

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA EL
APROVECHAMIENTO DE USO INSTITUCIONAL EN LA UNIVERSIDAD SANTO
TOMÁS SECCIONAL VILLAVICENCIO.



JUAN PABLO OCHOA MORA
LAURA ESTEFANÍA PARRADO DIAZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

VILLAVICENCIO

2024

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA EL
APROVECHAMIENTO DE USO INSTITUCIONAL EN LA UNIVERSIDAD SANTO
TOMÁS SECCIONAL VILLAVICENCIO.

JUAN PABLO OCHOA MORA

LAURA ESTEFANÍA PARRADO DIAZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título Ingeniero Industrial

Asesor

Mg. OSCAR IVAN VARGAS PINEDA

Magíster en Gestión Ambiental Sostenible

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
VILLAVICENCIO

2024

Autoridades Académicas

Padre Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

Padre Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

Padre José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

Padre Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Mg. HECTOR MANUEL AVILA SIERRA

Decano de la Facultad de Ingeniería Industrial

Agradecimientos

Un agradecimiento especialmente a Dios que hizo posible este trabajo, quien me guio con fortaleza y sabiduría para seguir adelante, a mi familia por su comprensión además de su apoyo a lo largo de mis estudios y a mi novia Estefani que me apoyaba a la dedicación de este proyecto de grado, al profesor Oscar Iván Vargas por su conocimiento que le dedico que hizo este trabajo posible, y a los demás docentes y todas las personas que me apoyaron para que se realizara de manera exitosa.

Juan Pablo Ochoa Mora – Laura Estefania Parrado Diaz

Contenido

Resumen	10
Abstract.....	11
Planteamiento del problema	12
Hipótesis o pregunta de investigación	14
Alcance o delimitación	15
Justificación	16
Objetivos.....	18
Objetivo General	18
Objetivos específicos.....	18
Marco Referencial	19
Marco Metodológico	30
- Tipo de Investigación.....	30
- Población y muestra.....	30
- Técnicas de recolección de datos.....	30
Etapas 1. Análisis del consumo de agua en la universidad:	32
Etapas 2. Determinación del potencial de oferta de agua lluvia disponible:.....	32
Etapas 3. Diseñar un sistema de captación de agua lluvia:	34
Resultados y Discusiones	35
Etapas 1. Análisis del consumo de agua en la universidad:	35
Etapas 2. Determinación del potencial de oferta de agua lluvia disponible:.....	37
Etapas 3. Diseñar un sistema de captación de agua lluvia:	46
Discusión	52
Conclusiones.....	54
Recomendaciones	56
Referencias bibliográficas	58

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Materiales básicos para construcción de sistemas fluviales	20
Tabla 2 Materiales para los techos	28
Tabla 3 Consumo de agua (m^3) por parte de la universidad entre el 2017 al 2023	35
Tabla 4 Medidas universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio Torre A y Torre B.....	38
Tabla 5 Metros cuadrados torre A y B.....	38
Tabla 6 Datos “NASA POWER Prediction Of Worldwide Energy Resources”	40
Tabla 7 Volumen mensual por mes Torre A de agua lluvia que se puede obtener m^3	42
Tabla 8 Volumen mensual por mes Torre B de agua lluvia que se puede obtener en m^3	44
Tabla 9 Torre A, Oferta vs demanda de agua en m^3	47
Tabla 10 Torre B, Oferta vs demanda de agua en m^3	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Ubicación de la Universidad Santo Tomas	15
Figura 2 Filtro de arena.....	20
Figura 3 Tubos UV	20
Figura 4 Filtros de cerámica	20
Figura 5 Carbón activado.....	20
Figura 6 Guía de diseño para captación de agua lluvia.	21
Figura 7 Los elementos no deseados que son transportados	22
Figura 8 Sistema de drenaje de agua lluvia	23
Figura 9 Mallas captadores de agua por medio de neblina.....	23
Figura 10 Mallas captadora de agua por medio de neblina	24
Figura 11 Esquema general de una captación y derivación de escorrentía	24
Figura 12 Cosecha de agua aprovechando los pendientes existentes	25
Figura 13 Perfil ideal del terreno con facilidades para la construcción.	26
Figura 14 Con lona triangular	27
Figura 15 The Texas Manual on Rainwater Harvesting.	28
Figura 16 Coeficiente de escorrentía	33
Figura 17 Consumo de agua anual desde el 2017 al 2023 m3.....	36
Figura 18 Consumo de agua anual desde el 2017 al 2023 m3.....	36
Figura 19 tomada por Juan Pablo Ochoa de Google Earth Pro – Torre A	38
Figura 20 tomada por Juan Pablo Ochoa de Google Earth Pro – Torre B.....	38
Figura 21 NASA POWER Prediction Of Worldwide Energy Resources.....	39
Figura 22 Datos obtenidos de la precipitación entre el año 2017 al 2023	39
Figura 23 datos de la precipitación tomados	40
Figura 24 volumen mensual por mes Torre A de agua lluvia que se puede obtener m3.....	43
Figura 25 volumen mensual por mes Torre B de agua lluvia que se puede obtener m3	45
Figura 26 Diseño del tanque de almacenamiento de agua lluvia.....	48

Figura 27 Filtro de Polietileno	48
Figura 28 funcionamiento de cada parte del filtro de polietileno	49
Figura 29 Simulación de la Torre A de la Universidad Santo Tomas	49
Figura 30 Simulación de la Torre A de la Universidad Santo Tomas	50
Figura 31 Simulación de la Torre A de la Universidad Santo Tomas	50
Figura 32 Simulación de la Torre A de la Universidad Santo Tomas	51

Resumen

La propuesta de investigación pretende diseñar un sistema de captación de aguas lluvia para la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, para mejorar la gestión de recursos hídricos (para uso de consumo institucional), promover la sostenibilidad ambiental y reducir la dependencia de fuentes externas de agua.

El sistema propuesto estará diseñado para recolectar y almacenar eficientemente el agua de lluvia, aprovechando las superficies de los edificios y áreas circundantes de la universidad. Se contemplará la instalación de canalizaciones, filtros y tanques de almacenamiento adecuados para garantizar la calidad del agua recolectada y su posterior uso en diversas actividades domésticas dentro de la institución donde los resultados nos arrojan resultados positivos donde el agua lluvia suple las necesidades completas de la universidad entre los meses de Junio y Julio ya que el agua lluvia tendría valores de $285,6 \text{ m}^3$ y $225,5 \text{ m}^3$ los cuales suplen la demanda de agua en la institución (Baños, Limpieza, Riego de jardines y áreas verdes, entre otros).

Para el diseño del sistema, se tomarán en consideración las características climáticas y geográficas de la región de Villavicencio, así como las necesidades específicas de agua de la universidad tiene un consumo promedio mensual desde 87 m^3 en enero hasta grandes consumos de 3409 m^3 en Diciembre por los motivos de limpieza total de la universidad, la universidad tienen altos consumos de agua en años como lo son 2021 y 2022 por la presencia completa de los estudiantes al regreso de las aulas dejando a un lado la pandemia. Se analizará la infraestructura existente y los requerimientos de agua de las áreas y edificaciones de la institución.

Palabras Clave: Captación, Gestión, Sostenibilidad, Almacenamiento, Universidad, Agua.

Abstract

The research proposal aims to design a rainwater harvesting system for the Santo Tomás University Villavicencio Section, to improve water resource management (for institutional consumption), promote environmental sustainability, and reduce dependence on external water sources.

The proposed system will be designed to efficiently collect and store rainwater, utilizing the surfaces of buildings and surrounding areas of the university. It will include the installation of pipelines, filters, and adequate storage tanks to ensure the quality of the collected water and its subsequent use in various domestic activities within the institution. The results show positive outcomes where rainwater meets the complete needs of the university between the months of June and July, as rainfall amounts to 285.6 m³ and 225.5 m³, which satisfy the water demand in the institution (bathrooms, cleaning, irrigation of gardens and green areas, among others).

For the system design, the climatic and geographical characteristics of the Villavicencio region will be taken into consideration, as well as the specific water needs of the university, which have a monthly average consumption ranging from 87 m³ in January to high consumptions of 3409 m³ in December due to the complete cleaning of the university. The university experiences high water consumption in years such as 2021 and 2022 due to the full presence of students returning to classrooms, leaving aside the pandemic. The existing infrastructure and water requirements of the institution's areas and buildings will be analyzed.

Key Word- Collection, Management, Sustainability, Storage, University, Water.

Planteamiento del problema

Colombia, un país conocido por su riqueza hídrica, enfrenta paradójicamente serios desafíos en la gestión de sus recursos de agua el cual El uso estándar de agua potable en Colombia se estima en 20 metros cúbicos por vivienda al mes, lo que equivale a unos 133 litros por habitante al día. En áreas urbanas con acceso a servicios de agua potable, el consumo típico es de alrededor de 200 litros por habitante al día, mientras que en zonas rurales es de aproximadamente 120 litros por habitante al día. (Carmen et al., 2015) además cabe resaltar que Según el Banco Mundial, en Latinoamérica, más de 300 millones de residentes urbanos generan alrededor de 225,000 toneladas de desechos sólidos diariamente. Sin embargo, menos del 5% de las aguas residuales urbanas reciben algún tipo de tratamiento. (Reynolds, 2002). A pesar de tener uno de los mayores promedios de precipitación anual en el mundo, la distribución del agua no es uniforme, y ciertas regiones experimentan sequías mientras otras sufren de exceso de agua. Este problema se agrava debido a la variabilidad climática y los efectos del cambio climático, que han intensificado los fenómenos extremos como lluvias torrenciales y prolongadas temporadas de sequía.

El manejo ineficiente del agua en diversas partes del país ha llevado a situaciones críticas donde la oferta de agua no puede satisfacer la demanda, afectando tanto a las áreas urbanas como rurales ya que, Según las cifras, aproximadamente 800 millones de personas carecieron de acceso a este recurso hídrico en el año 2014. Asimismo, se estima que entre 6 a 8 millones de seres humanos fallecen cada año a causa de fenómenos y enfermedades vinculados al agua (Arpasi et al., 2021). Las políticas públicas en Colombia han intentado abordar estos problemas a través de diversas estrategias, incluyendo la implementación de sistemas de almacenamiento de agua y la promoción de prácticas sostenibles donde Los sistemas de captación de agua de lluvia ofrecen una solución sostenible para el suministro de agua, enfatizando la importancia de las regulaciones para su implementación generalizada (Raimondi et al., 2023). Sin embargo, la aplicación y efectividad de estas medidas han sido dispares, dependiendo de factores locales y regionales.

Villavicencio, una ciudad ubicada en el piedemonte de la Cordillera Oriental, es un ejemplo claro de cómo estos problemas nacionales se manifiestan a nivel local. La ciudad depende en gran medida de fuentes externas para su suministro de agua, lo que la hace especialmente vulnerable a las fluctuaciones en la disponibilidad de este recurso. Además, su ubicación geográfica la expone

a frecuentes eventos climáticos extremos, como inundaciones y sequías, que complican aún más la gestión del agua por eso se presenta La recolección de agua de lluvia proporciona una fuente alternativa de agua potable y potable, reduciendo la escorrentía urbana de aguas pluviales y aumentando el suministro de agua (Ertop et al., 2023).

La expansión urbana y el crecimiento poblacional en Villavicencio han incrementado la demanda de agua, exacerbando la presión sobre las fuentes disponibles. Las infraestructuras de almacenamiento y distribución de agua a menudo no están a la altura de estas demandas crecientes, resultando en problemas de suministro intermitente y calidad del agua por eso es importante realizar una investigación rigurosa que demuestre la cosecha de agua lluvia como una solución viable.

