los pluviómetros se corre el riesgo de que las medidas no sean exactas, los pluviómetros caseros fueron sometidos a calibración bajo el método expuesto por (Moser, 2013). Dicha calibración fue cuantitativa (como se observa en la tabla 1) y cualitativa. Asimismo, los datos de la tabla 2 fueron sometidos a verificación en el laboratorio de la extensión Soacha con el fin de validar cada pluviómetro construido (ver Anexo 3).

**Tabla 1. Calibración de pluviómetros**

| Pluviómetro  |                     |                |  |                              | ¿Qué altura alcanzaría en el pluviómetro esta cantidad de agua?  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
|--|---------------------|----------------|--|------------------------------|--|-----------------|---|----------|---------------------------------|--|--|--|--|
| Área circular del pluviómetro (parte superior)   |                     |                |  | <b>Área en m<sup>2</sup></b> | 1 litro es equivalente a 1 decímetro cúbico  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| Diametro   | 0,042               | mts            | 1 Lt = 1 dm <sup>3</sup>   |                              |  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| $\pi$  | 3,142               |                |  |                              |  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| Radio "r"  | 0,021               | mts            | De acuerdo a lo anterior 0,01385 Lt son equivalentes a 0,01385 dm <sup>3</sup> |                              |  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| Suponemos una lluvia de 10 Lt/m <sup>2</sup> o de 10 mm  |                     |                |  |                              | A continuación se debe convertir esta medida a metros cúbicos (m <sup>3</sup> )  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| 10   | Lt / m <sup>2</sup> | *              | 0,00138544   | m <sup>2</sup>               | 0,013854   | dm <sup>3</sup> | * | (1/1000) | m <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> |  |  |  |  |
| Metro cuadrado se cancela y nos queda una medida en litros   |                     |                |  |                              | Decímetros cúbicos se cancelan y nos queda la medida en metros cúbicos   |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| <b>0,013854</b>  |                     |                |  |                              | <b>0,00001385</b> m <sup>3</sup>   |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| O lo que es lo mismo (en mililitros)   |                     |                |  |                              | Para un cilindro circular, su volumen (V) es igual al producto del área del círculo basal por su altura (h)  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| <b>13,8544236</b> ml   |                     |                |  |                              | En otras palabras <b>V = A * L</b>   |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| Esta medida me dice la cantidad de agua ( <b>EN LITROS</b> ) que recogería el pluviómetro casero con respecto a una lluvia de 10 Lt/m <sup>2</sup> |                     |                |  |                              | Donde <b>L</b> es la altura que estamos buscando en el pluviómetro, esta altura nos indicara la altura que marcaría en una supuesta lluvia de 10 Lt/m <sup>2</sup> |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| Volumen  | 0,00001385          | m <sup>3</sup> | <b>L = V / A</b>   |                              | <b>0,010</b>   | <b>M</b>        |   |          |                                 |  |  |  |  |
| Área   | 0,00138544          | m <sup>2</sup> |  |                              |  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |
| <b>La altura que debe alcanzar el pluviómetro con la lluvia propuesta es de 0,010 metros o lo que es lo mismo 10 milímetros.</b>                   |                     |                |  |                              |  |                 |   |          |                                 |  |  |  |  |

Tomada de: Elaboración propia (Anexo 3)



### 5.1.3. Ubicación e instalación de pluviómetros.

Los puntos estratégicos donde se instalaron los pluviómetros están descritos en la siguiente imagen:

**Figura 3. Ubicación del Pluviómetro**



Fuente: Google maps

En la imagen se observan 7 puntos (rojos) descritos a continuación (Anexo 4):

1. Universidad de Cundinamarca - Extensión Soacha
2. Calle 16 con carrera 6 (Soacha Centro)
3. Calle 17 con carrera 8 (Soacha Centro)
4. Calle 24 con carrera 1 (Soacha San Mateo)
5. Calle 15 con carrera 2 (Soacha El Dorado)
6. Calle 14 con carrera 1ª (Soacha San Humberto)
7. Calle 13 con carrera 2 (Soacha San Marcos)

En el punto 1 (Universidad de Cundinamarca) se encuentran ubicados dos (2) pluviómetros caseros, en el punto 3 (Soacha centro) se instaló un pluviómetro comercial y en el punto 6 (Soacha san Humberto) se instaló el segundo pluviómetro

comercial. Cada uno de los puntos restantes cuenta con un pluviómetro casero. Las mediciones cubren un perímetro aproximado de 5 km y fueron ubicados en estos puntos dado que en estas zonas se concentra más del 50% de las unidades económicas del municipio (Cámara de Comercio de Bogotá y Alcaldía de Soacha, 2010) y fueron de más fácil acceso para los investigadores.

Para la instalación de los pluviómetros se siguieron las recomendaciones descritas por el Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, ( 2018), teniendo en cuenta que el pluviómetro en cada punto estuviese lejos de cualquier obstáculo para la medición de la lluvia. Igualmente, se tuvo en cuenta que el recipiente permaneciera firme y a nivel, en un lugar despejado, y en general se siguieron todas las recomendaciones sugeridas.

**Figura 4. Pluviómetro punto 1 (universidad de Cundinamarca)**



Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.4. Seguimiento de las mediciones pluviométricas.

Se propuso un formato para la recolección de los datos pluviométricos por cada pluviómetro instalado, en el cual se indica:

- Ubicación
- Número del punto (1-7)
- Fecha de medición
- Hora o momento del día en que se toma el registro
- Total, de los registros diarios

**Figura 5. Formato de registro de mediciones. Pluviométricas**

| Pluviómetro      | Ubicación |       |       |           |
|------------------|-----------|-------|-------|-----------|
|                  | Nº        |       |       |           |
| Mediciones en mm |           |       |       |           |
| Abril/mayo       | Mañana    | Tarde | Noche | Total día |
| 1                |           |       |       |           |
| 2                |           |       |       |           |
| 3                |           |       |       |           |
| 4                |           |       |       |           |

Fuente: Elaboración propia (Anexo 5)

La metodología que se siguió para registrar los eventos de precipitación fue tomar las muestras diariamente entre las 7 am y las 9 am. En caso de percibir eventos lluviosos en otros momentos del día, se tomarían nuevos registros entre las 2 pm y 5 pm, y en horas de la noche entre las 6 pm y 10 pm. Esto garantiza la veracidad de los datos recolectados, y a su vez nos permite omitir los índices de evaporación si los registros fuesen tomados una sola vez en el día.

Las mediciones fueron tomadas entre el 1 de abril de 2018 y el 31 de mayo del mismo año, teniendo de esta manera un total de 61 registros diarios por cada pluviómetro instalado y al final una muestra de 488 registros (Ver anexo 5).

## **5.2. SEGUNDA FASE**

### **5.2.1. Pruebas con Tiras Reactivas.**

Como parte del proceso de establecer el alcance de un sistema de captación de agua lluvia, está determinar el uso que se le puede dar a esta agua. Aquí nacen las interrogantes ¿se puede utilizar para riego? ¿labores domésticas? ¿lavado de ropas? Entre muchas otras, las pruebas de pH permitirán definir qué tan acida es el agua de lluvia en el área de estudio, pues como ya se había mencionado, hay evidencias de lluvia ácida en Cundinamarca, aunque en general se mantienen niveles bajos de acidez.

Se llevaron a cabo las pruebas de pH para 8 muestras de agua lluvia, recolectadas en el mes de mayo de 2018. Los resultados obtenidos demostraron que efectivamente el agua lluvia tiende a tener valores de 5 y 6 ph de acidez (ver anexo 6), lo cual se encuentra en el margen de lluvia ligeramente acida (IDEAM,2004).

### **5.2.2. Análisis de Datos**

Con el total de 8 pluviómetros, se recogieron un total de 240 mediciones en el mes de abril y 248 mediciones en el mes de mayo. Así, se conformó un total de 488 mediciones recolectadas con 6 pluviómetros caseros y 2 comerciales. Los datos se agruparon en dos tablas.

**Tabla 2. Promedio Pluviómetros caseros y comerciales.**

| PROMEDIO<br>PLUVIÓMETROS<br>CASEROS |               | PROMEDIO<br>PLUVIÓMETROS<br>COMERCIALES |              |
|-------------------------------------|---------------|---|--------------|
| 2018                                |               | 2018                                    |              |
| ABRIL                               | MAYO          | ABRIL                                   | MAYO         |
| 0,83                                | 0,00          | 1,25                                    | 0,00         |
| 1,17                                | 5,67          | 2,50                                    | 5,00         |
| 0,67                                | 2,00          | 2,25                                    | 1,00         |
| 3,00                                | 8,50          | 2,50                                    | 5,50         |
| 0,33                                | 0,00          | 0,00                                    | 0,00         |
| 0,67                                | 0,00          | 0,00                                    | 0,00         |
| 1,17                                | 1,83          | 0,00                                    | 0,75         |
| 0,83                                | 18,67         | 0,00                                    | 13,50        |
| 0,83                                | 9,00          | 0,50                                    | 7,50         |
| 5,00                                | 0,00          | 4,50                                    | 0,00         |
| 11,33                               | 2,67          | 13,50                                   | 0,50         |
| 13,17                               | 4,50          | 6,50                                    | 0,00         |
| 10,83                               | 0,33          | 0,50                                    | 0,00         |
| 21,33                               | 2,00          | 23,50                                   | 3,75         |
| 4,33                                | 22,00         | 0,00                                    | 20,00        |
| 0,00                                | 7,50          | 0,00                                    | 5,00         |
| 0,00                                | 0,00          | 0,00                                    | 0,00         |
| 0,00                                | 0,00          | 0,00                                    | 0,00         |
| 0,00                                | 0,00          | 0,00                                    | 0,00         |
| 0,00                                | 0,00          | 0,00                                    | 0,50         |
| 0,00                                | 4,17          | 0,00                                    | 11,50        |
| 0,00                                | 0,00          | 0,00                                    | 0,00         |
| 0,00                                | 9,17          | 0,00                                    | 4,00         |
| 0,00                                | 1,50          | 0,00                                    | 0,00         |
| 0,00                                | 0,33          | 0,00                                    | 0,00         |
| 8,33                                | 0,00          | 5,50                                    | 0,00         |
| 0,00                                | 0,00          | 0,00                                    | 0,00         |
| 1,67                                | 2,50          | 0,00                                    | 2,00         |
| 1,67                                | 0,00          | 1,00                                    | 0,00         |
| 2,00                                | 1,67          | 0,00                                    | 0,00         |
|                                     | 0,00          | 0,00                                    | 0,00         |
| <b>89,17</b>                        | <b>104,00</b> | <b>64,00</b>                            | <b>80,50</b> |

Fuente: Elaboración propia

Al promediar los 366 datos de los pluviómetros caseros y los 122 datos de los pluviómetros comerciales, se aprecia una diferencia en las mediciones dado que en los pluviómetros comerciales se detectó errores en la calibración de los mm, en comparación a los caseros que fueron calibrados en el laboratorio de la universidad de Cundinamarca Extensión Soacha. A pesar de las diferencias, ambos registros muestran un aumento en las precipitaciones entre el 15% y el 20% en los meses de abril con relación a mayo.

El IDEAM cuenta con 4 estaciones pluviométricas cercanas a la zona de estudio, aunque desde el 2010 solo se encuentra activa una de las cuatro estaciones Estación San Jorge Granja (subrayada).

**Tabla 3. Estaciones IDEAM Soacha**

| ESTACION      |           |              |      |              |             |
|---------------|-----------|--------------|------|--------------|-------------|
| NOMBRE        | MUNICIPIO | DEPARTAMENTO | ELEV | LONGITUD     | LATTIUD     |
| Fute          | Soacha    | Cundinamarca | 2607 | 74°17'0.0"W  | 4°36'0.0"N  |
| Huertas       | Soacha    | Cundinamarca | 2572 | 74°14'0.0"W  | 4°35'0.0"N  |
| San Jorge Gja | Soacha    | Cundinamarca | 2900 | 74°11'21.4"W | 4°30'20.7"N |
| San Jorge Gja | Soacha    | Cundinamarca | 2890 | 74°12'0.0"W  | 4°31'0.0"N  |

Fuente: Promedios climatológicos IDEAM 1981 – 2010 (Anexo 7)

La estación activa proporcionó datos pluviométricos anuales y mensuales desde 1960 hasta 2017. Para analizar los datos, se tomó una muestra únicamente desde el año 2000 al 2017 para los meses de abril y mayo. En la tabla 5 se denotan algunas celdas subrayadas las cuales no presentaban datos por fallas en la estación. Estos valores se asignaron con promedios simples para no alterar el comportamiento de los datos.

**Tabla 4. Precipitación anual 2000 -2017 estación San Jorge Gja**

| <b>Precipitaciones anuales 2000 - 2017</b> |            |              |             |
|--|------------|--------------|-------------|
|  | <b>AÑO</b> | <b>ABRIL</b> | <b>MAYO</b> |
| <b>1</b>                                   | 2000       | 50,1         | 87,9        |
| <b>2</b>                                   | 2001       | 18,2         | 75,4        |
| <b>3</b>                                   | 2002       | 119,7        | 125,2       |
| <b>4</b>                                   | 2003       | 124,6        | 19,6        |
| <b>5</b>                                   | 2004       | 153,9        | 91,6        |
| <b>6</b>                                   | 2005       | 87,9         | 186,1       |
| <b>7</b>                                   | 2006       | 133,5        | 82,0        |
| <b>8</b>                                   | 2007       | 117,4        | 45,4        |
| <b>9</b>                                   | 2008       | 82,2         | 193,6       |
| <b>10</b>                                  | 2009       | 122,7        | 18,6        |
| <b>11</b>                                  | 2010       | 120,4        | 65,3        |
| <b>12</b>                                  | 2011       | 163,2        | 111,9       |
| <b>13</b>                                  | 2012       | 161,7        | 93,6        |
| <b>14</b>                                  | 2013       | 63,5         | 75,2        |
| <b>15</b>                                  | 2014       | 51,9         | 64,8        |
| <b>16</b>                                  | 2015       | 75,6         | 63,2        |
| <b>17</b>                                  | 2016       | 99,3         | 61,6        |
| <b>18</b>                                  | 2017       | 61,4         | 106,6       |

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.1. Análisis descriptivo**

Con la ayuda del Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), se analizaron los datos de la tabla 4 los resultados se evidencian en la tabla 5:

**Tabla 5. Resultados análisis precipitación anual 2000 – 2017**

**Estadísticos**

|                     |          | ABRIL    | MAYO     |
|---------------------|----------|----------|----------|
| N                   | Válidos  | 18       | 18       |
|                     | Perdidos | 1        | 1        |
| Media               |          | 100,4000 | 87,0889  |
| Mediana             |          | 108,3500 | 78,7000  |
| Desviación estándar |          | 41,6069  | 46,7403  |
| Varianza            |          | 1731,138 | 2184,658 |
| Mínimo              |          | 18,20    | 18,60    |
| Máximo              |          | 163,20   | 193,60   |

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

Estos resultados indican una desviación estándar de 41,60 mm y 46,74 mm para los meses de abril y mayo respectivamente. Esto nos revela que los registros de lluvia de los últimos 18 años no varían más de 47 mm con respecto a la media. Se evidencian los valores mínimos en abril de 2001 con 18,20 mm y mayo de 2009 con 18,60 mm, valores coherentes con las observaciones de los fenómenos del niño y la niña del IDEAM (Montealegre Bocanegra, 2007), los cuales observaron fenómeno del niño fuerte en el año 2001 y el observatorio meteorológico de Golden Gate que determinó comportamiento fuerte del fenómeno de El Niño para el año 2009 (Servicios meteorológicos de Golden Gate, 2018).



