



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**PROYECTO DE GRADO**

**INGENIERIA CIVIL  
INGENIERIA AMBIENTAL**

**ESTIMACIÓN DE LA OFERTA DE AGUA LLUVIA Y DEMANDA DE AGUA  
CRUDA EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE CENTRAL**

**Andrés Felipe Cuéllar Salazar**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
DIVISIÓN DE INGENIERIAS  
BOGOTÁ D.C.  
2021**

VERSIÓN: 1

CODIGO: PG-USTA-001

**ESTIMACIÓN DE LA OFERTA DE AGUA LLUVIA Y DEMANDA DE AGUA  
CRUDA EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE CENTRAL****Andrés Felipe Cuéllar Salazar****Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil e ingeniero  
ambiental****Director:****Ing. Antonio Preziosi Ribero****Codirector:****Ing. Juan José Vargas Osorio****UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
DIVISIÓN DE INGENIERIAS  
BOGOTÁ D.C**

**DEDICATORIA**

A mis seres queridos que me han apoyado desde el principio, gracias.

A la universidad por dejarse acoger como un segundo hogar, mi empresa, y mis directores de grado quienes permitieron llevar a cabo este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Muchas gracias a mi familia por el apoyo que he tenido por parte de ellos, mi mamá que ha dado todo lo posible para que yo pueda salir adelante y que me convierta en el gran profesional que aspiro ser.

También quiero dar gracias a mis compañeros de trabajo, con los cuales me he proyectado a lograr cosas en el ámbito profesional, además de querer salir adelante como profesionales.

A mis directores de grado, los ingenieros Antonio Preziosi y Juan Vargas, los cuales hicieron posible la realización de este trabajo. Además de todos los profesores de la universidad Santo Tomás, que a través de sus enseñanzas pude salir adelante con este proyecto de grado.

## **CONTENIDO**

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
CONTENIDO .....	5
LISTA DE TABLAS .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	9
1. Resumen.....	11
2. Abstract.....	12
3. Introducción.....	13
4. Objetivos .....	17
4.1 Objetivo general .....	17
4.2 Objetivos específicos .....	17
5. Marco Teórico .....	18
5.1 Agua lluvia.....	18
5.2 SUDS (Sistema Urbano de Drenaje Sostenible) .....	21
5.3 Evaluación económica.....	24
5.4 Sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.....	28
6. Metodología .....	32
7. Desarrollo.....	36
7.1 Oferta de agua lluvia .....	36
7.1.1 Estaciones del IDEAM .....	36
7.1.2 Calidad de agua lluvia.....	46
7.2 Demanda de agua cruda .....	53
7.2.1 Modelo matemático – Instituciones educativas .....	53

7.2.2 Análisis de los registros de la universidad .....	61
7.3 Dimensionamiento del sistema de aprovechamiento de agua lluvia .....	63
7.4 Evaluación económica.....	70
8. Impacto social .....	77
9. Conclusiones.....	79
10. Recomendaciones.....	81
11. Bibliografía .....	82
12. Anexos .....	88

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Área de cada edificio utilizado.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2 Parámetros de los cuales depende la concentración de contaminantes en el periodo de primer lavado .....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3 Estrategias utilizadas para cumplir los objetivos de los SUDS .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 4 Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico VPN.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 5 Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico TIR .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6 Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico beneficio .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7 Tabla de metodología del proyecto .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 8 Actividades de los objetivos específicos .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 9 Estaciones utilizadas del IDEAM.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 10 Información de los diagramas de cajas y bigotes – estaciones meteorológicas IDEAM .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 11 Valores mensuales de precipitación en las dos estaciones analizadas ..</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 12 Precipitaciones máximas, mínimas y medias en la zona de estudio por mes.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 13 Área de recolección en cubiertas .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 14 Oferta de agua lluvia por mes por edificio sin pérdidas .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 15 Oferta de agua lluvia por mes por edificio con pérdidas .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 16 Información muestra de agua recolectada .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 17 Información muestra de agua recolectada .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 18 Parámetros analizados en el laboratorio .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 19 Resultados del laboratorio para las dos muestras recogidas .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 20 Resultados obtenidos para el cálculo de SST en el agua.....</i>	<i>52</i>

<i>Tabla 21 Elementos y compuestos químicos que tienen impacto en la salud humana .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 22 Áreas de estudio del proyecto del modelamiento matemático.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 23 Evolución histórica de estudiantes por división .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 24 Evolución histórica de docentes por división .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 25 Administrativos por categoría año 2019 .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 26 Consolidado de usos del suelo universidad .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 27 Parámetros de la ecuación de la universidad Santo Tomás.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 28 Demanda de agua en centros educativos según la ecuación matemática .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 29 Consumo de agua en limpieza y zonas verdes por edificio, consumo total de agua no potable .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 30 Consumo de agua en la sede central año 2019.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 31 Consumo de agua en la universidad Santo Tomás sede central según su uso .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 32 Volumen de almacenamiento del mes de toda la zona de estudio .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 33 Volumen de almacenamiento del mes de toda la zona de estudio .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 34 Dimensionamiento de los interceptores .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 35 Metros lineales de tubería por edificio.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 36 Costo de los elementos del sistema por edificio.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 37 Potencial ahorro monetario por mes .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 38 Valor actual neto .....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 39 Relación beneficio/costo y tiempo de recuperación de la inversión.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 40 Indicadores económicos por edificio .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 41 Impactos ambientales esperados con la implementación del sistema....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 42 Ventajas y desventajas de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias .....</i>	<i>78</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Edificios que serán tenidos en cuenta en el estudio.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2 Explicación del fenómeno del primer lavado en términos de concentración de contaminantes .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3 Cuatro tipos de beneficios de usar SuDs .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4 Componentes de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5 Interceptor de las primeras aguas lluvias .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 6 Datos faltantes de las estaciones del IDEAM.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 7 Diagramas de cajas y bigotes, Software estadístico .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 8 Interpretación de los resultados de los diagramas de caja y bigotes.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9 Precipitación media mensual multianual IDEAM Kra 10.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 10 Precipitación media mensual multianual Jardín Botánico.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 11 Precipitación media mensual multianual Universidad pedagógica .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 12 Espacialización de la precipitación del mes de enero .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 13 Ubicación de la muestra de agua recolectada .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 14 Ubicación de la muestra de agua recolectada .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 15 Ecuaciones planteadas por el modelamiento matemático.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 16 Ejemplo de los tipos de áreas de los planos arquitectónicos de la universidad. ....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 17. Ejemplo de los tipos de áreas de los planos arquitectónicos de la universidad. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 18 Consumo de agua en la sede central.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 19 Gráfica de comparación de oferta y demanda acumulada .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 20 Volumen de almacenamiento del mes .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 21 Gráfica de comparación de oferta y demanda acumulada .....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 22 Dimensiones de los tanques de almacenamiento .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 23 Comparación valor actual neto .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 24 Comparación tasa interna de rendimiento.....</i>	<i>74</i>

*Figura 25 Periodo de recuperación de la inversión .....75*

## 1. Resumen

El mal uso que se le está dando al recurso hídrico es alarmante, con temas como sobreexplotación, contaminación de fuentes hídricas y mal uso del recurso. Por lo tanto, es necesario comenzar a implementar soluciones alternativas para abastecer nuestras comunidades de agua. Una de ellas es el aprovechamiento de aguas lluvias, que es una práctica que se ha realizado desde hace varios años, pero que no se le ha dado la importancia que necesita.

También, hay que tener en cuenta la problemática del cambio climático, ya que está generando inconvenientes con las fuentes de abastecimiento convencionales que se llevan manejando actualmente. Por eso, en este proyecto de grado se busca conocer la factibilidad económica de la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en el edificio principal de la sede central de la universidad Santo Tomás.

Dicho sistema de aprovechamiento de aguas lluvias busca reducir la huella hídrica de la universidad, reduciendo el consumo de agua potable de diferentes actividades que son realizadas en la sede central, pudiendo mitigar el futuro problema que se tendrá con el abastecimiento de agua potable. Por otro lado, también se obtiene un impacto positivo económico con el ahorro monetario del recibo público del agua.

La oferta de agua lluvia se estimó con los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas del IDEAM, dicha información se complementó con la utilización del software ArcGIS. Para la demanda de agua cruda se utilizó información de un proyecto de grado hecho en la universidad, en donde fueron calculados los valores de demanda en la sede central.

Con la información recolectada en los primeros capítulos fue posible estimar el precio de la instalación del sistema, concluyendo que no es factible económicamente la implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en todos los edificios de la sede central. Ya que depende totalmente del área de captación en las cubiertas, y hay edificios que no disponen del área necesaria para realizar una amplia recolección de agua, a su vez, cuenta el costo inicial del proyecto es demasiado alto.

Palabras claves: ***Sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, oferta de agua lluvia, demanda de agua cruda, calidad de agua lluvia.***

## 2. Abstract

The misuse that is being given to the water resource is alarming, with issues such as overexploitation, contamination of water sources and misuse of the resource. Therefore, it is necessary to start implementing alternative solutions to supply our communities with water. One of them is the use of rainwater, which is a practice that has been carried out for several years, but has not been given the importance it needs.

Also, the problem of climate change must be taken into account, since it is generating problems with the conventional supply sources that are currently being handled. For this reason, this degree project seeks to know the economic feasibility of the implementation of a rainwater harvesting system in the main building of the Santo Tomás University headquarters.

Said rainwater harvesting system seeks to reduce the water footprint of the university, reducing the consumption of drinking water from different activities that are carried out at the headquarters, thus mitigating the future problem that the drinking water supply will have. On the other hand, a positive economic impact is also obtained with the monetary savings of the public water bill.

The rainwater supply was estimated with the precipitation data from the IDEAM meteorological stations, this information was complemented with the use of the ArcGIS software. For the demand for raw water, information from a degree project done at the university was used, where the demand values were calculated at the headquarters.

With the information collected in the first chapters, it was possible to estimate the price of the installation of the system, concluding that the implementation of the rainwater harvesting system in all the buildings of the headquarters is not economically feasible. Since it totally depends on the catchment area on the roofs, and there are buildings that do not have the necessary area to carry out a wide collection of water, in turn, the initial cost of the project is too high.

Keywords: ***Rainwater harvesting system, rainwater supply, raw water demand, rainwater quality.***

### **3. Introducción**

Una problemática que afecta a una gran cantidad de personas en el mundo es la ausencia de agua potable, en algunas regiones del mundo se presentan casos de escasez alarmantes. A su vez, se puede observar un crecimiento exponencial en la población del mundo (Awad, Al Bajari, & Al Adday, 2019), esto provocará que en unos años se vayan a presentar problemáticas alrededor de la demanda de agua potable, puesto que se espera que la demanda mundial de agua supere sus límites drásticamente aproximadamente en el año 2030 (Castleton, Hathway, Murphy, & Marcus Beck, 2014).

El porcentaje de agua dulce en el mundo es inferior al 3% y únicamente un pequeño porcentaje de esta cantidad es accesible y disponible (Palacio Castañeda, 2010). El mal uso que se le está dando al recurso con acciones como la sobreexplotación, reducción de fuentes hídricas y mal aprovechamiento van a provocar su futura escasez, lo que generaría un incremento en su importancia y valorización.

De la misma manera se deben tener en cuenta las problemáticas que se tienen con el cambio climático, puesto que dichas afectaciones generan circunstancias como sequías, inundaciones, posibles enfermedades en poblaciones, afectaciones en el equilibrio químico y los ecosistemas (National geographic España, 2019). Gracias a eso se ven afectadas las fuentes de abastecimiento que actualmente se encargan de suplir las necesidades básicas de diferentes comunidades.

En una universidad, el consumo de agua potable se considera como un impacto ambiental de mediana magnitud, debido a la densidad de población que hay en dichas instituciones, además de la utilización del agua en diferentes actividades de limpieza. La problemática que se genera en la universidad según los puntos tratados anteriormente, es la proporción de agua potable que es utilizada en la institución, y que se puede ahorrar.

Una alternativa para tratar la problemática propuesta es el aprovechamiento de agua lluvia. Se deben tener condiciones como una alta demanda de agua no potable (o cruda) y a su vez un área significativa de captación. La propuesta de recolección de agua lluvia es una idea inicial de aprovechamiento (Jacoby Cureau & Ghisi, 2019), puesto que un sistema completo de reutilización de aguas también incluye el tratamiento de aguas residuales.

Por lo tanto, se propone implementar en la Universidad Santo Tomás un sistema de utilización de aguas lluvias para fines no potables, el cual consta con dos

subsistemas principalmente, los cuales son: Sistema de recolección y Sistema de distribución.

Dicho sistema principal contará con unos parámetros de productividad, los cuales podrán ser calculados teniendo en cuenta características de eficiencia de recolección, el área de recolección, almacenamiento y el volumen a utilizar (Castleton, Hathway, Murphy, & Marcus Beck, 2014).

Según estudios realizados por dos universidades (Universidad Jorge Tadeo Lozano y Universidad Central) en la ciudad de Bogotá D.C. se dice que en algunos años se puede presentar una problemática con el suministro de agua en la ciudad, ya que su fuente de abastecimiento superficial puede verse afectada por problemáticas provenientes del cambio climático. El cual, viene afectando a diferentes zonas por todo el mundo, es por eso la importancia que se tiene por recurrir a diferentes fuentes de abastecimiento como lo son las aguas lluvias, con el fin de tener un plan alternativo por si dichas predicciones llegasen a cumplirse (Ortiz Forero & Velandia Bernal, 2017).

El agua lluvia se convierte en una solución a los problemas de suministro de agua, puesto que trae consigo impactos positivos como la reducción de la demanda de recursos públicos, además de reducir el volumen de agua que puede generar inundaciones urbanas (Alves, Vazquez, Pecanha, & Naked, 2020). Existe la necesidad de que se haga una transición a una civilización mucho más desarrollada en términos de aprovechamiento de agua, ya que ayuda a contribuir con el consumo de agua, preservando el recurso hídrico mucho más tiempo.

Algunos beneficios que se obtienen al implementar un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias son, entre otros, un ahorro monetario y una contribución al cuidado del recurso hídrico. Puesto que con el ahorro de agua se obtiene una disminución del costo del recibo público del agua además de la reducción del impacto ambiental negativo de la utilización de agua en la universidad. Es necesario tener en cuenta las especificaciones técnicas que son descritas en la normativa técnica colombiana (NTC 1500 de 2018), ya que la norma recomienda un suministro de 50 litros por estudiante al día (Ortiz Forero & Velandia Bernal, 2017).

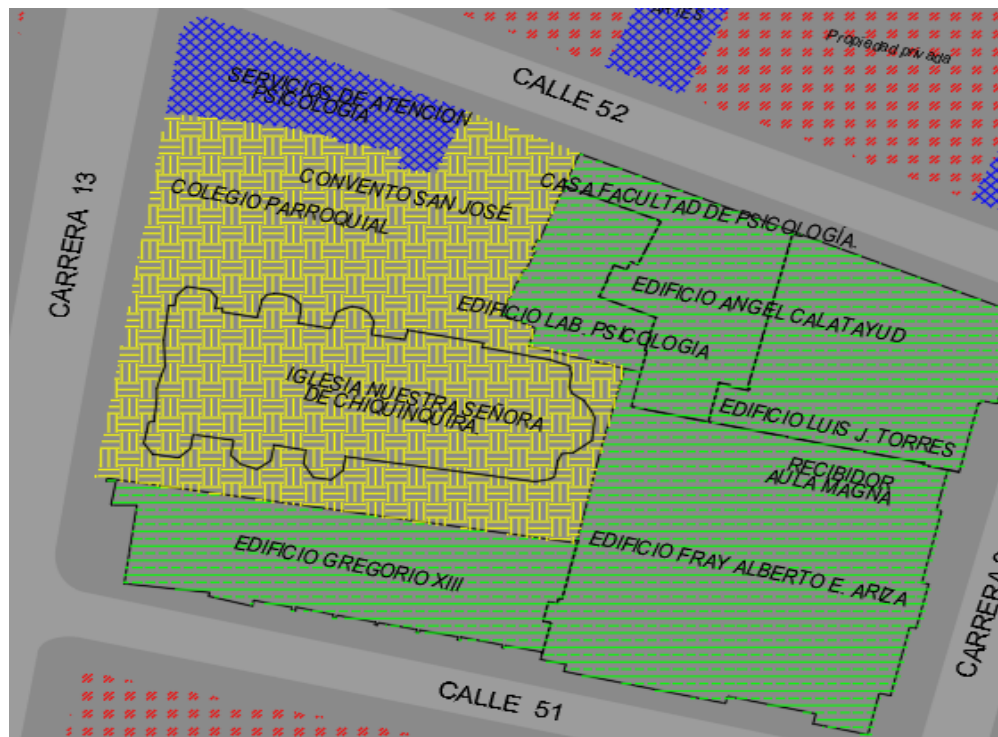
El problema que se planteó en este proyecto de grado es poder encontrar una alternativa para poder mitigar el futuro problema de abastecimiento de agua potable. Es necesario poder saber si el proyecto planteado es factible económicamente y ambientalmente, el cual tiene como uso principal el aprovechamiento de agua lluvia para usos no potables. Como lo es el riego de zonas verdes y plantas, o para la descarga de sanitarios o para utilizar para la limpieza en general.

Cabe resaltar que en este proyecto de grado no se tendrán en cuenta todos los edificios que componen la sede central de la universidad Santo Tomás, únicamente se tendrán en cuenta los siguientes edificios:

- ♣ Edificio Luis J. Torres
- ♣ Edificio Ángel Calatayud – Laboratorios
- ♣ Edificio F – Laboratorios
- ♣ Edificio Gregorio XIII
- ♣ Luis Alberto Ariza

Los otros edificios de la sede central no se tendrán en cuenta en el proyecto, ya sea porque se encuentran alejados del edificio principal, porque son usados únicamente para temas administrativos o porque no se consideran lo suficientemente significativos como para tenerlos en cuenta en el estudio. En la Figura 1 se muestra en color verde los edificios que serán tenidos en cuenta.

Figura 1 Edificios que serán tenidos en cuenta en el estudio



Fuente: Elaboración propia

*En el anexo 1 se puede observar el plano donde se muestran todos los edificios que componen la sede central de la universidad Santo Tomás, y en donde se puede ver cuáles edificios son tenidos en cuenta en el proyecto, y cuáles no.*

El área correspondiente de cada edificio se encuentra organizada en la Tabla 1.

*Tabla 1 Área de cada edificio utilizado*

Nombre del edificio	Área (m <sup>2</sup> )
Edificio Fray Alberto Ariza	95,4869
Edificio Gregorio XIII	46,8347
Edificio Laboratorios F	17,5969
Edificio Luis J. Torres	45,6227
Edificio Ángel Calatayud	30,2619

*Fuente: Elaboración propia*

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo general

Tasar el beneficio económico de la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en los usos de agua no potable de la sede central de la universidad Santo Tomás, mediante la estimación de la oferta de agua lluvia y demanda de agua cruda, reduciendo la huella hídrica actual de la universidad.

### 4.2 Objetivos específicos

- ♣ Estimar la oferta de agua lluvia en la universidad Santo Tomás, sede central.
- ♣ Cuantificar una demanda de agua cruda dentro de la universidad Santo Tomás, sede central.
- ♣ Pre-dimensionar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para la universidad Santo Tomás.
- ♣ Evaluar el beneficio económico al implementar el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en las cubiertas, por medio de indicadores económicos, además de estimar el costo que tiene la implementación del sistema.

