

**DISEÑO PARA EL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE AGUAS LLUVIAS, EN EL
CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS,
VILLAVICENCIO**



CARLOS EDUARDO ESPINOSA MARTÍNEZ
REDDY HART ANDRES VAN AUDENHOVE MEJÍA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

DISEÑO PARA EL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE AGUAS LLUVIAS, EN EL
CAMPUS AGUAS CLARAS DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, VILLAVICENCIO

CARLOS EDUARDO ESPINOSA MARTÍNEZ
REDDY HART ANDRES VAN AUDENHOVE MEJÍA

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

Director
Daniel Elías Nova Burgos
Ingeniero Civil, Ingeniero Sanitario, Mg Ing. Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

Autoridades Académicas

P. José Gabriel Mesa Angulo, O. P.

Rector General

P. Eduardo Gonzales Gil, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo García Jara, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria general

Ing. Luis Fernando Diaz Cruz

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Dedicatoria

Carlos:

Por mi parte, le dedico este gran logro que he podido culminar junto con mi compañero, a mi familia, mi santo padre, Luis Felipe Espinosa Fonseca, quien ha sido mi más grande pilar y ejemplo a seguir, por haberme brindado los principios y valores que me han hecho ser el hombre que hoy en día soy, a mi querida madre, Carmen Martínez Gutiérrez, quien pudo forjar a una familia, donde el único pilar femenino, fue ella, “este logro, también es tuyo mi madre bella”. A mis hermanos, Sebastián, Andrés Felipe y Hernán Darío Espinosa Martínez, a los que Nuestro creador me dio el placer y el privilegio de tenerlos como compañeros de sangre, y decir con orgullo y gozo, que son mis hermanos. Y finalmente para todas las personas que estuvieron conmigo en mi transcurso de la carrera, aquellas que me apoyaron, me enseñaron y aprendí, tanto de ellos, como de ellas, que me hicieron ser mejor persona tanto laboral como personalmente, a ellos mi más grande afecto y gratitud, siempre los llevare en mi corazón.

Reddy Mejía:

En cuanto a mí, Reddy Hart Van Audenhove Mejía quiero dedicarles ese gran logro a mis papás Reddy Hart Van Audenhove Mendieta y Rosa Paulina Mejía Fuentes, quienes me apoyaron incondicionalmente y fueron mi motor para acabar la carrera y esta tesis, también a todos aquellos que siempre confiaron en mí y quienes estuvieron para mí, a ellos mi mas grande afecto y gratitud.

Agradecimientos

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento a Dios quien en todo momento estuvo con nosotros y quien es el guía del destino de nuestras vidas. Así mismo agradecemos de igual manera por su apoyo, orientación y atención a nuestras consultas sobre el desarrollo del proyecto de grado, como director de grado agradecemos al Ingeniero Elías Daniel David Nova Burgos de la Universidad Santo Tomás. Adicionalmente extendemos nuestro agradecimiento a la ingeniera Alfonsina Bocanegra por su apoyo y asesoramiento en el inicio y desarrollo del Anteproyecto de grado de esta investigación como proyecto final. Por último, pero no menos importante, gracias a nuestros amigos, en especial a Juan Sebastián Guzmán Garzón y Hernán Darío Espinosa Martínez que hicieron fundamental en el desarrollo de nuestra carrera de igual manera en nuestra tesis, ¡TEAM MLPS POR SIEMPRE!