#### **4.2.2. Días de lluvia**

Según el promedio climatológico aportado por el IDEAM, los días de lluvia en promedio para abril son de 16 y para mayo de 19. A partir de allí, se analizaron los días de lluvia reportados por los pluviómetros calibrados de la investigación. Los resultados se aprecian en las tablas 6 y 7. Para abril y mayo se presentaron 11 y 13 días secos respectivamente, lo que nos permite deducir que fueron 19 días de lluvia en abril y 18 días de lluvia para el mes de mayo, datos cercanos a los proporcionados por el IDEAM.

**Tabla 6. Frecuencias abril 2018 días secos 11.**

**ABRIL 2018**

|          |          | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|----------|----------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido   | ,00      | 11         | 35,5       | 36,7              | 36,7                 |
|          | ,33      | 1          | 3,2        | 3,3               | 40,0                 |
|          | ,67      | 2          | 6,5        | 6,7               | 46,7                 |
|          | ,83      | 3          | 9,7        | 10,0              | 56,7                 |
|          | 1,17     | 2          | 6,5        | 6,7               | 63,3                 |
|          | 1,67     | 2          | 6,5        | 6,7               | 70,0                 |
|          | 2,00     | 1          | 3,2        | 3,3               | 73,3                 |
|          | 3,00     | 1          | 3,2        | 3,3               | 76,7                 |
|          | 4,33     | 1          | 3,2        | 3,3               | 80,0                 |
|          | 5,00     | 1          | 3,2        | 3,3               | 83,3                 |
|          | 8,33     | 1          | 3,2        | 3,3               | 86,7                 |
|          | 10,83    | 1          | 3,2        | 3,3               | 90,0                 |
|          | 11,33    | 1          | 3,2        | 3,3               | 93,3                 |
|          | 13,17    | 1          | 3,2        | 3,3               | 96,7                 |
|          | 21,33    | 1          | 3,2        | 3,3               | 100,0                |
|          | Total    | 30         | 96,8       | 100,0             |                      |
| Perdidos | Sistemas | 1          | 3,2        |                   |                      |
|          | Total    | 31         | 100,0      |                   |                      |

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

**Tabla 7.Frecuencia mayo días secos 13**

**MAYO2018**

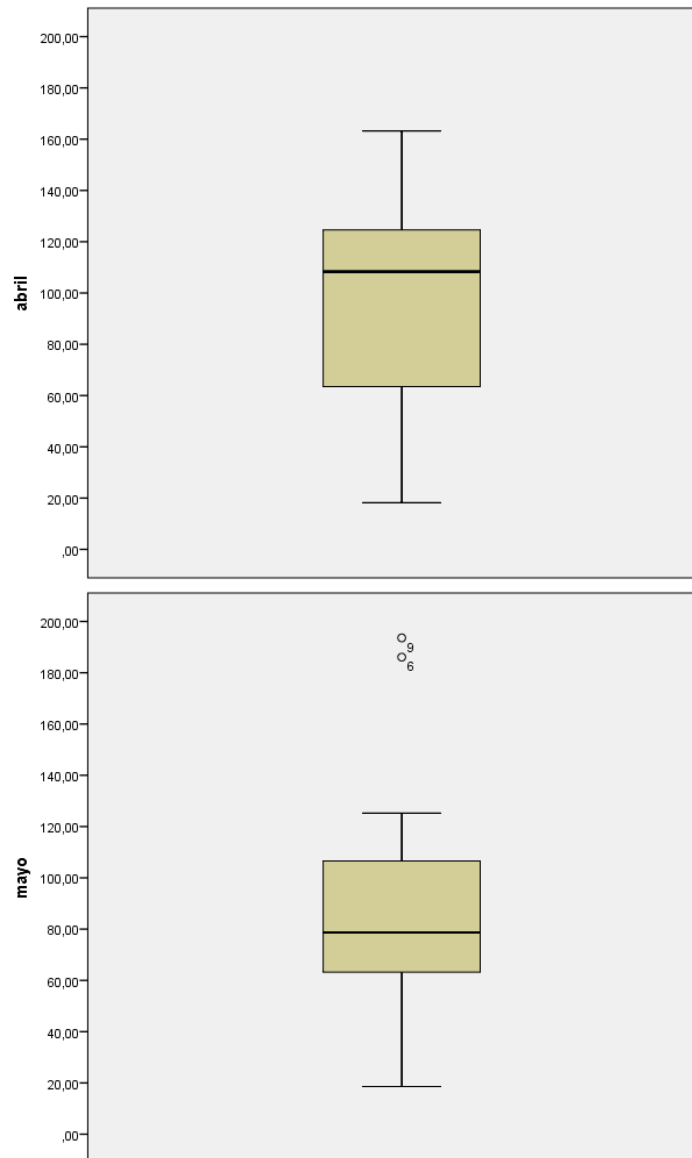
|            | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido ,00 | 13         | 41,9       | 41,9              | 41,9                 |
| ,33        | 2          | 6,5        | 6,5               | 48,4                 |
| 1,50       | 1          | 3,2        | 3,2               | 51,6                 |
| 1,67       | 1          | 3,2        | 3,2               | 54,8                 |
| 1,83       | 1          | 3,2        | 3,2               | 58,1                 |
| 2,00       | 2          | 6,5        | 6,5               | 64,5                 |
| 2,50       | 1          | 3,2        | 3,2               | 67,7                 |
| 2,67       | 1          | 3,2        | 3,2               | 71,0                 |
| 4,17       | 1          | 3,2        | 3,2               | 74,2                 |
| 4,50       | 1          | 3,2        | 3,2               | 77,4                 |
| 5,67       | 1          | 3,2        | 3,2               | 80,6                 |
| 7,50       | 1          | 3,2        | 3,2               | 83,9                 |
| 8,50       | 1          | 3,2        | 3,2               | 87,1                 |
| 9,00       | 1          | 3,2        | 3,2               | 90,3                 |
| 9,17       | 1          | 3,2        | 3,2               | 93,5                 |
| 18,67      | 1          | 3,2        | 3,2               | 96,8                 |
| 22,00      | 1          | 3,2        | 3,2               | 100,0                |
| Total      | 31         | 100,0      | 100,0             |                      |

Fuente: Elaboración propia (SPSS)

### 5.2.2.1. Diagrama de Cajas

Se agruparon los datos de la tabla 4 en un diagrama de cajas figura 6

**Figura 6. Diagrama de cajas para los meses de abril y mayo del año 2000 al 2017.**



Fuente: Elaboración propia (SPSS)

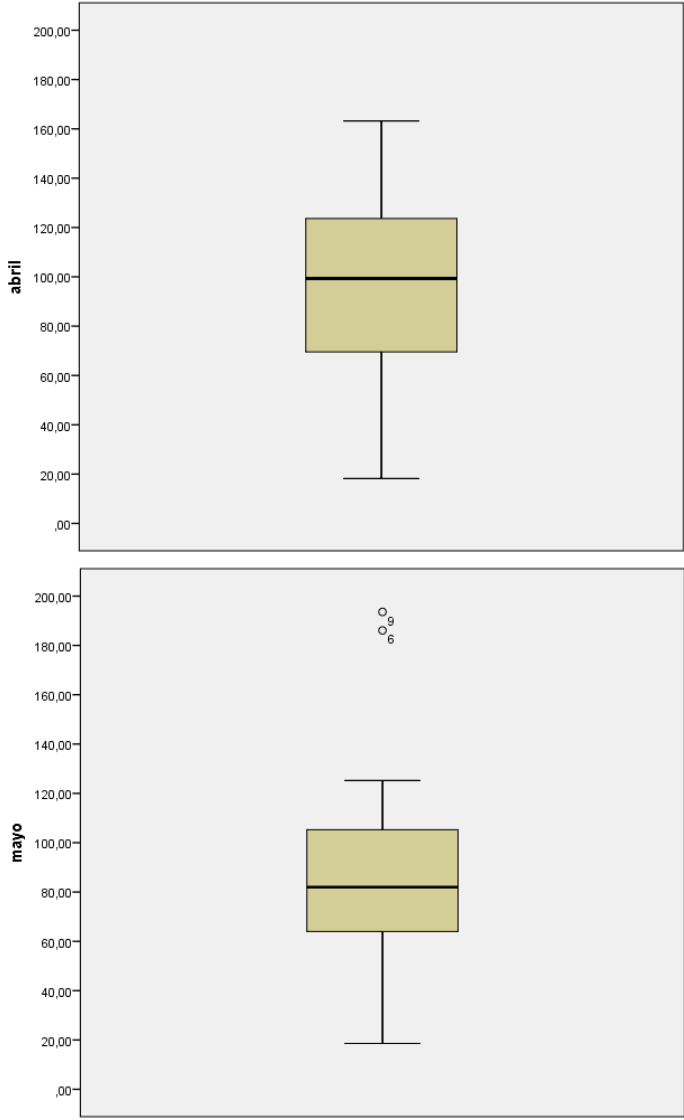
La figura 6 revela que las precipitaciones en el mes de abril no presentan datos atípicos y se mantienen en el rango, por su parte el mes de mayo presenta dos

datos atípicos en los renglones 6 y 9 correspondientes a los años 2005 y 2008 años donde se presentaron lluvias muy fuertes (ver tabla 4).

Se integraron a la tabla 4 los valores correspondientes a las precipitaciones totales de abril y mayo de los pluviómetros caseros, con el fin de evaluar si se afectaba de alguna manera el comportamiento de los datos, se evalúan los resultados en la figura 7.

El comportamiento del mes de abril tiende a estabilizarse sobre 100 mm, los datos se ven mejor distribuidos con respecto a la mediana para el mes de abril. Por su parte, el mes de mayo no demuestra mayores cambios en el diagrama de cajas, se mantienen los dos datos atípicos, pero el comportamiento de la gráfica no se altera.

**Figura 7. Diagrama de cajas para los meses de abril y mayo integrando valores de 2018 (pluviómetros caseros)**



Fuente: Elaboración propia (SPSS)

### 5.2.2.2. Pronóstico

Teniendo en cuenta los datos obtenidos por el IDEAM, la fórmula planteada para realizar el pronóstico de lluvias en el municipio de Soacha es de -regresión polinómica de quinto grado- con la cual se corrobora que los datos obtenidos coinciden con los reportados por el IDEAM, conforme el coeficiente de correlación y la línea de tendencia.

**Tabla 8. Valores mensuales de precipitación en mm del 2000 al 2017 por el IDEAM**

| Valores mensuales de precipitación en mm del 2000 al 2017 del IDEAM |       |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |          |
|---|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|----------|
|   | enero | febrero | marzo | abril | mayo  | junio | julio | agosto | septiembre | octubre | noviembre | diciembre | promedio |
| 2000  | 56,2  | 106,1   | 88,2  | 50,1  | 87,9  | 74,3  | 67,8  | 66,9   | 73,4       | 79,2    | 46,4      | 42,5      | 69,92    |
| 2001  | 3     | 45,8    | 101,7 | 18,2  | 75,4  | 64,2  | 38,5  | 20,3   | 71,4       | 21,2    | 74,5      | 53,6      | 48,98    |
| 2002  | 15    | 10      | 62,9  | 119,7 | 125,2 | 125   | 60,4  | 54,5   | 58,7       | 79,6    | 48,4      | 32,7      | 66,01    |
| 2003  | 10,5  | 34      | 57,5  | 124,6 | 19,6  | 60,7  | 65,5  | 30     | 32,7       | 117,5   | 139,8     | 26,9      | 59,94    |
| 2004  | 3     | 47,3    | 53    | 153,9 | 91,6  | 137,3 | 60,9  | 48,7   | 73,7       | 163,9   | 122,6     | 30,7      | 82,22    |
| 2005  | 12,9  | 56,3    | 98,7  | 87,9  | 186,1 | 71,4  | 50,1  | 47,5   | 63,2       | 148,6   | 50,5      | 57,6      | 77,57    |
| 2006  | 37,2  | 6,5     | 144,4 | 133,5 | 82    | 117,9 | 52    | 26,1   | 27,6       | 123,4   | 74,5      | 16,5      | 70,13    |
| 2007  | 11    | 12,3    | 64,1  | 117,4 | 45,4  | 110,9 | 58,1  | 82,9   | 20,4       | 168,2   | 64,9      | 112,7     | 72,36    |
| 2008  | 13,5  | 92      | 83,3  | 82,2  | 193,6 | 152   | 72,3  | 43,8   | 49,4       | 133,2   | 85,3      | 104,5     | 92,09    |
| 2009  | 40,9  | 57,3    | 88,1  | 122,7 | 18,6  | 45,1  | 82,5  | 45,2   | 26,8       | 125,2   | 116,5     | 99,1      | 72,33    |
| 2010  | 33,9  | 71,3    | 67,1  | 120,4 | 104,4 | 83,2  | 70,9  | 20,9   | 124,4      | 84      | 169,7     | 72,9      | 85,25    |
| 2011  | 50,4  | 64,6    | 117   | 163,2 | 111,9 | 88,8  | 57,5  | 38     | 59,6       | 166,1   | 210,1     | 106,2     | 102,79   |
| 2012  | 30,7  | 33,8    | 85,4  | 161,7 | 93,6  | 46,7  | 71,1  | 38,1   | 60,3       | 94,4    | 162,5     | 76,1      | 79,53    |
| 2013  | 38,05 | 44,9    | 53,8  | 63,5  | 75,2  | 35,6  | 64,1  | 59,9   | 27,7       | 33,2    | 107,7     | 49,3      | 54,42    |
| 2014  | 45,4  | 36,4    | 50,8  | 51,9  | 64,8  | 81,6  | 58    | 33,7   | 29,6       | 67,5    | 109,3     | 25,4      | 54,53    |
| 2015  | 36,55 | 69,7    | 58,1  | 75,6  | 77,1  | 68,3  | 82,4  | 11,5   | 14,2       | 42,7    | 26,6      | 1,5       | 47,02    |
| 2016  | 27,7  | 103     | 69,7  | 99,3  | 61,6  | 87,8  | 125   | 140,5  | 55,4       | 64,1    | 126,3     | 42,7      | 83,59    |
| 2017  | 42,9  | 50,2    | 108,1 | 61,4  | 106,6 | 68,3  | 82,4  | 61,9   | 33,1       | 58,1    | 87,4      | 22,1      | 65,21    |

Fuente: Elaboración propia (Excel)

Una vez aplicada por mí la fórmula se evidencia que al proyectar el 2016 y 2017, el resultado es de 72,28 y 71,46, tiene una diferencia de -11,31 y 6,21 directamente relacionado con los datos reflejados en la tabla 8 dado que el IDEAM reporta que las lluvias correspondientes al 2016 y 2017 fueron de 83,59 y 62,21 respectivamente, ajustándose a la línea de tendencia, dado que no hay mayor diferencia, conforme el resultado por mí obtenido.