## 5. Marco Teórico

### 5.1 Agua Lluvia

El aprovechamiento de aguas lluvias es una práctica que se realiza hace mucho tiempo, se ha encontrado infraestructura utilizada para dichos fines la cual es originaria aproximadamente de la época de los 1000 a.c. Está ubicada en las zonas altas de Yemen, la cual contaba principalmente con patios y terrazas. La implementación de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias se llegó a formar años más tarde con la necesidad de utilizar el recurso para riego de cultivos y consumo doméstico (Byrne, Anda, & Ho, 2019).

Una civilización que revolucionó esta idea fue la república romana, puesto que sus obras de ingeniería generaron un gran impacto en la sociedad, por su avanzado funcionamiento que estaba adelantado para la época. En la actualidad se han dejado de utilizar gracias a otros tipos de abastecimiento, como lo son el agua superficial y la subterránea en las cuales se implementan estructuras como lo son acueductos, presas, sistemas de irrigación y pozos de extracción (Ballén Suarez, Galarza Garcia, & Ortiz Mosquera, 2006).

El uso del agua lluvia está sujeto a las necesidades de una población, puesto que hay una creciente en el uso de los recursos hídricos, además es una fuente que proporciona un suministro sostenible (Miorando, Barbosa Brlao, & Girardelll, 2017). Otro factor importante es la oferta que el lugar pueda ofrecer, ya que las condiciones climatológicas de algunos sitios no permiten una red de agua potable estable.

En zonas donde no se tiene conexión con sistemas de suministro de agua potable como lo son zonas rurales, realizan su suministro de agua con fuentes superficiales de forma directa, recogida de zonas como ríos, quebradas o nacimientos. Como el agua no pasa por ningún tipo de tratamiento únicamente se puede disponer para necesidades básicas, ya que puede contener algún tipo de contaminante. La recolección de aguas lluvias trae consigo una cantidad de riesgos significativa, la gran mayoría de ellos relacionados con la salud pública de las poblaciones, gracias a su posible contaminación microbiana (Ahmed, Hamilton, Toze, Cook, & Page, 2019) (Lundy, Revitt, & Ellis, 2018).

Algunos de esos contaminantes que se pueden encontrar en las aguas lluvias pueden ser metales pesados, bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, éteres halogenados, aromáticos monocíclicos, fenoles, ésteres de ftalato, nitrosaminas, pesticidas y algunos otros contaminantes comunes en la industria o zonas urbanas (Ahmed, Hamilton, Toze, Cook, & Page, 2019).

Es importante diseñar las zonas urbanas con una mayor eficacia en la gestión de drenaje de la escorrentía de las aguas superficiales, ya que en dichos lugares hay muchas más zonas impermeables, lo que imposibilita la posible infiltración, provocando contaminación, inundaciones y posibles problemas de erosión (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016).

Crear que el ciclo hidrológico del agua en un ámbito urbano es igual que el natural es totalmente erróneo, ya que su comportamiento y circunstancias son diferentes debido a la intervención de la mano humana, debido a que surgen cambios, interacciones y relaciones por su uso en diferentes tipos de actividades que realizan las comunidades en su diario vivir (Gerena Barreto & Mora Gómez, 2017).

Las construcciones de obras civiles han traído consigo graves problemas de capacidad de infiltración del agua lluvia, debido a la capacidad de impermeabilización de materiales como pavimentos y concretos. Por lo tanto, debido a dichos problemas es que se tienen que diseñar sistemas de alcantarillado en donde se puedan poner elementos por donde pueda fluir la escorrentía.

Hay que tener en cuenta el agua lluvia que es considerada parte del “primer lavado”, las cuales son las primeras precipitaciones que tienen contacto con su suelo receptor, en donde se puede estar arrastrando metales pesados, partículas de polvo, material biológico, entre otros (Gerena Barreto & Mora Gómez, 2017). Esta fase del agua lluvia cambia las condiciones de la calidad del agua lluvia, ya que el agua arrastra todas esas partículas a su paso en sus minutos iniciales de precipitación, las concentraciones de contaminantes dependen de (Tabla 2):

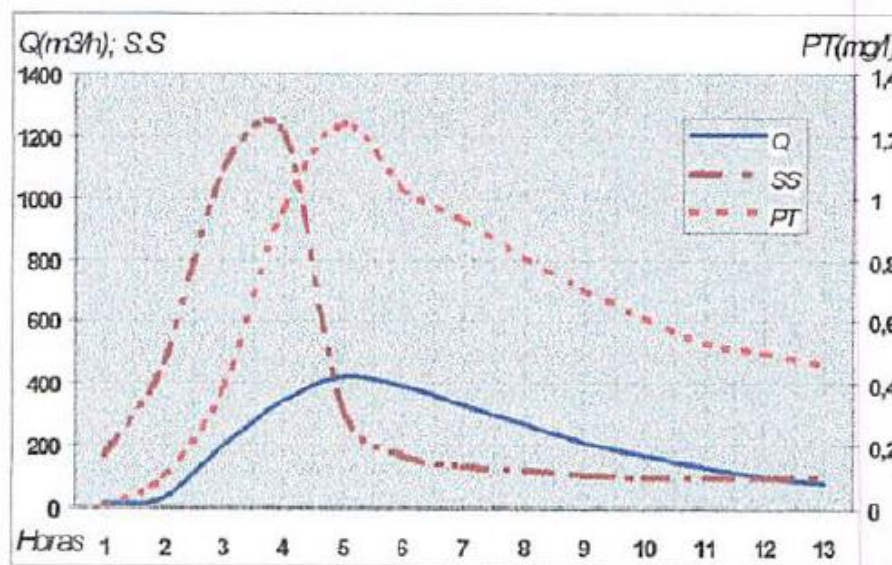
*Tabla 2 Parámetros de los cuales depende la concentración de contaminantes en el periodo de primer lavado*

Parámetros de los cuales depende la concentración de contaminantes en el periodo de primer lavado
Área de precipitación
Intensidad de la lluvia
Porcentaje de impermeabilidad
Duración del periodo seco

*Fuente: (Gerena Barreto & Mora Gómez, 2017)*

Debido a las constantes obras de impermeabilización en la ciudad se ha generado un incremento en el caudal de escorrentía, lo que a la larga genera a su vez un aumento de descargas de agua lluvia. En las primeras horas de lluvia es donde se presenta el pico de contaminantes (Figura 2). Se aprecia la comparación del tiempo en horas contra el caudal y la concentración de contaminantes. El pico de contaminantes se presenta en el intervalo de las 2 a 5 primeras horas de lluvia.

Figura 2 Explicación del fenómeno del primer lavado en términos de concentración de contaminantes



Fuente: (Suarez, Puertas, Cagiao, & Vazquez, 2000)

Para la cuantificación de agua lluvia, hay que obtener los valores de precipitación diaria de estaciones meteorológicas más próximas a la zona de estudio. Posterior a tener dicha información, se procede a organizarla correspondientemente para poder calcular los valores mensuales de precipitación de cada estación evaluada, de todos los años evaluados respectivamente.

Teniendo ese valor calculado se procede a calcular la oferta de agua lluvia por cada mes en cuestión, el cual es calculado con la siguiente ecuación (Palacio Castañeda, 2010):

Ecuación 1

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}$$

En donde  $A_i$  es la oferta de agua en cualquier mes analizado expresada en  $m^2$ ,  $P_{pi}$  es la precipitación promedio mensual expresada en  $L/m^2$ , el  $C_e$  es el coeficiente de escorrentía, el cual es adimensional y por último  $A_c$  que es el área de captación expresada en  $m^2$ .

Es importante tener en cuenta las pérdidas que se tienen en el proceso de recolección. Ya que no hay manera posible de calcular exactamente ese valor de pérdidas, gran parte de los diseñadores hidráulicos asumen un valor aproximado al 20% de pérdidas en sus diseños, debido a condiciones como lo son el tipo de material de la cubierta, área de recolección, la evaporación natural del agua, pérdidas de agua generadas por el transporte de la misma, entre otros (Palacio Castañeda, 2010).

Por lo tanto, el cálculo de las pérdidas de agua lluvia, teniendo en cuenta cada mes del año se puede calcular de la siguiente forma (Palacio Castañeda, 2010):

Ecuación 2

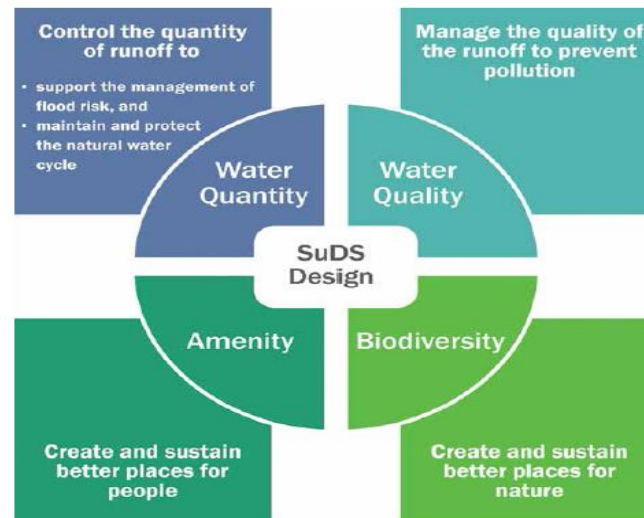
$$A'i = A_i - \left( A_i * \frac{0,2}{12} \right)$$

En donde  $A'i$  es la oferta de agua lluvia teniendo en cuenta las pérdidas potenciales, y donde  $A_i$  es la oferta de agua lluvia por mes.

## 5.2 SUDS (Sistema Urbano de Drenaje Sostenible)

Los sistemas de drenaje sostenible (SUDS) están diseñados con el fin de poder ampliar las oportunidades y beneficios de la gestión de las aguas superficiales, su principal objetivo es administrar el agua lluvia que cae en los alrededores del sistema. Los SUDS pueden tener diferentes formas y diseños, pero fundamentalmente se pueden lograr cuatro categorías de beneficios (Figura 3): 1) cantidad de agua, 2) calidad del agua, 3) Amenidad y 4) Biodiversidad (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016).

Figura 3 Cuatro tipos de beneficios de usar SuDs



Fuente: (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016)

La filosofía de los SUDS consiste principalmente en lograr minimizar los impactos ambientales negativos generados alrededor de la escorrentía de algún lugar. El agua pasa a tomar un lugar mucho más importante, ya que logra ser más visible y tangible en la construcción de dichos sistemas, a su vez trae mejoras en ámbitos de la salud, bienestar y calidad de vida (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016).

Otra alternativa utilizada para el suministro de agua es la contratación de un servicio de transporte de agua por medio de carrotanques o algún otro tipo de método, pero dicha alternativa no se considera un buen servicio de calidad y cantidad, aparte de ser elevadamente costosa (Reyes & Rubio, 2014). La implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias tiene como beneficio clave aparte de la satisfacción de agua de la comunidad, la búsqueda de la resiliencia climática entre el medio ambiente y el edificio donde se vaya a implementar el proyecto (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016).

En Colombia se estima que aproximadamente el 50% de la población que está ubicada en zonas rurales del país posee problemas de suministro de agua, aparte de eso también se estima que alrededor del 80% de las cabezas municipales suministran su agua a partir de fuentes superficiales como lo son embalses, ríos, lagos y quebradas (Ballén Suarez, Galarza Garcia, & Ortiz Mosquera, 2006) (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016).

Gracias a que Colombia es un país que cuenta con una gran riqueza hídrica, no se ha desarrollado alguna tecnología alternativa para el suministro de dicho recurso. No obstante, es posible comenzar a utilizar el agua lluvia para abastecer a las poblaciones con agua. El agua lluvia cumple a la perfección la función de ser utilizada para usos no potables como lo es por ejemplo el riego de jardines y plantas, el lavado de vehículos, su uso en baños, el lavado de pisos o ropa (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016).

El costo inicial del proyecto recae principalmente con la provisión de un tanque de almacenamiento, una bomba, la energía necesaria para funcionar, los controles y a su vez la tubería requerida para poder implementar la operación, aparte de los materiales y equipos necesarios. Aparte, es necesario definir el tipo de sistema que se va a utilizar en el proyecto en específico, hay tres tipos de principios de sistemas de recolección de aguas lluvias, los cuales son (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016): 1) Sistemas basados en la gravedad, 2) Sistemas de bombeo y 3) Sistemas compuestos.

El rendimiento del sistema depende principalmente del diseño hidráulico que se calcule para cada caso en particular, dicho diseño está en función de las siguientes características (Woods, Wilson, Udale, Lilliman, & Scott, 2016):

- ♣ La demanda de agua no potable del tanque
- ♣ La regularidad de la demanda
- ♣ El área que contribuye la escorrentía del tanque
- ♣ Las características locales de climatología
- ♣ El nivel de diseño de servicio para el tanque de almacenamiento, con respecto al control de aguas superficiales

Es importante controlar las problemáticas que generan las aguas escorrentías en una ciudad como lo es Bogotá D.C., ya que dichas aguas producen inconvenientes como lo es las inundaciones que se generan en la capital. La mala gestión de las empresas de limpieza de la ciudad y la falta de educación de las personas de la ciudad ha provocado que los sumideros que se encargan de transportar el agua escorrentía en la ciudad a sus respectivas zonas de desagüe se taponen o dejen de funcionar. Esto provoca que se generen inundaciones en la ciudad, lo cual afecta a una gran cantidad de personas. (Cerem Comunicación, 2019)

El agua lluvia no debería representar una problemática en una ciudad, ya que puede considerarse una fuente de abastecimiento estable, únicamente se tiene la

necesidad de darle una correcta utilización y manejo eficiente. Más sabiendo que en los núcleos urbanos como lo son las ciudades, dicho recurso hídrico no depende de los cauces naturales que normalmente buscaría, sino únicamente de la disposición que el hombre haya generado con la construcción de sus obras civiles, como lo son tuberías de alcantarillado, desagües, sumideros y tuberías.

La implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenibles busca cumplir dos objetivos particularmente, el primero de ellos es disminuir sustancialmente la contaminación de los cuerpos de agua generados por la escorrentía del agua lluvia, y la otra es poder generar una gestión y control con la redistribución de la escorrentía con diferentes tipos de metodologías, ya sea desde el control en su fuente, o analizando el transporte que tiene su flujo principal (Martínez Candelo, 2013). Las estrategias que se pueden utilizar para poder cumplir con dichos objetivos son las nombradas en la Tabla 3.

Tabla 3 Estrategias utilizadas para cumplir los objetivos de los SUDS

Estrategias utilizadas para cumplir los objetivos de los SUDS	
Conservación de las áreas naturales, suelos y vegetación.	Minimizar las perturbaciones sobre los patrones de drenaje natural.
Promover discontinuidades entre las áreas impermeables	Minimizar la compactación del suelo.
Direccionar el escurrimiento de áreas impermeables hacia áreas permeables	Almacenar para propiciar reusó.
Atenuar eventos de inundaciones.	Mejoramiento de la calidad del agua de los cuerpos receptores.
Infraestructura verde o vegetada.	Integración con el paisaje.

Fuente: (Martínez Candelo, 2013)

### 5.3 Evaluación económica

La evaluación económica de cualquier proyecto, es el procedimiento final realizado en su estudio de factibilidad, ya que se realiza una vez se tiene toda la información y análisis recolectados de pasos previos, en donde se obtiene toda la mayor cantidad de información pertinente. Se tiene la necesidad de realizar un análisis monetario a lo largo del tiempo para poder saber si la obra es factible económicamente hablando, tener en cuenta todo el dinero que se va a invertir en

su ejecución y a su vez, todo el dinero que hay de utilidades o de ganancia con su ejecución (Universidad Autónoma de México, 2019).

Para poder tomar una decisión respecto de si es factible económicamente cualquier proyecto analizando su evaluación económica, se tienen que utilizar diferentes tipos de indicadores económicos como medio de ayuda para tomar la decisión correcta. En este proyecto de grado se utilizarán cuatro indicadores económicos, los cuales son:

- ♣ Valor actual/presente neto
- ♣ Tasa interna de rendimiento
- ♣ Relación beneficio – costo
- ♣ Periodo de recuperación de la inversión

El primero de ellos, el VPN (Valor actual/presente neto) se encarga de cuantificar o caracterizar la rentabilidad inicial del proyecto, y a su vez, analiza la rentabilidad deseada después de recuperar toda la inicial invertida en el proyecto, se tiene la necesidad de saber si el proyecto que se quiere ejecutar es factible, o si es mejor invertir ese dinero en otro proyecto alternativo mucho más rentable económicamente (Ospina Tello & Lenis Mejía, 2016).

En otras palabras, el VPN se define como “el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, lo que significa comparar todas las ganancias esperadas contra los desembolsos necesarios para producir esas ganancias en el tiempo cero (presente)” (Universidad Autónoma de México, 2019). Los criterios de evaluación para esta metodología se muestran en la Tabla 4.

*Tabla 4 Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico VPN*

Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico VPN	
Si el VPN es < 0	Se rechaza el proyecto
Si el VPN es = 0	El proyecto es indiferente
Si el VPN es > 0	Se acepta el proyecto

*Fuente: (Universidad Autónoma de México, 2019)*

La ecuación utilizada para el cálculo del VPN es la siguiente (Ospina Tello & Lenis Mejía, 2016):

*Ecuación 3*

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

En donde  $V_t$  es el flujo de costos netos para cualquier periodo de  $t$  duración,  $I_0$  es la inversión inicial del proyecto,  $n$  es el periodo de evaluación del proyecto y por último  $k$  es la tasa de descuento.

El segundo indicador es la tasa interna de rendimiento (TIR), es un indicador económico utilizado para cuantificar el rendimiento de los recursos que se van a invertir en cualquier tipo de proyecto, en otras palabras, se define como el porcentaje de rendimiento generado en cualquier proyecto por medio de alguna inversión de algún tipo (Universidad Autónoma de México, 2019). Los criterios de evaluación para esta metodología se muestran en la Tabla 5.

*Tabla 5 Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico TIR*

Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico TIR	
Si el TIR es < a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto	Se rechaza el proyecto
Si la TIR = a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto	El proyecto es indiferente
Si la TIR es > a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto	Se acepta el proyecto

*Fuente: (Universidad Autónoma de México, 2019)*

La ecuación utilizada para el cálculo del TIR es la siguiente (Ospina Tello & Lenis Mejía, 2016):

Ecuación 4

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0$$

En donde  $F_n$  es el flujo de fondos netos (ingresos y egresos) generados en el periodo,  $i$  es la tasa de descuento del proyecto y  $n$  es el periodo de evaluación del mismo.

El tercer indicador económico es el de beneficio – costo (B/C) el cual muestra una relación directa entre el beneficio que genera el proyecto por cada unidad de inversión que se está poniendo en el proyecto. Con dicho indicador es posible saber qué tan rentable es el proyecto a largo plazo.