En este contexto más amplio, la Universidad Santo Tomás de Villavicencio enfrenta un problema significativo debido a su alta dependencia de fuentes externas de agua. Esta situación genera altos costos operativos y hace a la institución vulnerable ante eventos climáticos extremos que afectan la disponibilidad de agua. La necesidad de gestionar eficientemente los recursos hídricos en la universidad se hace evidente para garantizar su sostenibilidad y eficiencia operativa.

La universidad, al ser una institución educativa de gran importancia regional, no solo sufre las consecuencias de esta dependencia, sino que también tiene la responsabilidad de servir como modelo de sostenibilidad para la comunidad. La implementación de un sistema de captación de agua lluvia se presenta como una solución viable y sostenible, que no solo reduciría los costos asociados con el consumo de agua, sino que también mejoraría la resiliencia de la institución ante interrupciones en el suministro de agua como una alternativa Implementar dispositivos de recolección de agua de lluvia, integrados con tecnología y monitoreo en tiempo real a través de smartphones, puede mejorar significativamente la resiliencia de la institución ante interrupciones en el suministro de agua. Esta solución permite un seguimiento constante de la calidad del agua y facilita la rápida corrección de problemas (Sukma et al., 2023).

Hipótesis o pregunta de investigación

En este sentido, se plantea la siguiente pregunta de investigación, ¿Cómo la implementación de un sistema de recolección de agua lluvia impacta la relación de oferta y demanda de agua a nivel mensual en la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio?

Alcance o delimitación

La aplicación del proyecto se delimitará a la universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio, siendo sus coordenadas las siguientes 4.121556134709358, -73.61549852281358 el cual se calcula un registro de 3.417 estudiantes activos en el 2024, a partir de esos se podrá calcular datos de consumo de agua mensualmente desde el 2017 al 2023.

Figura 1 Ubicación de la Universidad Santo Tomas



Nota: La imagen fue tomada mediante la aplicación de Google Earth Pro

Justificación

En una región propensa a eventos climáticos extremos, como la ciudad de Villavicencio, Meta, donde se encuentra ubicada la Universidad Santo Tomas de Aquino, es crucial abordar una solución viable para el suministro de agua en el campus universitario ya que según Las fuentes de agua que proveen a una comunidad pueden ser la lluvia, aguas superficiales o subterráneas. Sin embargo, el agua tratada para consumo humano generalmente proviene de fuentes superficiales. (Cristina & Camacho, 2011). Esta institución educativa se enfrenta a diversas oportunidades para la recolección y tratamiento de aguas. En este contexto, la realización de un estudio para implementar un sistema de cosecha de agua lluvia emerge como una necesidad apremiante con múltiples razones que respaldan su importancia.

Al aprovechar la infraestructura existente y la tecnología adecuada, podemos capturar y almacenar eficientemente el agua de lluvia para su posterior uso en actividades domésticas y otras necesidades de la universidad. Este enfoque no solo reducirá nuestra vulnerabilidad ante interrupciones en el suministro de agua, sino que también contribuirá a la conservación de los recursos hídricos locales y aliviará la presión sobre el presupuesto institucional. Además, con la infraestructura adecuada para la cosecha de agua lluvia tiene un impacto directo en la sostenibilidad y la eficiencia operativa de la universidad. La implementación de un sistema de recolección y tratamiento de agua lluvia no solo ayudaría a mitigar los riesgos asociados con la escasez de agua, sino que también promovería prácticas ambientalmente responsables y la gestión eficiente de los recursos naturales. Esta medida no solo contribuiría a la resiliencia de la institución frente a eventos climáticos extremos, sino que también sentaría un precedente positivo en términos de sostenibilidad y responsabilidad social. Por otro lado, la adopción de un sistema de cosecha de agua lluvia ofrecería beneficios económicos tangibles para la universidad. Reducir la dependencia de fuentes externas de agua y minimizar los costos asociados con el consumo de agua para saneamiento e higiene, así como los servicios de suministro de agua, permitiría a la institución asignar recursos financieros de manera más eficiente y efectiva. La implementación de prácticas de conservación del agua no solo reduciría los costos operativos a largo plazo, sino que también

fortalecería la posición financiera de la universidad y su capacidad para cumplir con su misión educativa y de investigación.

La realización de este estudio es crucial para abordar la problemática del suministro de agua en la Universidad Santo Tomas de Aquino. La implementación de un sistema de cosecha de agua lluvia no solo ayudaría a mitigar los riesgos asociados con eventos climáticos extremos y la escasez de agua, sino que también promovería la sostenibilidad, la eficiencia operativa y la estabilidad financiera de la institución. En última instancia, esta medida contribuiría al bienestar de la comunidad universitaria y al cumplimiento de la misión educativa y de servicio público de la universidad.

Objetivos

Objetivo General

Proponer un sistema de captación de agua lluvia para el aprovechamiento de uso institucional en la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio.

Objetivos específicos

Cuantificar la demanda de uso de agua para las actividades institucionales a escala mensual en la Universidad Santo Tomás.

Determinar el potencial de oferta de agua lluvia disponible para el uso institucional en la Universidad Santo Tomás.

Diseñar un sistema de captación de agua lluvia que considera la relación de oferta y demanda de consumo agua de la Universidad.

Marco Referencial

El constante crecimiento poblacional, industrial, entre otras actividades ha conllevado a generar altos consumos de agua a lo largo de las grandes ciudades en Latinoamérica. Las fuentes de agua que satisfacen las necesidades de una población pueden derivar de diversas fuentes, ya sea la lluvia, cuerpos de agua en la superficie o reservas subterráneas. El agua que se somete a procesos de tratamiento para ser consumida directamente por los humanos generalmente proviene de fuentes superficiales, como ríos, lagos o embalses. (Cristina & Camacho, 2011).

La preferencia por el tratamiento de aguas superficiales para uso doméstico subraya la necesidad de establecer sistemas de cosecha de aguas efectivos según datos. La práctica de la recolección de agua de lluvia se remonta a la antigüedad, lo que demuestra su eficacia de larga data en la agricultura durante más de 9000 años (Gunawan et al., 2020). Enfocarse en desarrollar y aplicar tecnologías de tratamiento adecuadas es crucial para asegurar el acceso constante a agua de calidad y abordar desafíos hídricos en la comunidad tomasina, además hay que aprovechar estas fuentes hídricas superficiales como alternativa para una mejor opción y llevarla a la población. (Fao, 2013)

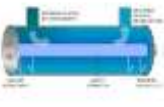
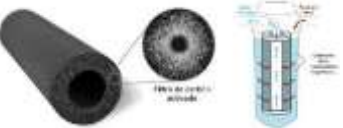
El acceso sostenible a las aguas pluviales como alternativa es un desafío crítico que se debe de evaluar en todo aspecto para poder llevar esta nueva posibilidad a los estudiantes. Los sistemas de captación de agua de lluvia pueden diseñarse ya sea como sistemas descentralizados o centralizados, con un estudio que muestra que cuando el agua de lluvia se usaba únicamente para la descarga de inodoros, tanto los sistemas descentralizados como los centralizados tenían altas eficiencias de ahorro de agua de 80% y 79%, respectivamente (Słyś & Stec, 2020), directivos y personal en la universidad que participe de cualquier actividad que incluya el uso del agua doméstica en la universidad tanto como ya que la recolección de agua de lluvia puede ayudar a aliviar los problemas de escasez de agua, especialmente cuando se combina con enfoques de desarrollo de bajo impacto como techos que contribuyen al fácil acceso de la recolección de agua lluvia (Bañas et al., 2023).

El sistema que capta agua lluvia o mejor conocida como “cosecha de agua de lluvia” es una práctica que se emplea para situaciones donde el agua sea escasa puesto a esto el funcionamiento es el siguiente: Se hace uso de canaletas las cuales el agua se conduce por medio de tuberías a un tanque de almacenamiento. Adicionalmente, el sistema de cosecha de agua lluvia

se pueden diseñar con un filtro de arena donde asegura que el agua tenga la calidad que se requiere para el uso doméstico. (Fao, 2013)

Algunos materiales básicos para los tratamientos para la cosecha de agua pueden ser:

Tabla 1 materiales básicos para construcción de sistemas fluviales

FILTRO DE ARENA	TUBOS UV	FILTROS DE CERAMICA	CARBON ACTIVADO
Son filtros que purifican el agua son los más habituales y también requieren un menor mantenimiento.	Mediante su efecto bactericida pueden matar todo tipo de patógeno presentes en el agua.	Son dispositivos de agua para eliminar impurezas para el uso doméstico.	Son filtros utilizados con carbón para la adsorción de microorganismos y purificar y tratar el agua para forma doméstica.
<i>Figura 2 Filtro de arena</i> 	<i>Figura 3 Tubos UV</i> 	<i>Figura 4 Filtros de cerámica</i> 	<i>Figura 5 Carbón activado</i> 

De los cuales podemos encontrar un sistema de captación de agua lluvia básicos como lo muestra ver la Figura 6 donde la mayoría de los dispositivos de recolección se instalan en las partes superiores de las estructuras, las cuales deben cumplir ciertas condiciones particulares, como se evidencia en la ilustración número uno. Se requiere una inclinación adecuada (no menor al 5%) (Alba & Moreno, 2016) y una superficie propicia que favorezca el flujo del agua de lluvia hacia el sistema de captación, tal y como se ilustra en la imagen número uno:

Figura 6 Guía de diseño para captación de agua lluvia.



Nota: Tomado de (Alba & Moreno, 2016)

Figura 7 proporcionadas por (Pizarro et al., 2015) ilustran detalladamente el proceso de utilización de un tramo de tubería de PVC en la conformación de un componente específico. Además, se muestra de manera clara y precisa cómo se lleva a cabo el vaciado de este componente, utilizando un balde situado estratégicamente en la parte inferior del mismo. Es esencial destacar que estas representaciones visuales ofrecen una valiosa guía práctica, permitiendo comprender de manera efectiva cada etapa del proceso y facilitando la implementación adecuada de dichas técnicas (Alba & Moreno, 2016).

Figura 7 Los elementos no deseados que son transportados en el primer lavado se almacenan en un contenedor preliminar.



Nota: Adaptado de (Pizarro et al., 2015)

Se aprovecha el uso de techos como superficies para la captación de agua, la cual es dirigida a través de canaletas, tuberías y bajantes hacia diversos sistemas de almacenamiento. En cuanto al interceptor del primer lavado (o primeras aguas), se describe lo siguiente:

En Figura 8 (Lukes & Kloss, 2008) se empleó de un barril o caneca plástica para la construcción de este componente.

Figura 8 Sistema de drenaje de agua lluvia



Nota: Tomado de (Lukes & Kloss, 2008)

En las Figura 9 y Figura 10 las redes de niebla consisten en sistemas compuestos por mallas o telas que se fijan a estructuras hechas de madera o PVC. Estas redes tienen la función de condensar el vapor de agua hasta que se formen gotas, las cuales son recogidas a través de la malla o tela y dirigidas hacia una canaleta adosada en la parte inferior de la estructura. Esto facilita el transporte del agua hasta el lugar de almacenamiento.