**Tabla 9. Precipitación promedio anual de los últimos siete años.**

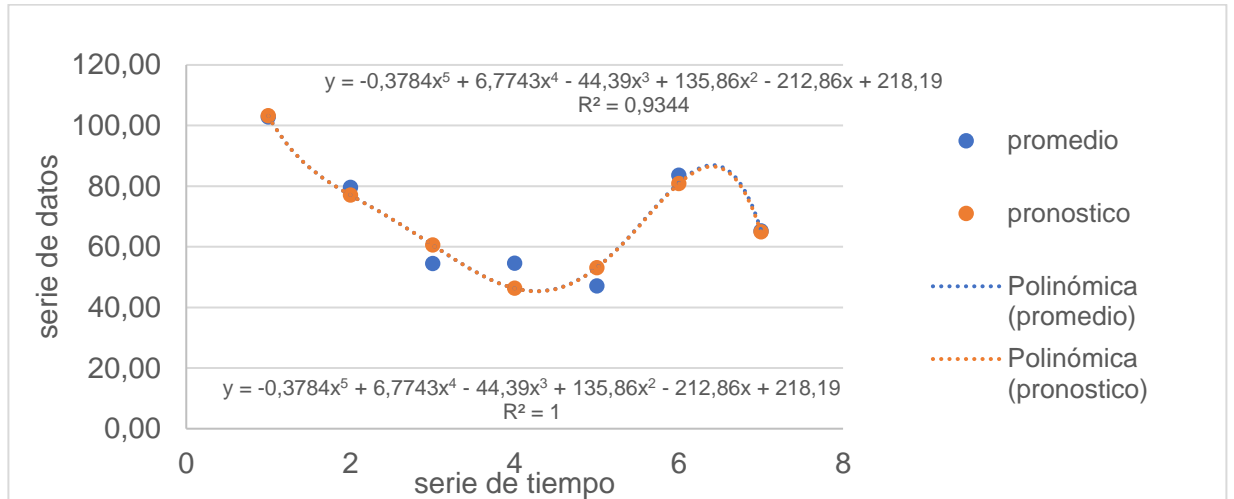
| PRONÓSTICO DE LOS ÚLTIMOS SIETE PROMEDIOS DE LLUVIA OBTENIDAS POR EL IDEAM |          |            |                    |
|--|----------|------------|--------------------|
| años   | promedio | pronostico | años pronosticados |
| 1  | 102,79   | 103,20     | 2018               |
| 2  | 79,53    | 77,07      | 2019               |
| 3  | 54,42    | 60,59      | 2020               |
| 4  | 54,53    | 46,29      | 2021               |
| 5  | 47,02    | 53,08      | 2022               |
| 6  | 83,59    | 80,80      | 2023               |
| 7  | 65,21    | 64,87      | 2024               |

Fuente: Elaboración propia (Excel)

Dado el análisis antes descrito podríamos inferir que es posible realizar una recolección de agua lluvia durante los siguientes 7 años, conforme los datos reportados por el IDEAM y obtenidos por la línea de tendencia, ya que se ha mantenido constante la cantidad de precipitación presentada en el municipio de Soacha.



**Figura 8. Resultados de promedio de los últimos siete años y pronóstico de los siete años siguientes.**



Fuente: Elaboración propia (Excel)

En lo que respecta a la gráfica 8 y los resultados estadísticos de la tabla 9, se observa que hay una correlación en los años pronosticados con los datos obtenidos por el IDEAM para el municipio de Soacha, dado que se encuentran en una línea de tendencia que se comporta de la misma manera, un coeficiente de correlación para el pronóstico es de 1 que nos indica que el 100% de los datos se ajustan a la curva de mínimos cuadrados. Se refleja que para el 2021 va a hacer un año muy seco, pero para el 2023 será un año demasiado lluvioso.

De igual forma hay que tener en cuenta que los pronósticos de lluvia pueden alterarse debido a fenómenos meteorológicos y al cambio climático que se presenten en el momento.

### 5.2.3. Posibles Usos

En una investigación realizada por Torres, Méndez, et al.,( 2013) se identificó la presencia de metales pesados en muestras de agua lluvia en el municipio de Soacha, encontrando concentraciones de Plomo (Pb), Cobre (Cu), Cadmio (Cd) y Zinc (Zn) que superan los límites establecidos por la norma (Decreto 1594, 1984) para que el agua pueda ser utilizada en labores como riego, lavado de pisos, fachadas, descarga de sanitarios o consumo humano. No obstante, también concluyen que dichas concentraciones se vieron reflejadas en episodios lluviosos precedidos por largos periodos secos (marzo de 2010), de modo que al examinar las muestras en época de mayor precipitación (30 de abril de 2010) encontraron que dichas concentraciones disminuían junto a los resultados de pH, lo que podría permitir el uso del agua lluvia en las labores mencionadas (a excepción del riego) en época de mayor precipitación.

Las pruebas con tiras reactivas efectuadas sobre las muestras tomadas de los pluviómetros en el mes de mayo arrojaron valores de pH entre 5 y 6 lo que indica que el agua en esas muestras es ligeramente ácida (lopez de la barrera, et al., 2008). Estos resultados concuerdan con los encontrados por Torres, Méndez, et al., (2013); y de observarse que el pH se mantiene en estos niveles, sumado a la disminución de la concentración de metales pesados, el agua de lluvia podría utilizarse para labores de riego.

Debido a la presencia de los compuestos antes mencionados, el uso del agua recolectada es limitado; pero tal y como lo indica Belaire & Jacobs (2017), *“Existen muchas técnicas de tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados como la precipitación”* (p.8), los más comunes según Izquierdo (2010) son la Precipitación Química, Procesos de Oxidación-Reducción, Intercambio Iónico, Tratamientos Electroquímicos, Procesos de Membrana, Extracción con Disolventes, Adsorción Sobre Carbón Activado y la Bioadsorción la cual por motivos económicos sería la opción más viable para el tratamiento de agua recolectada, esta técnica consiste (Belaire & Jacobs, 2017) en retener los agentes contaminantes mediante el uso de

materiales de origen biológico inerte para su filtrado, cómo Algodón, Microalgas, Cascaras de Café y Corcho.

#### 5.2.4. Alcance del Sistema

De acuerdo con pronóstico obtenido la fórmula de regresión polinómica quinto grado y los promedios de precipitación que nos ofrece el IDEAM, y la verificación realizada mediante la toma de muestras y la realización del diagrama de cajas se concluyó que la información allegada tiene un alto índice de confiabilidad; por lo que se propone una matriz del potencial de ahorro en m<sup>3</sup> frente al área de captación de agua lluvia en m<sup>2</sup>.

**Tabla 10. Matriz potencial de ahorro en litros VS área de captación en m<sup>2</sup>.**

| RELACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN MILIMETROS FRENTE AL POTENCIAL DEL AREA DE CAPTACION, LOS DATOS EN VERDE INDICAN LA CANTIDAD DE AGUA QUE SE PUEDE AHORRAR EN LITROS ANUALES |                                    |                                    |          |          |          |          |           |           |           |
|--|------------------------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| año  | promedio de lluvia mensual en (mm) | Área de techos en metros cuadrados |          |          |          |          |           |           |           |
|  |                                    | 72                                 | 100      | 150      | 200      | 250      | 1000      | 2000      | 5000      |
| 2018   | 103,20                             | 7430,10                            | 10319,59 | 15479,39 | 20639,18 | 25798,98 | 103195,90 | 206391,80 | 515979,50 |
| 2019   | 77,07                              | 5549,04                            | 7707,00  | 11560,50 | 15414,00 | 19267,50 | 77070,00  | 154140,00 | 385350,00 |
| 2020   | 60,59                              | 4362,27                            | 6058,71  | 9088,07  | 12117,42 | 15146,78 | 60587,10  | 121174,20 | 302935,50 |
| 2021   | 46,29                              | 3332,82                            | 4628,92  | 6943,38  | 9257,84  | 11572,30 | 46289,20  | 92578,40  | 231446,00 |
| 2022   | 53,08                              | 3821,58                            | 5307,75  | 7961,63  | 10615,50 | 13269,38 | 53077,50  | 106155,00 | 265387,50 |
| 2023   | 80,80                              | 5817,92                            | 8080,44  | 12120,66 | 16160,88 | 20201,10 | 80804,40  | 161608,80 | 404022,00 |
| 2024   | 64,87                              | 4670,32                            | 6486,55  | 9729,83  | 12973,10 | 16216,38 | 64865,50  | 129731,00 | 324327,50 |

Fuente: Elaboración propia

La tabla 10 nos indica que para una unidad económica de 72 m<sup>2</sup> el potencial de ahorro en la zona de estudio es de 7430,10 litros anuales, y para una estructura de mayor envergadura como un centro comercial o una planta industrial de 5.000 m<sup>2</sup>, el ahorro potencial de agua potable puede ser de 515.975,50 litros de agua. El potencial de ahorro de cualquier estructura se puede estimar con la siguiente ecuación:

$$P_{cap}(lt) = A * I_{pr} \quad (1)$$

Donde:

- $P_{cap}$  = Potencial de captación (en litros)
- $A$  = Área de captación
- $I_{pr}$  = Índice de precipitación (en milímetros)

Estos valores pueden ser anuales o mensuales (para el potencial de captación y el índice de precipitación).

Los sistemas pueden ser aplicados en cualquier estructura donde funcione una unidad económica de cualquier tamaño. Sin embargo, en el centro de Soacha existen unidades económicas ubicadas en infraestructura catalogada como patrimonio cultural, dichas estructuras no pueden ser modificadas tal y como lo mencionaron Ramos Roperó & Sánchez Triviño (2017), lo que dificulta la implementación de estos sistemas. Dicho esto, podemos deducir que los sistemas de captación de agua lluvia pueden ser utilizados en cualquier parte de la zona de estudio y en casos específicos deben respetar la arquitectura de la unidad económica.

## **5.3 TERCERA FASE**

### **5.3.1. Evaluación Económica**

Por su parte Campisano, Butler, et al., (2011) en su revisión del estado del arte frente a los sistemas RWH por sus siglas en inglés (Rain Water Harvesting), señalan que a pesar de la inviabilidad económica de la implementación de estos sistemas; por una tasa de retorno de la inversión de hasta 60 años, no se están tomando en cuenta todos los factores inmersos en la inversión como:

- La disminución del volumen percibido en los alcantarillados, mitigando amenazas de inundaciones.
- Menor volumen de llegada a las plantas de tratamiento de agua de cada ciudad.
- Los inmuebles con sistemas RWH tienen mayor valor comercial, es decir que estos sistemas valorizan la finca raíz.
- El reemplazo del agua dura por blanda (lluvia) puede abaratar el costo de lavado puesto que se necesita menos detergente (Morales, 2014).
- El costo del agua va en aumento y este aumento no se tiene en cuenta para la elaboración de dichas evaluaciones económicas.

### **5.3.3.1. Precio de Venta de un Inmueble Según Sus Atributos Para Una Unidad Económica**

El precio de venta de un inmueble en Colombia normalmente es determinado por características como:

- Ubicación
- Accesibilidad
- Terminados internos
- Antigüedad del inmueble

Entre otros aspectos propios de cada negociación, Zhang, Polyakov, Fogarty, Pannell, (2015) proponen desde la academia una ecuación para el cálculo de la capitalización de un inmueble sostenible teniendo en cuenta atributos internos, externos y de eco-cultura que no se tienen en cuenta comúnmente. Al aplicar este modelo en el contexto de la presente investigación el precio de venta final de un inmueble estaría dado por:

$$P_{vf} = \alpha_{ijt} * \{1 + (\beta_{ijt} + \delta_{ijt} + \gamma_{ijt})\} \quad (2)$$

Donde:

**P<sub>vf</sub>** = Precio de venta final

**i** = Entidad económica.

**j** = Área o localización de la entidad económica.

**t** = Tiempo del inmueble de la entidad económica.

**α<sub>ijt</sub>** = Constante de valorización comercial (Avalúo comercial del inmueble).

**β<sub>ijt</sub>** = Adecuaciones internas.

**δ<sub>ijt</sub>** = Adecuaciones externas.

**γ<sub>ijt</sub>** = Atributo ecológico (captación de agua lluvia) (% del área de captación utilizada).

La entidad económica será la que se encuentre ubicada en el inmueble a estudiar, y el tiempo del inmueble hace referencia a la edad o antigüedad del inmueble.

Para las constantes **β**, **δ** y **γ** se propone el cuadro de mando, donde dichas constantes tomarán valores entre 0 y 1 según los criterios dados. Un inmueble puede valorarse hasta 4 veces su avalúo comercial de cumplir con todos los criterios propuestos. Hablando solamente de aplicar un sistema de captación de agua lluvia el inmueble puede valorarse teóricamente entre un 50 y un 100% del valor inicial **α**.

**Tabla 11. Cuadro de condición**

| <b>β</b>              |       | <b>δ</b>              |       | <b>γ</b>                       |    |      |                |
|-----------------------|-------|-----------------------|-------|--------------------------------|----|------|----------------|
| Concepto              | Valor | Concepto              | Valor | Concepto                       |    |      | Valor asignado |
| Pisos                 | 0,34  | Parqueadero           | 0,34  | El área de Captación utilizada | =  | 100% | 1,00           |
| Iluminación           | 0,33  | Vías de acceso        | 0,33  |                                | >= | 75%  | 0,75           |
| Ventilación           | 0,33  | Alcantarillado        | 0,33  |                                | <  | 74%  | 0,50           |
| <b>Valor asignado</b> | 1     | <b>Valor asignado</b> | 1     |                                | =  | 0%   | 0,00           |

Fuente: Elaboración propia

Es de tener en cuenta que la presente propuesta, es un modelo australiano que aún no ha sido utilizado en nuestro país, ya que el peritaje realizado a los inmuebles en nuestra costumbre mercantil no contempla la eco-cultura como variable de valorización, pero tal y como se ha puntualizado a lo largo de este trabajo. La escasez de agua llevara a que este tipo de variables comiencen a ser tenidas en cuenta en un corto plazo.

### 5.3.2. Análisis PEST

Esta es una herramienta de análisis del entorno, desde la cual se proporcionará una perspectiva del pronóstico económico, político, socio- cultural y tecnológico y la probabilidad de ocurrencia de estos. (Benavides Mejía & LLumitaxi Candelario, 2009).

**Figura 9. Análisis PEST.**



Fuente: Elaboración propia

### **Político legal**

- Proyecto de ley 2017 “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 (Martínez, Lozano & López, 2017)

### **Económico**

- La inflación en Colombia, aunque en los últimos 18 años no supera el 10% desde el año 2016 empezó un descenso del 6 % al actual 3,54% (octubre



2018), cifras que indican oportunidades en el mercado (Banco de la república de Colombia, 2018)

- Precios del agua: El costo por metro cúbico va en aumento, este por sí mismo no tiene una tendencia a la baja. En algunos países el aumento es más evidente que en otros, en el caso de Colombia y para la zona de estudio, hacia el año 2012 el precio promedio por m<sup>3</sup> era de \$3.195 COP, para el año siguiente fue de \$3.294 COP y para el año 2018 este valor llegó en promedio a \$3.919 COP, es decir la tendencia es hacia una elevación del costo del agua (Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá EAAB, 2018).