Hablando de inversión se entiende por todo aquel capital invertido ya sea en construcción, operación, mantenimiento o materiales, si en debido caso los costos llegasen a pasar los beneficios, el proyecto tendría que pasar a considerarse como no rentable (Ospina Tello & Lenis Mejía, 2016). Los criterios de evaluación para esta metodología se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6 Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico beneficio

Criterio de aceptación o rechazo de un proyecto según el indicador económico Beneficio - Costo	
Relación B/C < 1	Se rechaza el proyecto
Relación B/C = 1	El proyecto es indiferente
Relación B/C > 1	Se acepta el proyecto

Fuente: (Universidad Autonoma de Mexico, 2019)

La ecuación utilizada para el cálculo del beneficio/costo es la siguiente (Ospina Tello & Lenis Mejía, 2016):

Ecuación 5

$$\frac{B}{C} = \frac{V_{pi}}{V_{pe}}$$

En donde  $V_{pi}$  es el valor presente neto de los ingresos del proyecto en particular, y  $V_{pe}$  es el valor presente neto de los egresos del proyecto.

El cuarto de los indicadores económicos es el de periodo de recuperación de la inversión, el cual consiste en el tiempo que se demora el proyecto en ser económicamente viable. Lo que en otras palabras quiere decir es el tiempo requerido para que las utilidades del proyecto sobrepasen al capital invertido.

Se calcula con la intención de poder saber si la cantidad de capital que estoy invirtiendo es viable económicamente hablando.

La ecuación utilizada para el cálculo del periodo de recuperación es la siguiente (Ospina Tello & Lenis Mejía, 2016):

*Ecuación 6*

$$PRI = n - 1 + \frac{(FA) n - 1}{(F) n}$$

En donde  $V_t$  es el flujo de costos netos para cualquier periodo  $t$  establecido, la  $I_0$  es la inversión inicial y  $n$  es el periodo de evaluación del proyecto.

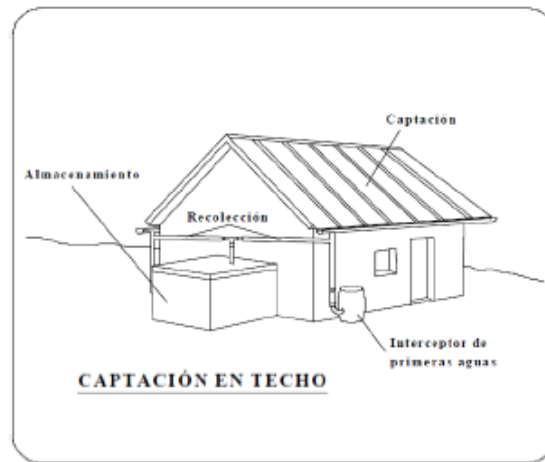
#### **5.4 Sistema de aprovechamiento de aguas lluvias**

Estos sistemas sirven como una fuente alternativa de abastecimiento de agua alterna, la cual busca como objetivo la reducción de impactos negativos presentes provenientes del consumo de agua en el lugar. Son diseñadas para ser utilizada como agua potable y consumirla, o simplemente para usos domésticos como lo son las actividades de limpieza (Reyes & Rubio, 2014).

El sistema cuenta con cuatro principales componentes en su estructura (Figura 4) (Palacio Castañeda, 2010):

- ♣ Captación
- ♣ Recolección y conducción
- ♣ Interceptor
- ♣ Almacenamiento

Figura 4 Componentes de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias



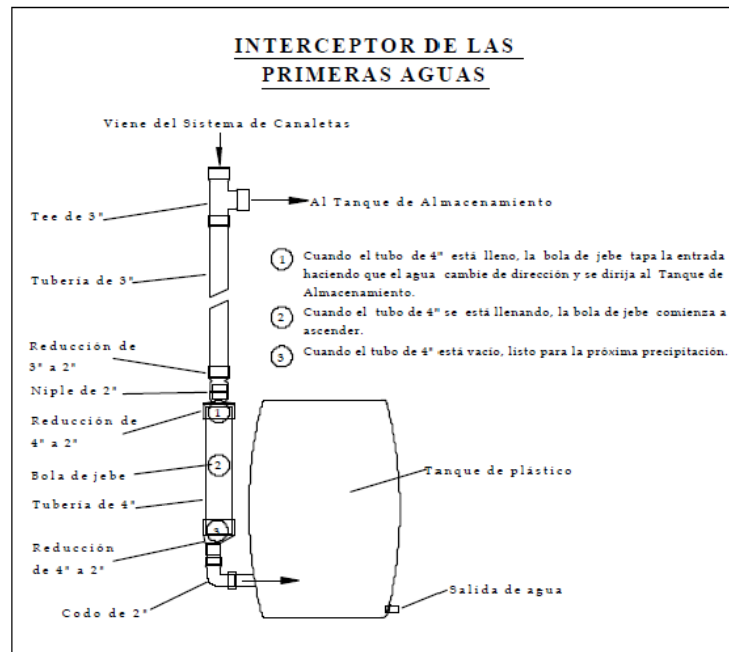
Fuente: (UNATSABAR, 2001)

En una zona que no cuenta con zonas verdes a su disposición, tiene la necesidad de utilizar la cubierta de los edificios para poder realizar la captación de aguas lluvias, utilizar a su favor las pendientes implementadas en el diseño de la cubierta, y a su vez los elementos que cumplen con el objetivo del desagüe del lugar (Correa Sastoque, 2014).

Para el tema de la conducción se pueden utilizar las canaletas existentes en las cubiertas de los edificios, las cuales cumplen la función de transportar el exceso de agua lluvia cuando llueve. En dichos elementos es donde se presenta la recolección del agua prácticamente, ya que allí es donde fluye el agua luego de ser transportada por la pendiente existente en la cubierta.

El interceptor es aquella parte del sistema que se encarga de recibir el agua lluvia considerada de primer lavado, la cual trae consigo un porcentaje significativo de concentración de contaminantes, y lo cual podría empeorar la calidad del agua recolectada. Es por ello que se debe tener en cuenta el área de la cubierta donde se planea realizar la recolección el agua lluvia para poder estimar el volumen de agua que podría estar en la etapa de primer lavado y aislarla del resto de agua que se puede utilizar (Figura 5) (Correa Sastoque, 2014).

Figura 5 Interceptor de las primeras aguas lluvias



Fuente: (UNATSABAR, 2001)

El interceptor se dimensiona de la siguiente forma (Palacio Castañeda, 2010):

Ecuación 7

$$V_{int} = \frac{1 \frac{l}{m^2} * A_{techo}}{1000}$$

En donde  $V_{int}$  es el volumen del interceptor de aguas expresado en  $m^3$ , y el  $A_{techo}$  es el área del techo a captar expresado en  $m^2$ .

Y, por último, el almacenamiento es aquel lugar donde se va a guardar el agua recolectada por el sistema, su tamaño depende del análisis de caudales realizado con los datos climatológicos de la zona, se tienen que tener en cuenta una relación oferta-demanda (Reyes & Rubio, 2014).

Entre más grande sea propuesto el tanque, mayor será la posibilidad de sobredimensionar, ya que corre el riesgo de almacenar mucha más agua de la que se necesita y a su vez, su costo de mantenimiento y operación es costoso. Por otra

parte, entre más pequeño sea, ocurre lo contrario y que se esté sobredimensionado, y de que no se aproveche la mayor cantidad de agua lluvia posible (Reyes & Rubio, 2014).

Es importante realizar un mantenimiento seguido, ya que las partes del sistema pueden verse afectadas por diferentes factores como la maleza y obstáculos que puedan impedir el paso del agua lluvia. Además de un control con el tema de algas y microorganismos que surgen en el sistema (Reyes & Rubio, 2014).

La demanda y oferta acumulada se calcula de la siguiente forma (Palacio Castañeda, 2010):

*Ecuación 8*

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + D_i$$

En donde el  $D_{ai}$  es la demanda acumulada al mes  $i$ ,  $D_{a(i-1)}$  es la demanda acumulada al mes anterior  $i - 1$ , y  $D_i$  es la demanda del mes expresada en  $m^3$ .

*Ecuación 9*

$$A_{ai} = A_{a(i-1)} + A'_i$$

En donde  $A_{ai}$  es la oferta acumulada al mes,  $A_{a(i-1)}$  es la oferta acumulada al mes anterior y  $A'_i$  es la oferta del mes  $i$  teniendo en cuentas las pérdidas expresadas.

El volumen de almacenamiento se del tanque plástico de almacenamiento se calcula así (Palacio Castañeda, 2010):

*Ecuación 10*

$$V_i = A_{ai} - D_{ai}$$

En donde  $V_i$  es el volumen de almacenamiento del mes,  $A_{ai}$  es la oferta acumulada al mes y  $D_{ai}$  es la demanda acumulada al mes correspondiente.

## 6. Metodología

Tabla 7 Tabla de metodología del proyecto

<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Actores</b>
<p><b>Estimar la oferta de agua lluvia en la universidad Santo Tomás, sede central.</b></p>	<p>Cálculo de la oferta de oferta hídrica de la zona.</p> <p>Análisis de la calidad de agua de la ciudad</p>	<p>Se solicitaron los datos de precipitación de cinco estaciones meteorológicas del IDEAM, se complementó la información con ArcGIS</p> <p>Se hizo la recolección de dos muestras de agua lluvia en diferentes zonas de la ciudad (Barrio techo y chapinero alto), con el fin de realizar el análisis físico-químico de la muestra.</p>	<p>Estudiante</p>
	<p>Estimación de la demanda total de agua en la universidad.</p>	<p>Se utilizaron diferentes tipos de metodologías para poder realizar la cuantificación del total de agua en la universidad, se utilizó un modelo</p>	<p>Estudiante</p>

<p><b>una demanda de agua cruda dentro de la universidad Santo Tomás, sede central.</b></p>	<p>Discriminar y cuantificar el porcentaje de agua cruda del total de agua consumida de la universidad.</p>	<p>matemático y un análisis de los registros de consumo de agua que tienen los directivos de la universidad.</p> <p>Por medios de información obtenidos, se discrimina la cantidad de agua que se considera para fines no potables de todo el consumo total en la universidad (riego de zonas verdes, descargas sanitarias, limpieza de pisos)</p>	
<p><b>Pre dimensionar un sistema de reutilización de agua lluvia para la universidad Santo Tomás.</b></p>	<p>Pre dimensionar los componentes necesarios del sistema.</p> <p>Ubicar en la universidad donde estaría instalado cada componente del sistema.</p>	<p>Teniendo el balance oferta-demanda fue posible dimensionar los elementos que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.</p> <p>También fue posible ubicar dicho sistema en las instalaciones de la universidad, dándole una ubicación conveniente a las</p>	<p>Estudiante</p>

		partes que lo componen.	
<p><b>Evaluar el beneficio económico al implementar el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en las cubiertas, por medio de indicadores económicos, además de estimar el costo que tiene la implementación del sistema.</b></p>	<p>Cuantificar el costo directo del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.</p> <p>Con la utilización de los indicadores económicos definir si el proyecto es factible.</p>	<p>Conocer el volumen de agua que se ahorra, y a su vez, conociendo el precio que maneja la empresa del acueducto y alcantarillado de Bogotá, se calcula el ahorro monetario que se obtendría con la implementación de este sistema.</p>	<p>Estudiante</p>

*Fuente: Elaboración propia*

**Actividades de los objetivos específicos**

Tabla 8 Actividades de los objetivos específicos

Numero de objetivo	Objetivo específico	Actividades
Objetivo 1	Estimar la oferta de agua lluvia en la universidad Santo Tomás, sede central.	Gestionar información útil para el análisis climatológico de la zona de estudio.
		Interpretar correspondientemente los datos obtenidos para poder cuantificar el agua lluvia.
		Comparar los métodos utilizados para definir el valor más realista de oferta de agua lluvia de la zona.
		Realizar el estudio de calidad de agua en dos zonas de estudios diferentes de la ciudad.
Objetivo 2	Cuantificar una demanda de agua cruda dentro de la universidad Santo Tomás, sede central.	Utilizar el modelamiento matemático con los datos de la sede central, para analizar su resultado.
		Revisar e interpretar los valores de los registros de consumo de agua de la universidad del año 2019.
		Comparar los métodos utilizados, con el fin de saber cuál es más factible utilizar.
Objetivo 3	Pre dimensionar un sistema de reutilización de agua lluvia para la universidad Santo Tomás.	Delimitar según las condiciones oferta – demanda donde estará instalado el sistema, y a que edificios contemplara.
		Pre dimensionar y proponer los componentes que hacen parte del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.
		Ubicar donde van a estar ubicados todos los elementos del sistema, y definir cuáles se utilizaran.
Objetivo 4	Evaluar el beneficio económico al implementar el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en las cubiertas, por medio de indicadores económicos, además de estimar el costo que tiene la implementación del sistema.	Cuantificar el costo del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias y de sus componentes más importantes.
		Calcular correctamente los indicadores económicos propuestos en el proyecto.
		Definir si el proyecto planteado es económicamente factible con la ayuda de los indicadores económicos.

Fuente: Elaboración propia

## 7. Desarrollo

### 7.1 Oferta de agua lluvia

#### 7.1.1 Estaciones del IDEAM

Para el cálculo de la oferta de agua lluvia en la sede central de la universidad Santo Tomás es necesario obtener información climatológica de la zona de estudio, para posteriormente a eso poder realizar su análisis correspondiente y poder calcular la oferta de agua lluvia de la zona (Tabla 9). Se solicitó información a la Empresa de Acueducto de Bogotá, pero el resultado no fue satisfactorio.

Tabla 9 Estaciones utilizadas del IDEAM

ESTACIONES DEL IDEAM UTILIZADAS							
Nombre	Código	Tipo de estación	Coordenadas		Altitud	Fecha de instalación	Fecha de suspensión
			Norte	Oeste			
Velódromo 1 de Mayo	21205600	Meteorológica	4° 37' 00"	74° 04' 00"	2650	15/03/1986	15/06/1993
Jardín Botánico	21205710	Meteorológica	4° 40' 9,6"	74° 06' 9,6"	2552	15/09/1974	-
Universidad Pedagógica Nacional	21206190	Meteorológica	4° 40' 00"	74° 04' 00"	2570	15/11/1986	10/12/2008
Sede Ideam Kra 10	21201600	Meteorológica	4° 36' 25,6"	74° 04' 22,4"	2685	15/09/1986	-
ESAP	21206040	Meteorológica	4° 38' 48,4"	74° 05' 46,9"	2553	15/04/1985	8/09/2009
Universidad Nacional Automática	21205010	Meteorológica	4° 38' 17,1"	74° 05' 20,7"	2556	19/08/2004	-

Fuente: Elaboración propia

Hay que tener en cuenta que se solicitó la información de las estaciones meteorológicas más cercanas a la universidad, ya que entre más cerca se encuentre la estación, más precisa será.

Los datos recolectados deben ser organizados y la información faltante debe ser llenada para poder realizar los análisis cuantitativos. Se observa que los datos recolectados presentan vacíos de información para su llenado (Figura 6).

Figura 6 Datos faltantes de las estaciones del IDEAM

1992 1 01	x	x	35,2	54,2	50,6	x	x	38,1	70,7	16,7	x	x	265,5
1993 1 01	x	x	x	x	424,4	16,0	x	x	10,4	52,0	x	x	502,8
1994 1 01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1995 1 01	x	x	x	x	97,7	x	10,6	81,7	x	53,2	58,9	28,3	395,2
1996 1 01	62,3	38,9	79,5	54,0	165,3	27,0	25,4	55,2	53,1	114,0	84,1	46,7	805,5
1997 1 01	80,8	7,4	57,2	8,0	13,7	121,7	40,9	15,8	69,0	57,6	59,6	3,2	590,5
1998 1 01	x	17,7	30,7	57,0	x	62,5	20,7	x	x	x	x	x	188,6

Fuente: Elaboración propia

Para poder completar los datos faltantes se utilizó la metodología de regresión lineal, ya que es la metodología más utilizada para el relleno de datos en series temporales (Meza Mosquera & Marroquin Rincón, 2020), en donde se tiene que realizar la gráfica de dispersión, se calcula el coeficiente de correlación y después proporcionar la ecuación con la cual se obtienen los valores de los datos faltantes de la información de la estación pertinente.

Ecuación 11

$$y = a + bx$$

En donde  $y$  es la precipitación estimada, la  $x$  es la precipitación de la estación patrón,  $a$  y  $b$  representan las constantes de la regresión lineal.

Después de haber realizado la correspondiente organización y análisis de los datos solicitados al IDEAM de las seis estaciones meteorológicas, fueron seleccionadas únicamente tres estaciones, las cuales cumplían con ciertas características como de tener un tiempo prudente de recolección de datos (mínimo 15 años) y a su vez de poseer un porcentaje alto de datos registrados (mínimo el 80%), por ende, las únicas tres estaciones que fueron tenidas en cuenta para el cálculo de la oferta de agua lluvia fueron las siguientes:

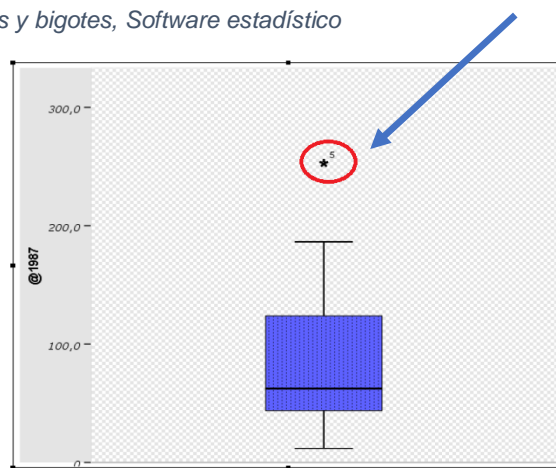
- ♣ Estación jardín botánico: 1974 – 2020
- ♣ Estación IDEAM kra 10: 1986 – 2019
- ♣ Estación Universidad Pedagógica 1987 - 2001

En el anexo 2 se encuentran todas las tablas organizadas de las seis estaciones solicitadas al IDEAM, con sus correspondientes datos y sus valores máximos, medios y mínimos.

Luego, se procedió a realizarles un análisis estadístico, el cual consistió en identificar los datos atípicos en cada una de las estaciones. Dicho procedimiento fue realizado con diagramas de cajas y bigotes. Además, se revisó que los datos cumplieran con condiciones de consistencia y homogeneidad, ya que los diagramas muestran un resumen de la información, es posible tener una idea de la tendencia central, la variabilidad, la simetría a parte de los datos atípicos.

Para la elaboración de los diagramas se utilizó la ayuda del software *IBM SPSS Statistics 21*. Los resultados muestran los valores típicos dentro de los diagramas y los valores atípicos por fuera de los bigotes (círculo rojo en la Figura 7),

Figura 7 Diagramas de cajas y bigotes, Software estadístico



Fuente: Software *IBM SPSS Statistics 21*

En el anexo 3 se encuentran todos los diagramas de cajas y bigotes correspondientes para las dos estaciones meteorológicas seleccionadas.

De los diagramas de cajas y bigotes es necesario recolectar la información de los datos atípicos de cada año correspondiente de las tres estaciones meteorológicas estudiadas, por lo tanto, se realiza la recopilación de los datos atípicos pertinentes (Tabla 10).