Figura 9 Mallas captadores de agua por medio de neblina



Nota: Tomado de (Duque Márquez et al., 2020)

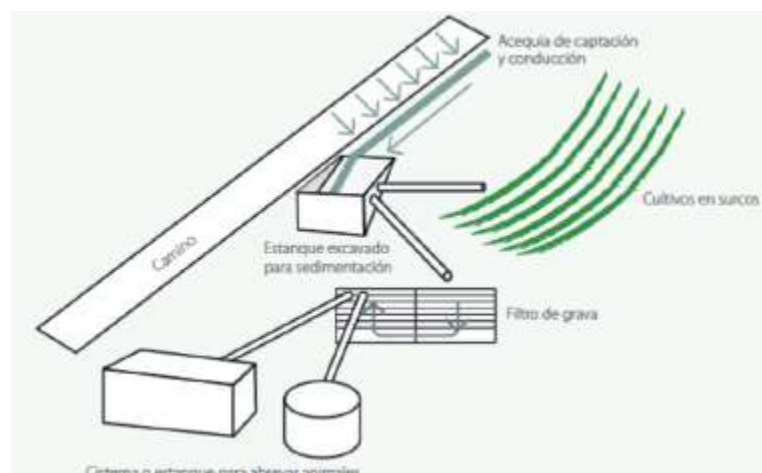
Figura 10 Mallas captadora de agua por medio de neblina



Nota: Tomado de (Duque Márquez et al., 2020)

En la Figura 11 esquematiza la utilización de caminos como superficie para la captación de agua, mostrando su potencial uso a nivel rural para actividades como el riego, abrevadero de animales y otras aplicaciones similares.

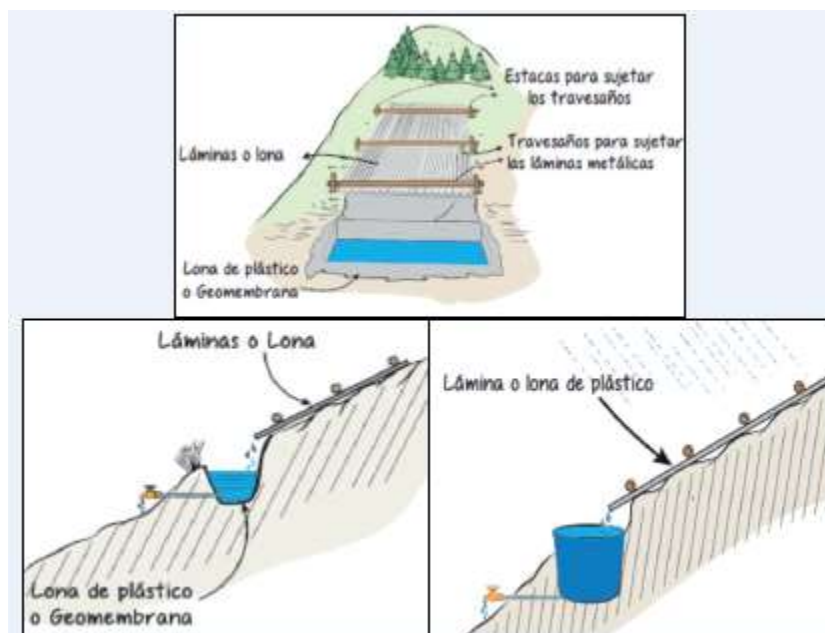
Figura 11 Esquema general de una captación y derivación de escorrentía a lo largo de camino hacia diferentes finalidades de uso.



Nota: Tomado de (Fao, 2013)

En Figura 12 las áreas de pendiente o terrenos inclinados que permiten su adecuada implementación, los sistemas de captación se distinguen por el uso de láminas galvanizadas, plásticas o geomembranas para crear una superficie receptora. Esta superficie facilita la conducción directa del agua de lluvia hacia un reservorio excavado en la tierra y revestido con geomembrana, o hacia tanques de almacenamiento. (Hirozumi, 2015)

Figura 12 Cosecha de agua aprovechando los pendientes existentes (Opción 1 - Con reservorio pequeño tipo zanja)

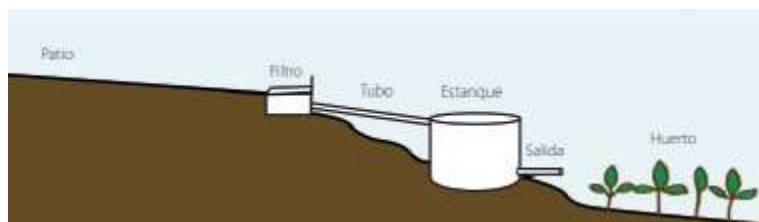


Nota: Tomado de (Hirozumi, 2015)

En Figura 13 proporcionada por (Fao, 2013), se aprecia la utilización de un patio que ha sido impermeabilizado y adecuadamente conformado para almacenar agua de lluvia destinada al riego de un huerto. Lo que es importante resaltar Los sistemas inteligentes de recolección de agua

de lluvia pueden incorporar sensores de humedad del suelo para garantizar que los cultivos reciban niveles óptimos de agua, mejorando la productividad agrícola (Verma, 2021).

Figura 13 Perfil ideal del terreno con facilidades para la construcción de un sistema de captación con superficie impermeable.



Nota: Tomado de (Fao, 2013)

En Figura 14 proporcionadas (Hirozumi, 2015), se muestran sistemas artesanales en los que se construye una estructura utilizando materiales locales como madera, postes, árboles del entorno u otros elementos que aseguran la estabilidad de la superficie. Esta estructura está diseñada para crear una superficie de captación de baja permeabilidad, utilizando láminas, geomembranas, plástico, madera u otros materiales disponibles.

El agua de lluvia es recolectada directamente en la parte inferior del sistema, donde se encuentra ubicado el área de almacenamiento, que puede consistir en canecas, baldes, tanques plásticos, entre otros recipientes.

Así mismo como en otros países que se apoyan con métodos innovadores de cosecha de agua lluvia siendo Chaukas, una técnica tradicional de RWH en Rajastán, consiste en construir estanques de infiltración para apoyar las tierras pastorales durante las estaciones secas, permitiendo

que el exceso de agua de lluvia recargue las aguas subterráneas y evite la contaminación (Rawat et al., 2023).

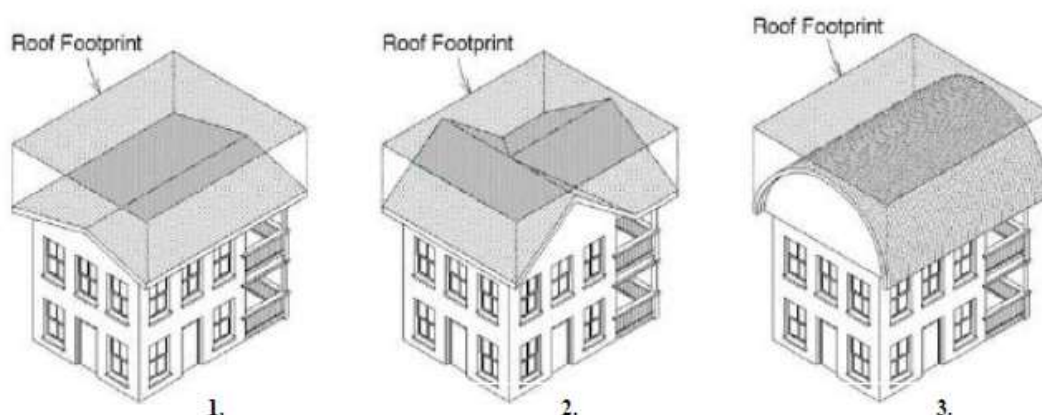
Figura 14 Con lona triangular



Nota: Tomado de (Hirozumi, 2015)

Es crucial considerar el diseño y la construcción del techo. Ver la Figura 15 se presentan tres diseños adecuados para implementar un sistema de recolección efectivo. El promedio diario de agua de lluvia cosechada durante una semana en el estudio se calculó en 2286.3 litros, mostrando el potencial de suministro constante de agua para los cultivos (Musa et al., 2022).

Además de eso se presentan diferentes tecnologías y técnicas de los sistemas de agua lluvia en otros Países que aportan significativamente a estas investigaciones donde presentan datos relevantes como técnicas RWH ha sido fundamental para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes mediante la conservación del suelo y el agua. Esta práctica no solo ha aumentado la productividad del agua en cultivos como Fruta de la Uva, Limón de China, Lima Dulce, Rojo Sangre y Phalsa, sino que también ha alentado a las comunidades locales a adoptar prácticas agrícolas sustentables (Singh et al., 2019). Los cuales se difiere que El agua de lluvia ha sido históricamente una fuente primaria de agua potable en muchas regiones, especialmente en áreas donde las fuentes naturales de agua están contaminadas (Huang et al., 2021).

Figura 15 The Texas Manual on Rainwater Harvesting.

Nota: Tomado de (Alba & Moreno, 2016)

A consideración de los diferentes tipos de materiales de techos que se encuentran:

Tabla 2 Materiales para los techos

MATERIALES PARA LOS TECHOS
Tejas de arcilla
Techos en madera
Techos en paja
Techos de cemento
Teja de aluminio
Teja plástica

Nota: Tomado de (Alba & Moreno, 2016)

Este cuadro detalla los materiales más frecuentemente empleados en la edificación de cubiertas en diversos entornos, como viviendas, garajes, cobertizos, gallineros, almacenes y graneros, entre otros. Algunos de estos materiales son ampliamente preferidos en la construcción debido a su luminosidad, economía y durabilidad.

Aunque las tejas de cemento y aluminio son opciones adecuadas para recoger agua de lluvia para usos como limpieza en garajes y hogares, no se recomienda su utilización para regar cultivos, jardines, ni para el consumo humano o animal. Esto se debe a que estos materiales pueden liberar sustancias tóxicas que se disuelven en el agua de lluvia recolectada, representando un riesgo para

la salud de personas y animales expuestos. Por lo tanto, es importante evitar el uso de estas aguas residuales en actividades que impliquen contacto con seres vivos o su consumo directo o indirecto. (Alba & Moreno, 2016).

Cabe resaltar que Se proyecta que cerca de 6 mil millones de personas vivirán en condiciones limitadas de disponibilidad de agua para 2050, lo que enfatiza la necesidad de una gestión sostenible del agua (Singh et al., 2019) donde es importante resaltar que un sistema de recolección de agua lluvia sirve como una oportunidad ante estas criticas situaciones que vive el planeta y enfrentar la situación que vive la región antes las sequias y fuertes lluvias que de alguna u otra manera afectan.

Marco Metodológico

- Tipo de Investigación

El presente proyecto se considera como una investigación de tipo descriptivo observacional por las siguientes razones:

- Enfoque descriptivo:

El objetivo principal del proyecto es describir y diseñar un sistema de captación de agua lluvia para la universidad, sin manipular o controlar variables. Se busca caracterizar y cuantificar aspectos como la demanda de agua, el potencial de oferta de agua lluvia, y las características del sistema de captación requerido.

- Observacional:

- La investigación no implica una intervención o experimento por parte de los investigadores, sino que se basa en la observación y análisis de datos existentes.
- Los investigadores recopilan información sobre el consumo de agua, las condiciones climáticas, las características de las instalaciones, etc., sin realizar ninguna manipulación.

- Población y muestra

La población que se le realizara el análisis del proyecto es a los estudiantes (3.417 estudiantes activos en el 2024), y personal académico.

- Técnicas de recolección de datos

Para este proyecto se utilizaron las siguientes técnicas para la recolección de datos del proyecto:

- **Análisis documental:**

- Revisión de registros y bases de datos existentes sobre el consumo de agua de la universidad a lo largo de los años.
- Consulta de informes, estudios previos o planes relacionados con la gestión del agua en la institución.
- Recopilación de información sobre las características climáticas y de precipitación de la región, a través de fuentes oficiales como de la NASA.

- **Análisis geoespacial:**

- Utilización de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG), como Google Earth Pro, para medir y mapear las áreas de captación potenciales.
- Integración de datos climáticos, de infraestructura y de consumo de agua en un entorno SIG para facilitar el análisis y la toma de decisiones.

La combinación de estas técnicas permitirá a los investigadores recopilar información cuantitativa y cualitativa, logrando un conocimiento integral de la situación actual de la universidad en términos de gestión del agua. Esto sentará las bases para un diseño efectivo del sistema de captación de agua lluvia, adaptado a las necesidades y características específicas de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio.