### **Cultural**

- Hábitos de consumo: en Colombia, a pesar de tener una disponibilidad de agua per-cápita de aproximadamente de 50.000 m<sup>3</sup> de agua anual, se debe considerar que el mayor consumo se genera en industrias, agricultura y producción de energía hidroeléctrica (Domínguez Calle, 2018).
- Aspectos demográficos: Como se mencionó anteriormente, el crecimiento poblacional en el municipio de Soacha es evidente con más de 1 millón de habitantes aproximadamente, el uso racional del recurso hídrico es más una necesidad que una estrategia (Alcaldía Municipal de Soacha,2015).

### **Tecnológico**

- Acceso a componentes novedosos: a través de la red se pueden encontrar componentes para los sistemas de captación de agua lluvia, componentes de última tecnología de origen internacional como los ofrecidos por (Asociación Americana de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, 2018), tales como sistemas de filtrado, sensores de pH, sensores de nivel de agua, indicadores de mantenimientos preventivos y correctivos, entre otros complementos a los sistemas de captación de agua lluvia básicos.
- Oferta: a nivel nacional e internacional existe gran oferta en variedad de implementación de sistemas de captación de agua lluvia, diversas empresas

ofrecen conocimiento para la implementación. (Isla Urbana,2018) en su portal ofrece ideas para sistemas urbanos, rurales o de alto flujo.

### **5.3.3. Casos en el Mundo**

En Pakistán (Hassan, 2016) se sugiere implementar los sistemas de captación de agua lluvia con el fin de mitigar la escasez de agua potable y extender una cultura de uso razonable del recurso. Hassan (2016) concluye que para garantizar un ahorro de hasta el 45% en el preciado líquido, una vivienda debe tener mínimo 220 m<sup>2</sup> y esto solo para una familia de 4 personas. En comparación con el área de estudio, con un techo de 220 m<sup>2</sup> se pueden recoger más de 160.000 litros de agua lluvia en un año promedio y alcanzaría para ahorrar el mismo 45% aunque para 10 personas aproximadamente. Esto teniendo en cuenta que un hogar promedio de estrato 3 consume alrededor de 13 m<sup>3</sup> mensuales y en promedio cada familia está compuesta por 4 personas (Chacon, Lizcano, & Aspilla, 2012). No obstante, vale aclarar que Hassan no determina en su investigación el consumo per cápita de agua.

Por su parte, Morales (2014) sostiene que ciudades europeas como Barcelona y Pamplona entre otras, obtuvieron los mejores resultados con respecto a rendimientos financieros favorables, donde el promedio de precipitación anual es de 555 mm (Barcelona) y 345 mm (Pamplona) frente a un costo del agua por m<sup>3</sup> de € 2,3 y € 1,5 respectivamente (precios del año 2014). Morales (2014) también afirma que en lugares donde la precipitación anual esté entre 400 y 700mm, los rendimientos financieros son los mejores.

En Zambia, África se considera la opción de recolectar agua de lluvia junto a otras alternativas como gestionar la demanda de agua potable, aumentar la oferta del río Kafue o explorar aguas subterráneas Handia, Madalitso, & Mwiindwa (2003). proponen la cosecha de agua lluvia dado que el acceso a agua potable es muy escaso, los habitantes de algunas poblaciones como Chazanga y Linda deben recorrer distancias de 800 metros entre sus hogares y las fuentes de agua. En esta región se elaboran tanques de almacenamiento rurales y comunitarios para

almacenar y cosechar el agua de lluvia, tanques de ladrillo y hormigón de hasta 75.000 litros. Luego de someter el agua recolectada a pruebas de laboratorio, se estableció que era potable después de ser hervida.

#### 5.3.4. Potencial de Ahorro

Con base en la tabla 10, se propone la relación entre el ahorro en m<sup>3</sup> frente a su costo (valores actualizados al año 2018 suministrados por el acueducto de Bogotá).

**Tabla 12. Beneficio económico por m ahorrado.**

| RELACIÓN DEL BENEFICIO ECONOMICO FRENTE AL AHORRO EN (m3) DATOS SUMISTRADOS POR LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA ( EAAB) CIFRAS 2018 |                                    |                                    |           |           |           |            |            |            |              |
|--|------------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|--------------|
| año  | promedio de lluvia mensual en (mm) | Área de techos en metros cuadrados |           |           |           |            |            |            |              |
|  |                                    | 72                                 | 100       | 150       | 200       | 250        | 1000       | 2000       | 5000         |
| 2018   | 103,20                             | \$ 29.117                          | \$ 40.440 | \$ 60.660 | \$ 80.880 | \$ 101.100 | \$ 404.400 | \$ 808.800 | \$ 2.022.001 |
| 2019   | 77,07                              | \$ 21.745                          | \$ 30.202 | \$ 45.303 | \$ 60.404 | \$ 75.505  | \$ 302.019 | \$ 604.038 | \$ 1.510.095 |
| 2020   | 60,59                              | \$ 17.095                          | \$ 23.743 | \$ 35.614 | \$ 47.485 | \$ 59.357  | \$ 237.426 | \$ 474.853 | \$ 1.187.132 |
| 2021   | 46,29                              | \$ 13.061                          | \$ 18.140 | \$ 27.209 | \$ 36.279 | \$ 45.349  | \$ 181.396 | \$ 362.793 | \$ 906.982   |
| 2022   | 53,08                              | \$ 14.976                          | \$ 20.800 | \$ 31.200 | \$ 41.600 | \$ 52.000  | \$ 207.998 | \$ 415.996 | \$ 1.039.990 |
| 2023   | 80,80                              | \$ 22.799                          | \$ 31.665 | \$ 47.498 | \$ 63.331 | \$ 79.163  | \$ 316.653 | \$ 633.306 | \$ 1.583.266 |
| 2024   | 64,87                              | \$ 18.302                          | \$ 25.419 | \$ 38.129 | \$ 50.838 | \$ 63.548  | \$ 254.192 | \$ 508.385 | \$ 1.270.962 |

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que una unidad económica de 72 m<sup>2</sup> (área de captación) puede percibir un ahorro mensual de hasta \$ 29.117 COP. Por su parte, una unidad económica de mucha más envergadura por ejemplo de 5.000 m<sup>2</sup> se ahorraría al mes más de \$ 2.022.001 COP. Estas aproximaciones pueden ser calculadas anual y mensualmente, el cálculo se efectuó con un valor promedio entre la tarifa de agua comercial e industrial las cuales son muy similares para la vigencia 2018, un precio promedio de \$ 3.919 COP / m<sup>3</sup> (US \$ 1 equivalente a \$ 2.946 COP) (Banco de la Republica de Colombia, 2018).

**Tabla 13 Tarifas por m<sup>3</sup> oficiales del acueducto para Soacha.**

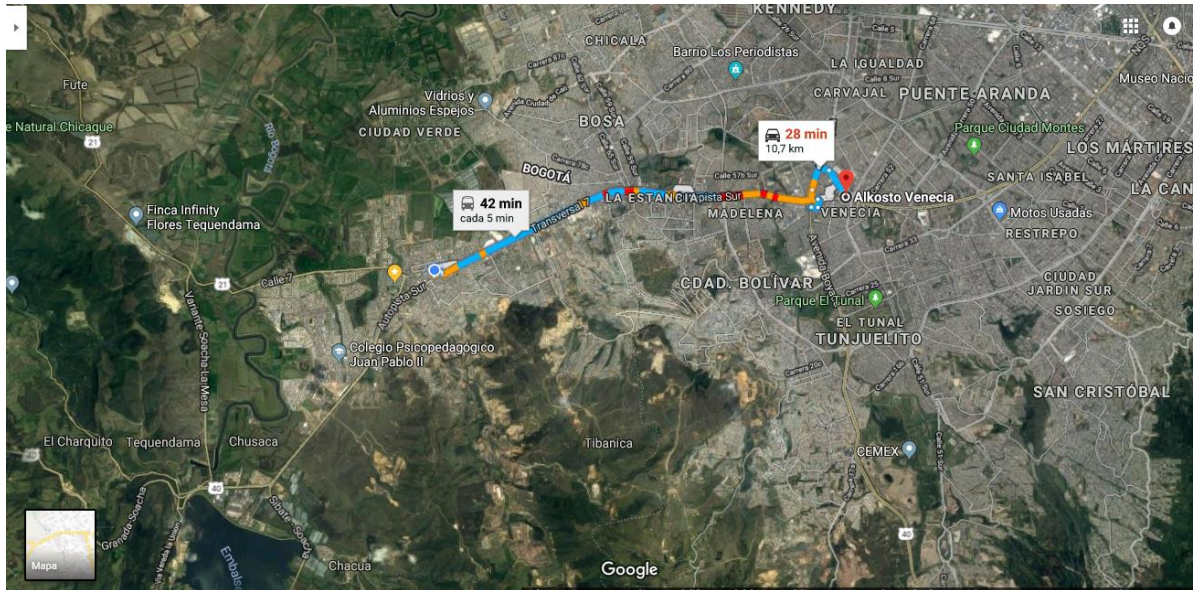
| <b>Tarifas por m<sup>3</sup> oficiales del acueducto para Soacha vigencia 2018</b> |                 |
|--|-----------------|
| Comercial  | \$ 3.864        |
| Industrial   | \$ 3.973        |
| <b>Promedio</b>  | <b>\$ 3.919</b> |

Fuente: EAAB, elaboración propia

### **5.3.5. Casos de Referencia en la Zona de Estudio**

Torres (2011) menciona el caso del almacén de Alkosto (sede Venecia) en Bogotá donde se aprovechan 6.000 m<sup>2</sup> de techos para suministrarse 4.820 m<sup>3</sup> de agua lluvia al año, en otras palabras, el almacén recoge y aprovecha 4'820.000 litros de agua al año provenientes de la lluvia, lo cual nos indica que el índice de lluvia anual en esa zona de Bogotá es de 803 mm/año (de acuerdo a la ecuación 1) y se ahorraron el 75% de su demanda para el año 2011.

**Figura 10. Ubicación almacén Alkosto con respecto a la zona de estudio (Soacha)**



Fuente: Google maps.

A pesar de encontrarse a 10 kilómetros de distancia de la zona de estudio, se aprecia una diferencia mínima en los índices de precipitación con respecto a la zona de estudio (778 mm/año).

La finca Infinity de la empresa *Flores del Tequendama S.A* ubicada en el municipio de Soacha (anexo 8), a 7 kilómetros de la zona de estudio, constituye un punto de referencia teniendo en cuenta que desde que fue planeada su construcción, hace más de 30 años, el agua lluvia fue considerada un recurso vital para su funcionamiento. Esta empresa se dedica al cultivo de rosas tipo exportación y cuenta con la certificación *RAINFOREST* que indica que la empresa cumple con estándares de sostenibilidad ambiental, social y económica, factores claves para la competitividad internacional (Rainforest Alliance Certified™ 2018).

En una entrevista informal otorgada el día 20 de septiembre de 2018 en las instalaciones de Flores del Tequendama S.A, por el ingeniero agrónomo Mario Rojas. jefe de producción, enfatizo que la política de la empresa se basa en un

balance hídrico atado a un uso racional del recurso. El ingeniero manifiesta que la periodicidad de las lluvias no es constante durante todos los días-(datos que se pueden apreciar en el análisis estadístico ya mencionado)-por lo que deben abastecerse de agua lluvia y comercial.

No obstante, el índice de variación estacional en la zona de estudio es de 0,31, cálculo que nos permite afirmar que durante el año las lluvias en Soacha no presentan rasgos de estacionalidad muy pronunciados, es decir, que a lo largo del año llueve de manera uniforme, lo que facilita el aprovechamiento del agua lluvia en comparación con otras zonas donde la lluvia se concentra únicamente en unos cuantos meses del año. (Monzur, Shanableh, Aatur, & Amimul, 2011)

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{j=1}^{12} \left| X_j - \frac{R}{12} \right| \quad (3)$$

Donde:

SI: Índice de estacionalidad

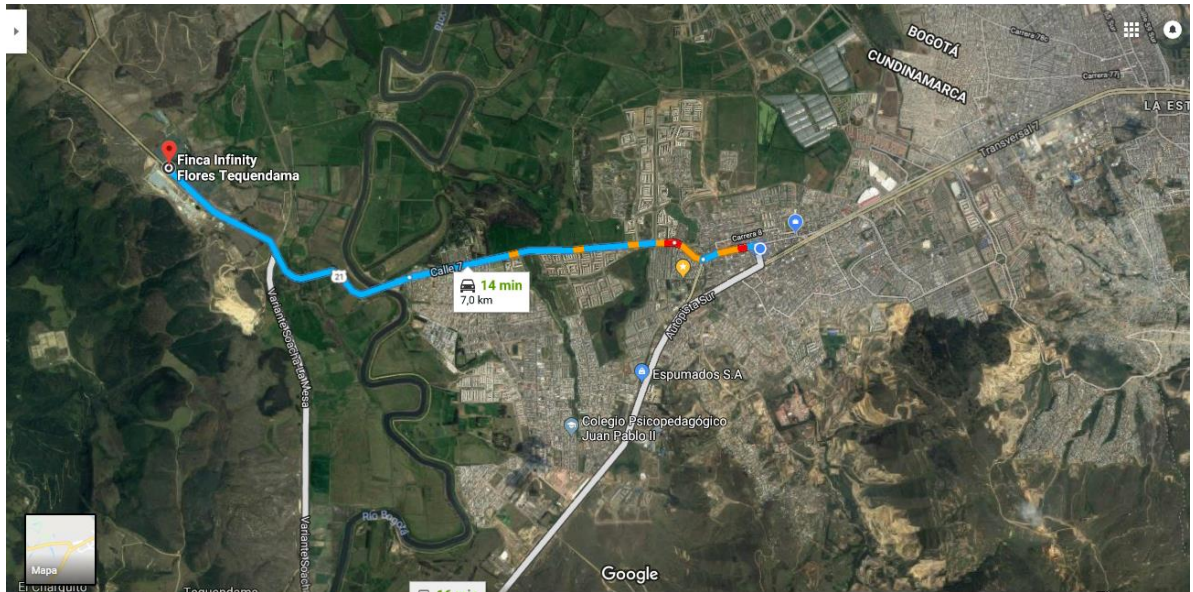
R: Precipitación media anual

X<sub>j</sub>: Precipitación media mensual para el mes j

Datos en milímetros de lluvia



**Figura 11. Ubicación de la empresa respecto a la zona de estudio (7Km).**



Fuente: Google maps.

La empresa cuenta con 22 invernaderos de 5.200 m<sup>2</sup> cada uno, que en su conjunto reúnen un área de captación de 114.400 m<sup>2</sup>. Según lo manifestado por el Ingeniero Rojas, esta área es aprovechada en un 80% debido a unas pendientes propias del terreno que aún no se intervienen para su aprovechamiento. Dadas estas condiciones y según las proyecciones dadas por la investigación, la empresa ahorraría hasta un 49% de su consumo anual gracias a la recolección del agua lluvia.