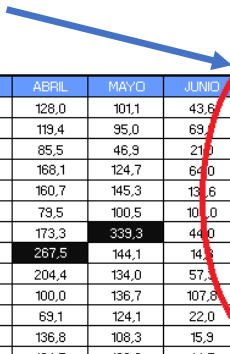
Tabla 10 Información de los diagramas de cajas y bigotes – estaciones meteorológicas IDEAM

Información Diagramas IDEAM Kra 10			Información Diagramas Jardín Botánico			Información Diagramas Universidad pedagógica		
Año	Signo	Valor	Año	Signo	Valor	Año	Signo	Valor
1987	★	5	2003	-	-	1975	-	-
1988	★	11	2004	-	-	1976	-	-
1989	★	3	2005	-	-	1977	-	-
1990	-	-	2006	-	-	1978	-	-
1991	★	11	2007	-	-	1979	-	-
1992	★	11	2008	-	-	1980	-	-
1993	-	-	2009	-	-	1981	★	5
1994	-	-	2010	-	-	1982	★	4
1995	-	-	2011	-	-	1983	-	-
1996	-	-	2012	-	-	1984	★	7 - 12
1997	★	1	2013	-	-	1985	-	-
1998	-	-	2014	-	-	1986	-	-
1999	-	-	2015	-	-	1987	-	-
2000	-	-	2016	-	-	1988	-	-
2001	★	3	2017	-	-	1989	★	3
2002	★	4	2018	-	-	1990	-	-
			2019	-	-	1991	★	11
						1992	★	11
						1993	-	-
						1994	-	-
						1995	-	-
						1996	-	-
						1997	-	-
						1998	-	-
						1999	★	10
						2000	★	2
						2001	★	3
						2002	-	-
						2003	-	-
						2004	-	-
						2005	★	5 - 10
						2006	-	-
						2007	-	-
						2008	-	-
						2009	-	-
						2010	-	-
						2011	-	-
						2012	-	-
						2013	-	-
						2014	-	-
						2015	★	3
						2016	★	4 - 11
						2017	-	-
						2018	-	-
						2019	-	-
						2020	★	11

Fuente: Elaboración propia

Los datos organizados en la Tabla 10 representan el mes del año en el cual se presenta un dato atípico (círculo rojo en la Figura 8). Dichos datos atípicos no se tendrán en cuenta en el análisis de la oferta de agua lluvia, en otras palabras, únicamente se procederá a ignorarlos y trabajar con los otros datos únicamente. En la tabla organizada de los datos de las estaciones del IDEAM fueron subrayados con color negro los datos atípicos, con el fin de tener presente cuáles son.

Figura 8 Interpretación de los resultados de los diagramas de caja y bigotes



AÑO EST ENT	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL
1975 1 01	3,9	52,5	92,3	128,0	101,1	43,6	56,7	39,6	65,1	76,0	×	96,2	775,0
1976 1 01	44,0	94,2	85,8	119,4	95,0	69	10,6	1	20,8	118,6	115,4	16,5	799,0
1977 1 01	11,1	24,6	107,9	85,5	46,9	21,0	70,8	58,0	111,3	158,5	93,1	42,7	829,4
1978 1 01	27,6	44,2	117,1	168,1	124,7	64,0	37,3	18,5	95,6	91,5	79,0	34,9	902,5
1979 1 01	44,4	29,1	127,8	160,7	145,3	13,6	80,3	89,9	99,9	132,4	233,5	31,6	1285,9
1980 1 01	17,5	69,1	10,3	79,5	100,5	10,0	12,0	44,8	61,1	93,7	75,3	133,0	799,8
1981 1 01	80,4	65,6	67,9	173,3	339,3	44,0	22,6	47,4	52,0	128,0	217,5	55,6	1293,6
1982 1 01	60,2	53,0	101,6	267,5	144,1	14,3	23,6	2,0	16,6	112,8	122,2	64,5	1002,9
1983 1 01	9,7	28,3	177,0	204,4	134,0	57,3	31,3	23,8	34,7	101,0	56,0	71,4	931,9
1984 1 01	84,8	86,0	84,3	100,0	136,7	107,8	42,8	16,9	95,1	87,0	122,6	11,7	1075,7
1985 1 01	17,1	5,4	56,7	69,1	124,1	22,0	43,0	52,6	128,5	106,7	80,6	59,6	765,4
1987 1 01	52,8	35,5	26,5	136,8	108,3	15,9	53,8	35,8	65,4	159,8	43,5	30,3	784,4
1988 1 01	0,0	34,7	9,0	124,7	163,9	44,5	44,8	92,4	81,3	138,7	175,4	97,3	1006,7
1989 1 01	16,5	66,4	173,9	52,4	87,3	56,3	24,7	39,7	81,1	101,7	79,8	27,2	813,0

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta los datos útiles de las series de tiempo, se procede a realizar el cálculo de los promedios mensuales multianuales de precipitación de la zona de estudio. El cálculo de dichos valores se calcula realizando el promedio de los datos suministrados por cada mes correspondientemente, cuyos resultados fueron organizados en la Tabla 11.

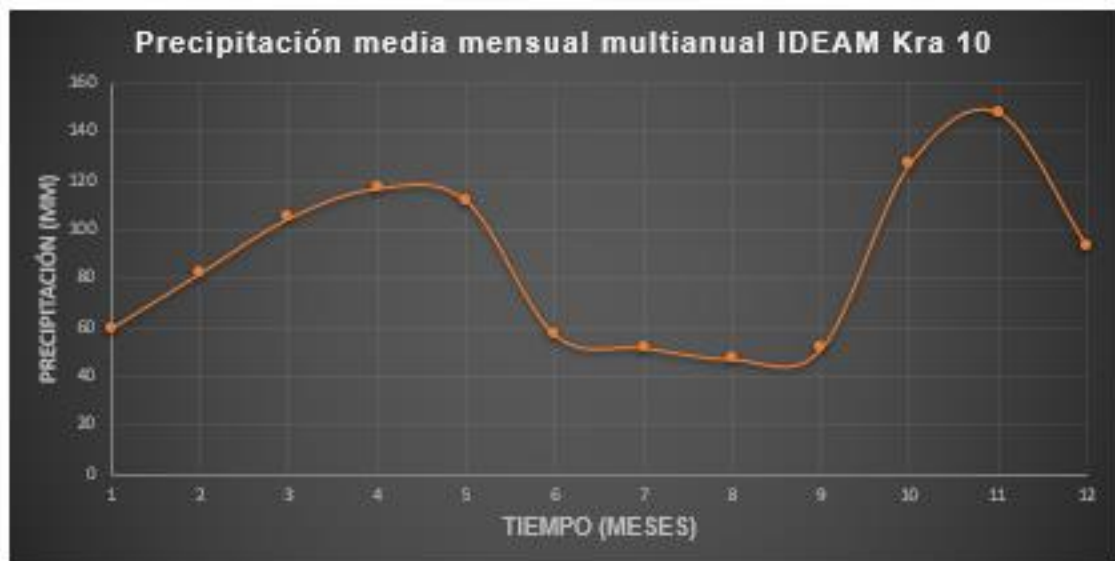
*Tabla 11 Valores mensuales de precipitación en las dos estaciones analizadas*

Valores mensuales de precipitación en la estación IDEAM Kra 10		Valores mensuales de precipitación en la estación jardín botánico		Valores mensuales de precipitación en la estación universidad pedagógica	
Meses	Promedio precipitación (mm)	Meses	Promedio precipitación (mm)	Meses	Promedio precipitación (mm)
Enero	60,06	Enero	46,76	Enero	80,89
Febrero	82,56	Febrero	59,00	Febrero	71,90
Marzo	105,03	Marzo	95,81	Marzo	101,32
Abril	117,25	Abril	123,74	Abril	97,50
Mayo	112,11	Mayo	119,59	Mayo	101,33
Junio	57,32	Junio	64,30	Junio	56,52
Julio	52,13	Julio	47,09	Julio	52,16
Agosto	47,45	Agosto	50,18	Agosto	48,34
Septiembre	51,56	Septiembre	70,40	Septiembre	72,54
Octubre	126,91	Octubre	119,33	Octubre	87,99
Noviembre	148,19	Noviembre	127,46	Noviembre	100,98
Diciembre	93,73	Diciembre	73,59	Diciembre	57,63

*Fuente: Elaboración propia*

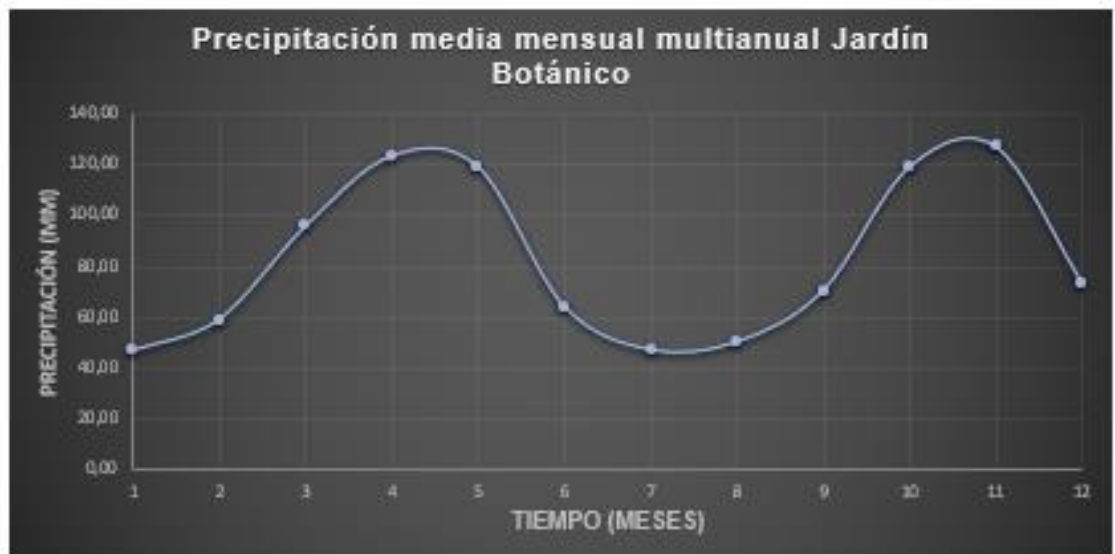
Después de ordenar los datos se procede a realizar el análisis gráfico de los valores de precipitación media mensual multianual, los cuales cumplen un comportamiento bimodal ( Figura 9, Figura 10 y Figura 11)

Figura 9 Precipitación media mensual multianual IDEAM Kra 10



Fuente: Elaboración propia

Figura 10 Precipitación media mensual multianual Jardín Botánico



Fuente: Elaboración propia

Figura 11 Precipitación media mensual multianual Universidad pedagógica

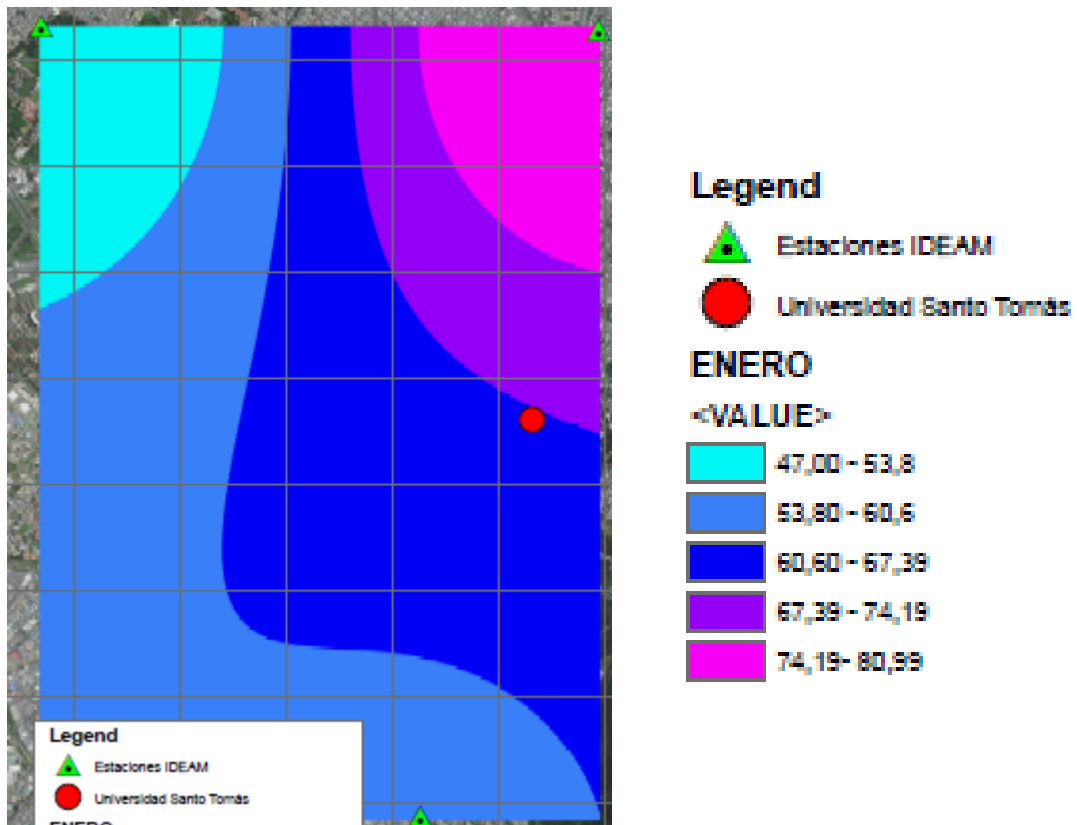


Fuente: Elaboración propia

Con los valores de precipitación mensual multianual de cada estación correspondientemente se procede a realizar una espacialización de los valores obtenidos en el software ArcGIS, utilizando la herramienta IDW (Inverse Distance Weighting), la cual realiza una interpolación de los datos suministrados, obteniendo una aproximación de la precipitación en la universidad (Figura 12). Ya que el método de IDW es uno de los más utilizados en los estudios de análisis de variación espacial, utilizando un algoritmo simple basado en las distancias entre los puntos analizados (Villatoro , Henriquez, & Sancho, 2008).

*En el anexo 4 se encuentran todos los mapas de la espacialización de precipitación de cada mes correspondientemente.*

Figura 12 Espacialización de la precipitación del mes de enero



Fuente: Elaboración propia

Después de elaborar el correspondiente mapa de cada mes, se procede a obtener los valores máximos, medios y mínimos de la precipitación para cada mes particularmente (Tabla 12)

Tabla 12 Precipitaciones máximas, mínimas y medias en la zona de estudio por mes

Meses	Precipitación mínima	Precipitación máxima	Promedio
Enero	60,6	67,39	64,00
Febrero	73,4	78,2	75,80
Marzo	101,4	103,2	102,30
Abril	108,4	113,6	111,00
Mayo	108,6	112,39	110,50
Junio	57,6	59,2	58,40
Julio	51	52	51,50
Agosto	48,79	49,19	48,99
Septiembre	59,99	63,99	61,99
Octubre	103,6	111,4	107,50
Noviembre	119,8	129,2	124,50
Diciembre	72,4	79,6	76,00

Fuente: Elaboración propia

Para el coeficiente de escorrentía se tiene que evaluar el tipo de cubierta que hay en el lugar donde se planea realizar la recolección, ya que la gran mayoría de las cubiertas de la sede central son de tejas de arcilla, se asumirá un coeficiente de escorrentía de 0,8 para este proyecto de grado en particular (RUVIVAL TEAM, 2019).

Para el parámetro de área de captación se procedió a calcular el área de las cubiertas de los edificios evaluados de la sede central de la universidad Santo Tomás (Tabla 13).

Tabla 13 Área de recolección en cubiertas

ÁREAS CUBIERTAS (RECOLECCIÓN AGUAS LLUVIAS)	
Nombre del edificio	Area de recolección en la cubierta (m²)
Edificio Fray Alberto Ariza	1.407
Edificio Gregorio XIII	1.211
Edificio Laboratorios F	260
Edificio Luis J. Torres	580
Edificio Ángel Calatayud	288
<b>TOTAL</b>	<b>3747</b>

Fuente: Elaboración propia

En el anexo 5 se encuentran los planos de las cubiertas de los edificios de la sede central de la universidad Santo Tomás, con su respectiva área seleccionada y su área acumulada.

Teniendo los parámetros de la Ecuación 1, se procede a calcular la oferta de agua lluvia por cada mes correspondientemente, para poder calcular después la oferta de agua lluvia con sus pérdidas estimadas, siguiendo la siguiente metodología:

$$A_i = \frac{P_{pi} * c_e * A_c}{1000}$$

$$A_i = \frac{64 \text{ L/m}^2 * 0,8 * 260 \text{ m}^2}{1000}$$

$$A_i = 13,312 \text{ m}^3$$

$$A'i = A_i - \left( A_i * \frac{0,2}{12} \right)$$

$$A'i = 13,312 \text{ m}^3 - \left( 13,312 \text{ m}^3 * \frac{0,2}{12} \right)$$

$$A'i = 13,0901 \text{ m}^3$$

El procedimiento del cálculo de la oferta fue realizado para cada mes correspondiente, de todos los edificios evaluados en el proyecto (Tabla 14 y Tabla 15)

Tabla 14 Oferta de agua lluvia por mes por edificio sin pérdidas

Oferta de agua lluvia por mes por edificio - Sin pérdidas																				
Meses	Edificio Fray Alberto Ariza				Edificio Luis J Torres				Edificio Gregorio XIII				Edificio F Laboratorios				Edificio Ángel Calatayud			
	Ppi (L/m2)	Ce	Área cubierta	Ai (m3)	Ppi (L/m2)	Ce	Área cubierta	Ai (m3)	Ppi (L/m2)	Ce	Área cubierta	Ai (m3)	Ppi (L/m2)	Ce	Área cubierta	Ai (m3)	Ppi (L/m2)	Ce	Área cubierta	Ai (m3)
Enero	64,00	0,8	1407,476	72,06	64,00	0,8	580,4623	29,72	64,00	0,8	1210,933	61,99	64,00	0,8	260,260	13,32	64,00	0,8	267,943	14,74
Febrero	75,80			85,35	75,80			35,20	75,80			73,43	75,80			15,78	75,80			17,46
Marzo	102,30			115,19	102,30			47,51	102,30			99,10	102,30			21,30	102,30			23,57
Abril	111,00			124,98	111,00			51,55	111,00			107,53	111,00			23,11	111,00			25,57
Mayo	110,50			124,42	110,50			51,31	110,50			107,04	110,50			23,01	110,50			25,45
Junio	58,40			65,76	58,40			27,12	58,40			56,57	58,40			12,16	58,40			13,45
Julio	51,50			57,99	51,50			23,92	51,50			49,89	51,50			10,72	51,50			11,86
Agosto	48,99			55,16	48,99			22,75	48,99			47,46	48,99			10,20	48,99			11,29
Septiembre	61,99			69,80	61,99			28,79	61,99			60,05	61,99			12,91	61,99			14,28
Octubre	107,50			121,04	107,50			49,92	107,50			104,14	107,50			22,38	107,50			24,76
Noviembre	124,50			140,18	124,50			57,81	124,50			120,61	124,50			25,92	124,50			28,68
Diciembre	76,00			85,57	76,00			35,29	76,00			73,62	76,00			15,82	76,00			17,51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Oferta de agua lluvia por mes por edificio con pérdidas

Oferta de agua lluvia por mes por edificio - Con pérdidas					
Meses	Edificio Fray Alberto Ariza	Edificio Luis J Torres	Edificio Gregorio XIII	Edificio F Laboratorios	Edificio Ángel Calatayud
Enero	70,856	29,222	60,962	13,102	14,496
Febrero	83,927	34,613	72,207	15,519	17,170
Marzo	113,268	46,713	97,451	20,945	23,173
Abril	122,901	50,686	105,739	22,726	25,143
Mayo	122,342	50,455	105,258	22,622	25,029
Junio	64,661	26,667	55,632	11,957	13,228
Julio	57,022	23,516	49,059	10,544	11,666
Agosto	54,242	22,370	46,668	10,030	11,097
Septiembre	68,636	28,307	59,052	12,692	14,042
Octubre	119,026	49,088	102,405	22,009	24,350
Noviembre	137,848	56,850	118,599	25,490	28,201
Diciembre	84,148	34,704	72,398	15,560	17,215

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.2 Calidad de agua lluvia


La calidad del agua lluvia es un factor relevante para su aprovechamiento, por ende, se debe realizar su caracterización fisicoquímica para establecer los posibles usos de la misma después de su recolección. Para poder saber si la calidad con la que viene nos sirve para los usos que se le quiere dar a esta. Con el fin de conocer la calidad del agua en este proyecto se realizó un muestreo de recolección de agua lluvia en dos lugares distintos en la ciudad de Bogotá, ya que por fuerza mayor no fue posible realizarla puntualmente en la universidad.