- **Análisis de datos**

La combinación de estas técnicas permitirá a los investigadores recopilar información cuantitativa y cualitativa, logrando un conocimiento integral de la situación actual de la universidad en términos de gestión del agua. Esto sentará las bases para un diseño efectivo del sistema de captación de agua lluvia, adaptado a las necesidades y características específicas de la

Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio. Las siguientes métricas de estadística descriptiva se usarán en el proyecto, las cuales son:

- Medidas de tendencia central: Media, promedio de un conjunto de datos con el fin de analizar la variabilidad que hay a lo largo de meses y años.
- Gráficos y visualización de datos: Histogramas y gráficos de dispersión para una mejor visualización de los datos y sus valores.

Etapla 1. Análisis del consumo de agua en la universidad:

En primera instancia se realizó una solicitud a registro y control para la toma de datos sobre el consumo mensual-anual de agua de la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio, cuando se recibió la información se hizo análisis riguroso-descriptivos desde el año 2017 al año 2023 el cual este análisis se ubica en la parte de resultados, al igual la tabla se usará para el proceso de hallar la demanda vs la oferta que se requiere para el sistema fluvial.

Etapla 2. Determinación del potencial de oferta de agua lluvia disponible:

Se calculará la cantidad mensual de agua de lluvia que podría recolectarse mediante el sistema instalado. Esta estimación se basó en datos como la precipitación, el área de la superficie de la cubierta y un coeficiente de escorrentía 0.9 (Lima, 2004).

$$VR = \frac{(R * Hra * Rc)}{1000}$$

Donde;

VR: es el volumen mensual de agua de lluvia que podría obtenerse en el sistema (m3)

R: es la precipitación mensual (mm), considerando:

$$1 \text{ mm precipitación} = 1 \frac{L}{m^2}$$

Hra: es el área neta de captación (m^2)

Rc: es el coeficiente de escorrentía (adimensional), y depende del material que se presenta en la Figura 16.

El coeficiente de escorrentía se toma bajo parámetros por el cual se le hacen análisis a los materiales que se manejan y según esto se toma la decisión de utilizar dicho valor el cual, Al gestionar eficazmente la escorrentía, se pueden almacenar y reutilizar volúmenes significativos de agua, mejorando la sostenibilidad del agua y protegiendo los ecosistemas naturales (Waqas et al., 2022).

Figura 16 Coeficiente de escorrentía

Material / tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía
Teja (lámina plástica, metálica galvanizada, asbesto cemento)	0.9
Teja de arcilla cocida	0.8-0.9
Madera	0.8
Paja	0.6-0.7
Pisos cementados	0.9
Piso pavimentado con ladrillo	0.8

Nota: Tomado de Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2022

1000: es el factor de conversión de litros a m^3 .

La determinación del área (Hra) se realizaron mediante toma de medidas de las superficies techadas de la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio por medio de la aplicación Google Earth Pro por el cual se hizo uso de herramientas dentro de la aplicación lo cual facilito dicho proceso. Se tomo esta alternativa ya que en múltiples ocasiones se buscó el medio de pedir los planos para mayor precisión, dado a esto, surgió la posibilidad por medio de la aplicación anteriormente mencionada tomar las respectivas medidas tanto de la Torre A y la Torre B de la Universidad.

Ya hallada las medidas y el coeficiente de escorrentía, se procede a hacer la toma de análisis de datos para hallar la precipitación del área en la que se sitúa la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio con las siguientes coordenadas 4.121556134709358, -73.61549852281358.

Mediante el proyecto de la NASA llamado “NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources” es una iniciativa de la NASA que ofrece una plataforma en línea para acceder y analizar datos relacionados con la energía y el clima en todo el mundo. Este proyecto recopila información de diversas fuentes, como satélites y estaciones meteorológicas, para proporcionar datos precisos sobre la radiación solar, la velocidad del viento, la temperatura y otros factores ambientales importantes. Estos datos son valiosos para una variedad de aplicaciones, como la planificación de proyectos de energía renovable, la investigación climática y la evaluación de recursos energéticos. Con dicho sistema se procede a tomar los datos de precipitación del año 2017 al 2022 para poder continuar con la formulación de la ecuación y hallar los resultados esperados.

Finalmente se determinó un índice de estrés hídrico el cual proporciona una medida de la relación entre la oferta y la demanda de agua, permitiendo identificar áreas donde la precipitación del agua que cae sea especialmente alta. Calculado mediante la comparación entre la disponibilidad total de agua y su uso por parte de las actividades humanas y el ecosistema. Un alto índice de estrés hídrico indica que la demanda supera con creces la oferta.

Etapas 3. Diseñar un sistema de captación de agua lluvia:

Inicialmente, se procedió a la confección de una matriz de demanda abarcando el período comprendido entre 2017 y 2022, utilizando los datos provistos por la institución académica. Posteriormente, mediante una formulación matemática, se procedió a la recopilación de cada variable relevante. Entre los parámetros indispensables para esta formulación se incluía la precipitación, cuyos datos fueron obtenidos a través de la aplicación de la NASA, como se había mencionado con antelación. Esto permitió realizar el índice de estrés hídrica en el período estudiado y organizar los valores de manera sistemática.

Como culminación del análisis, se determinó la ubicación adecuada de donde se situaría el tanque con sus respectivas medidas y su filtro purificador y así con un programa el cual fue utilizado para diseñar planos que simulan la ubicación óptima del tanque colector de agua y la selección del filtro adecuado para el tratamiento del recurso hídrico visualizar de una mejor manera la ubicación. Este enfoque garantiza que el agua tratada sea apta para su uso en las diversas actividades de la institución, contribuyendo así a la gestión eficiente de los recursos hídricos disponibles.

Resultados y Discusiones

En los resultados se realizará 3 etapas las cuales contestara de manera directa los objetivos propuestos en el proyecto el cual se realizan de manera organizada y explicando el paso a paso del desarrollo de la metodología del trabajo.

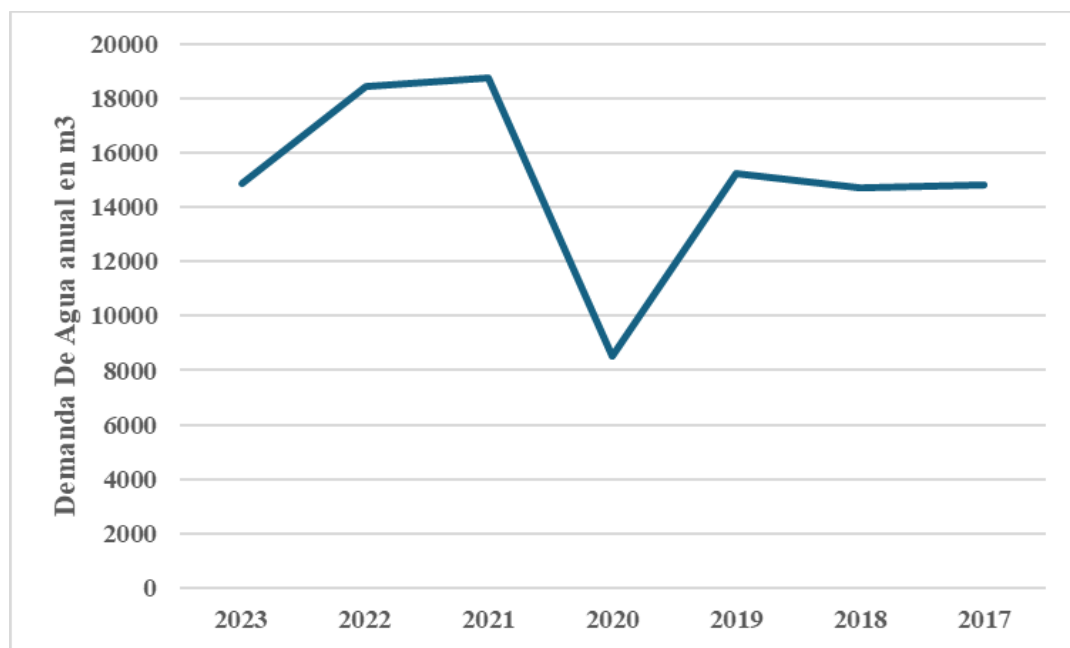
Etapla 1. Análisis del consumo de agua en la universidad:

En los siguientes resultados, se realiza, desde la primera etapa, la cuantificación del consumo de agua (la demanda de consumo de agua) en la Universidad. Posteriormente, con los datos recolectados, se determina el potencial de oferta de agua lluvia mediante una ecuación, donde se obtiene el límite que se debe tener en cuenta para construir el tanque para el sistema de captación fluvial. Posterior a ello, se inicia con el análisis de la demanda de agua en la Universidad.

Cuando fueron suministrados los datos de la demanda de agua que se demanda desde el 2017 al 2023 por el personal de la Universidad Santo Tomás Seccional De Villavicencio, fueron los siguientes.

Tabla 3 Consumo de agua (m³) por parte de la universidad entre el 2017 al 2023

ÑO	NE	EB	AR	BR	AY	UN	UL	GO	EP	CT	OV	IC	ÑO
023	80	21	048	662	98	403	585	21	21	86	812	931	4868
022	10	17	531	649	671	623	74	483	633	608	08	409	8416
021	7	63	96	18	86	97	41	519	593	489	857	06	8752
020	169	141	590	78	63	27	27	82	37	42	61	4	511
019	256	269	181	131	718	072	340	452	482	08	028	70	5207
018	069	116	409	358	637	030	27	800	800	79	331	70	4705
017	75	24	933	007	85	05	072	138	636	823	669	069	4836

Figura 17 Consumo de agua anual desde el 2017 al 2023 m3*Figura 18 Consumo de agua anual desde el 2017 al 2023 m3*

Según los resultados obtenidos de la demanda se puede deducir que:

- **Tendencias Anuales:** Se puede observar una variabilidad en el consumo de agua a lo largo de los años. El consumo parece haber aumentado de manera general desde 2017 hasta 2022, con algunas fluctuaciones notables en ciertos meses. Sin embargo, en 2023, se registra una disminución significativa en el consumo total comparado con el año anterior. Esta tendencia podría ser indicativa de cambios en las políticas de gestión del agua, mejoras en la eficiencia de uso del recurso, o incluso factores externos como condiciones climáticas.
- **Variabilidad Mensual:** Dentro de cada año, se observan fluctuaciones marcadas en el consumo de agua de un mes a otro. Por ejemplo, en algunos años, los meses de verano tienden a tener un consumo más alto, lo cual podría atribuirse a un aumento en las actividades relacionadas con la agricultura, el riego de jardines o el uso intensivo del agua en instalaciones deportivas durante esa temporada. Identificar estas variaciones mensuales puede ser crucial para desarrollar estrategias de gestión del agua más efectivas y para anticipar picos de demanda.
- **Estacionalidad:** La estacionalidad en el consumo de agua también es evidente en esta tabla. Los meses de invierno suelen tener un consumo menor en comparación con los meses de verano, lo cual puede deberse a una menor necesidad de riego o a una reducción en las actividades al aire libre que requieren agua.