**Figura 12. Flores del Tequendama, finca Infinity dos reservorios de agua lluvia e invernaderos.**



Fuente: Google maps

El ahorro de agua se calculó a partir del consumo estandarizado de la empresa, que se estimó en 1.000 litros de agua cama / semana -(entiéndase cama como las divisiones del cultivo de flores)-. La empresa cuenta con 3.000 camas, lo que nos permite establecer un consumo mensual de 12 millones de litros de agua y un consumo anual de 144 millones de litros. La empresa manifiesta que en promedio se ahorran un 45% de consumo anual gracias a la implementación de este sistema, cifra cercana a la establecida por el cálculo de la investigación, que fue de 49% anual.

El agua lluvia se recolecta en dos reservorios dentro de la empresa, apreciables en la figura 11 (reservorio 1 y 2), de 18.000 m<sup>2</sup> con 1.80 mts de profundidad y 22.000 m<sup>2</sup> con 1 mt de profundidad respectivamente.

Habiendo mencionado dos casos existentes, se elaboró una estimación de ahorro para la Universidad de Cundinamarca - Extensión Soacha, donde se puede



implementar un sistema de captación de agua lluvia dada su infraestructura y el amplio espacio disponible.

Debido a la imposibilidad de contar con planos a detalle para el cálculo del área de captación, se procedió a tomar medidas de las diferentes infraestructuras (9) que hacen parte de la extensión, con el fin de estimar el área de captación útil. Las medidas fueron tomadas con la ayuda de un metro laser de referencia Bosch GLM 40 de mediano alcance (40 metros). El área individual y total se puede apreciar en la tabla 12.

**Tabla 14. Área de cada infraestructura y total en la extensión Soacha.**

| UDEC SOACHA  |                   |       |                     |                           |
|--|-------------------|-------|---------------------|---------------------------|
| Concepto   | Medidas en metros |       | Area M <sup>2</sup> | Area total M <sup>2</sup> |
| Administracion   | 15,9              | 21,2  | 337,1               | 337,1                     |
| Bloque A y B   | 51,0              | 41,0  | 2.091,0             | 2.091,0                   |
| Bloque C   | 9,3               | 2,8   | 26,0                | 2.242,3                   |
| Bloque C   | 46,6              | 38,0  | 1.770,8             |                           |
| Bloque C   | 7,3               | 10,7  | 78,1                |                           |
| Bloque C   | 16,4              | 22,4  | 367,4               |                           |
| Cancha sintetica   | 32,8              | 50,3  | 1.649,8             | 1.649,8                   |
| Bloque D y coliseos                                      | 33,3              | 106,2 | 3.534,8             | 3.677,8                   |
| Bloque D y coliseos                                      | 10,0              | 14,3  | 143,0               |                           |
| Cafeteria  | 12,3              | 13,6  | 167,3               | 167,3                     |
| Quiosco  | 6,0               | 9,0   | 54,0                | 54,0                      |
| Laboratorio HASS 200                                     | 6,9               | 13,5  | 93,2                | 93,2                      |
| Cuarto de mantenimiento                                  | 14,4              | 12,0  | 172,8               | 172,8                     |
| <b>Area de captacion potencial Udec extension Soacha</b> |                   |       |                     | <b>10.485,3</b>           |

Fuente: Elaboración propia.

Para el bloque C, el bloque D y coliseos se hizo necesario dividir el área en diferentes áreas rectangulares dada su forma (Anexo 9).

La Extensión Soacha proporcionó datos de consumo provenientes de recibos públicos (Anexo 10), donde se puede observar el consumo de algunos meses del año 2017 y 2018. Se estimó un consumo anual a partir de la información suministrada, estos datos se aprecian en la tabla 12.

**Tabla 15. Estimación consumo anual UdeC Extensión Soacha.**

| UDEC SOACHA                   |              |
|-------------------------------|--------------|
| Consumo en m <sup>3</sup>     |              |
| Sept - Nov (2017)             | 726          |
| Nov (2017) - Ene (2018)       | 404          |
| Ene - Mar (2018)              | 735          |
| Mar - May (2018)              | 803          |
| Promedio EAAB (Bimestral)     | 622          |
| <b>Consumo anual estimado</b> | <b>3.732</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la ecuación 1, podemos estimar el ahorro que puede percibir la extensión Soacha y compararlo con su consumo.

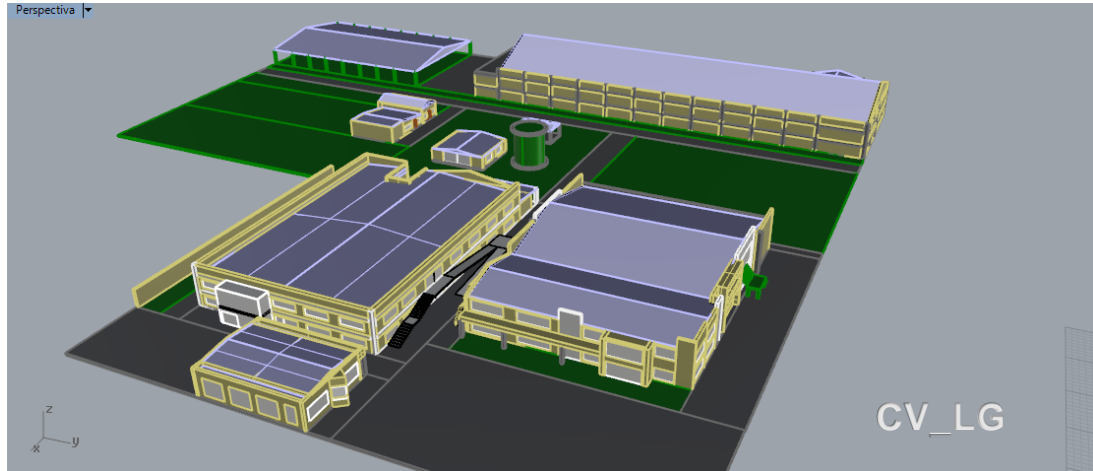
**Tabla 16. Ahorro estimado en la Extensión Soacha.**

| UDEC SOACHA                                   |                  |
|---|------------------|
| Potencial de Ahorro Udec - Soacha             |                  |
| Consumo anual (litros)                        | 3.732.000        |
| Precipitación promedio anual                  | 778              |
| Area de captacion potencial (M <sup>2</sup> ) | 10.485           |
| <b>Ahorro estimado (litros)</b>               | <b>8.157.528</b> |

Fuente: Elaboración propia.

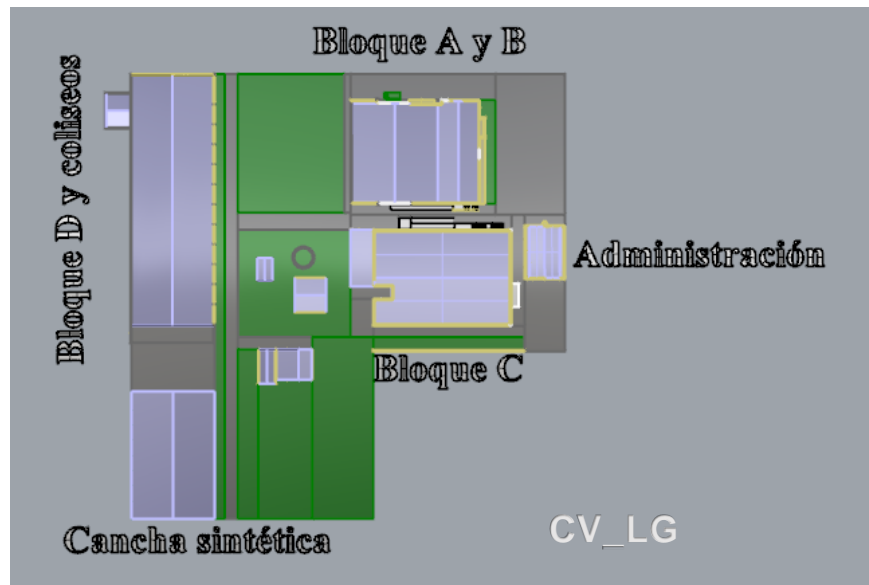
Se observa un ahorro estimado de más del doble de la cantidad de agua consumida por la extensión. Para un desarrollo posterior en este sentido, será necesario caracterizar usos, consumo exacto, almacenamiento, red de distribución entre otros aspectos de diseño. Con la ayuda del software Rhinoceros se elaboró un diseño de la extensión a partir de las medidas tomadas donde se puede apreciar las áreas de captación en azul, además de posibles rutas para la red de distribución (ver Anexo 9).

**Figura 13. Extensión Soacha**



Fuente: Elaboración propia (Rhinceros 5) anexo 9

**Figura 14. Vista superior de la extensión Soacha.**



Fuente: Elaboración propia (Rhinceros 5) anexo

## 6.CONCLUSIONES

- Los resultados de la investigación confirman que los índices de precipitación de la zona de estudio no difieren en gran medida de los proporcionados por el IDEAM, y que el afluente de precipitaciones hace viable la implementación de sistemas de captación de agua lluvia con respecto a la cantidad de lluvias que se presentan a lo largo del año.
- Teniendo en cuenta las pruebas realizadas con la recolección de agua lluvia, de las muestras tomadas y los estudios externos respecto a la calidad del agua lluvia en Soacha, se un estableció el alcance respecto de los usos de este recurso, inicialmente el agua no es apta para el consumo humano, partiendo del resultado de acidez, que arrojó como resultado “Levemente Acida”. según la escala establecida por el IDEAM, (2004). Respecto a la presencia de metales pesados se pudo delimitar las posibilidades tecnológicas para la eliminación de estos, y por motivos económicos se contempló que la tecnología más viable es la utilización de bio adsorbentes que eliminen los residuos de metales pesados. Los usos que se pueden dar para el agua lluvia recolectada son: Lavado de Fachadas, Uso en Sanitarios, Lavado de Pisos, y en general labores de limpieza y sanitarias.

- En lo que respecta a los resultados estadísticos, se observa que hay una correlación en los años pronosticados con los datos obtenidos por el IDEAM para el municipio de Soacha. Dado el análisis antes descrito es posible realizar una recolección de agua lluvia durante los siguientes 7 años, conforme los datos reportados por el IDEAM y por este trabajo demostrados, obtenidos por la línea de tendencia, ya que se ha mantenido constante la cantidad de precipitación presentada en el municipio de Soacha. Tal como se refleja que para el 2021 va a hacer un año muy seco, pero para el 2023 será un año demasiado lluvioso.
  
- Se propuso como aspectos atractivos para la implementación del sistema de recolección de aguas lluvias, una futura valorización del inmueble, así como un ahorro porcentual de hasta 49% en el consumo de agua comercial -(tabla 14)- dependiendo del área en la cual se implemente el sistema, adicionalmente se puntualizó la experiencia del almacén Alkosto y la empresa Flores del Tequendama S.A.
  
- Las ventajas encontradas en la presente investigación fue la viabilidad con respecto al afluente de precipitaciones que se presentan a lo largo del año en el municipio, además de ello el índice de confiabilidad en la información allegada por el IDEAM respecto de la información recopilada en la investigación, por otro lado, se encontró que teóricamente las unidades económicas que implementen este sistema tendrían un alto índice de ahorro en el consumo de agua comercial y alcantarillado, con todo lo que ello conlleva como por ejemplo la creación de una cultura Bio Sustentable en los Soachunos y una contribución social al medio ambiente.

- Las desventajas del presente trabajo fueron la limitación con respecto al tiempo necesario para la recolección de información estadística confiable ya que el mínimo de extensión en el tiempo para un registro confiable es de 30 años(OMM,1989), por otro lado la imposibilidad de realizar una evaluación económica exacta teniendo en cuenta que en la investigación se planteó atributos cualitativos dado que las condiciones de la investigación fueron generales para cualquier unidad económica y no se incluyó datos de costos asociados a la inversión inicial, mantenimiento u otros, debido a que estos varían según las características de cada sistema, finalmente la desventaja más grande fue la imposibilidad de utilizar el recurso recuperado para el consumo humano.

## **7.RECOMENDACIONES**

- Este proyecto plantea solo la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en una unidad económica del municipio de Soacha, pero al momento de su implementación se hace necesario realizar estudios sobre la estructura del inmueble a instalar, ya que dependiendo de cada caso particular se pueden optar por diferentes tipos de materiales afectando así el nivel de escorrentía.
- Teniendo en cuenta la pertinencia de los estudios de reutilización de aguas lluvias, se recomienda la creación de estaciones de seguimiento a precipitaciones en la universidad de Cundinamarca, con el fin de contar con proyecciones más confiables en futuros proyectos de investigación, ya que el IDEAM solo cuenta en estos momentos con una estación activa.
- Se recomienda promover desde el sector académico el otorgamiento de incentivos gubernamentales bien sea del Gobierno Nacional o el Gobierno Municipal, a unidades económicas que implementen este tipo de sistemas; ya que con ellos de manera preventiva se atenúan los gastos en que incurre el estado por la falta de tan preciado recurso, y las catástrofes naturales que ello conlleva.
- Para próximas investigaciones, se puede plantear salidas para descontaminar el agua producto de la implementación de estos sistemas, a tal punto de poder utilizar este recurso para el consumo humano.

- Desde el poder legislativo, se hace viable establecer preventas a las constructoras que implementen estos sistemas en unidades económicas, y así beneficiar a largo plazo al conglomerado social quienes finalmente somos los que disfrutamos de la comodidad que nos brinda tener este recurso a disposición.