Las muestras de aguas fueron recolectadas en bateas plásticas y envasadas en botellas plásticas. El protocolo de muestreo fue el siguiente:

- ♣ Definición de los sitios de la toma de las muestras
- ♣ Identificación del sitio de muestra (Georreferenciación)
- ♣ Definir el destino de la muestra
- ♣ Identificar las condiciones de muestreo (fecha y hora)
- ♣ Definir el tipo de análisis a efectuar (físico-químico)
- ♣ Elaborar el rotulado de las muestras
- ♣ Recolección de la muestra

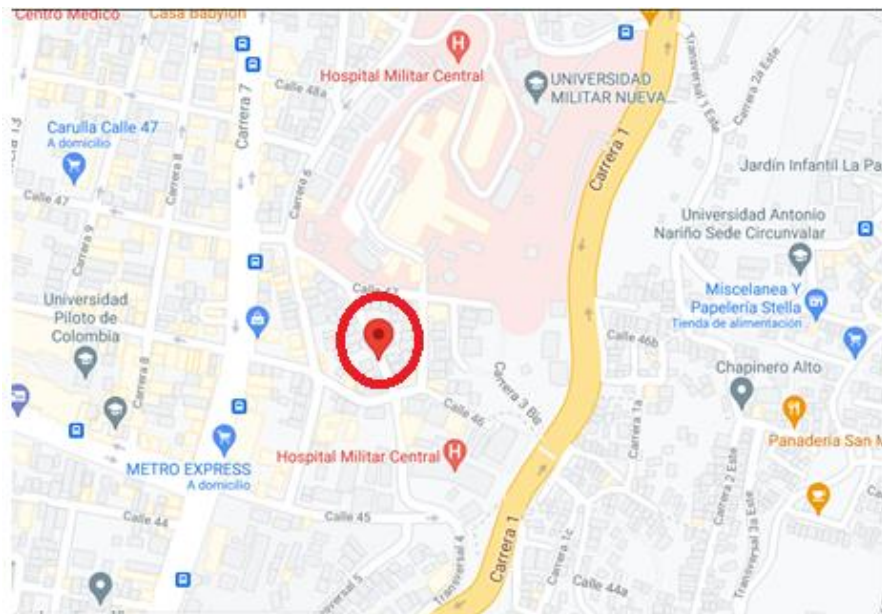
El primero de los puntos de recolección se hizo se estableció en inmediaciones de la universidad, en el barrio de chapinero alto (Figura 13), y el segundo punto de recolección fue realizado en el barrio de techo (Figura 14). Con la finalidad también de comparar la calidad del agua en dos puntos alejados de la ciudad, con el fin de saber cuál es la diferencia de calidad de agua lluvia en dos partes diferentes de la ciudad. La información específica de los dos lugares de recolección está consignada en las Tabla 16 y Tabla 17:

*Tabla 16 Información muestra de agua recolectada*

Muestra recolectada en chapinero alto	
Dirección	Cra. 5 #46-2 a 46-98
Coordenada N	4° 37' 57.3"
Coordenada W	74° 03' 45.4"
Cantidad recolectada	1,5 Litros
Foto de la muestra	
Días a la intemperie	6 días

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 13 Ubicación de la muestra de agua recolectada



Fuente: Google Maps

Tabla 17 Información muestra de agua recolectada

Muestra recolectada en mundo aventura	
Dirección	Cl. 1a Sur #71d-65
Coordenada N	4° 37' 19.24"
Coordenada W	74° 08' 16.75"
Cantidad recolectada	1 Litro
Foto de la muestra	
Días a la intemperie	1 día

Fuente: Elaboración propia

Figura 14 Ubicación de la muestra de agua recolectada



Fuente: Google Maps

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de tratamiento de agua de la sede central de la universidad Santo Tomás, el día siete de junio de 2021. Los parámetros analizados en el laboratorio se muestran en la Tabla 18. Fueron analizados todos los test disponibles del espectrofotómetro en la universidad, además de analizar parámetros importantes como el pH, turbidez y sólidos suspendidos totales. A parte de eso, el artículo 107 de la Resolución 0330 del 2017 define los parámetros de calidad mínimos que deben ser medidos para realizar la caracterización del agua cruda, en donde dice que se debe medir temperatura, pH, conductividad, turbiedad, color, pH, hierro, manganeso, cloruros, sulfatos, nitratos, dureza y nitrógeno.

Tabla 18 Parámetros analizados en el laboratorio

Parámetro analizado	Unidad de medición
Medición de sulfato	$mg/L SO_4^{2-}$
Medición de nitrato	$mg/L NO_3^-$
Medición de cloruro	$mg/L Cl^-$
Medición de aluminio	$mg/L Al^{3+}$
Medición de zinc	$mg/L Zn^{2+}$
Medición de manganeso	$mg/L Mn$
Medición de pH	Potencial de hidrogeno
Medición de turbidez	NTU
Medición de sólidos suspendidos	Gramos de solidos

Fuente: Elaboración propia

Para la medición de la mayoría de los parámetros fue utilizado el espectrofotómetro de la universidad, a su vez se utilizaron sus test de complemento con el cual fue posible realizar la medición de dichos parámetros (Detección específica de moléculas). Para el cálculo de los sólidos totales suspendidos fueron utilizados los filtros alemanes que posee la universidad, se utilizó una bomba de vacío para ayudar a filtrar el agua a través del filtro, en donde fueron retenidos los sólidos, con lo cual fue posible realizar el cálculo de TSS por medio de la Ecuación 12. Los resultados obtenidos de dichas mediciones se reportan en la Tabla 19.

Tabla 19 Resultados del laboratorio para las dos muestras recogidas

Muestra recolectada en mundo aventura		Muestra recolectada en chapinero alto	
Sulfato	< 20 mg/L SO <sub>2</sub> 2-	Sulfato	< 20 mg/L SO <sub>2</sub> 2-
Nitrato	1,8 mg/L NO <sub>3</sub> -N	Nitrato	<1,0 mg/L NO <sub>3</sub> -N
Cloruro	< 1 mg/L Cl-	Cloruro	< 1 mg/L Cl-
Zinc	< 0,5 mg/L Zn 2	Zinc	< 0,5 mg/L Zn 2
Aluminio	0 mg/L Al 3+	Aluminio	0 mg/L Al 3+
Manganeso	< 0,1 mg/L Mn 2	Manganeso	0,6 mg/L Mn 2
P.H.	7	P.H.	7
Turbidez	2,4 NTU	Turbidez	2,8 NTU

Fuente: Elaboración propia

En el anexo 6 se encuentran las características técnicas del espectrofotómetro utilizado en la universidad Santo Tomás.

Para la medición de los sólidos suspendidos en la muestra de agua lluvia, fue utilizada la muestra recolectada en el barrio chapinero alto, la cual estuvo seis días a la intemperie, y al momento de embotellar la muestra se introdujo en la botella en su totalidad los sólidos que estaban suspendidos en la batea (4 L). Los resultados fueron organizados en la Tabla 20:

Ecuación 12

$$TSS_{mg/L} = \frac{(\text{peso después de filtrar en g} - \text{peso antes de filtrar en g})(1000 \text{ mg/g})}{\text{Volumen de la muestra de agua en L}}$$

Tabla 20 Resultados obtenidos para el cálculo de SST en el agua

Peso antes de filtrar (g)	0,4305
Peso despues de filtrar (g)	0,49
Volumen (L)	4
SST (mg/L)	14,875

Fuente: Propia

En el anexo 7 se encuentran los test que fueron realizados para medir la calidad de agua, con sus respectivas unidades y foto de los elementos utilizados para efectuar la medición.

Después de hacer los respectivos estudios de laboratorio se procede a compararlos con la norma establecida para el estudio de la calidad de agua, la cual está dada por la resolución número 2115 del 2007. Dicha norma nos brinda los valores máximos aceptables de elementos y compuestos químicos permisibles con el fin de no afectar a corto o largo plazo la salud humana por el consumo de estas sustancias. La comparación se observa en la Tabla 21.

Tabla 21 Elementos y compuestos químicos que tienen impacto en la salud humana

Elementos y compuestos químicos que tienen impacto en la salud humana					
Nombre	Expresada como:	Unidades	Valor del lab:		Valor permitido:
Sulfato	$SO_4^{2-}$	mg/L $SO_4^{2-}$	< 20	< 20	250
Nitrato	$NO_3^-$	mg/L $NO_3^-$	1,8	1	10
Cloruro	$Cl^-$	mg/L $Cl^-$	< 1	< 1	250
Zinc	Zn	mg/L $Zn^{2+}$	< 0,5	< 0,5	3
Aluminio	$Al^{3+}$	mg/L $Al^{3+}$	0	0	0,2
Manganeso	Mn	mg/L Mn	< 0,1	0,6	0,1
P.H.	Potencial de hidrogeno	Potencial de hidrogeno	6	5	6,5 - 9,0
Turbidez	Unidador nefelometricar de turbidez	NTU	2,4	2,8	2

Fuente: Resolución número 2115 del 2007

Según la comparación hecha entre los datos obtenidos en el laboratorio y el valor permitido por la norma (resolución número 2115 del 2007) se aprecia que únicamente está por encima de la norma el manganeso en la segunda muestra y la turbidez en ambas muestras. Aclarando que el uso que se le quiere dar a el agua lluvia recolectada es únicamente de fines no potables (agua cruda/bruta), en actividades en dónde no se necesite tener potabilizada el agua. Se concluye que el agua lluvia recolectada en cualquiera de las dos zonas evaluadas es factible para su disposición, ya que no excede drásticamente en algún parámetro evaluado.

Cuando llueve el agua considerada de primer lavado se encarga de transportar todo tipo de contaminantes y compuestos, es por ello que se hizo la mayor cantidad de pruebas de laboratorio al agua (tests del espectrofotómetro). Las muestras fueron recolectadas directamente de las canaletas de las zonas de muestreo, es por ello que algunos resultados encontrados exceden el valor permitido por la norma, ya que las cubiertas de los edificios son factibles a contener todo tipo de contaminantes, ya sea por la falta de limpieza del edificio, por el tipo de material de la estructura o por la contaminación que pueda haber allí.

## **7.2 Demanda de agua cruda**

### **7.2.1 Modelo matemático – Instituciones educativas**

Para poder realizar la estimación de la demanda del agua total consumida en la universidad Santo Tomás se utilizaron dos tipos de metodologías analíticas distintas, debido a que no es posible realizar algún tipo de medición en campo debido a la problemática de la no presencialidad del momento. La primera de ellas consiste en la implementación de un modelo matemático utilizado en el cálculo de demanda de agua en centros educativos específicamente (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Morales Pinzón, 2016).

El área de estudio global de dicho proyecto fue en el campus de la universidad Tecnológica de Pereira en el departamento de Risaralda, y el área de estudio específica fue la facultad de ciencias ambientales de dicha universidad, las cuales tienen las características descritas en la Tabla 22.

Tabla 22 Áreas de estudio del proyecto del modelamiento matemático

ÁREA DE ESTUDIO GLOBAL		ÁREA DE ESTUDIO ESPECIFICA	
Lugar	Campus de la Universidad Tecnológica de Pereira	Facultad	Facultad de ciencias ambientales
Departamento	Risaralda	Población de la facultad	
Ciudad	Pereira	Estudiantes	997
Temperatura ambiente	22 °C	Docentes	15
Altitud	1411 msnm	Administrativos	19
Población de la universidad			
Estudiantes	14956		
Docentes	1482		
Administrativos	317		
Área de la universidad	502122 m <sup>2</sup>		

Fuente: (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Morales Pinzón, 2016)

Haciendo un resumen breve de la metodología utilizada en dicho proyecto de investigación, siguieron el siguiente procedimiento (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Morales Pinzón, 2016):

- ♣ Identificar elementos que conforman el sistema de distribución de agua (tubería, estructura, e instalaciones hidrosanitarias) de la facultad.
- ♣ Técnicas de observación directa y registro (Visitas de campo, diálogo) se hizo el inventario de instalaciones hidráulicas.
- ♣ Se clasificó el tipo de instalación (grifo, urinario, inodoro y duchas) y se revisó su estado.
- ♣ Clasificación de los usuarios del agua: Aseo personal, preparación de alimentos, riego de jardín, laboratorio y limpieza.
- ♣ Se instaló en cada unidad hidrosanitaria medidores volumétricos (R-160, 1/2") que envía su información a un servidor web, donde puede ser revisado los resultados.
- ♣ Se registraron los consumos en cada unidad hora x hora.
- ♣ Se construyeron curvas de consumo para cada uso en específico.
- ♣ Utilización del modelo de simulación Plugrisost, para la generación de simulaciones sobre diferentes configuraciones de demanda de agua.
- ♣ Los resultados fueron analizados el software PASW statistics 18 - SPSS, mediante la técnica estadística de análisis de regresión lineal, con el

propósito de ajustar un modelo general que fuera aplicable a diferentes centros educativos.

Entonces, para poder utilizar dicho modelamiento matemático se tiene la necesidad de conseguir y gestionar los datos utilizados en dicho proyecto de grado para el caso de la universidad Santo Tomás, específicamente en la sede central de la misma.

En el artículo se obtuvieron tres diferentes opciones de modelamiento matemático (Figura 15), posterior a esto mediante la utilización de un software estadístico fue posible evaluar a través de la regresión lineal el ajuste de cada una de los modelamientos.

Figura 15 Ecuaciones planteadas por el modelamiento matemático

	Modelo	R <sup>2</sup>	%EMC
Eq. 1	$D_{ce} = 365,5 + 10,7 * E + 42,5 * D + 0,1 * L + 52,1 * R + 10,2 * M$	0,90	20%
Eq. 2	$D_{ce} = (10,7 * E + 42,1 * D + 0,1 * L + 51,6 * R + 10 * M) / (1 - P)$	0,95	10%
Eq. 3	$D_{ce} = 2187,5 + 14,9 * E$	0,92	17%

Fuente: los autores, 2014.

Donde:

- E      Número de estudiantes (Est)
- D      Número de docentes (Doc)
- L      Área de limpieza del centro educativo (m<sup>2</sup>)
- R      Área de riego para jardín y zonas verdes (m<sup>2</sup>)
- M      Números de muestras procesadas en el laboratorio (#muestras)
- P      Pérdidas de agua (%)
- D<sub>ce</sub>    Demanda de agua en centros educativos (l\*d<sup>-1</sup>)

Fuente: (Manco Silva, Guerrero Erazo, & Morales Pinzón, 2016)

En este proyecto de grado se utilizará la segunda ecuación matemática para estimar el consumo de agua en la universidad Santo Tomás, por lo tanto, fue necesario investigar y recolectar la información de los parámetros utilizados en dicha ecuación. Excluyendo únicamente el parámetro del número de muestras procesadas en laboratorio, ya que es imposible poder conocer dicho valor, debido a que no se lleva algún registro de dichas muestras en la universidad Santo Tomás.

Para el parámetro de número de estudiantes y número de docentes se investigó el documento de la universidad que tiene como nombre “La universidad Santo Tomás

en cifras”, en dicho documento se hace un registro de los datos e información más importante de todas las sedes de la universidad.

Cabe resaltar que no se trabajó el número de estudiantes ni de docentes en su totalidad de la sede central, ya que hay edificios que no se tendrán en cuenta en este proyecto como lo es por ejemplo el edificio Santo Domingo, ni el edificio de comunicación social. Por lo tanto, únicamente fueron tenidos en cuenta el número de estudiantes y de docentes de dos divisiones únicamente, los de la división de ingeniería y de ciencias económicas y administrativas respectivamente (Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25)

Tabla 23 Evolución histórica de estudiantes por división

Evolución histórica de estudiantes por división										
División	2015 - I	2015 - II	2016 - I	2016 - II	2017 - I	2017 - II	2018 - I	2018 - II	2019 - I	2019 - II
División ciencias económicas y administrativas	3994	3979	4005	3982	3956	3769	3731	3486	3448	3241
División de ingenierías	2295	2353	2518	2493	2662	2502	2541	2430	2400	2218

Fuente: (Berrio Rivero & Mesa Angulo, 2019)

Tabla 24 Evolución histórica de docentes por división

Evolución histórica de docentes por división										
División	2015 - I	2015 - II	2016 - I	2016 - II	2017 - I	2017 - II	2018 - I	2018 - II	2019 - I	2019 - II
División ciencias económicas y administrativas	228	234	229	225	228	223	209	203	195	177
División de ingenierías	179	182	182	187	184	177	172	162	157	143

Fuente: (Berrio Rivero & Mesa Angulo, 2019)

Tabla 25 Administrativos por categoría año 2019

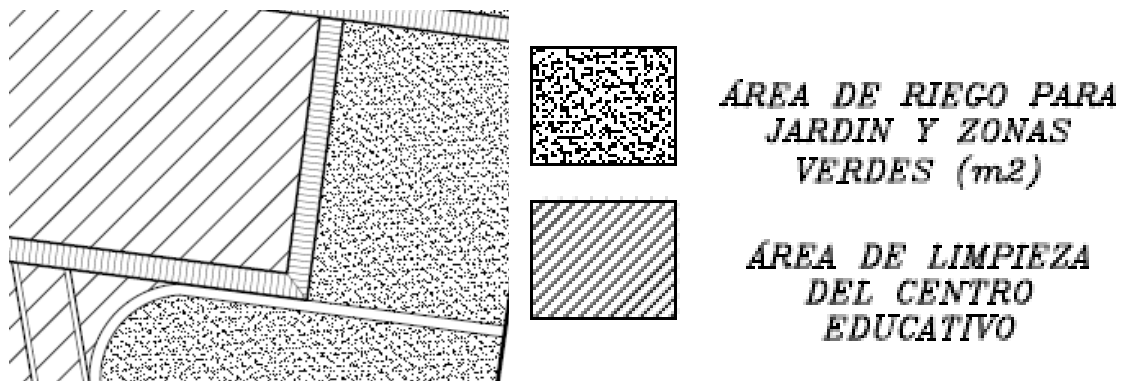
Administrativos por categoría (2019)				
Directivo	Coordinador	Profesionales/Entrenadores	Técnicos/Auxiliares	Practicante/Aprendiz/Sena/Judicante
79	65	148	320	82
11,4%	9,4%	21,3%	46,1%	11,8%
TOTAL			694	

Fuente: (Berrio Rivero & Mesa Angulo, 2019)

El diseño está pensado para trabajar en condiciones estándar de ocupación, algunos estimados fueron realizados en tiempo de pandemia, por lo cual fue utilizada información del año 2019, el cual fue el último año de presencialidad en la universidad.