Etapas 2. Determinación del potencial de oferta de agua lluvia disponible:

Posterior se hizo la toma de medidas con la aplicación de Google Earth Pro para poder hallar las respectivas medidas de los tejados de la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio que fueron las siguientes:

Figura 19 tomada por Juan Pablo Ochoa de Google Earth Pro – Torre A



Figura 20 tomada por Juan Pablo Ochoa de Google Earth Pro – Torre B



Según la información presentadas en las Figura 19 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** pudimos hallar las siguientes medidas:

Tabla 5 resultados hallados de las respectivas medidas de la universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio Torre A y Torre B

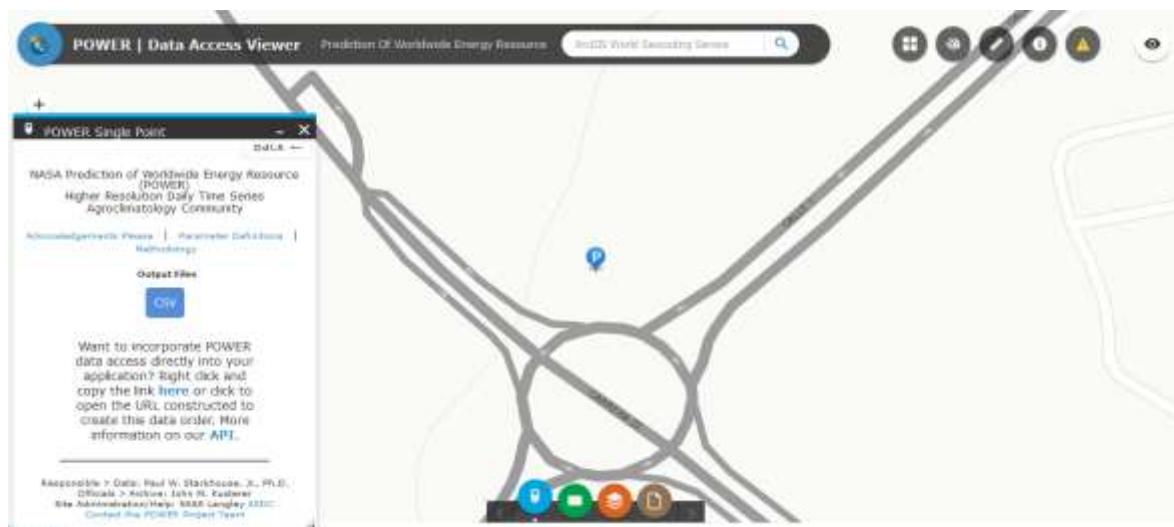
Tabla 4 Metros cuadrados torre A y B

TORRE A	TORRE B
Superficie total: 1.060,16 m ²	Superficie total: 2.076,75 m ²

Los cuales evidenciamos hallamos lo que fue el área total en metros cuadrados (m^2) del tejado de la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio para poder cumplir con una variable que la ecuación requiere.

Posterior se realiza la toma de datos mediante la página de la NASA:

Figura 21 NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources



Donde los datos que fueron arrojados por la aplicación fueron los siguientes:

Figura 22 Datos obtenidos de la precipitación entre el año 2017 al 2023 de la NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources

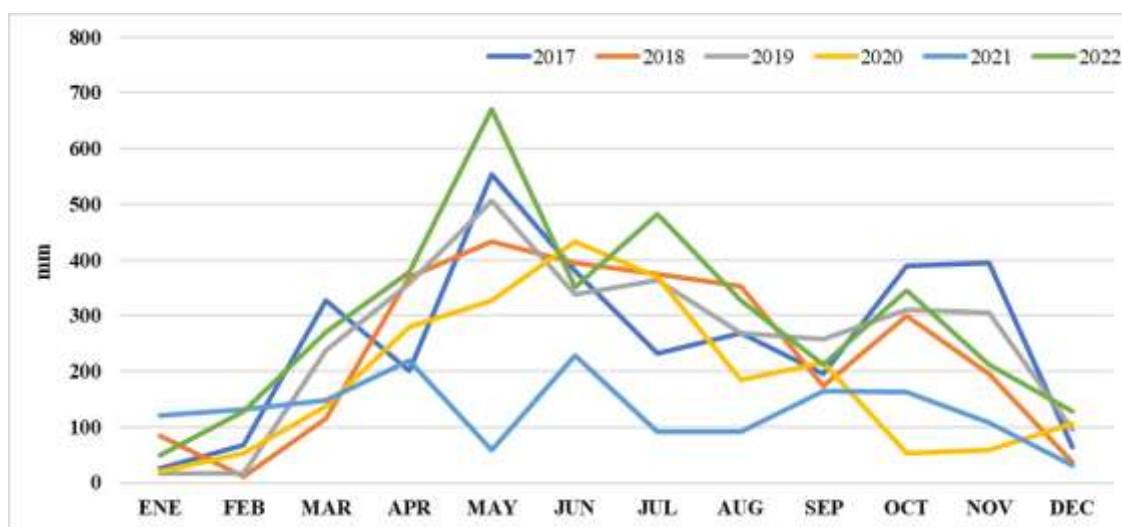
-BEGIN HEADER-														
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual														
Dates (month/day/year): 01/01/2017 through 12/31/2022														
Location: Latitude 4.1211 Longitude -73.6155														
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 1381.75 meters														
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999														
Parameter(s):														
PRECTOTCORR_SUM MERRA-2 Precipitation Corrected Sum (mm)														
-END HEADER-														
PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
PRECTOTCORR_SUM	2017	26.37	68.55	526.96	200.39	553.71	379.69	232.03	268.95	106.12	390.23	395.51	63.28	3100.78
PRECTOTCORR_SUM	2018	84.30	10.55	116.02	369.14	432.42	395.51	374.41	353.32	174.02	300.59	195.12	36.91	2842.30
PRECTOTCORR_SUM	2019	15.82	15.82	237.3	358.39	506.25	337.5	363.67	268.95	258.4	311.13	305.86	94.92	3074.41
PRECTOTCORR_SUM	2020	21.09	52.73	137.11	279.49	326.95	432.42	369.14	164.57	216.21	52.73	58.01	105.47	2235.94
PRECTOTCORR_SUM	2021	121.29	131.84	147.66	219.28	99.18	229.11	91.93	91.03	164.68	163.34	107.58	30.51	1557.41
PRECTOTCORR_SUM	2022	49.99	127.96	270.66	377.62	2670.86	350.05	481.67	526.6	212.8	346.16	211.26	127.97	3553.63

Se tomo los datos de la precipitación (mm):

Tabla 5 datos de la precipitación tomados de “NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources”

AÑO	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
2017	26,37	68,55	327	200,4	553,7	379,7	232	269	195,1	390,2	395,5	63,28	3100,8
2018	84,38	10,55	116	369,1	432,4	395,5	374,4	353,3	174	300,6	195,1	36,91	2842,4
2019	15,82	15,82	237,3	358,6	506,3	337,5	363,9	269	258,4	311,1	305,9	94,92	3074,4
2020	21,09	52,73	137,1	279,5	327	432,4	369,1	184,6	216,2	52,73	58,01	105,5	2235,9
2021	121,29	131,84	147,7	219,3	59,18	229,1	91,93	91,03	164,7	163,3	107,6	30,51	1557,4
2022	49,99	127,96	270,7	377,6	670,9	350,1	481,7	326,6	212,8	346,2	211,3	128	3553,6

Figura 23 datos de la precipitación tomados de “NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources”



Los meses y años con los valores más altos y bajos de consumo de agua, y calcular el promedio de precipitación mensual, podemos analizar los datos proporcionados en la tabla:

- Año de Mayor Oferta Anual: El año con la mayor oferta anual de agua es 2017, con un total de 3100,8 milímetros (mm).
- Año de Menor Oferta Anual: El año con la menor oferta anual de agua es 2021, con un total de 1557,4 mm.

Los meses y años con los valores más altos y bajos de consumo de agua:

- Mes y Año con Mayor Consumo: El mes con el valor más alto de consumo de agua es mayo de 2017, con un total de 553,7 mm.
- Mes y Año con Menor Consumo: El mes con el valor más bajo de consumo de agua es diciembre de 2021, con un total de 30,51 mm.

Calculamos el promedio de precipitación mensual, sumaremos los valores de precipitación de cada mes durante los años proporcionados y luego dividiremos entre el número de años (6 en este caso, ya que los datos van desde 2017 hasta 2022):

Enero: $(26,37 + 84,38 + 15,82 + 21,09 + 121,29 + 49,99) / 6 = 49,39$ mm

Febrero: $(68,55 + 10,55 + 15,82 + 52,73 + 131,84 + 127,96) / 6 = 66,75$ mm

Marzo: $(327 + 116 + 237,3 + 137,1 + 147,7 + 270,7) / 6 = 194,48$ mm

Abril: $(200,4 + 369,1 + 358,6 + 279,5 + 219,3 + 377,6) / 6 = 302,50$ mm

Mayo: $(553,7 + 432,4 + 506,3 + 327 + 59,18 + 670,9) / 6 = 443,98$ mm

Junio: $(379,7 + 395,5 + 337,5 + 432,4 + 229,1 + 350,1) / 6 = 350,58$ mm

Julio: $(232 + 374,4 + 363,9 + 369,1 + 91,93 + 481,7) / 6 = 315,32$ mm

Agosto: $(269 + 353,3 + 269 + 184,6 + 91,03 + 326,6) / 6 = 254,03$ mm

Septiembre: $(195,1 + 174 + 258,4 + 216,2 + 164,7 + 212,8) / 6 = 206,87$ mm

Octubre: $(390,2 + 300,6 + 311,1 + 52,73 + 163,3 + 346,2) / 6 = 256,92$ mm

Noviembre: $(395,5 + 195,1 + 305,9 + 58,01 + 107,6 + 211,3) / 6 = 213,85$ mm

Diciembre: $(63,28 + 36,91 + 94,92 + 105,5 + 30,51 + 128) / 6 = 74,84$ mm

Según lo anterior se pudo deducir lo siguiente:

- Variabilidad Interanual: Se observa una variabilidad significativa en la cantidad de precipitación de un año a otro, influenciada por la variabilidad climática y los fenómenos atmosféricos a gran escala. Esto puede afectar la disponibilidad de agua.
- Influencia de los Fenómenos Climáticos: En lugar de estaciones, la precipitación en Colombia puede estar más influenciada por fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, que pueden provocar condiciones de sequía o lluvias intensas.

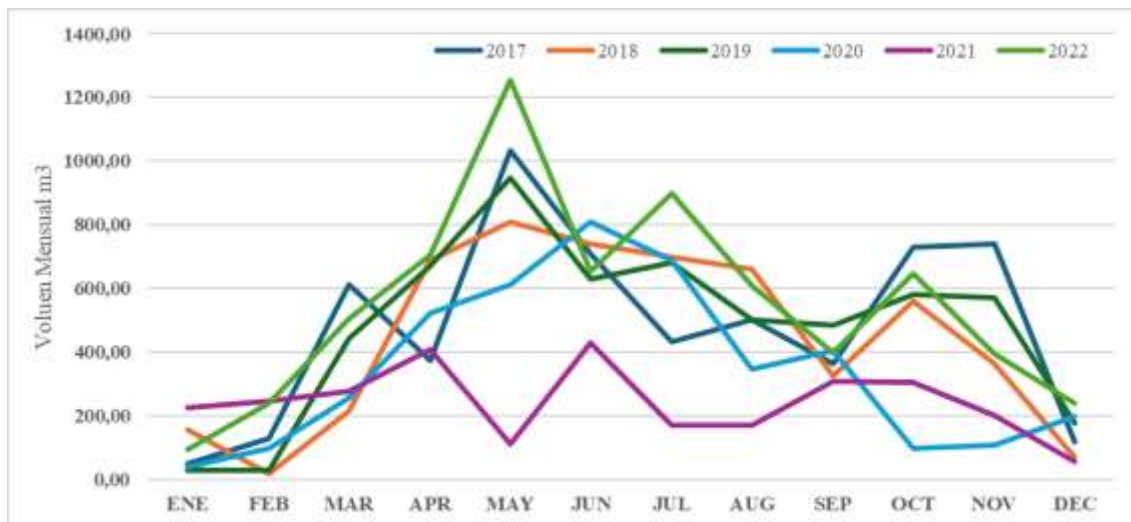
- **Diversidad Topográfica:** La precipitación también varía según la topografía, con regiones montañosas generalmente recibiendo más precipitación que las tierras bajas. Esto puede influir en la disponibilidad de agua para la institución.
- **Importancia de la Gestión del Agua:** Dada la variabilidad en la precipitación y la falta de estacionalidad pronunciada, la gestión sostenible del agua es crucial en la institución. Esto incluye el almacenamiento adecuado de agua durante períodos de alta precipitación, así como medidas de conservación y uso eficiente del agua durante períodos secos.