## 8.ANEXOS

Anexo 1. SISDHIM (sistema de información hidrológica y meteorológica)-IDEAM

Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales

Anexo 2. Adquisición y construcción de los pluviómetros



Pluviómetros caseros



Abrazaderas de metal y tornillos para asegurar el pluviómetro



Bases de madera entre 30 y 60 cm de largo

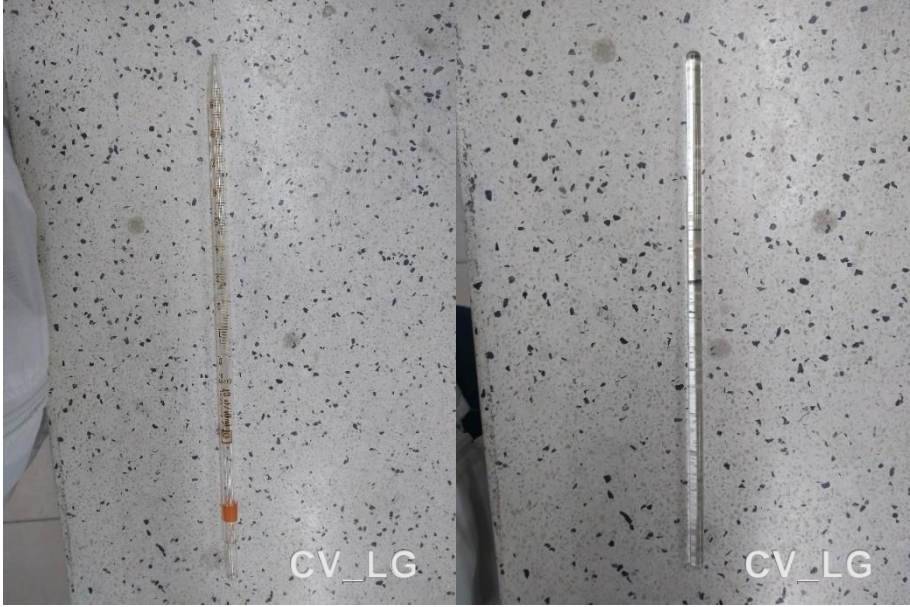
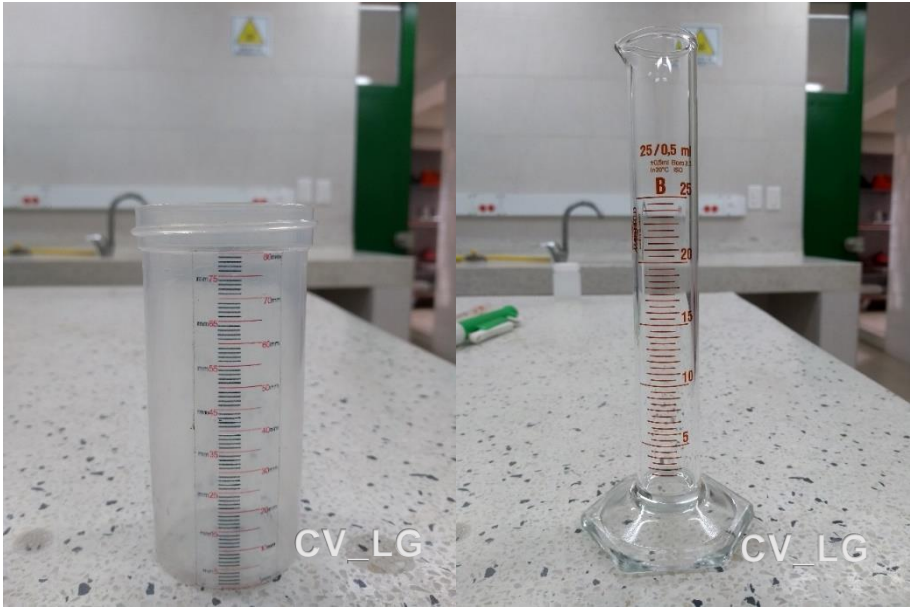


Montaje previo

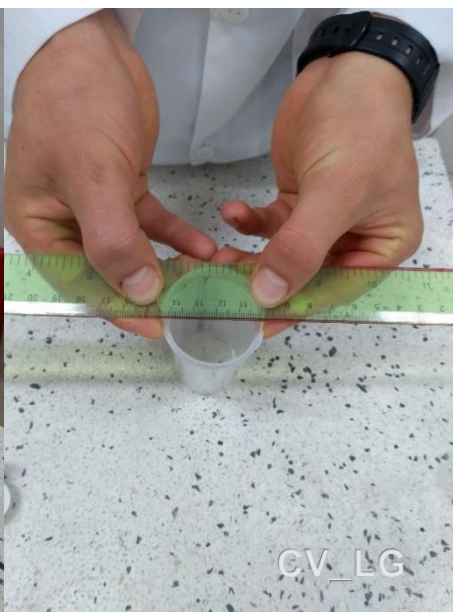


Ensamble de las piezas y pruebas de ajuste para 4 pluviómetros caseros y uno comercial

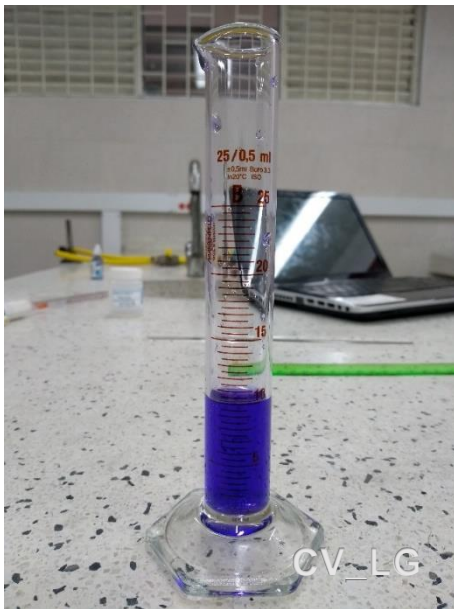
Anexo 3. Calibración de pluviómetros



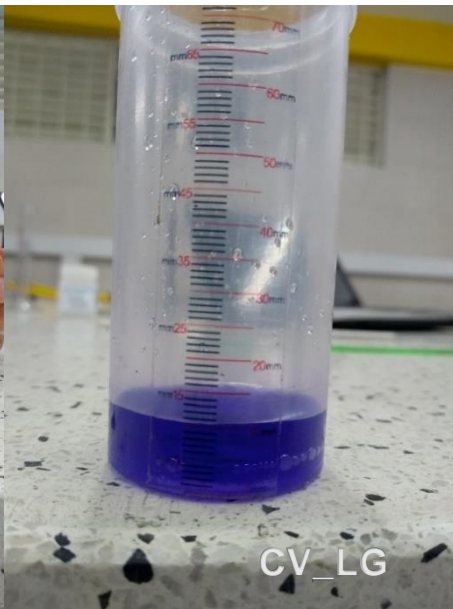
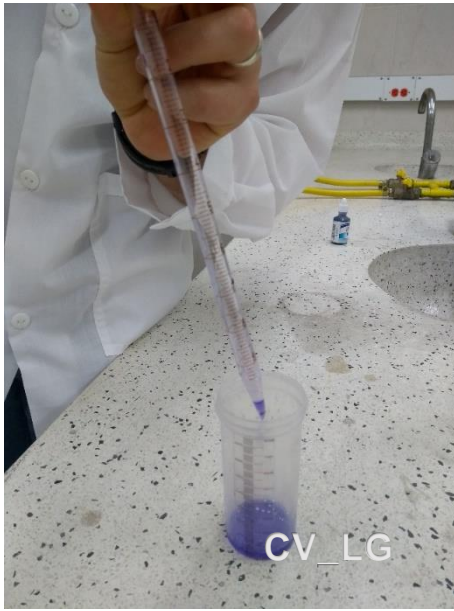




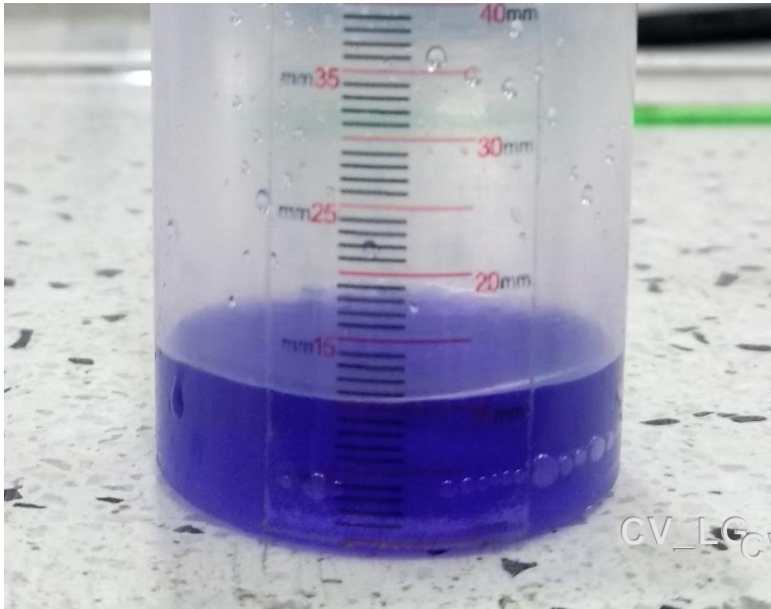












| pluviometro   |                     |                        |            |                                 |
|---|---------------------|------------------------|------------|---------------------------------|
| area circular del pluviometro   |                     | area en m <sup>2</sup> |            |                                 |
| Diametro  | 0,042               | mts                    | 0,00138544 |                                 |
| π   | 3,142               |                        |            |                                 |
| radio "r"   | 0,021               | mts                    |            |                                 |
| suponemos una lluvia de 10 Lt/m <sup>2</sup> o de 10 mm   |                     |                        |            |                                 |
| 10  | Lt / m <sup>2</sup> | *                      | 0,00138544 | m <sup>2</sup>                  |
| metro cuadrado se cancela y me queda una medida en litros   |                     |                        |            |                                 |
| esta medida me dice la cantidad de agua (EN LITROS) que recogeria el pluviometro casero con respecto a una lluvia de 10 Lt/m <sup>2</sup>                   |                     |                        |            |                                 |
| 0,013854  |                     |                        |            | Lt                              |
| o lo que es lo mismo (en mililitros)  |                     |                        |            |                                 |
| 13,8544236  |                     |                        |            | ml                              |
| ¿que altura alcanzaria en el pluviometro esta cantidad de agua?   |                     |                        |            |                                 |
| como 1 litro es equivalente a 1 decimetro cubico  |                     |                        |            |                                 |
| 1Lt = 1dm <sup>3</sup>  |                     |                        |            |                                 |
| entonces podemos decir que 0,01385 Lt son equivalentes a 0,01385 dm <sup>3</sup>  |                     |                        |            |                                 |
| ahora vamos a convertir esta medida en metros cubicos (m <sup>3</sup> )   |                     |                        |            |                                 |
| 0,013854  | dm <sup>3</sup>     | *                      | 1/1000     | m <sup>3</sup> /dm <sup>3</sup> |
| decimetros cubicos se cancelan y nos queda la medida en metros cubicos  |                     |                        |            |                                 |
| 0,00001385  |                     |                        |            | m <sup>3</sup>                  |
| Para un cilindro circular, su volumen (V) es igual al producto del área del círculo basal por su altura (h)   |                     |                        |            |                                 |
| en otras palabras V = A * L   |                     |                        |            |                                 |
| donde L es la altura que estamos buscando en el pluviometro, esta altura nos indicara la altura que marcaria en una supuesta lluvia de 10 Lt/m <sup>2</sup> |                     |                        |            |                                 |
| volumen   | 0,00001385          | m <sup>3</sup>         | L = V / A  | 0,010                           |
| area  | 0,00138544          | m <sup>2</sup>         |            |                                 |
| La altura que debe alcanzar el pluviometro con la lluvia propuesta es de 0,010 metros o lo que es lo mismo 10 milimetros                                    |                     |                        |            |                                 |

Disponibile cuadro de mando

## Anexo 4. Ubicación e instalación de pluviómetros

### 1. Universidad de Cundinamarca extensión Soacha



Pluviómetro casero, ubicación UdeC Soacha (torre)



Pluviómetro casero, Ubicación UdeC Soacha (cuarto)

### 2. Calle 16 con carrera 6 (Soacha Centro)



3. Calle 17 con carrera 8 (Soacha Centro)



4. Calle 24 con carrera 1 (Soacha San Mateo)



5. Calle 15 con carrera 2 (Soacha El Dorado)



6. Calle 14 con carrera 1<sup>a</sup> (Soacha San Humberto)



7. Calle 13 con carrera 2 (Soacha San Marcos)



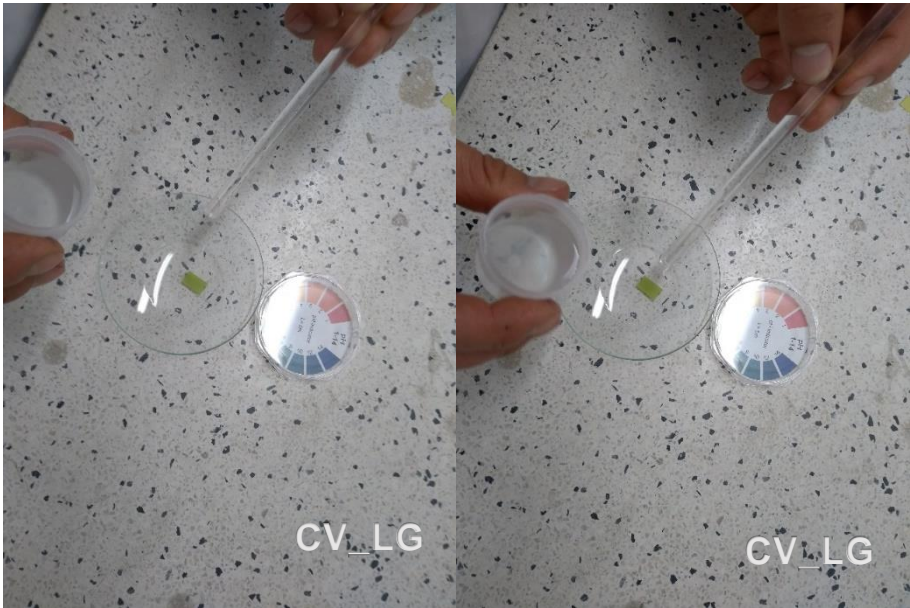
Anexo 5. Formato de registro y medición

Disponibles formatos diligenciados a mano y digitales

| Pluviómetro      |        | Ubicación |       |           |                  | Pluviómetro |       | Ubicación |           |  |  |
|------------------|--------|-----------|-------|-----------|------------------|-------------|-------|-----------|-----------|--|--|
|                  |        | Nº        |       |           |                  |             |       | Nº        |           |  |  |
| Mediciones en mm |        |           |       |           | Mediciones en mm |             |       |           |           |  |  |
| Abril            | Mañana | Tarde     | Noche | Total día | Mayo             | Mañana      | Tarde | Noche     | Total día |  |  |
| 1                |        |           |       |           | 1                |             |       |           |           |  |  |
| 2                |        |           |       |           | 2                |             |       |           |           |  |  |
| 3                |        |           |       |           | 3                |             |       |           |           |  |  |
| 4                |        |           |       |           | 4                |             |       |           |           |  |  |
| 5                |        |           |       |           | 5                |             |       |           |           |  |  |
| 6                |        |           |       |           | 6                |             |       |           |           |  |  |
| 7                |        |           |       |           | 7                |             |       |           |           |  |  |
| 8                |        |           |       |           | 8                |             |       |           |           |  |  |
| 9                |        |           |       |           | 9                |             |       |           |           |  |  |
| 10               |        |           |       |           | 10               |             |       |           |           |  |  |
| 11               |        |           |       |           | 11               |             |       |           |           |  |  |
| 12               |        |           |       |           | 12               |             |       |           |           |  |  |
| 13               |        |           |       |           | 13               |             |       |           |           |  |  |
| 14               |        |           |       |           | 14               |             |       |           |           |  |  |
| 15               |        |           |       |           | 15               |             |       |           |           |  |  |
| 16               |        |           |       |           | 16               |             |       |           |           |  |  |
| 17               |        |           |       |           | 17               |             |       |           |           |  |  |
| 18               |        |           |       |           | 18               |             |       |           |           |  |  |
| 19               |        |           |       |           | 19               |             |       |           |           |  |  |
| 20               |        |           |       |           | 20               |             |       |           |           |  |  |
| 21               |        |           |       |           | 21               |             |       |           |           |  |  |
| 22               |        |           |       |           | 22               |             |       |           |           |  |  |
| 23               |        |           |       |           | 23               |             |       |           |           |  |  |
| 24               |        |           |       |           | 24               |             |       |           |           |  |  |
| 25               |        |           |       |           | 25               |             |       |           |           |  |  |
| 26               |        |           |       |           | 26               |             |       |           |           |  |  |
| 27               |        |           |       |           | 27               |             |       |           |           |  |  |
| 28               |        |           |       |           | 28               |             |       |           |           |  |  |
| 29               |        |           |       |           | 29               |             |       |           |           |  |  |
| 30               |        |           |       |           | 30               |             |       |           |           |  |  |
|                  |        |           |       |           | 31               |             |       |           |           |  |  |