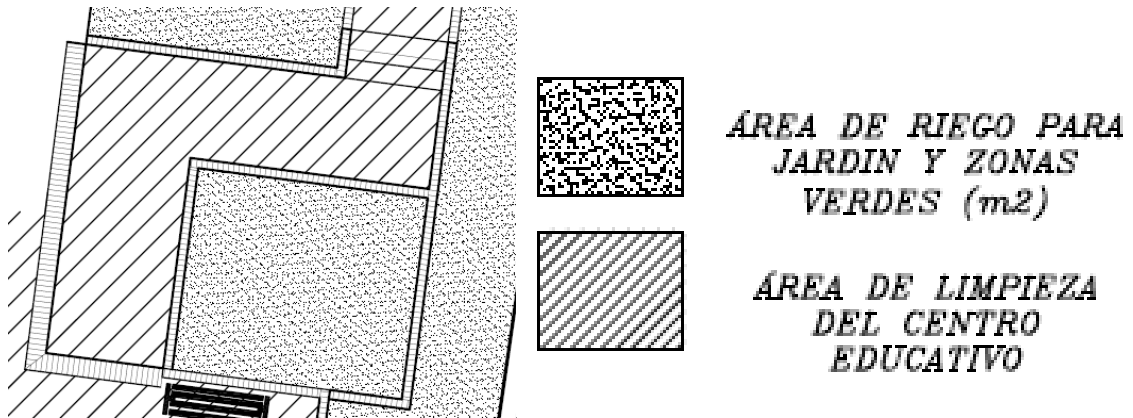
Para los parámetros de las áreas, tanto la de limpieza y la de riego de zonas verdes y jardines fueron solicitados al departamento de planta física de la universidad los planos arquitectónicos de los edificios de la sede central, en donde fue posible realizar la medición de dichas áreas (Figura 16 y Figura 17)

Figura 16 Ejemplo de los tipos de áreas de los planos arquitectónicos de la universidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Ejemplo de los tipos de áreas de los planos arquitectónicos de la universidad.



Fuente: Elaboración propia

Para el área de limpieza del centro educativo únicamente se tuvo en cuenta las áreas de piso que hay en cada edificio. Para el área de riego y zonas verdes se tuvieron en cuenta las zonas de vegetación, a su vez también fueron tenido en cuenta los diferentes tipos de plantas de decoración que hay en los diferentes pisos de los edificios. El análisis de áreas arroja los resultados que se consignan en la Tabla 26.

Tabla 26 Consolidado de usos del suelo universidad

CONSOLIDADO		
Nombre del edificio	Área de limpieza del centro educativo (m <sup>2</sup> )	Área de riego para jardín y zonas verdes (m <sup>2</sup> )
Edificio Fray Alberto Ariza	5.500	0
Edificio Gregorio XIII	6.583	9
Edificio Laboratorios F	692	0
Edificio Luis J. Torres	4.784	50
Edificio Ángel Calatayud	1.475	91
<b>TOTAL</b>	<b>19035</b>	<b>149</b>

Fuente: Elaboración propia

En el anexo 8 se encuentran todos los planos arquitectónicos de la universidad con el achurado del tipo de área medido en los cinco edificios de la sede central de la universidad en cada uno de sus pisos correspondientemente.

En el anexo 9 se observa la recopilación de la información de las áreas por cada edificio correspondientemente.

La última cantidad que se debe estimar para proceder con el diseño del sistema es el porcentaje de pérdidas. Entonces para este proyecto de grado se asumirá un valor de 20% de pérdidas. Ya que es un porcentaje usado comúnmente cuando se habla de pérdidas en sistemas de distribución de agua.

Por lo tanto, ya se contaría con todos los parámetros de la segunda ecuación del cálculo de la demanda de agua en el centro educativo de la universidad Santo Tomás. El cual fue organizado en la Tabla 27, gracias a eso ya es posible realizar el cálculo de la demanda, el cual da como resultado los valores consignados en la Tabla 28.

Tabla 27 Parámetros de la ecuación de la universidad Santo Tomás

PARAMETROS DE LA ECUACIÓN			
Número de estudiantes		5848	
Numero de trabajadores		1046	
Admin	694		
Docentes	352		
Área de limpieza (m <sup>2</sup> )		19.035	
Fray alberto	5.500		
Gregorio	6.583		
Labs	692		
Luis J Torres	4.784		
Calatayud	1.475		
Área de riego (m <sup>2</sup> )		149	
Fray alberto	0		
Gregorio	9		
Labs	0		
Luis J Torres	50		
Calatayud	91		
Perdidas		20%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Demanda de agua en centros educativos según la ecuación matemática

Demanda de agua en centro educativo	145278	Litros/día
	145,278	m <sup>3</sup> /día

Fuente: Elaboración propia

Como únicamente se quiere cuantificar la demanda de agua cruda, se tienen que tener en cuenta algunas consideraciones con esta metodología. Primero que todo hay que saber cuánta agua de la que se consume puede ser aprovechable, ya que se tienen diferentes usos para el recurso hídrico. Consiguiente a esto, entonces el valor obtenido de agua utilizada para el riego de zonas verdes, para la limpieza y el porcentaje de pérdidas se mantendrá igual, en cambio se tendrá en cuenta cuánta agua es utilizada en orinales, sanitarios y lavamanos en la universidad.

Según el proyecto de grado “Diseño del programa de ahorro y uso eficiente de agua para la Universidad Santo Tomás sede Bogotá, y formulación del plan para la gestión del riesgo ambiental para el Campus San Alberto Magno” se dice que el gasto de agua usado para la descarga de sanitarios públicos, el uso de lavamanos y orinales públicos, el uso de sanitarios y lavamanos administrativos y sanitarios y lavamanos de la biblioteca y gimnasio en la universidad Santo Tomás corresponde aproximadamente a lo consignado en la Tabla 29.

Tabla 29 Consumo de agua en limpieza y zonas verdes por edificio, consumo total de agua no potable

Consumos / Edificios	Edificio Fray Alberto Ariza	Edificio Gregorio XIII	Edificio de laboratorios F	Edificio Luis J Torres	Edificio Ángel Calatayud	Total
Consumo en limpieza (m <sup>3</sup> )	0,550	0,658	0,069	0,478	0,147	1,903
Consumo en riego de zonas verdes (m <sup>3</sup> )	0,000	0,463	0,000	2,568	4,677	7,708
Perdidas	20%					

Agua utilizada en sanitarios, orinales y lavamanos (m <sup>3</sup> /día)	15,946
Agua no potable (m <sup>3</sup> /día)	31,947

Fuente: Elaboración propia

Con el resultado de consumo se estima el total de consumo de agua que puede ser ahorrado con la utilización de aguas lluvias, ya que no es usada como agua potable, ni para consumo, entonces se da la posibilidad de utilizar el agua lluvia almacenada para suplir estos consumos. El cálculo del agua no potable es de  $31,947 \text{ m}^3/\text{día}$ , el cual tiene que ser comparado con los registros que se tienen de consumo de la universidad.

### 7.2.2 Análisis de los registros de la universidad

La segunda metodología analítica que se utilizó para estimar el consumo de agua en la universidad Santo Tomás es el análisis, interpretación y utilización de los registros de consumo de agua pertenecientes a la universidad, dichos registros fueron tomados de la Unidad de Gestión de la Calidad Universitaria (UGICU) de la Universidad Santo Tomás.

Fue enviada la información de los años 2019 y 2020, pero en el análisis realizado solo se va a tener en cuenta el año 2019, ya que fue el último año normal antes de la pandemia. Dicha información fue organizada dejando únicamente los edificios de la sede central que se tienen en cuenta en este proyecto de grado, teniendo dicho consumo en metros cúbicos (Tabla 30).

Tabla 30 Consumo de agua en la sede central año 2019

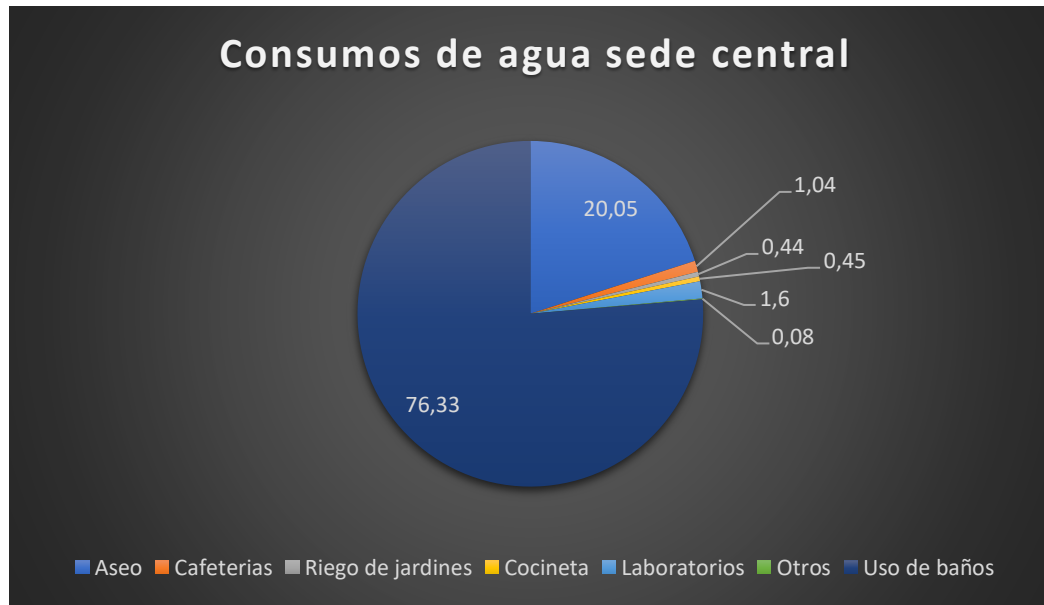
NOMBRE	Enero m3	Febrero m3	Marzo m3	Abril m3	Mayo m3	Junio m3	Julio m3	Agosto m3	Septiembre m3	Octubre m3	Noviembre m3	Diciembre m3
EDIFICIO F.LABORATORIOS	15	45	54	47	56	49	25	58	53	42	51	18
EDIFICIO GREGORIO XIII	150	253	302	275	340	285	168	274	306	253	275	21
ED. LUIS J. TORRES	250	354	425	395	546	402	266	368	435	403	379	337
FRAY ALBERTO ARIZA	55	85	102	86	98	96	65	95	105	81	91	55
<b>TOTAL</b>	<b>456</b>	<b>792</b>	<b>938</b>	<b>858</b>	<b>1095</b>	<b>887</b>	<b>579</b>	<b>850</b>	<b>960</b>	<b>840</b>	<b>851</b>	<b>486</b>

Fuente: Gestión integral de calidad de la universidad

Ya que únicamente se necesitan los consumos de agua no potable se tiene la necesidad de discriminar los usos del consumo total, por ende, se hace uso de la información recolectada en el trabajo de grado titulado “Diseño del programa de ahorro y uso eficiente de agua para la Universidad Santo Tomás sede Bogotá, y formulación del plan para la gestión del riesgo ambiental para el Campus San Alberto Magno”. En el cual sacan los porcentajes de cada tipo de consumo de la

sede central de la universidad, los cuales fueron organizados en una gráfica circular con sus respectivos porcentajes (Figura 18).

Figura 18 Consumo de agua en la sede central



Fuente: (Avila Olaya & Garavito Realpe, 2016)

Por lo tanto, es posible calcular qué cantidad de agua es utilizada para fines no potables, y poder estimar qué cantidad de agua puede ser reemplazada por el agua cruda recolectada del agua lluvia, cuyos datos fueron organizados en la Tabla 31.

Tabla 31 Consumo de agua en la universidad Santo Tomás sede central según su uso

Mes	Consumo mensual (m³)	Riego de jardines (m³)	Aseo (m³)
Enero	456	6,430	139,627
Febrero	792	11,167	242,510
Marzo	938	13,223	287,154
Abril	858	12,098	262,720
Mayo	1095	15,440	335,289
Junio	887	12,507	271,599
Julio	579	8,164	177,290
Agosto	850	11,985	260,270
Septiembre	960	13,536	293,952
Noviembre	851	11,999	260,576
Diciembre	486	6,853	148,813

Agua utilizada en sanitarios, orinales y lavamanos (m³/mes)	478,380
Agua no potable (m³/mes)	733,217

Fuente: (Avila Olaya & Garavito Realpe, 2016)

Después de comparar los dos métodos utilizados se obtuvieron los siguientes resultados: para el primer método dio un resultado de  $958,41 \text{ m}^3$ , en cambio para la segunda metodología dio un valor de  $733,217 \text{ m}^3$ , por lo tanto, se decidió emplear la segunda metodología, ya que la información utilizada allí fue seleccionada de los registros brindados por la universidad. Además, los porcentajes de consumo utilizados fueron calculados en un proyecto de grado de la universidad, por lo tanto, se sabe que fue calculado, analizado y evaluado dicho resultado.

### 7.3 Dimensionamiento del sistema de aprovechamiento de agua lluvia

Con la información obtenida en los anteriores capítulos se dimensionaron los elementos que componen el sistema de utilización de aguas lluvias. En primer lugar, se dimensionó el tanque de almacenamiento, que recibe el agua lluvia que se pretende usar en el sistema. Inicialmente se hace el análisis de oferta-demanda respectivamente de toda la zona estudio (Edificio principal) planteada inicialmente, con el fin de saber si la oferta estimada puede abastecer toda la demanda solicitada.

Utilizando la Ecuación 8 y Ecuación 9 se obtienen los valores de oferta y demanda acumulada. Con dichos resultados y utilizando la Ecuación 10 se obtiene el volumen de almacenamiento del mes (Tabla 32).

Tabla 32 Volumen de almacenamiento del mes de toda la zona de estudio

Mes	Oferta acumulada (m3/mes)	Demanda acumulada (m3/mes)	Volumen de almacenamiento del mes(m3)
Enero	188,64	624,44	-435,80
Febrero	412,07	1356,49	-944,42
Marzo	713,62	2135,25	-1421,63
Abril	1040,82	2888,45	-1847,63
Mayo	1366,52	3717,56	-2351,03
Junio	1538,67	4480,04	-2941,37
Julio	1690,48	5143,88	-3453,40
Agosto	1834,88	5894,51	-4059,63
Septiembre	2017,61	6641,94	-4624,33
Octubre	2334,49	7427,81	-5093,32
Noviembre	2701,48	8178,77	-5477,29
Diciembre	2925,50	8812,81	-5887,31

Fuente: Elaboración propia

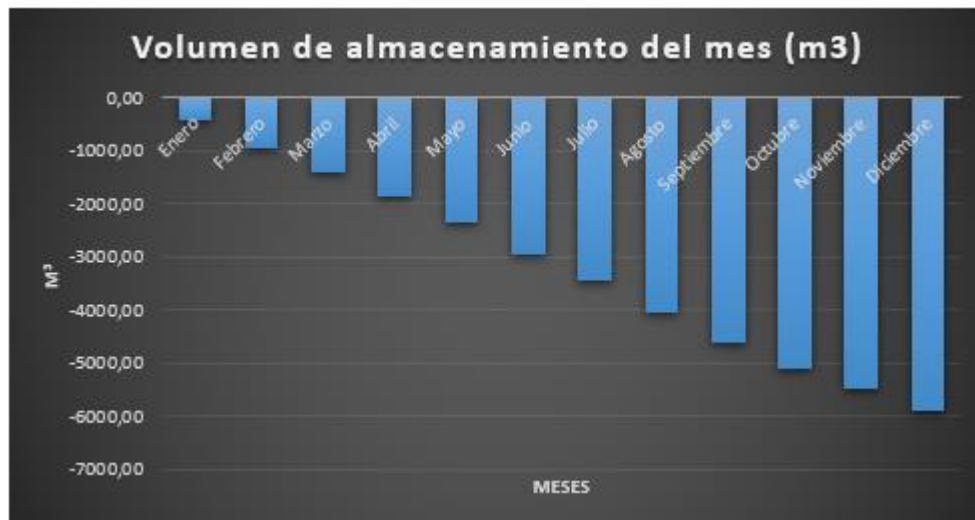
Como se observa los valores del volumen de almacenamiento son negativos, lo que quiere decir que la demanda es mucho mayor que la oferta (Figura 19 y Figura 20).

Figura 19 Gráfica de comparación de oferta y demanda acumulada



Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Volumen de almacenamiento del mes



Fuente: Elaboración propia

Ya que no es posible abastecer completamente la demanda de agua de fines no potables, entonces se propone únicamente abastecer el agua que es consumida en riego de zonas verdes, en aseo y limpieza del edificio principal de la sede central.

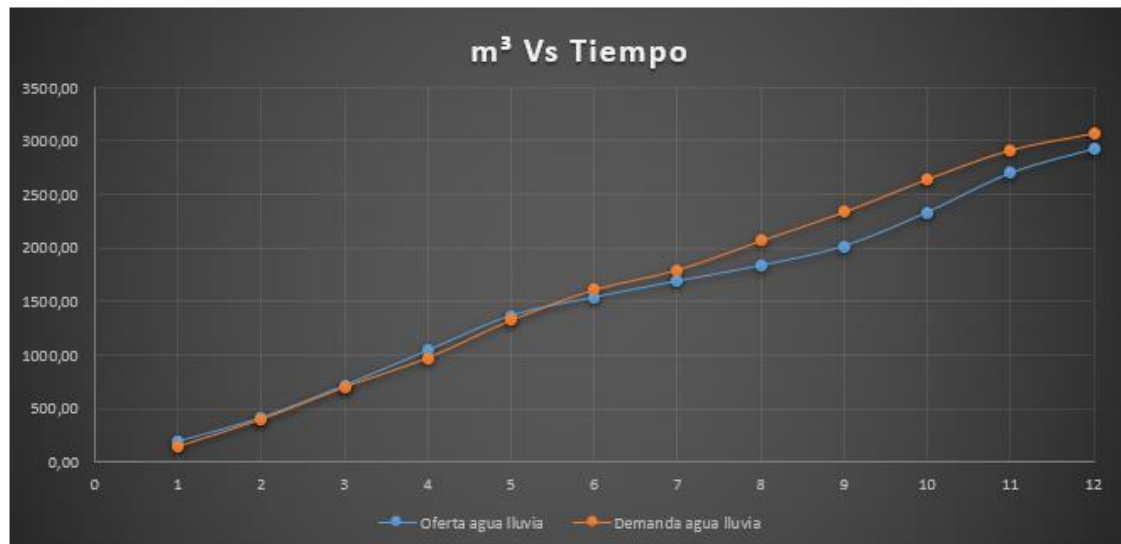
Si solo se tienen en cuenta la demanda de riego de zonas verdes, limpieza y aseo (Figura 21) se obtienen los resultados organizados en la Tabla 33.

Tabla 33 Volumen de almacenamiento del mes de toda la zona de estudio

Mes	Oferta acumulada (m3/mes)	Demanda acumulada (m3/mes)	Volumen de almacenamiento del mes(m3)
Enero	188,64	146,1	43
Febrero	412,07	399,7	12
Marzo	713,62	700,1	14
Abril	1040,82	974,9	66
Mayo	1366,52	1325,7	41
Junio	1538,67	1609,8	-71
Julio	1690,48	1795,2	-105
Agosto	1834,88	2067,5	-233
Septiembre	2017,61	2336,5	-319
Octubre	2334,49	2644,0	-310
Noviembre	2701,48	2916,6	-215
Diciembre	2925,50	3072,3	-147

Fuente: Elaboración propia

Figura 21 Gráfica de comparación de oferta y demanda acumulada



Fuente: Elaboración propia

La universidad no cuenta con el espacio necesario como para poder instalar un tanque de almacenamiento de un volumen mayor a 5000 L. Además de que la utilización de un tanque más grande implicaría un mayor costo, lo que generaría un sobrecosto en la inversión inicial del proyecto.