Por último, ya con la información que se recopiló anteriormente se realiza un análisis mediante la ecuación ya mencionada anteriormente para poder hallar el volumen mensual de agua de lluvia que podría obtenerse en el sistema (m^3) y poder calcular el tamaño que se debe de usar para la fabricación del tanque para cada respectiva torre que se debe de suplir como mínimo para satisfacer las necesidades en la universidad tanto de la Torre A como de la Torre B de la Universidad Santo Tomas Seccional Villavicencio.

Tabla 6 volumen mensual por mes Torre A de agua lluvia que se puede obtener m^3

AÑO	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
2017	25,16	65,41	311,96	191,20	528,32	362,28	221,39	256,62	186,17	372,34	377,37	60,38	2958,59
2018	80,51	10,07	110,70	352,21	412,59	377,37	357,24	337,12	166,04	286,81	186,17	35,22	2712,04
2019	15,09	15,09	226,42	342,15	483,04	322,02	347,18	256,62	246,55	296,86	291,83	90,57	2933,43
2020	20,12	50,31	130,82	266,67	311,96	412,59	352,21	176,11	206,30	50,31	55,35	100,63	2133,41
2021	115,73	125,79	140,89	209,22	56,47	218,60	87,71	86,86	157,13	155,85	102,65	29,11	1485,99
2022	47,70	122,09	258,27	360,30	640,10	334,00	459,58	311,62	203,04	330,29	201,57	122,10	3390,67

Figura 24 volumen mensual por mes Torre A de agua lluvia que se puede obtener m3



Los meses y años en los que se obtuvieron los valores más altos y bajos, y calcular el promedio de volumen mensual que se podría obtener del agua lluvia, podemos analizar los datos proporcionados en la tabla:

- Año de Mayor Oferta Anual: El año con la mayor oferta anual de agua lluvia es 2022, con un total de 3390,67 milímetros (mm).
- Año de Menor Oferta Anual: El año con la menor oferta anual de agua lluvia es 2021, con un total de 1485,99 mm.

Ahora, los meses y años con los valores más altos y bajos de volumen de agua lluvia:

- Mes y Año con Mayor Volumen: El mes con el valor más alto de volumen de agua lluvia es mayo de 2022, con un total de 640,10 mm.
- Mes y Año con Menor Volumen: El mes con el valor más bajo de volumen de agua lluvia es diciembre de 2021, con un total de 29,11 mm.

Calculamos el promedio de volumen mensual que se podría obtener del agua lluvia, sumaremos los valores de volumen de cada mes durante los años proporcionados y luego dividiremos entre el número de años (6 en este caso, ya que los datos van desde 2017 hasta 2022):

$$\text{Enero: } (25,16 + 80,51 + 15,09 + 20,12 + 115,73 + 47,70) / 6 = 51,20 \text{ mm}$$

$$\text{Febrero: } (65,41 + 10,07 + 15,09 + 50,31 + 125,79 + 122,09) / 6 = 64,52 \text{ mm}$$

$$\text{Marzo: } (311,96 + 110,70 + 226,42 + 130,82 + 140,89 + 258,27) / 6 = 189,76 \text{ mm}$$

$$\text{Abril: } (191,20 + 352,21 + 342,15 + 266,67 + 209,22 + 360,30) / 6 = 276,59 \text{ mm}$$

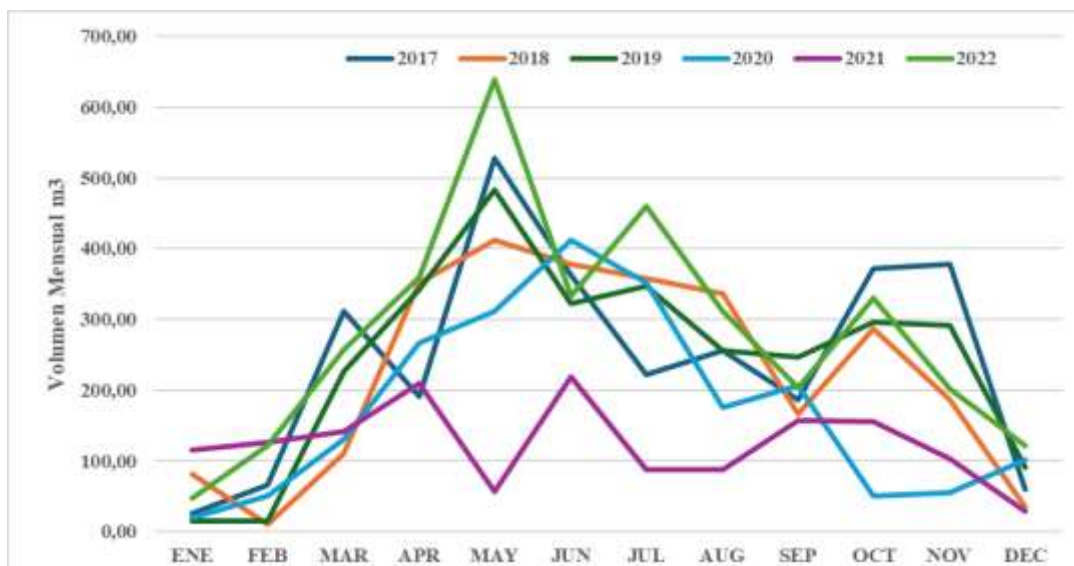
Mayo: $(528,32 + 412,59 + 483,04 + 311,96 + 56,47 + 640,10) / 6 = 472,83 \text{ mm}$
 Junio: $(362,28 + 377,37 + 322,02 + 412,59 + 218,60 + 334,00) / 6 = 345,62 \text{ mm}$
 Julio: $(221,39 + 357,24 + 347,18 + 352,21 + 87,71 + 459,58) / 6 = 298,18 \text{ mm}$
 Agosto: $(256,62 + 337,12 + 256,62 + 176,11 + 86,86 + 311,62) / 6 = 244,12 \text{ mm}$
 Septiembre: $(186,17 + 166,04 + 246,55 + 206,30 + 157,13 + 203,04) / 6 = 195,21 \text{ mm}$
 Octubre: $(372,34 + 286,81 + 296,86 + 50,31 + 155,85 + 330,29) / 6 = 253,12 \text{ mm}$
 Noviembre: $(377,37 + 186,17 + 291,83 + 55,35 + 102,65 + 201,57) / 6 = 202,56 \text{ mm}$
 Diciembre: $(60,38 + 35,22 + 90,57 + 100,63 + 29,11 + 122,10) / 6 = 71,60 \text{ mm}$

El análisis de los datos revela una variabilidad significativa en la precipitación anual a lo largo de los años estudiados. Mientras que 2022 registró la mayor cantidad de precipitación, 2021 exhibió la menor. Esta variabilidad resalta la importancia de comprender las fluctuaciones climáticas y sus impactos potenciales. Además, se observa una estacionalidad en la distribución de la precipitación a lo largo del año, con mayo como el mes con mayor precipitación en ambos años de referencia (2021 y 2022) y diciembre como el mes con menor precipitación en 2021. Calculando el promedio mensual de precipitación a lo largo de los seis años, se puede obtener una estimación de la cantidad media de precipitación esperada cada mes, lo que proporciona información valiosa para la planificación y gestión de recursos hídricos. Este análisis destaca la importancia de comprender las tendencias de precipitación a lo largo del tiempo para tomar decisiones informadas en áreas como la gestión del agua y la mitigación de riesgos climáticos.

Tabla 7 volumen mensual por mes Torre B de agua lluvia que se puede obtener en m³

AÑO	ENE	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL
2017	49,29	128,13	611,09	374,54	1034,9	709,67	433,68	502,69	364,69	729,37	739,24	118,28	5795,59
2018	157,71	19,719	216,85	689,95	808,23	739,24	699,8	660,38	325,26	561,83	364,69	68,988	5312,62
2019	29,57	29,569	443,53	670,23	946,22	630,81	680,1	502,69	482,97	581,53	571,68	177,41	5746,3
2020	39,42	98,556	256,27	522,39	611,09	808,23	689,95	344,98	404,11	98,556	108,43	197,13	4179,14
2021	226,70	246,42	275,99	409,85	110,61	428,22	171,82	170,14	307,8	305,29	201,08	57,025	2910,92
2022	93,44	239,17	505,92	705,8	1253,9	654,27	900,28	610,44	397,74	647	394,86	239,19	6642

Figura 25 volumen mensual por mes Torre B de agua lluvia que se puede obtener m3



Los meses y años en los que se obtuvieron los valores más altos y bajos, y calcular el promedio de volumen mensual que se podría obtener del agua lluvia, podemos analizar los datos proporcionados en la tabla:

- Año de Mayor Oferta Anual: El año con la mayor oferta anual de agua lluvia es 2022, con un total de 6642 milímetros (mm).
- Año de Menor Oferta Anual: El año con la menor oferta anual de agua lluvia es 2021, con un total de 2910,92 mm.

Identificamos los meses y años con los valores más altos y bajos de volumen de agua lluvia:

- Mes y Año con Mayor Volumen: El mes con el valor más alto de volumen de agua lluvia es mayo de 2017, con un total de 1034,9 mm.
- Mes y Año con Menor Volumen: El mes con el valor más bajo de volumen de agua lluvia es diciembre de 2021, con un total de 57,025 mm.

Ahora, calcularemos el promedio de volumen mensual de agua lluvia para cada mes a lo largo del período de 2017 a 2022:

$$\text{Enero: } (49,29 + 157,71 + 29,57 + 39,42 + 226,70 + 93,44) / 6 = 103,05 \text{ mm}$$

$$\text{Febrero: } (128,13 + 19,719 + 29,569 + 98,556 + 246,42 + 239,17) / 6 = 126,75 \text{ mm}$$

$$\text{Marzo: } (611,09 + 216,85 + 443,53 + 256,27 + 275,99 + 505,92) / 6 = 396,25 \text{ mm}$$

$$\text{Abril: } (374,54 + 689,95 + 670,23 + 522,39 + 409,85 + 705,8) / 6 = 587,46 \text{ mm}$$

Mayo: $(1034,9 + 808,23 + 946,22 + 611,09 + 110,61 + 1253,9) / 6 = 822,15 \text{ mm}$

Junio: $(709,67 + 739,24 + 630,81 + 808,23 + 428,22 + 654,27) / 6 = 656,04 \text{ mm}$

Julio: $(433,68 + 699,8 + 680,1 + 689,95 + 171,82 + 900,28) / 6 = 617,22 \text{ mm}$

Agosto: $(502,69 + 660,38 + 502,69 + 344,98 + 170,14 + 610,44) / 6 = 481,88 \text{ mm}$

Septiembre: $(364,69 + 325,26 + 482,97 + 404,11 + 307,8 + 397,74) / 6 = 384,28 \text{ mm}$

Octubre: $(729,37 + 561,83 + 581,53 + 98,556 + 305,29 + 647) / 6 = 533,44 \text{ mm}$

Noviembre: $(739,24 + 364,69 + 571,68 + 108,43 + 201,08 + 394,86) / 6 = 396,98 \text{ mm}$

Diciembre: $(118,28 + 68,988 + 177,41 + 197,13 + 57,025 + 239,19) / 6 = 145,22 \text{ mm}$

El análisis de los datos revela que el año 2022 tuvo la mayor oferta anual de agua lluvia, totalizando 6642 mm, mientras que 2021 registró la menor, con solo 2910,92 mm. En cuanto a los meses, mayo de 2017 destacó con el mayor volumen de precipitación, alcanzando 1034,9 mm, mientras que diciembre de 2021 tuvo el valor más bajo, con apenas 57,025 mm. Calculando los promedios mensuales a lo largo de los seis años, mayo emergió como el mes con el mayor promedio, con 822,15 mm, mientras que diciembre tuvo el promedio más bajo, con 145,22 mm. Estos hallazgos ofrecen una comprensión detallada de la distribución temporal de la precipitación, fundamental para la planificación efectiva de recursos hídricos y la comprensión de los patrones climáticos regionales.