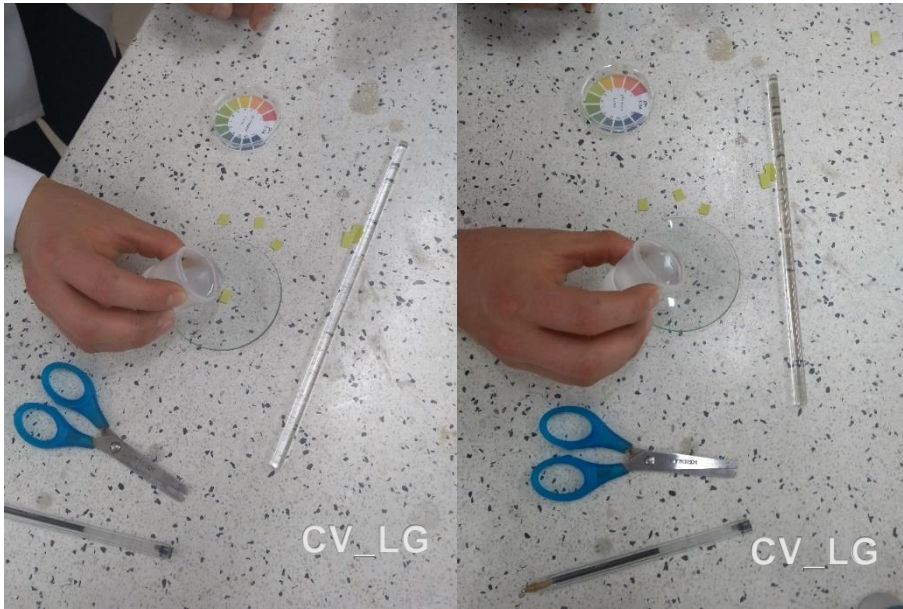


Anexo 6. Pruebas de pH











Anexo 7. Promedios climatológicos 1981-2010

Disponible cuadro de mando.

Anexo 8. Visita empresa Flores del Tequendama finca Infinity.



Reservorio de agua lluvia (22.000 m<sup>2</sup> y 1 mt de profundidad)





Vista panorámica los invernaderos y reservorio de agua lluvia (de izquierda a derecha)



Invernaderos y parqueadero de las rutas empresariales



Reservorio de agua lluvia





Invernaderos, y partes del invernadero (techos y cortinas)



Cortinas y canales de captación de agua lluvia por escorrentía





Canales de captación por escorrentía y fauna residente de los reservorios

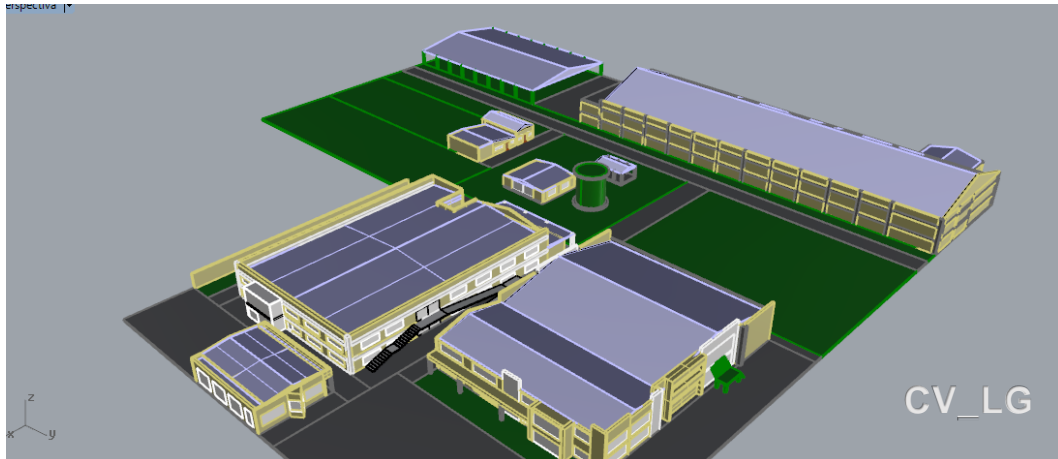




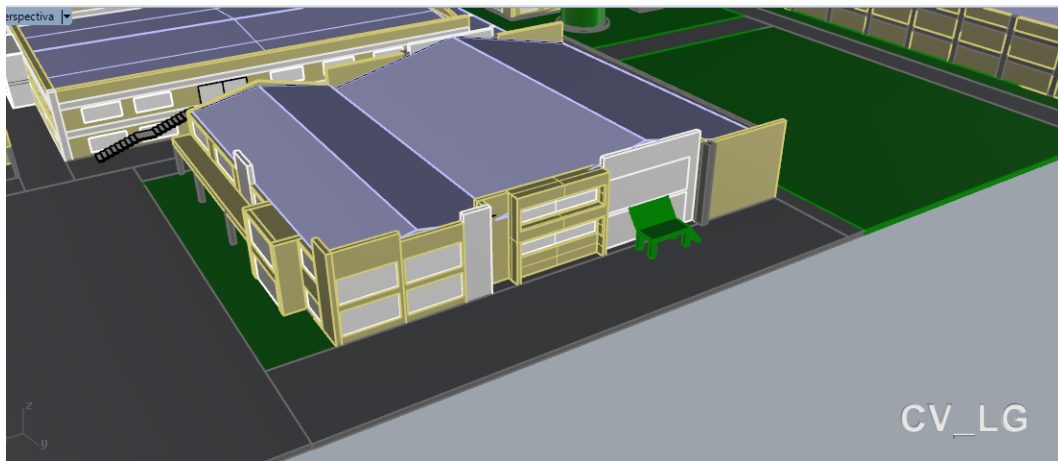
Canales de captación por escorrentía

## Anexo 9. Modelado extensión Soacha UdeC - Rhinoceros

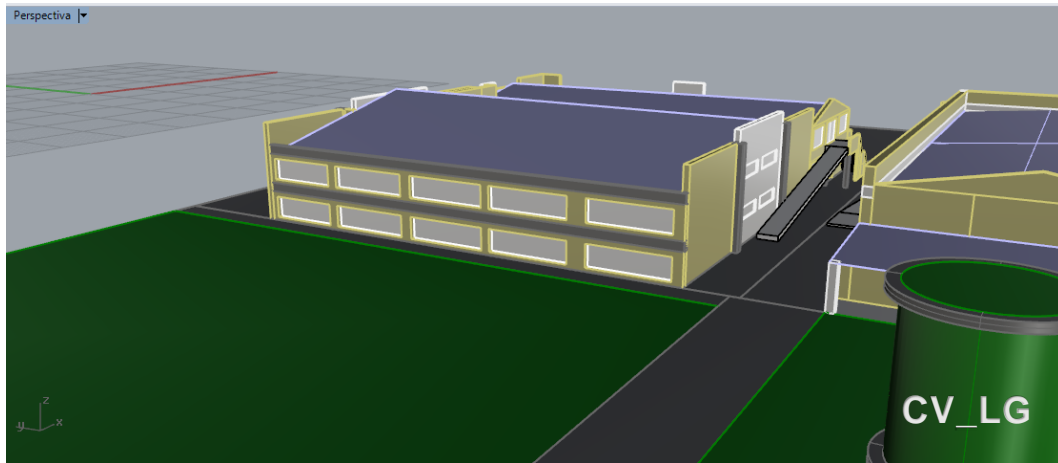
Fuente: Elaboración propia (Rhinoceros)



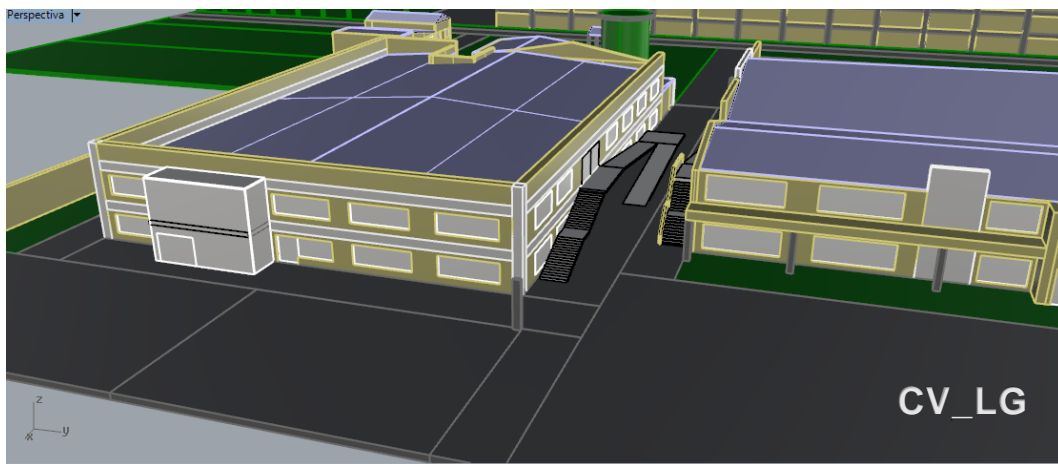
Perspectiva de la universidad



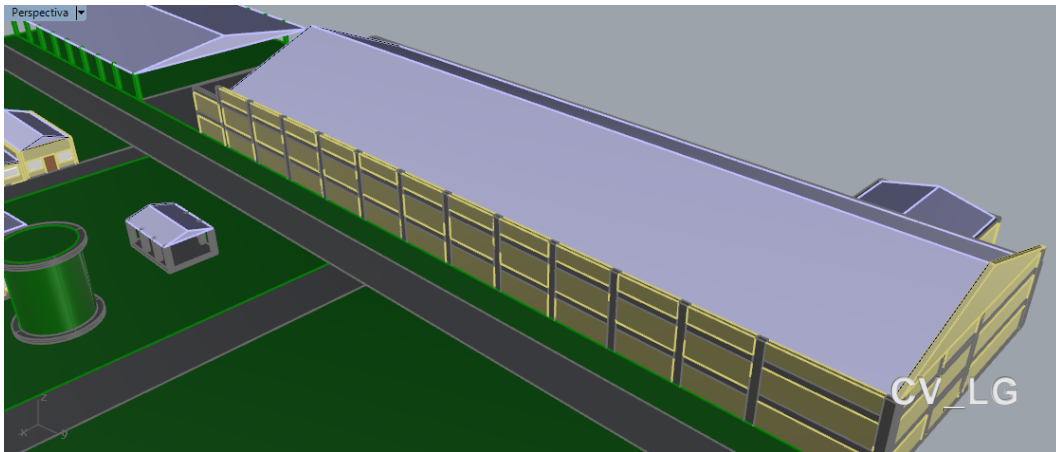
Bloque A y biblioteca



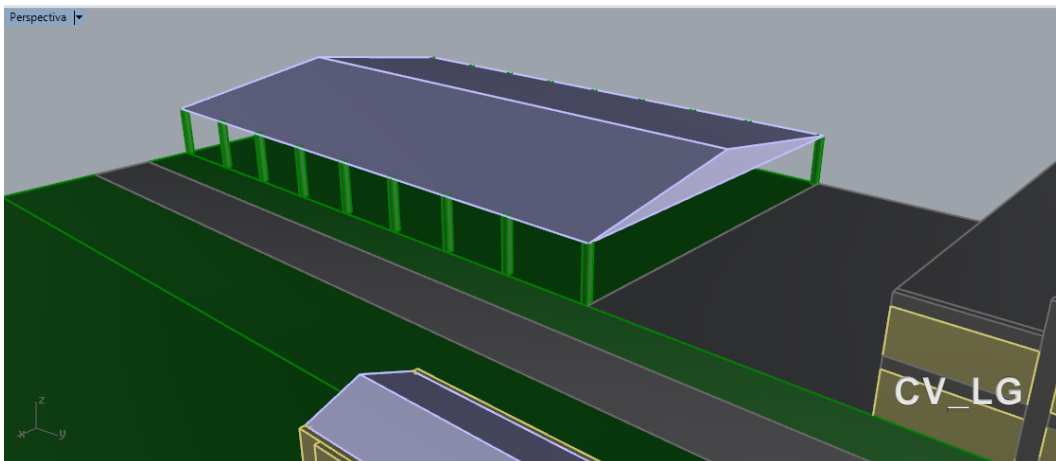
Bloque B



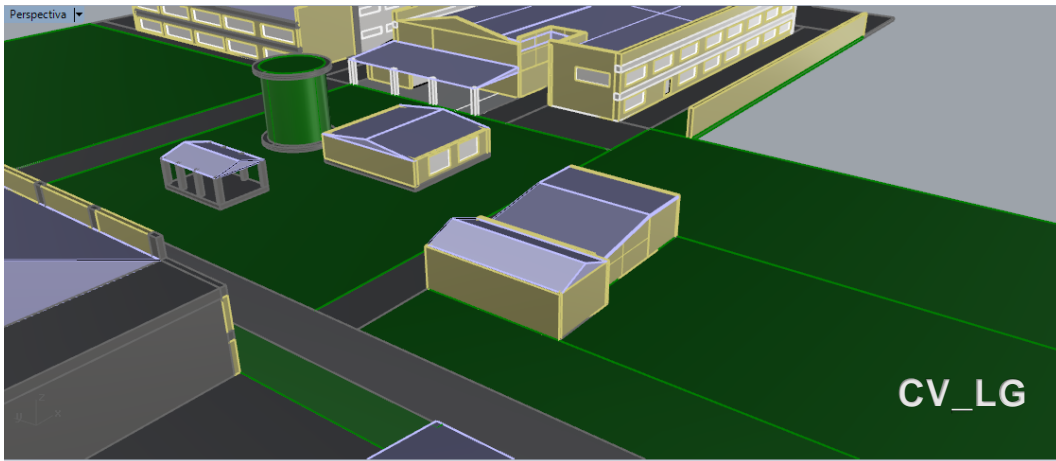
Bloque C



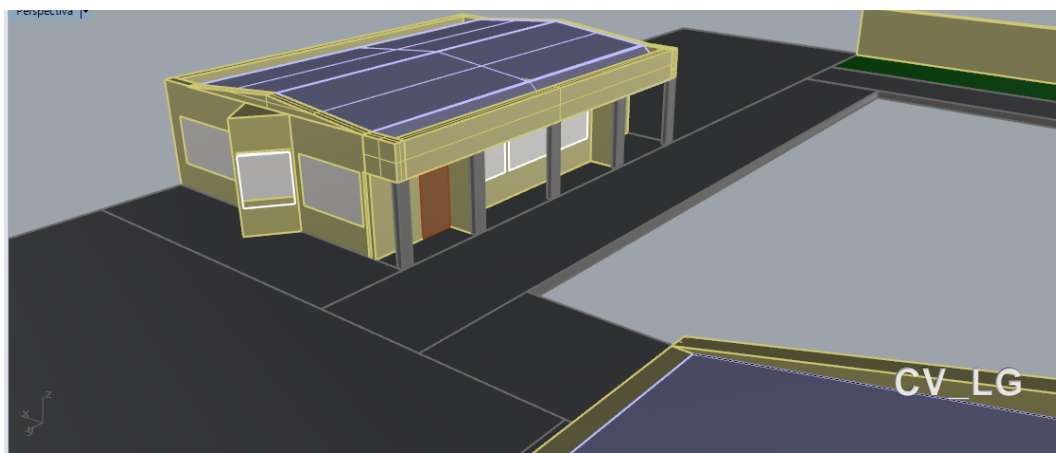
Bloque D y coliseos deportivos



Cancha sintética



Laboratorio Hass 200, Quiosco y cafetería



Bloque administrativo de la extensión

Anexo 10. Recibo del agua extensión Soacha

**acueducto**  
AGUA, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ  
de atención y emergencias 116 Acualínea  
www.acueducto.com.co