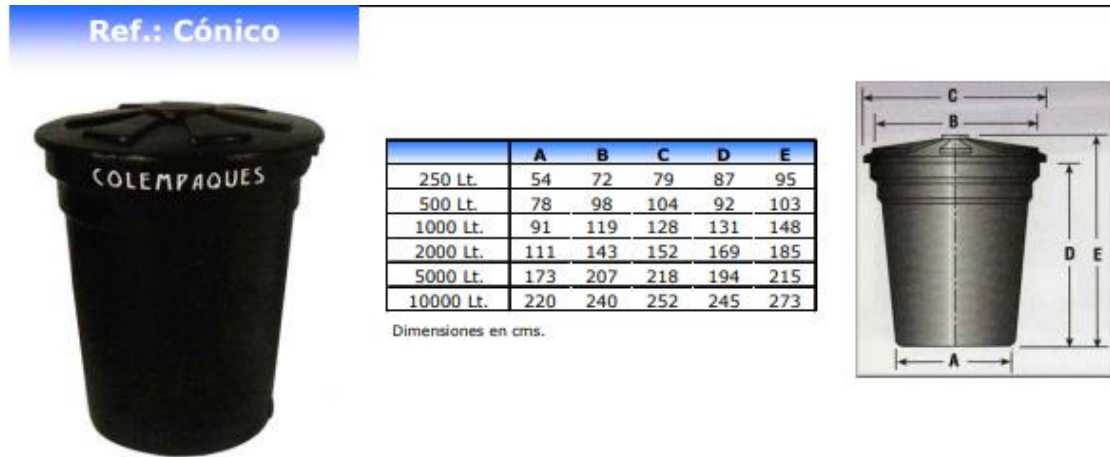
Para este proyecto de grado se propone la utilización de un tanque de almacenamiento para cada edificio particularmente, ya que si solo se manejara un tanque se tendría que instalar uno que abastezca toda la demanda exigida, y además se tendría que poner mucha más tubería para transportar el agua. Además de facilitar el proceso constructivo, ya que entre más grande el tanque de almacenamiento, mayor será la complejidad de su instalación.

Para seleccionar los tanques de almacenamiento se tendrá en cuenta la oferta de agua lluvia presente en cada edificio, por lo tanto, los tanques se proponen de la siguiente capacidad:

- ♣ Edificio F de laboratorios: 2000 lts
- ♣ Edificio Gregorio XIII: 5000 lts
- ♣ Edificio Luis J Torres: 5000 lts
- ♣ Edificio Fray Alberto Ariza: 2000 lts
- ♣ Edificio Calatayud: 2000 lts

Cada tanque tiene que ir semienterrado (la mitad del tanque, aproximadamente 1 m de profundidad) debido a sus dimensiones y también debido al peso que este tiene cuando esté lleno, las dimensiones de los tanques corresponden a características estándar de fabricantes nacionales (Figura 22).

Figura 22 Dimensiones de los tanques de almacenamiento



Fuente: (COLEMPAQUES, 2020)

El volumen necesario del interceptor de las primeras aguas se dimensiona con la Ecuación 7, además contará con los elementos que enumeran en la Figura 5, entonces se procede a dimensionar los interceptores de cada edificio, los cuales se organizan en la Tabla 34.

Tabla 34 Dimensionamiento de los interceptores

Ítem	Edificio Fray Alberto Aniza	Edificio Luis J Torres	Edificio Gregorio XIII	Edificio F Laboratorios	Edificio Ángel Calatayud
Área del techo a captar (m <sup>2</sup> )	1407,476	580,462	1210,933	260,260	287,943
Volumen del interceptor (m <sup>3</sup> )	1,407	0,580	1,211	0,260	0,288

Fuente: Elaboración propia

Como el agua recolectada únicamente será utilizada para riego de zonas verdes, limpieza y aseo, se transportará esa agua a los baños de cada edificio, ya que allí es de donde el personal encargado de la limpieza llena los carros de limpieza para proceder a hacer su trabajo. El sistema contará únicamente con los siguientes elementos:

- ♣ Tubería PVC ventilación de 3" para bajantes, con la cual se va a transportar el agua de las canaletas hacia el tanque de almacenamiento
- ♣ Un interceptor del agua de primer lavado (Plástico)
- ♣ Tanque de almacenamiento de plástico
- ♣ Una bomba para impulsar el agua
- ♣ Tubería en PVC de 1" para transportar el agua desde el tanque de almacenamiento hasta los baños de la universidad.

La recomendación que da el instructivo de sistemas de canales y bajantes de PAVCO, es que la tubería utilizada para transportar el agua recogida de las canaletas y bajantes sea la de PVC ventilación de 3". Habiendo revisado el manual técnico tubosistemas de construcción de PAVCO se seleccionó la tubería RDE 21 PVC de 1", ya que cumple con la presión y temperatura de trabajo necesaria para satisfacer las necesidades de este proyecto de grado (200 PSI y 23 °C).

Después de saber dónde van a estar ubicados los tanques de almacenamiento (cerca de las canaletas de cada edificio) se procedió a cuantificar la tubería en su totalidad, la que se va a encargar de transportar el agua hasta el tanque de almacenamiento, y la que se va a encargar de transportarla hasta los baños, en donde el personal de limpieza recarga los carros de limpieza.

Para poder hacer una estimación de la longitud de la tubería que se necesita, se hizo uso de los planos arquitectónicos de la universidad, además se tuvieron en cuenta estos puntos en la suposición:

- ♣ La altura entre pisos de todos los edificios se le asignó un valor de 3 m.
- ♣ Se le asignó un valor de 10% de pérdidas de material.
- ♣ La tubería que va hasta el tanque de almacenamiento se conecta a las canaletas que desaguan el agua lluvia de las cubiertas.
- ♣ La tubería irá por los techos o por las fachadas de los edificios amarrada con abrazaderas, ya que se quiere evitar la mayor demolición posible.
- ♣ Cabe resaltar que es una estimación superficial, el cual es hecho como una aproximación para poder concluir el estudio de factibilidad económico.

El acumulado de tubería de PVC de 3" y 1" total de cada edificio fue organizado en la Tabla 35:

*Tabla 35 Metros lineales de tubería por edificio*

Edificios	Metros lineales de tubería (3") - Canaletas a tanque de almacenamiento	Metros lineales de tubería (1") - Tanque de almacenamiento a baños (m)
Edificio Fray Alberto Ariza	261,305	75,075
Edificio Gregorio XIII	139,48	121,847
Edificio Laboratorios F	26,532	29,260
Edificio Luis J. Torres	56,595	150,851
Edificio Ángel Calatayud	40,997	12,584
Total	524,909	389,617

*Fuente: Elaboración propia*

Al inicio del tramo de tubería que va desde las canaletas hasta el tanque de almacenamiento, se instalará una parrilla metálica de 3" con rejilla metálica, la cual se encargará de bloquear todo tipo de objetos que intenten ingresar a la tubería, cumpliendo la función de filtro de objetos.

Habiendo hecho el predimensionamiento geométrico de la red, se escogió el equipo de bombeo para cada una de las situaciones y edificios planteados. Se tuvieron en cuenta las condiciones de carga hidráulica y distancia del tanque para realizar la selección óptima a cada uno de los equipos planteados. Entonces se seleccionó una bomba con las siguientes características:

- ♣ Bomba de alta presión eléctrica HE 2 75-1
- ♣ Bomba centrífuga
- ♣ 7.5 HP
- ♣ Altura máxima de bombeo 68 m
- ♣ Caudal máximo 120 galones x minuto
- ♣ Precio: 1'545.000 pesos colombianos
- ♣ Voltaje 220 V

### 7.4 Evaluación económica

En este proyecto en particular los únicos gastos que se tendrían contemplados será el gasto de su construcción y su gasto de mantenimiento. Para poder evaluar el costo de construcción es necesario cuantificar económicamente todos los elementos que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias. Además de revisar su valor comercial, el mantenimiento se hará una vez cada 5 años y contempla el sueldo mínimo de dos trabajadores más el 10% de la inversión inicial que cuesta cada sistema, dicha cuantificación económica fue organizada en la Tabla 36.

*Tabla 36 Costo de los elementos del sistema por edificio*

Elementos	Edificio Fray Alberto Ariza	Edificio Gregorio XIII	Edificio Laboratorios F	Edificio Luis J. Torres	Edificio Ángel Calatayud
Tanques de almacenamiento ( Replanteo, excavación manual, retiro de material, cámara en concreto de 21Mpa, detalles constructivos )	\$ 1.038.300	\$ 4.062.400	\$ 1.038.300	\$ 4.062.400	\$ 1.038.300
Bomba de alta presión eléctrica HE 2 75-1 (válvulas, manómetro, switch, tubería, tanque metálico, arrancador)	\$ 1.545.000	\$ 1.545.001	\$ 1.545.002	\$ 1.545.003	\$ 1.545.004
Tubería de PVC 1" (Abrazaderas metálicas, diferentes tipos de válvulas, pintura)	\$ 575.600	\$ 334.201	\$ 224.340	\$ 1.156.575	\$ 36.482
Tubería ventilación PVC de 3" (Abrazaderas metálicas, diferentes tipos de válvulas, pintura)	\$ 2.312.543	\$ 1.234.338	\$ 234.808	\$ 500.866	\$ 362.823
Interceptor (tubería, reducciones, codos, niple, tanque plástico, tee de 3", bola de [sbc])	\$ 630.000	\$ 630.000	\$ 230.000	\$ 310.500	\$ 230.000
Otros elementos (Codos, cemento, ladrillo, pemicodos, uniones, acero de refuerzo, formaletas de madera, scarreos, gestión del escombros, otras actividades necesarias) (15%)	\$ 324.307	\$ 1.263.900	\$ 430.357	\$ 1.136.302	\$ 430.381
Mano de obra (2 personas)	\$ 1.817.052	\$ 1.817.052	\$ 1.817.052	\$ 1.817.052	\$ 1.817.052
<b>Total</b>	<b>\$ 7.086.357</b>	<b>\$ 9.735.900</b>	<b>\$ 3.764.007</b>	<b>\$ 8.711.645</b>	<b>\$ 3.764.190</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Con el gasto aproximado, el siguiente paso a seguir es calcular el beneficio económico potencial que se obtiene al ahorrar toda el agua potable que se puede recolectar del agua lluvia, además del ahorro que también se obtiene al no disponer dicha agua en la red de alcantarillado. Según las tarifas de consumo del año 2021 de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá una universidad paga

aproximadamente el  $m^3$  de agua a \$ 5477 por su servicio de acueducto y alcantarillado. Por lo tanto, el posible ahorro monetario se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37 Potencial ahorro monetario por mes

Mes	Edificio Fray Alberto Ariza	Edificio Gregorio XIII	Edificio Laboratorios F	Edificio Luis J. Torres	Edificio Ángel Calatayud
Enero	\$ 388.079	\$ 333.887	\$ 71.761	\$ 160.049	\$ 79.394
Febrero	\$ 459.668	\$ 395.479	\$ 84.998	\$ 189.573	\$ 94.039
Marzo	\$ 620.369	\$ 533.740	\$ 114.714	\$ 255.849	\$ 126.916
Abril	\$ 673.128	\$ 579.131	\$ 124.470	\$ 277.607	\$ 137.709
Mayo	\$ 670.065	\$ 576.496	\$ 123.903	\$ 276.344	\$ 137.083
Junio	\$ 354.150	\$ 304.696	\$ 65.487	\$ 146.056	\$ 72.452
Julio	\$ 312.307	\$ 268.696	\$ 57.749	\$ 128.800	\$ 63.892
Agosto	\$ 297.086	\$ 255.600	\$ 54.935	\$ 122.522	\$ 60.778
Septiembre	\$ 375.921	\$ 323.426	\$ 69.512	\$ 155.035	\$ 76.906
Octubre	\$ 651.903	\$ 560.870	\$ 120.545	\$ 268.854	\$ 133.367
Noviembre	\$ 754.995	\$ 649.566	\$ 139.608	\$ 311.370	\$ 154.458
Diciembre	\$ 460.880	\$ 396.522	\$ 85.222	\$ 190.073	\$ 94.287
TOTAL	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282

Fuente: Elaboración propia

Lo siguiente es implementar los indicadores económicos para poder evaluar la factibilidad económica del proyecto, y poder concluir qué tan factible es la implementación del sistema en la universidad Santo Tomás, con la utilización de la Ecuación 3, Ecuación 4, Ecuación 5 y Ecuación 6 (Tabla 38, Tabla 39 y Tabla 40).

Tabla 38 Valor actual neto

Valor actual neto					
Años	Edificio Fray Alberto Ariza	Edificio Gregorio XIII	Edificio Laboratorios F	Edificio Luis J. Torres	Edificio Ángel Calatayud
0	\$ 7.086.357	\$ 9.735.900	\$ 3.764.007	\$ 8.711.645	\$ 3.764.190
1	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
2	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
3	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
4	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
5	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
6	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
7	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
8	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
9	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
10	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282

Fuente: Elaboración propia

$$VAN = -7'086,357 + (6'018,552/(1 + 0,1)^1 + 6'018,552/(1 + 0,1)^2 + 6'018,552/(1 + 0,1)^3 + 6'018,552/(1 + 0,1)^4 + 6'018,552/(1 + 0,1)^5 + 6'018,552/(1 + 0,1)^6 + 6'018,552/(1 + 0,1)^7 + 6'018,552/(1 + 0,1)^8 + 6'018,552/(1 + 0,1)^9 + 6'018,552/(1 + 0,1)^{10})$$

$$VAN = 29'895,038$$

Tabla 39 Relación beneficio/costo y tiempo de recuperación de la inversión

Relación beneficio/costo - Tiempo de recuperación de la inversión					
Años	Edificio Fray Alberto Ariza	Edificio Gregorio XIII	Edificio Laboratorios F	Edificio Luis J. Torres	Edificio Ángel Calatayud
0	\$ 7.086.357	\$ 9.735.900	\$ 3.764.007	\$ 8.711.645	\$ 3.764.190
1	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
2	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
3	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
4	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
5	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
6	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
7	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
8	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
9	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
10	\$ 6.018.552	\$ 5.178.108	\$ 1.112.904	\$ 2.482.132	\$ 1.231.282
Años	2	3	6	5	5
Mantenimiento	\$ 2.525.688	\$ 2.790.642	\$ 2.193.453	\$ 2.688.216	\$ 2.193.471

Fuente: Elaboración propia

$$\frac{B}{C} = \frac{(6'018,552 * 2)}{(7'086,357 + 2'525.688)}$$

$$\frac{B}{C} = 1,252$$

Tabla 40 Indicadores económicos por edificio

Parámetro económico	Edificio Fray Alberto Ariza	Edificio Gregorio XIII	Edificio Laboratorios F	Edificio Luis J. Torres	Edificio Ángel Calatayud
Valor Actual Neto	\$ 29.895.038	\$ 22.081.334	\$ 3.074.305	\$ 6.539.983	\$ 3.801.502
Tasa interna de rendimiento	59,61%	50,15%	16,67%	20,68%	21,55%
Relación beneficio - costo	1,252	1,240	1,121	1,089	1,033
Periodo de recuperación de la inversión (años)	2	3	6	5	5

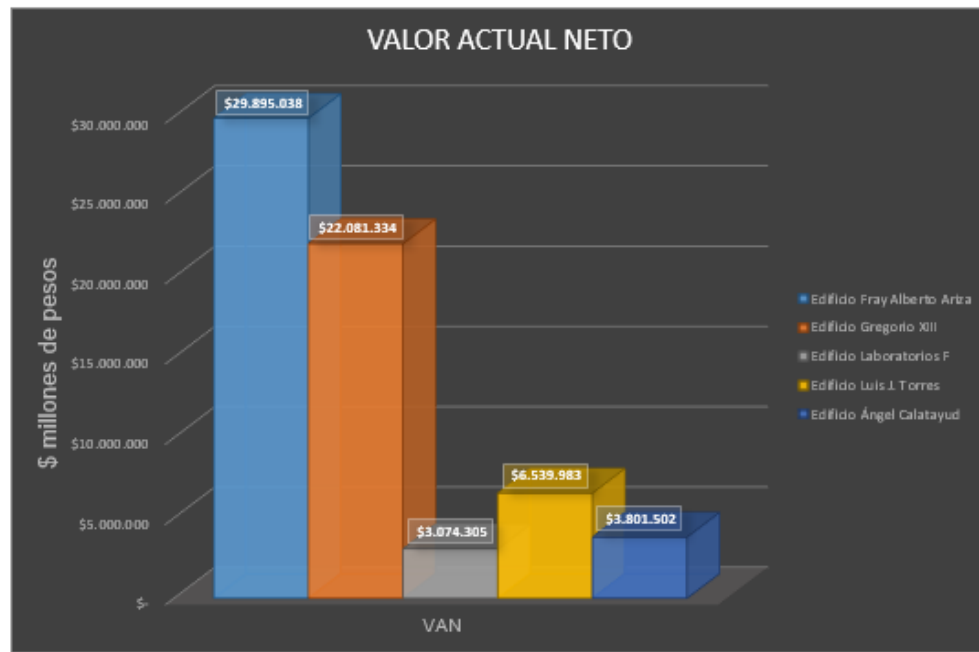
Fuente: Elaboración propia

Para los indicadores económicos del proyecto se tuvieron varios puntos en cuenta, los cuales fueron:

- ♣ Se realizó el análisis económico para un tiempo de 10 años.
- ♣ El mantenimiento de los sistemas se realizará una vez cada 5 años y constará de los elementos nombrados anteriormente (mano de obra de dos trabajadores y 10% del costo inicial del sistema por edificio).
- ♣ Para el indicador de beneficio/costo se tuvo en cuenta el costo de un mantenimiento independientemente si sobrepasa los 5 años o no.
- ♣ Para la tasa de descuento en todos los indicadores se seleccionó un valor del 10%.
- ♣ Para el cálculo de la tasa interna de rendimiento fue utilizado una calculadora financiera de una página web, ya que para el cálculo de dicho indicador es necesario realizar una operación matemática compleja.