Etapas 3. Diseñar un sistema de captación de agua lluvia:

Con los datos solicitados de la demanda de agua de la universidad se realizó la respectiva resta para cada Torre tanto la A y la Torre B (Oferta-Demanda) para poder hallar cual es la cantidad mínima que se debe de tener en cuenta para suplir las necesidades:

El resultado de la Oferta – la demanda fue la siguiente para la torre A:

Tabla 8 Torre A, Oferta vs demanda de agua en m³

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DICI	ANUAL
2017	-649,83922	-858,5934	-1621	-815,8	-456,7	-542,7	-850,6	-881,4	-1450	-1451	-1292	-1009	-11877,4
2018	-988,48933	-1105,934	-1298	-1006	-1224	-652,6	-369,8	-1463	-1634	-692,2	-1145	-734,8	-11993
2019	-1240,9054	-1253,905	-954,6	-788,9	-1235	-1750	-992,8	-1195	-1235	-211,1	-736,2	-679,4	-12273,6
2020	-1148,8771	-1090,688	-1459	-611,3	-551	285,59	225,21	-205,9	-630,7	-791,7	-405,7	6,6336	-6377,59
2021	28,7281258	-137,2057	-55,11	-208,8	-529,5	-278,4	-253,3	-7432	-1436	-2333	-3754	-876,9	-17266
2022	-462,30234	-694,9077	-1273	-1289	-1031	-1289	-414,4	-1171	-1430	-2278	-406,4	-3287	-15025,3

Y para la torre B fue la siguiente:

Tabla 9 Torre B, Oferta vs demanda de agua en m³

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DICI	ANUAL
2017	-625,712	-795,9	-1322	-632,5	49,926	-195,3	-638,3	-635,3	-1271	-1094	-929,8	-950,7	-9040,41
2018	-911,287	-1096	-1192	-668	-828,8	-290,8	-27,2	-1140	-1475	-417,2	-966,3	-701	-9392,38
2019	-1226,43	-1239	-737,5	-460,8	-771,8	-1441	-659,9	-949,3	-999	73,525	-456,3	-592,6	-9460,7
2020	-1129,58	-1042	-1334	-355,6	-251,9	681,23	562,95	-37,02	-432,9	-743,4	-352,6	103,13	-4331,86
2021	139,7001	-16,58	79,988	-8,149	-475,4	-68,78	-169,2	-7349	-1285	-2184	-3656	-849	-15841,1
2022	-416,565	-577,8	-1025	-943,2	-417,1	-968,7	26,277	-872,6	-1235	-1961	-213,1	-3170	-11774

Después de un análisis riguroso de los resultados obtenidos se concluye que en la Torre A se debe de tener un tanque elevado de agua de 285,59 m³ + 15% que sería un total de 328,4285 m³ de almacenamiento de agua lluvia ya tratada y para la torre B sería de 681,23 m³ + 15% que sería un total de 783,4145 m³ de almacenamiento de agua lluvia ya tratada, y se puede decir que los valores tienden a ser negativos ya que es más la demanda del consumo de agua que se requiere que la oferta de agua lluvia, pues aun así se encuentra una alternativa que sería suministrar agua lluvia tratada para bajar los índices de consumo de agua institucional, optimizando costos por parte de la universidad igualmente datos científicos mencionan que Los sistemas de captación de agua de lluvia tienen el potencial de ahorrar agua potable, con un rango de 12 a 100%, bajo condiciones ambientales específicas(Hoseini & Hosseini, 2020).

Posterior se realizó el diseño del sistema fluvial con canaletas de medidas en la Torre A de 60m y para la torre B de la misma medida también se hará uso de un filtro de polietileno el cual realizará el tratamiento adecuado para el agua lluvia que se recoja y se aloje en el tanque de

almacenamiento de agua lluvia con una capacidad ya anteriormente mencionada para la Torre A: 328,4285 m³ y para la Torre B: 783,4145 m³ con el siguiente diseño:

Figura 26 Diseño del tanque de almacenamiento de agua lluvia realizado por Juan Pablo Ochoa y Laura Parrado Diaz

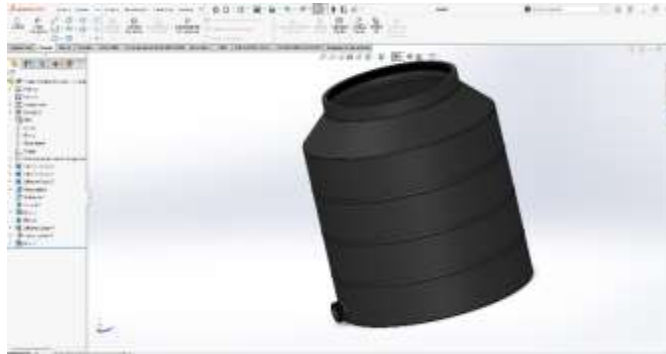


Figura 27 Filtro de Polietileno



Nota: Tomado de EcoInventos green technology

Figura 28 funcionamiento de cada parte del filtro de polietileno – Tomado de EcoInventos green technology



Nota: Tomado de EcoInventos green technology

Figura 29 Simulación de la Torre A de la Universidad Santo Tomas y su respectiva estructura del sistema fluvial



Figura 30 Simulación de la Torre A de la Universidad Santo Tomas y su respectiva estructura del sistema fluvial



Figura 31 Simulación de la Torre A de la Universidad Santo Tomas y su respectiva estructura del sistema fluvial



Figura 32 Simulación de la Torre A de la Universidad Santo Tomas y su respectiva estructura del sistema fluvial



Discusión

El proyecto de investigación beneficia principalmente a los estudiantes y cuerpo académico de la Universidad Santo Tomás Seccional Villavicencio, al proporcionar una solución sostenible y eficiente para la gestión del agua. La implementación del sistema de captación de agua lluvia permitirá a la universidad reducir su dependencia de fuentes externas de agua, asegurando así un suministro constante y confiable para sus necesidades operativas. Además, la comunidad universitaria, incluyendo estudiantes, profesores y personal administrativo, se beneficiará de un entorno más resiliente y sostenible.

La población objetivo de este proyecto incluye a todos los miembros de la comunidad universitaria de la Universidad Santo Tomás, Seccional Villavicencio. Esto abarca aproximadamente a 3,417 estudiantes activos en el año 2024 dado a esto podemos resaltar que según información suministrada en un condado de Kenia según datos Los sistemas de captación de agua de lluvia pueden diseñarse con tanques de almacenamiento de diversas capacidades, como el tanque de 600 m³ en el condado de Narok, capaz de atender a una comunidad de 400 personas durante aproximadamente dos años sin lluvia adicional (Qi et al., 2019). También se incluyen los futuros estudiantes y empleados que se beneficiarán de la infraestructura mejorada y las prácticas sostenibles implementadas además el aprovechamiento del sistema de captación de agua lluvia permitirá a la universidad cubrir diversas necesidades hídricas, tales como el riego de jardines, la limpieza de instalaciones y el suministro de agua en los baños. Este sistema no solo proporciona una fuente de agua alternativa, sino que también promueve la conservación de los recursos hídricos locales, aliviando la presión sobre las fuentes de agua tradicionales. Además, la implementación de este sistema puede servir como un modelo educativo y de investigación sobre prácticas sostenibles para los estudiantes y la comunidad en general.

Los resultados del estudio indican que la implementación de un sistema de captación de agua lluvia es viable y beneficiosa para la Universidad Santo Tomás, Seccional Villavicencio. Durante los meses de junio y julio, la precipitación fue suficiente para satisfacer completamente las necesidades de agua de la universidad, con volúmenes de 285.6 m³ y 225.5 m³ respectivamente, cubriendo demandas para actividades como el riego, la limpieza y el uso en baños, esto indica efectivamente que el trabajo desarrollado es viable respaldando dicha propuesta con la siguiente cita Se ha evaluado la viabilidad económica de la recolección de agua de lluvia para el consumo

diario, mostrando que las áreas de captación más grandes y los tanques de almacenamiento conducen a una mayor confiabilidad, especialmente en áreas con más precipitación (Salam Khan, 2023).

El análisis de la demanda de agua desde 2017 hasta 2023 reveló patrones de consumo variables, con picos significativos en los meses de mayor actividad académica y durante periodos de limpieza exhaustiva. Estos datos fueron cruciales para dimensionar adecuadamente el sistema de captación y almacenamiento de agua, asegurando que la capacidad del tanque y la eficiencia del sistema de filtración sean suficientes para cubrir las necesidades durante todo el año ya que según El agua de lluvia puede reemplazar un porcentaje del uso doméstico del agua, con variaciones basadas en los niveles de tratamiento. En el estudio, se asumió que el agua de lluvia recolectada no es apta para actividades de higiene personal, pero podría ser utilizada para inodoros, lavado de ropa y otras aplicaciones de bajo tratamiento (Castier & de Barros Barreto, 2023).

Además, el proyecto destaca la importancia de integrar tecnologías sostenibles y prácticas de conservación en las políticas institucionales. La reducción en la dependencia de fuentes externas de agua no solo alivia la presión sobre el presupuesto institucional, sino que también contribuye a la conservación de los recursos hídricos locales y promueve una cultura de sostenibilidad dentro de la comunidad universitaria.

Los resultados obtenidos apoyan firmemente la implementación del sistema de captación de agua lluvia, no solo como una medida para asegurar el suministro de agua, sino también como una iniciativa que promueve la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en la Universidad Santo Tomás, Seccional Villavicencio.

Conclusiones

Hemos identificado que la universidad se enfrenta a un riesgo significativo de interrupciones en el suministro de agua debido a su ubicación en una región propensa a eventos climáticos extremos, como la ciudad de Villavicencio, Meta.

Al analizar los datos recopilados, hemos demostrado que la implementación de un sistema de cosecha de agua lluvia ofrece una solución viable y sostenible para abordar estos desafíos. Al aprovechar la infraestructura existente y la tecnología adecuada, podemos capturar y almacenar eficientemente el agua de lluvia para su posterior uso en actividades domésticas y otras necesidades de la universidad.

El cual el proyecto demostró que el sistema de captación de agua de lluvia es altamente eficiente en la Universidad Santo Tomás, Seccional Villavicencio. Durante los meses con mayores precipitaciones, como junio y julio, se logró capturar un volumen significativo de agua, 285.6 m³ y 225.5 m³ respectivamente, lo cual permitió cubrir las necesidades de riego, limpieza y uso en baños. Esto evidencia que, bajo condiciones adecuadas, el sistema puede reducir la dependencia de agua potable en un rango considerable, alcanzando ahorros cercanos al 100% durante los picos de precipitación.