NT. 898.898.084-1

Datos del usuario  
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA UNIVERSIDAD DE CUNDINA  
DG 6 BIS 5 95

PARQUELE (CORRESPONDENCIA) SOACHA  
SANTO ESTE

ESTRATO: 3 CLASE DE USO: Oficial Soacha  
UND. HABIT./FAMILIAS: 0 UND. NO HABITACIONAL: 1

ZONA: 5 CICLO: LX RUTA: LX55853

Datos del medidor  
MARCA: BERGOTA NÚMERO: 100803 TIPO: VELOC. DIÁMETRO: 1"

QUIER CONSULTA: 10657265

Datos del consumo  
ULTIMA LECTURA: 53117 CONSUMO (m³): 803  
LECTURA ANTERIOR: 52314  
FACTURADO CON: Consumo Normal Descargue fuente alterna: 0

Últimos consumos m³

|                     |                     |                     |                   |             |
|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| 728                 | 404                 | 738                 | 803               | 803         |
| SEP-NOV<br>\$14.156 | NOV-DIC<br>\$14.156 | DIC-ENE<br>\$14.156 | ULTIMO<br>CONSUMO | Promedio m³ |

**PAGAR**  
Aseo (ver al respaldo)  
por el respaldo) **\$4.595.190**

oportuno: JUL/09/2018  
para evitar suspensión: JUL/12/2018

Período facturado: MAR/16/2018 - MAY/15/2018

FECHA DE EXPEDICIÓN: JUN/07/2018 FECHA ESPERADA DE LA PRÓXIMA FACTURA: AGO/13/2018

| Cantidad   | Costo             |                | (-) Subsidio<br>(+) Aporte | Tarifa<br>Valor<br>Unitario | Valor<br>a Pagar | Otros Cobros       | No. | Cuota       | Interes            | Total | Saldo       |
|--|-------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------|-----|-------------|--------------------|-------|-------------|
|  | Valor<br>Unitario | Valor<br>Total |                            |                             |                  |                    |     |             |                    |       |             |
| 1  | \$12.972,54       | \$12.972,54    | \$0                        | \$12.972,54                 | \$12.973         |                    |     |             |                    |       |             |
| 803 (m³)   | \$2.256,34        | \$1.811,84     | \$0                        | \$2.256,34                  | \$1.811,841      |                    |     |             |                    |       |             |
|  |                   | \$1.824,814    | \$0                        |                             | \$1.824,814      |                    |     |             |                    |       |             |
| <b>Subtotal Otros Cobros</b>                                     |                   |                |                            |                             |                  |                    |     |             |                    |       | \$1-        |
| <b>Otros conceptos que adeuda</b>                                |                   |                |                            |                             |                  |                    |     |             |                    |       | Valor Total |
| 1  | \$6.126,99        | \$6.127        | \$0                        | \$6.126,99                  | \$6.127          |                    |     |             |                    |       |             |
| 803 (m³)   | \$2.320,56        | \$1.863,410    | \$0                        | \$2.320,56                  | \$1.863,410      |                    |     |             |                    |       |             |
| <b>Total otros conceptos que adeuda</b>                          |                   |                |                            |                             |                  |                    |     |             |                    |       | \$1.869,537 |
| no vital (12 metros cúbicos sin costo en estrato 1 y 2)          |                   |                |                            |                             |                  |                    |     |             |                    |       |             |
| <b>TARILLADO Y OTROS COBROS</b>                                  |                   |                |                            |                             | \$3.694.350      | <b>CONSUMO MES</b> |     | \$1.847.176 | <b>CONSUMO DÍA</b> |       | \$60.       |
| Se otorgan subsidios a los estratos 1,2,3 para el consumo básico |                   |                |                            |                             |                  |                    |     |             |                    |       |             |

## 9.REFERENCIAS

- Alcaldía municipal de Soacha, (2015). Actualización del plan de gestión integral de residuos solidos PGIRS para el municipio de Soacha departamento de Cundinamarca. Soacha, Colombia.
- Alcaldía municipal de Soacha, (2018). Alcaldía del municipio de Soacha Cundinamarca, recuperado de <http://www.soacha-cundinamarca.gov.co/index.shtml?apc=v-xx1-&x=1439697>
- Aristizábal, E., Martínez, H., & Vélez, J., (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. Rev. Acad. Colombia. Cienc.: volumen xxxiv, número 131.
- Asociación Americana de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, (ARCSA). Obtenido de The American Rainwater Catchment Systems Association recuperado de <http://arcsa.site-ym.com/?page=2015tours>
- Atanasio, A.,(2018). Especial BBC Mundo: La paradoja del poopó, el lago de Bolivia que aparece y desaparece. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-42414429> .
- Banco de la Republica de Colombia. (2018). Indicadores de inflación básica y su variación anual. Recuperado de <http://www.banrep.gov.co/es/indicadores-inflacion-basica-y-su-variacion-anual>
- Banco Mundial. Promedio detallado de precipitaciones mm anuales recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.PRCP.MM>
- Bdesarrollo. Soacha, Colombia.
- Belaire, A., Jacobs, B., (2017). Tratamiento de aguas contaminadas con plomo (ii) mediante un técnico en continuo de Bioadsorción en columna de corcho. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona. España.

- Benavides, M., & LLumitaxi E. (2009). Diseño de un Plan Estratégico, basado en la Metodología del Balanced Scorecard e Implementación de un sistema para los principales indicadores del área de ventas de una Importadora y Distribuidora de calzado de la ciudad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Cabrera, E., (2006). La Tarifación, Herramienta Esencial en la Gestión Sostenible del Agua. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Cámara de comercio de Bogotá y alcaldía de Soacha, (2018). Censo Empresarial en el municipio de Soacha. Dirección de estudios e investigaciones de la CCB. Soacha, Colombia.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher, L., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., Han, M., (2017). Sistemas de Captación de Captación de aguas pluviales urbanas: investigación, implementación y perspectivas de futuro. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia.
- Chachon, G., Lizcano, I., Aspilla, Y. (2012). Consumo básico de agua potable en Colombia. Tacnogestión una mira al ambiente. Universidad Distrital.
- Corporación Autónoma Regional CAR, (2017). Recuperado de <http://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/33364>
- Definicion.De. (2018). Recuperado de <https://definicion.de/>
- Domínguez, C., (2018). Semana sostenible, idea que se vuelve acción. Obtenido de las contradicciones de la abundancia del agua en Colombia. Recuperado de <https://sostenibilidad.semana.com/opinion/articulo/las-contradicciones-de-la-abundancia-de-agua-en-colombia/38783>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, (2018). Estructura tarifaria para los suscriptores atendidos en el municipio de Soacha por la empresa EAAB. Tarifas acueducto y alcantarillado. Bogotá, Colombia.
- Gobernación de Cundinamarca (2014). Estadísticas de Cundinamarca 2011-2013. Bogotá: Panamericana.



Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas recuperado de  
<http://milluvia.dga.cl/instrucciones.php>

Gutiérrez N. (2014). DIAGNÓSTICO DE LA PRESENCIA DE LLUVIA ÁCIDA AL SUR DE LA SERRANÍA DEL MAJUY EN COTA CUNDINAMARCA Y SU EFECTO EN ESPECIES LIQUÉNICAS. Recuperado de  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2520/Gutierreznicol2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gutiérrez, J., Labaien, I., Martínez, M., Malagón, E., Sabalza, M., Villena, U., Zabala, I., (2009). La Cooperación al Desarrollo Descentralizada: Una propuesta metodológica su análisis y evaluación. Universidad del País Vasco.

Handia, L., Madalitso, J., & Mwiindwa, C. (2003). Potential of rainwater harvesting in urban Zambia. Elsevier, p.p 893-896.

Hassan, I., (2016). Rainwater Harvesting-an alternative water supply in the Future for Pakistan. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES). Vol. 8, No. 6, p. 213-222, 2016.

Hernández, F. (Sin fecha). Captación de agua lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. Oaxaca, México.

IBM. (2010). SPSS Statistics 19 core system user's guide. Recuperado  
[ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/20.0/es/client/Manuals/IBM\\_SPSS\\_Statistics\\_Core\\_System\\_Users\\_Guide.pdf](ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/20.0/es/client/Manuals/IBM_SPSS_Statistics_Core_System_Users_Guide.pdf)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas, (2014). suministro de agua; sistema de desagüe; instalación sanitaria; fontanería. NTC 1500.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2004). Recuperado  
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020650/CalidaddelAireCapitulo5.pdf>

Isla Urbana, (2018). Componentes. Recuperado de <http://islaurbana.mx/productos/>

- Izquierdo, M., (2010). Eliminación de los metales pesados en aguas mediante bioadsorción. evaluación de materiales y modelación del proceso. Universitat de València, Valencia. España.
- Jochen, H., (1986). Agroclimatología tropical. Universidad Estatal a Distancia.
- Lafuente. (2016). La peor sequía en casi dos décadas sacude a Colombia. Periodico el Pais. Recuperado de [https://elpais.com/internacional/2016/01/11/colombia/1452545517\\_823579.html](https://elpais.com/internacional/2016/01/11/colombia/1452545517_823579.html).
- Lopez, A., De la Barrera, J., Vallejo, R., & Barahona, C., (2008). Estudio comparativo entre un proceso fisicoquímico y uno biológico para tratar agua residual de rastro. Interciencia. Caracas. Venezuela.
- Luna, K., Ordoñez, I. & Romero, M. (2015). Diagnóstico de la calidad de agua pluvial y de la red de abastecimiento municipal. Diseño de un Sistema de Captación de Agua Lluvia y su aceptación en la comunidad de la facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMéx. Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Martínez, M., Lozano, A., & Lopez, C. (2017). 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. Bogotá, Colombia.
- Montenegro Bocanegra, J. (2007). Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climatico de los fenomenos EL niño y La niña en Colombia. Colombia.
- Monzur, A., Abdallah, S., Aatur, R. & Amimul, A. (2011). Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. Resources, Conservation and Recycling 55, Elsevier.
- Morales, T. (2014). Financial and environmental modelling of water hardness. Implications for utilising harvested rainwater in washing machines. 1257-1271. Elsevier.

- Moser, F., (2013). Aplicação de conceitos de geometria e estatística à construção e utilização do pluviômetro tipo pet. Universidade Federal do Espírito Santo. Brasil.
- National Oceanic and Atmospheric Administration, (NOAA). California Nevada river forecast center. United states Recuperado de [https://www.cnrfc.noaa.gov/monthly\\_precip\\_2017.php](https://www.cnrfc.noaa.gov/monthly_precip_2017.php)
- Ochoa, J (2016). La problemática del agua en el siglo XXI. Tekhne-Revista de ingeniería, 109-110.
- OMM. (1989). Calculation of monthly and annual 30 year standard normal prepared by a meeting of experts, Washington, DC, USA. marzo de 1989. Organization Mundial, WCDP N° 10 , OMM, Ginebra.
- Orellana, L (2001). ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA. Recuperado de [http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica\\_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf](http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas (2018). Agua. Recuperado de <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013). Afrontar la escasez de agua, Un marco de acción para la agricultura y seguridad alimentaria. Roma: FAO informe sobre temas hídricos.
- Organización Mundial de la Salud, (2015). Progress on sanitation and drinking water.
- 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.
- Presidencia de la Republica. (26, de junio de 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el [Título I de la Ley 9 de 1979 ], así como el [ Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto Ley 2811 de 1974] en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Recuperado de [http://www.oas.org/dsd/environmentlaw/waterlaw/documents/Colombia-Descreto\\_No.\\_1594\\_\(1984\).pdf](http://www.oas.org/dsd/environmentlaw/waterlaw/documents/Colombia-Descreto_No._1594_(1984).pdf)

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (febrero, 2016). Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia en América Latina, Experiencias y Conclusiones de un Debate. Seminario Internacional sobre Sistemas de Captación de Aguas Lluvia, Santiago de Chile, Chile.
- Rainforest Alliance Certified™. (2018). Rainforest Alliance. Obtenido de <https://www.rainforest-alliance.org/lang/es/about/marks/rainforest-alliance-certified-seal>
- Ramos, H., & Sánchez, R., (2017). Diseño de almacenamiento de aguas lluvias en la extensión Zipaquirá de la Universidad de Cundinamarca. Universidad de Cundinamarca. Cundinamarca. Colombia
- Real Academia Española (2018). Recuperado de <http://dle.rae.es/?w=diccionario>
- Reyes, M. & Rubio, J., (2014). Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. Universidad Católica de Colombia.
- Ricardo, M., Méndez, M., Bonet, C., Sierra, L., & Cutie, V., (2015). Evaluación de la eficiencia de la captación de agua de lluvia en casas de cultivos. Revista de Ingeniería Agrícola 5(4), 3-9.
- Rijsberman, W. J. (2000). World Water Council. Earthscan Publications Ltd, 20, 27. Servicios meteorológicos de Golden Gate. Golden Gate Weather Services. Obtenido de <http://ggweather.com/enso/oni.htm>
- Servicio meteorológicos de Golden Gate, (2018). Golden Gate Weather Services  
Recuperado
- Suarez, L. & Hernández, J., (2014). Recolección y reutilización de aguas lluvias en viviendas de interés social y bajos recursos en el barrio Yomasa en la ciudad de Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia.
- Torres, A., Méndez, S., López, L., Galarza, S., & Oviedo, N. (2013). Calidad de vida y ciudad: análisis del nivel de desarrollo en Bogotá a través del método de necesidades básicas insatisfechas. Estudios Gerenciales. Vol. 29. pg. 231- 238.

Torres, O., (2011). Identificación de los posibles usos del agua lluvia de esorrentía en el campus de la pontificia universidad JAVERIANA (BOGOTÁ). Pontificia Universidad Javeriana.

Unidad de apoyo tecnico en saneamiento basico rural (UNATSABAR). (2001). Guia de diseño para captacion del agua de lluvia. Lima, Peru.

Zafra, C; Peña; N; & Álvarez, S (2013). Contaminación por metales pesados en los sedimentos acumulados sobre el corredor vial Bogotá - Soacha. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/6914/8534>

Zhang, F., Polyakov, M., Fogarty, J., & Pannell, D. (2015). The capitalized value of rainwater tanks in the property market of Perth, Australia. Elsevier, 317-325.