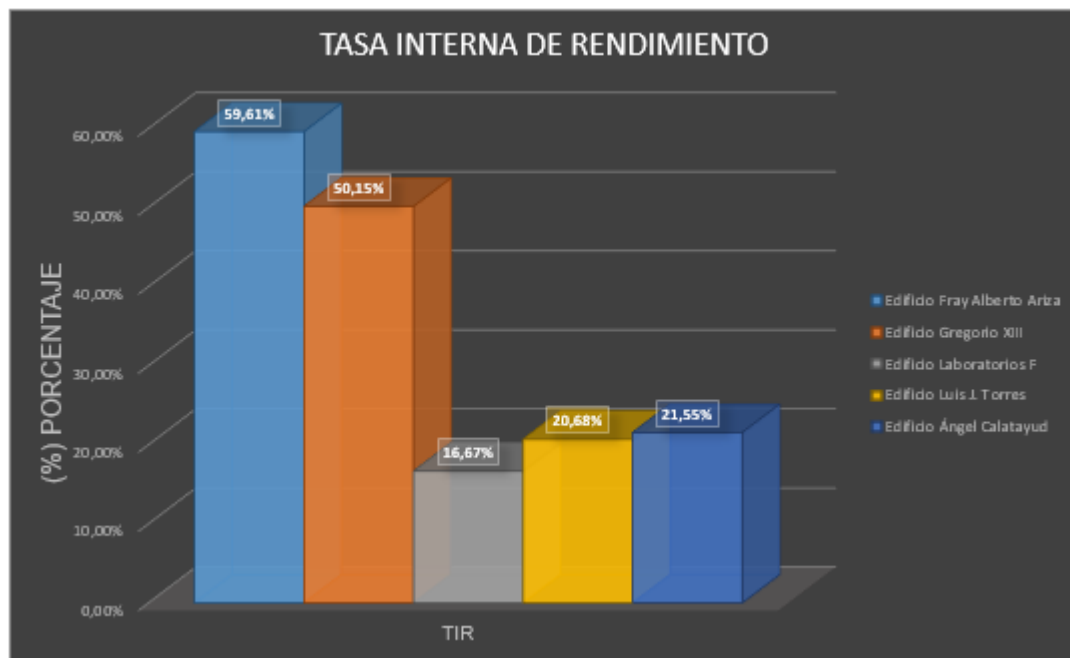
Se realizó la comparación gráfica de los resultados (Figura 23, Figura 24 y Figura 25), con el fin de evaluar la factibilidad económica en cada edificio de la universidad.

Figura 23 Comparación valor actual neto



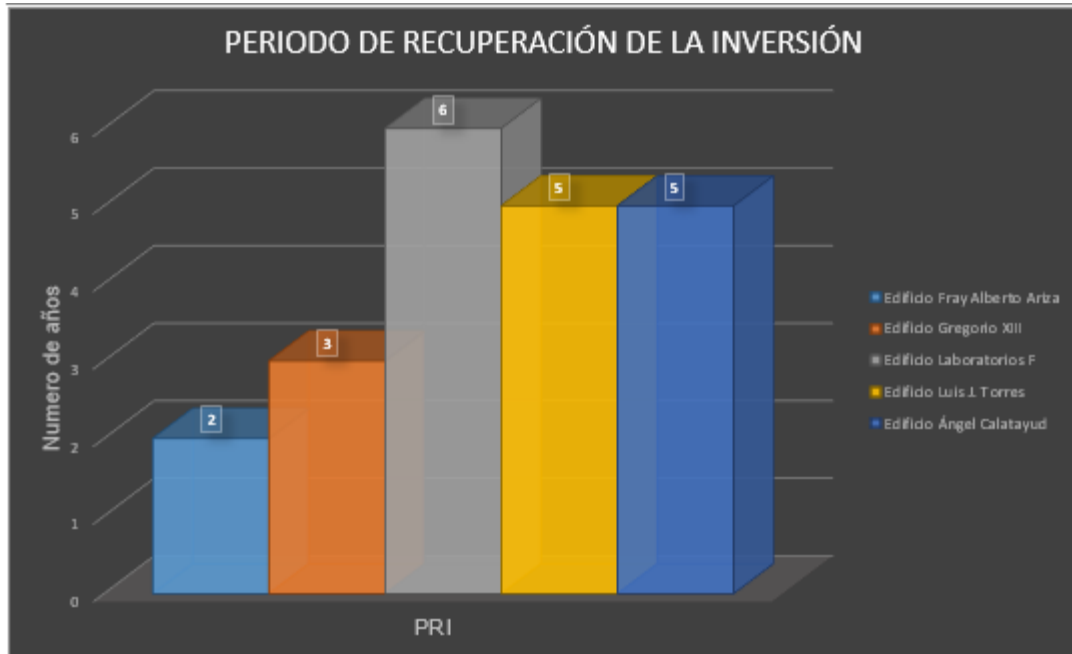
Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Comparación tasa interna de rendimiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Periodo de recuperación de la inversión



Fuente: Elaboración propia

Analizando el resultado de los indicadores económicos se aprecia que en tres de los cinco edificios (Laboratorio F, Luis J. Torres y Ángel Calatayud) no es factible la construcción del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias. Como se observa en las Figura 23 y

Figura 24 se puede apreciar que el resultado obtenido en dichos indicadores no es significativo, en cambio, en la Figura 25 el periodo de recuperación de la inversión es cercano a 6 años. Dicho lapso de tiempo no es tentador para los posibles inversionistas del proyecto.

La diferencia que tienen los otros dos edificios (Edificio Gregorio XIII y Fray Alberto Ariza) es que son los edificios con mayor cantidad de área de cubierta de la universidad, lo que facilita una mayor recolección de agua lluvia, volviéndolos económicamente factibles. Su periodo de recuperación de la inversión es de aproximadamente 3 años, lo cual es conveniente para su inversión.

El proyecto de grado fue propuesto por edificios por separado, ya que si fuera analizado como un solo sistema para abastecer toda la universidad no sería rentable. Debido a la complejidad de la construcción e instalación, es complicado encontrar el lugar óptimo para acomodar el tanque de almacenamiento. Por otra parte, se tendría que instalar más tubería para poder transportar toda el agua desde

el tanque de almacenamiento hasta el destino final, y la tubería desde los puntos de recolección hasta el tanque de almacenamiento.

### **8. Impacto social**

Es necesario poder contar con obras de ingeniería que puedan cumplir con objetivos de sostenibilidad, ya que es fundamental idear alternativas que puedan reducir los impactos ambientales negativos que se presentan en diferentes tipos de proyectos.

Los impactos ambientales esperados con la construcción del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en la sede central de la universidad están descritos en la Tabla 41.

*Tabla 41 Impactos ambientales esperados con la implementación del sistema*

Impactos positivos esperados	Impactos negativos esperados
Ahorro económico del servicio público del agua	Costo elevado de implementación
Reducción huella hídrica de la universidad	Complejidad en la construcción debido a la antigüedad del edificio
Edificación más sostenible	

*Fuente: Elaboración propia*

Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias tienen ventajas y a su vez desventajas, y es por ello que es importante analizar bien su estudio de factibilidad, con el fin de saber si es recomendable su implementación, dichas ventajas y desventajas están organizadas en la Tabla 42.

*Tabla 42 Ventajas y desventajas de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias*

Ventajas de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias	Desventajas de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias
Considerado un sistema sostenible y amigable con el medio ambiente	Depende mucho de su área descubierta, indispensable en su uso
Reducción de costos de agua potable	Cuando únicamente se le quiere dar uso doméstico, tiene que ser separado de la red de abastecimiento de agua potable
Mantenimiento simple	
Usualmente no tiene necesidad de energía para su funcionamiento	La oferta de agua lluvia depende de las características climatológicas de la zona
Sistema independiente	Alto costo inicial
Buena calidad físico química	

*Fuente: (Reyes & Rubio, 2014)*

## 9. Conclusiones

- ♣ Fue posible realizar el estudio de factibilidad económica de la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en la sede central de la universidad Santo Tomás. Se logró la evaluación de diferentes conceptos como la oferta de agua lluvia, demanda de agua cruda y una estimación de la evaluación económica para poder contestar el objetivo principal del proyecto.
- ♣ Al hacer el análisis de oferta-demanda en la zona de estudio inicial (Edificio principal de la sede central) se pudo observar que la oferta de agua lluvia no podría abastecer toda la demanda de la sede central en su totalidad. Por lo tanto, se tuvo la necesidad de plantear únicamente el sistema únicamente para abastecer el agua utilizada para limpieza y aseo de la universidad.
- ♣ El análisis de oferta-demanda muestra que el consumo de agua de uso no potable de la universidad excede la cantidad que se puede recoger por el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias propuesto. Debido a esto, no fue posible incluir la descarga de sanitarios en el uso del sistema.
- ♣ No es posible abastecer con agua lluvia toda la demanda de agua de fines no potables, como lo es el riego de zonas verdes, limpieza, aseo y descarga de sanitarios, ya que la demanda de agua es mayor a la oferta de agua lluvia. Esto se debe principalmente a la densidad poblacional que hay en la universidad, por lo tanto, el consumo de agua en descarga de sanitarios es bastante elevada.
- ♣ Todo el análisis de oferta, demanda, Pre-dimensionamiento y evaluación económica fue realizado por cada edificio independientemente, ya que esto puede ayudar a evaluar la factibilidad por separado, y da la posibilidad de implementar el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en los edificios que sea más conveniente y factible, y no necesariamente tener que implementar un único sistema que abastezca a toda la universidad.
- ♣ Analizando los indicadores económicos se puede concluir que los edificios que son más factibles económicamente para la implementación de este proyecto son el Fray Alberto Ariza y el Gregorio XIII. Ya que, las cubiertas de dichos edificios son las más grandes, y esto genera que se pueda recoger una mayor cantidad de agua lluvia en esos edificios particularmente, generando un mayor beneficio económico.
- ♣ Por otra parte, en los otros tres edificios (Laboratorios F, Luis J torres y Ángel Calatayud) no es tan factible económicamente la implementación de un

sistema de aprovechamiento de agua lluvia, ya que su costo inicial es demasiado elevado, y tardaría un lapso de tiempo largo (casi 10 años) en recuperar la inversión, lo que provocaría que no fuera tan tentador para los inversionistas del proyecto.

- ♣ Ya que el fin que se le quiere dar al agua cruda es de fines no potables, no se tiene la necesidad de realizar un tratamiento al agua. Únicamente se tendría que instalar una parrilla metálica de 3" con rejilla metálica, con el fin de que no pasen objetos grandes como hojas, basura, etc. Además de que los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos en el laboratorio de tratamientos de aguas no fueron tan alejados de la recomendación de la normativa.

## **10. Recomendaciones**

- ♣ Si se pretende hacer uso de los datos de las estaciones hidrometeorológicas de la empresa del Acueducto y Alcantarillado de la ciudad de Bogotá, se recomienda hacer la solicitud de la información con más de 6 meses de anticipación, ya que ese es el tiempo en promedio que se demora el área de hidrología básica de dicha empresa en contestar las solicitudes realizadas.
- ♣ Toda estructura del sistema donde se pretenda almacenar agua tiene la necesidad de cumplir con algunos requisitos de bioseguridad, con él tal de que no se pueda contaminar dicha agua, como lo es ser de un material impermeable para que no haya pérdidas de agua, también debe ser sellado para que no puedan ingresar animales, o particular de polvo o en su defecto que tenga contacto directo con los rayos solares.
- ♣ Es necesario hacer un dimensionamiento mucho más detallado para saber con mayor exactitud el precio exacto que costaría la implementación de este sistema. Ya que, el Pre-dimensionamiento superficial que se hizo en este proyecto sirve para tener más o menos una idea del valor, pero no para saber con certeza el precio real, ya que es necesario realizar muchas más investigaciones en campo para idealizar el planteamiento más efectivo del sistema.

## 11. Bibliografía

- Aguiar Hernandez, D., & Portela Cuevas, W. (2009). *Diseño y montaje del laboratorio de filtro lento de arena para agua potable*. Corporación universitaria minuto de Dios, Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil.
- Ahmed, W., Hamilton, K., Toze, S., Cook, S., & Page, D. (2019). A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls : Potential health risks and mitigation strategies. *Science of the total environment*, 692, 1304-1321. Obtenido de [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)
- Alves, L., Vazquez, E., Pecanha, L., & Naked, A. (2020). Proposal for Implementation of Green Roof Project Using the Wetland Technique. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 8(2), 13. Obtenido de <http://www.sdewes.org/jsdewes>
- Avila Olaya, K., & Garavito Realpe, N. (2016). *Diseño del programa de ahorro y uso eficiente de agua para la universidad santo tomás sede bogota, y formulación del plan para la gestión del riesgo ambiental para el campus san alberto magno*. Universidad Santo Tomás , División de ingenierías. Bogotá D.C.: Facultad de ingeniería ambiental.
- Awad, A., Al Bajari, F., & Al Adday, F. (11 de 2019). A Case Study on Rainwater Harvesting and Reuse in Jordan. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 7(11), 5. Obtenido de <http://www.warse.org/IJETER/static/pdf/file/ijeter017112019.pdf>
- Ballén Suarez, J., Galarza Garcia, M., & Ortiz Mosquera, R. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*.
- Berrio Rivero, J. P., & Mesa Angulo, J. (2019). *La universidad Santo Tomás en Cifras*. (D. d. comunicaciones, Ed.) Bogotá: Diseño, edición y producción grafica.

- Blacio Ordoñez, D., & Palacios Perez, J. (2019). *Filtros lentos de Arena*. Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Byrne, J., Anda, M., & Ho, G. (2019). Water sustainable house: Water auditing of 3 case studies in Perth, Western Australia. *Environmental Science*, 15.
- Castleton, H. F., Hathway, E. A., Murphy, E., & Marcus Beck, S. B. (04 de 04 de 2014). Monitoring performance of a combined water recycling system. *Engineering Sustainability*, 167, 11.
- Cerem Comunicación. (24 de 07 de 2019). *BENDITA AGUA DE LLUVIA*. Obtenido de Cerem - International business school: <https://www.cerembs.co/blog/bendita-agua-de-lluvia>
- COLEMPAQUES. (2020). *Colempaques*. Obtenido de <https://www.colempaques.com/almacenamiento-de-agua>
- Correa Sastoque, A. H. (2014). *Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en la universidad libre de Colombia, sede bosque popular, bloque P y cafetería*. Universidad Libre de Colombia, Facultad de ingeniería, Bogotá.
- Elriego.com. (2016). *Cálculo de las necesidades diarias de agua*. Obtenido de Todo el riego en internet desde 1990: <https://elriego.com/informacion-tecnica/calculos/calculos-agua-tiempos-riego/calculo-necesidades-diarias-agua/>
- Gerena Barreto, J., & Mora Gómez, M. (2017). *Evaluación de parámetros físicoquímicos en agua lluvia de escorrentía en tres puntos con tipos de suelo industrial, residencial y vehicular en bogotá con proyección a sistemas urbanos de drenaje sostenible*. Facultad de ingeniería ambiental. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás de Aquino.

- González, P. (19 de 04 de 2018). *Tourse*. Obtenido de Los países del mundo donde más llueve: <https://www.publico.es/viajes/los-paises-del-mundo-donde-mas-llueve/>
- Hsien Hsu, C., & Hung, C.-Y. (2019). Sustainable development of climate change resources : About recycling of water resources in Maple Park, Taichung, Taiwan. *E3S Web of Conferences*, 117(00016), 4. Obtenido de <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911700016>
- Jacoby Cureau, R., & Ghisi, E. (8 de 11 de 2019). Reduction of Potable Water Consumption and Sewage Generation on a City Scale : A Case Study in Brazil. *Water - MDPI*, 11(2351), 16.
- Lundy, L., Revitt, M., & Ellis, B. (2018). An impact assessment for urban stormwater use. *Developments in water management technologies and systems*, 25, 19259-19270.
- MABOGGIANO. (25 de 11 de 2019). *Columnistas*. Obtenido de Los 10 países con mayores reservas de agua dulce: <https://www.cronista.com/columnistas/Los-10-paises-con-mayores-reservas-de-agua-dulce-20191125-0037.html/>
- Manco Silva, D., Guerrero Erazo, J., & Morales Pinzón, T. (2016). *Estimación de la demanda de agua en centros educativos : Caso de estudio facultad de ciencias ambientales*. Universidad de caldas, Pereira.
- Martínez Candelo, G. (2013). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible "SUDS" como alternativa de control y regulación de las aguas lluvias en la ciudad de Palmira*. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C.: Facultad de Ingeniería.
- Meza Mosquera, E., & Marroquin Rincón, A. (2020). *Plan de aprovechamiento de aguas crudas para el campus San Alberto Magno de la universidad Santo Tomás*. Universidad Santo Tomás, División de ingenierías. Bogotá D.C.: Facultad de ingeniería civil.

- Miorando, T., Barbosa Brlao, V., & Girardelll, L. (2017). *Potabilização de água da chuva por ultrafiltração*. Passo Fundo: Eng Sanit Ambient.
- National geographic España. (21 de 3 de 2019). *Temas - Cambio Climatico*. Obtenido de Así afecta el cambio climático al agua del planeta: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/asi-afecta-el-cambio-climatico-al-agua-del-planeta\\_9947](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/asi-afecta-el-cambio-climatico-al-agua-del-planeta_9947)
- Ortiz Forero, W. A., & Velandia Bernal, W. D. (2017). *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la universidad católica de Colombia a partir de un modelo fisico de recolección de agua*. Universidad Catolica de Colombia, Facultad de ingenieria. Bogotá: Dirección de investigaciones.
- Ospina Tello, S., & Lenis Mejía, C. (2016). *Procedimiento para la evaluación económica de proyectos en la etapa de formulación*. Universidad de San Buenaventura. Santiago de Cali: Facultad de ingenierias.
- Palacio Castañeda, 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*. Universidad de Antioquia. Medellin: Escuela ambiental.
- Reyes , M. C., & Rubio, J. J. (2014). *Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias*. Universidad Católica de Colombia, Facultad de ingeniería Civil, Bogotá.
- Reyes, M., & Rubio, J. (2014). *Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias*. Universidad Catolica de Colombia. Bogota D.C.: Facultad de ingenieria Civil.
- Rodrigues, C. P., & Afonso, A. S. (2019). Reuse of resources in the use phase of buildings. Solutions for water. *IOP Conf. Series : Earth and Enviromental Science*, 225(012050), 9.

- RUVIVAL TEAM. (14 de 3 de 2019). *RUVIVAL*. Obtenido de Calculadora de Recolección de Agua de Lluvia: <https://www.ruvival.de/es/calculadora-recoleccion-de-agua-de-lluvia/>
- Sánchez Castaño, A. (2010). *Sistema de filtración para tratamiento de aguas lluvias*. Universidad Católica Popular del Risaralda, Facultad de arquitectura y diseño. Pereira: Programa de diseño industrial.
- Sandoval Betancour, G. (2016). *Ventajas económicas del aprovechamiento del agua lluvia*. Universidad de América. Bogotá: Equidad Desarro - Equidad & Desarrollo. doi:<http://dx.doi.org/10.19052/ed.3650>
- Suarez, J., Puertas, J., Cagiao, J., & Vazquez, F. (2000). *Contaminación aportada por medio de la red de pluviales a los medios acuaticos en sistemas de saneamiento separativo*. La Habana: Escuela Técnica superior de Ingenieros de Caminos, Canales. La coruña: Puertos Universidad de La Coruña,.
- UNATSABAR. (2001). *Agua sin fronteras*.
- Universidad Autonoma de Mexico. (2019). *Evaluación economica*. Ciudad de mexico: Facultad de economia.
- Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. (2020). *Sistemas de gestión ambiental*. Obtenido de Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvia: <https://comunidad.udistrital.edu.co/piga/sistemas-de-aprovechamiento-de-aguas-lluvia/>
- Villatoro , M., Henriquez, C., & Sancho, F. (2008). *Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo*. San José: Agronomía Costarricense. Obtenido de [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v32n01-095.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v32n01-095.pdf)

Wei, C., Xingcan, Z., & Tao, L. (2007). Considerations on the issue of water reuse in eastern China plain brooky regions. *Water Science & Technology*, 55, 387 - 395.

Woods, B., Wilson, Udale, C., Lilliman, & Scott. (2016). *The SuDS Manual*. England: Department for Environmental food & Rural Affairs.

## **12. Anexos**