Este enfoque no solo reducirá nuestra vulnerabilidad ante interrupciones en el suministro de agua, sino que también contribuirá a la conservación de los recursos hídricos locales y aliviará la presión sobre el presupuesto institucional como se menciona en el siguiente artículo. En esencia, la recolección de agua de lluvia no solo facilita la vida cotidiana de las personas al proporcionar acceso al agua, sino que también contribuye a la estabilidad socioeconómica (Sharma, 2017). Además, la implementación de un sistema de recolección y tratamiento de agua lluvia promoverá prácticas ambientalmente responsables y la gestión eficiente de los recursos naturales, lo que tendrá un impacto positivo en la sostenibilidad y la eficiencia operativa de la universidad.

Este estudio ha demostrado la importancia y la viabilidad de implementar un sistema de cosecha de agua lluvia en la Universidad Santo Tomás de Aquino. Nuestros hallazgos no solo tienen implicaciones prácticas inmediatas para mejorar el suministro de agua en el campus universitario, sino que también contribuyen al conocimiento existente en el campo de la gestión del agua y sientan un precedente positivo en términos de sostenibilidad y responsabilidad social demostrando que así como en otros países aquí este tipo de proyecto se pueden apoyar para su

contribución La práctica de la recolección de agua de lluvia ha tenido éxito en regiones como Oriente Medio, Asia y África para mitigar las crisis del agua (Emmanuel & Napoleon, 2019). Este proyecto proporciona una base sólida para futuras investigaciones y acciones destinadas a mejorar la resiliencia y la sostenibilidad de las instituciones educativas en regiones afectadas por eventos climáticos extremos.

Recomendaciones

Basándonos en los resultados obtenidos en este estudio sobre la implementación de un sistema de cosecha de agua lluvia en la Universidad Santo Tomás de Aquino, se pueden hacer varias recomendaciones prácticas y claras que surgen de nuestras conclusiones:

Implementar un plan piloto: Recomendamos que la universidad considere la implementación de un proyecto piloto para evaluar la viabilidad y eficacia de un sistema de cosecha de agua lluvia en una escala más pequeña antes de su implementación a gran escala. Esto permitirá probar el sistema, identificar posibles desafíos y realizar ajustes según sea necesario antes de una implementación completa.

Capacitación y sensibilización: Es importante proporcionar capacitación adecuada al personal y estudiantes sobre la importancia y el funcionamiento del sistema de cosecha de agua lluvia. Además, se deben llevar a cabo campañas de sensibilización para fomentar prácticas de uso eficiente del agua y promover una cultura de conservación dentro de la comunidad universitaria.

Monitoreo y mantenimiento continuo: Se recomienda establecer un programa de monitoreo y mantenimiento continuo del sistema de cosecha de agua lluvia para garantizar su funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo. Esto incluye inspecciones regulares, limpieza de filtros, reparación de posibles fugas y actualizaciones tecnológicas según sea necesario.

Integración con políticas institucionales: Es fundamental integrar el sistema de cosecha de agua lluvia en las políticas institucionales de la universidad para garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Esto puede incluir la incorporación de criterios de eficiencia hídrica en la planificación de nuevas construcciones y la asignación de recursos financieros para el mantenimiento y la expansión del sistema.

Colaboración con otras instituciones y entidades: Se sugiere establecer colaboraciones con otras instituciones educativas, organizaciones gubernamentales y ONGs para compartir conocimientos, recursos y mejores prácticas en materia de gestión del agua y sostenibilidad. Esto puede incluir la participación en redes de intercambio de información y la búsqueda de financiamiento conjunto para proyectos relacionados.

Investigación continua: Esta investigación ha identificado varias áreas que requieren una mayor exploración, como la evaluación del impacto ambiental y económico del sistema de cosecha de agua lluvia a largo plazo, la optimización del diseño y la tecnología del sistema, y la evaluación

de su replicabilidad en otros contextos. Se recomienda que futuros estudios aborden estas cuestiones para ampliar nuestro entendimiento y mejorar las prácticas en este campo emergente.

Estas recomendaciones están diseñadas para ser realistas en términos de aplicabilidad y están directamente relacionadas con las conclusiones de nuestro estudio. Se espera que estas sugerencias sean útiles para profesionales en el campo de la gestión del agua, responsables de políticas y otros interesados en promover la sostenibilidad y la eficiencia hídrica en instituciones educativas y más allá.

Referencias bibliográficas

- Alba, L., & Moreno, L. V. (2016). *Guía metodológica para la captación y aprovechamiento de aguas lluvias guía metodologica para la captacion y aprovechamiento de aguas lluvias para el sector rural*.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15295/Anexo%201%20Guia%20Met%20Vargas%20Moreno%20Alba%20Lucia%202016pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Arpasi Alejos, J., Anaya Cuenca, A., & Auqui Areche, J. (2021). Diseño de sistema de captación y almacenamiento de agua pluvial en reservorio tipo embalse para uso agrícola en el distrito de Pomacocha. [Trabajo de grado, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/d901fcdf-9b33-4d36-aaa2-e042dca4019d>
- Bañas, K., Robles, M. E., & Maniquiz-Redillas, M. (2023). Stormwater Harvesting from Roof Catchments: A Review of Design, Efficiency, and Sustainability. *Water (Switzerland)* 15(9).
<https://doi.org/10.3390/w15091774>
- Carmen, S. M., Bonilla, T. F., & Castillo, S. C. (2015). *Rango de consumo básico*.
https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/original/documents/Documento_de_Trabajo_y_Participacion_Ciudadana_750.pdf
- Castier, M., & de Barros Barreto, P. (2023). Economic attractiveness of domestic rainwater harvesting in Brazilian cities. *Discover Water*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s43832-023-00033-1>
- Chulluncuy Camacho, N. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano* (29). 153-170.
<https://doi.org/10.26439/ing.ind2011.n029.232>
- Duque Márquez, I., Tybalt, J., González, M., Luis, J., Vergel, A., Alonso, H., Fernández, B., Patricia, G., Alzate, T., Elena, M., Latorre, C., Leguizamón Pérez, J. A., Técnico, A., De Desarrollo, G., Zayda, S., Sandoval Núñez, J., Augusto, C., Ríos, S., Carolina, A., ... Valencia, R. (2020). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico*.
<https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>

- Emmanuel, A., & Napoleon, M. J. (2019). Rainwater Harvesting - A Potential Safety Net for Water Security in Ghana. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 10(2). 1–10. <https://doi.org/10.9734/ajee/2019/v10i230115>
- Ertop, H., Kocięcka, J., Atilgan, A., Liberacki, D., Niemiec, M., & Rolbiecki, R. (2023). The Importance of Rainwater Harvesting and Its Usage Possibilities: Antalya Example (Turkey). *Water (Switzerland)* 15(12). <https://doi.org/10.3390/w15122194>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. <https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf>
- Gunawan, M. N., Ismail, Y., Kunci, K., Air Hujan, P., & Air Berkelanjutan, P. (2020). Study of Rainwater Harvesting Implementation. En *Journal of Industrial Engineering, Scientific Journal on Research and Application of Industrial System* 5(1).
- Hirozumi, K. (2015). *Guía técnica para cosechar el agua de lluvia*. https://www.jica.go.jp/Resource/project/ecuador/001/materials/ku57pq000011cym2-att/water_harvest_sp.pdf
- Hoseini, S. H., & Hosseini, V. A. (2020). Rainwater Harvesting in Residential Areas of Arid and Semi-Arid Regions (Case Study: Torbat-E Jam, Iran). *Desert*, 25(2), 130-138. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2020.79250>
- Huang, Z., Nya, E. L., Rahman, M. A., Mwamila, T. B., Cao, V., Gwenzi, W., & Noubactep, C. (2021). Integrated water resource management: Rethinking the contribution of rainwater harvesting. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/su13158338>
- Khan, S. (2023). A comparative analysis of rainwater harvesting system and conventional sources of water *Water Resour Manage* 37, 2083–2106. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03479-z>
- Lukes, R., & Kloss, C. (2008). *Managing Wet Weather with Green Infrastructure*. Municipal Hamdbook. Green Streets. United States Enviromental Protection Agency (EPA). <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1005FMJ.PDF?Dockey=P1005FMJ.PDF>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia. (2022). *Lineamientos para potencializar el uso del agua lluvia*. <https://www.andi.com.co/Uploads/LINEAMIENTOS-USO-AGUAS-LLUVIAS.pdf>
- Organización Panamericana de Salud (OPS). (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. CEPIS.

- https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202004.%20Guia%20de%20dise%C3%B1o%20para%20captaci%C3%B3n%20del%20agua%20de%20lluvia.pdf
- Pizarro, R., Abarza, A., Morales, C., Calderón, R., Tapia, J., Urbina, F., Vallejos María, C., Cortés, I., Fernández, Á., Sangüesa, C., Pino, J., Vázquez, S., Cervantes, E., Hernández, D., Hurtado, R., García, P., & Córdova, M. (2015). *Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile*. Unesco. <http://www.cuhs.otalca.cl/exc-tha/Docs/pdf/Publicaciones/Manual%20Scalls%20Unesco%202015.pdf>
- Qi, Q., Marwa, J., Mwamila, T. B., Gwenzi, W., & Noubactep, C. (2019). Making rainwater harvesting a key solution for water management: The universality of the Kilimanjaro Concept. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/su11205606>
- Raimondi, A., Quinn, R., Abhijith, G. R., Becciu, G., & Ostfeld, A. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water (Switzerland)* 15(8). <https://doi.org/10.3390/w15081518>
- Rawat, A., Panigrahi, N., Yadav, B., Jadav, K., Mohanty, M. P., Khouakhi, A., & Knox, J. W. (2023). Scaling Up Indigenous Rainwater Harvesting: A Preliminary Assessment in Rajasthan, India. *Water (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/w15112042>
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales. *Agua Latinoamérica*. 1-4. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/10/Tratamiento-aguas-residuales-Latinoamerica.pdf>
- Sang, Y. & Ali, S. (2023). Implementing rainwater harvesting systems as a novel approach for saving water and energy in flat urban áreas. *Sustainable Cities and Society*. 89. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104304>
- Sukma Kartika, M., Pebrianti Ningsih, M., Darma Saputra, M., Aghnani Alfi Laila Fq, S., Hadiana, F. & Hanafi Ichsan, M., (2023). Rain Harvester Integration for Drinking Water Using IoT And Mobile Apps. *Journal of Information Technology and Computer Science* 8(1). 41-51. <http://dx.doi.org/10.25126/jitecs.202381452>
- Shareh Musa, S., Faizal Mostaffa, M., Manap, N., Yassin, A., & Zainal, R. (2022). Small Scale Rainwater Harvesting Design for External Usage. *Environment and Ecology Research*, 10(2), 267–274. <https://doi.org/10.13189/eer.2022.100216>

- Sharma, N. (2017). *Filling the empty pitchers: A study on the impact of rainwater harvesting on the lives of women and young girls*. Gramin Vikas Vigyan Samiti (GRAVIS). https://gravis.org.in/RSP/Eng/Filling_The_Empty_Pitchers.pdf
- Singh, D., Choudhary, M. K., Meena, M. L., & Kumar, C. (2019). Rain Water Harvesting for Food and Livelihood Security: A case study from Pali, India. *Open Agriculture*, 4(1), 767–777. <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0071>
- Słyś, D., & Stec, A. (2020). Centralized or decentralized rainwater harvesting systems: A case study. *Resources*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/resources9010005>
- Verma, G. (2021). Low Cost Smart Ground System for Rainwater Harvesting for Indian Houses Using IoT Technology. *Wireless Pers Commun.* 126, 3317–3332. <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09866-w>
- Waqas, M. S., Cheema, M. J. M., Hussain, S., Khalid, M. U., & Khan, M. S. (2022). Rainwater Harvesting: A Sustainable Water Management Option for Irrigation of Public Parks. *Environmental Sciences Proceedings*. 23(1). <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022023009>