Contenido

1.	Resumen.....	10
2.	Abstract.....	11
3.	Introducción	12
4.	Planteamiento del problema.....	13
5.	Objetivos.....	14
6.	Justificación	15
7.	Alcance	17
8.	Marco Referencial.....	18
8.1	Marco Conceptual	18
8.1.1	Precipitación	18
8.1.2	Medición de la precipitación.....	18
8.1.3	Coeficiente de escurrimiento	18
8.1.4	Relación Intensidad-Duración-Frecuencia.....	18
8.1.5	Análisis Físico y Químico del agua	19
8.1.6	Área de captación.....	19
8.1.7	Recolección y conducción	19
8.1.8	Sistema interceptor o de distribución.....	19
8.1.9	Almacenamiento	19
8.1.10	Sistema de bombeo	20
8.1.11	Sistema de potabilización	20
8.2	Marco Legal	20
8.3	Marco Teórico	21
8.3.1	¿Qué es un sistema de captación de aguas lluvia?.....	21
8.3.2	Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano	22
8.3.3	¿Qué son las Aguas Lluvias?	22
9.	Antecedentes.....	23
10.	Metodología	25
11.	Resultados	27
11.1	Plan de Muestreo	27

11.1.1	Puntos de captación Campus Aguas Claras Universidad Santo Tomás Villavicencio para análisis fisicoquímicos y caracterización del agua	27
11.2	Estimación de la cantidad de aguas lluvias a partir de datos pluviométricos.	31
11.3	Comparación Hidrográfica.....	35
11.4	Estudios de Calidad de agua.....	39
11.4.1	Determinación de la calidad del agua lluvia.....	39
11.4.2	Caracterización fisicoquímica del agua	39
11.4.3	Laboratorio de test de jarras.....	41
12.	Diseño.....	45
12.1	Tanque de Almacenamiento.....	45
12.2	Diseño de tubería de aducción	48
12.3	Sistema de tratamiento	54
12.4	Ahorro económico.....	56
	Conclusiones.....	57
	Recomendaciones	58
	Referencias bibliográficas	59

Lista de Tablas

Tabla 1. Descripción de la normatividad vigente 20

Tabla 2. Descripción de la metodología,..... 25

Tabla 3. Nivel de confianza y factor de seguridad, adaptado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999, 29

Tabla 4. Cantidad de muestras de Bajantes con una población finita, adaptado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999, 30

Tabla 5. Cantidad de muestras de Bajantes con una población finita. (Continuación), adaptado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999, 30

Tabla 6. Tabla de Áreas del Campus Aguas Claras, 33

Tabla 7. Tabla de Áreas del Campus Aguas Claras, 35

Tabla 8. Demanda del consumo de agua mensual del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo 36

Tabla 9. Datos de precipitación reportados por la estación ICA Villavicencio. 37

Tabla 10. Datos caudales de oferta vs caudal de demanda requeridos por la Universidad, 38

Tabla 11. Resultados test de jarras punto bajantes,..... 42

Tabla 12. Resultados test de Jarras punto Aire Libre, 42

Tabla 13. Resultados test de Jarras punto Cunetas, 42

Tabla 14. Volumen del tanque de almacenamiento edificio Santo Domingo De Guzmán y Centro de Convenciones, 46

Tabla 15. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento edificio Santo Domingo De Guzmán y Centro de Convenciones 46

Tabla 16. Volumen del tanque de almacenamiento edificio Santo Tomás de Aquino, por Espinosa & Van Audenhove, 202 47

Tabla 17. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento edificio Santo Tomás de Aquino, por Espinosa 47

Tabla 18. Velocidades Máximas según B. 8.4.8.2 del RAS 2010, adaptado del RAS 2010 51

Tabla 19. Velocidades Máximas según el inciso 6.9 de la NTC 1500, adaptado de la NTC 1500 51

Tabla 20. Velocidades Máximas según el inciso 6.9 de la NTC 1500 52

Tabla 21. Cuadro comparativo de Características principales de cinco plantas compactas, 55

Tabla 22. Ahorro económico para el año 2023 56

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, 17

Figura 2. Ubicación punto de muestreo directo, 27

Figura 3. Ubicación punto de muestreo por cuneta y/o sumideros, 27

Figura 4. Punto de muestreo de bajantes-cubiertas, 28

Figura 5. Curva Intensidad-Duración-Frecuencia Tomada del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, adaptado de IDEAM 2002..... 32

Figura 6. Delimitación de las áreas de estudio adaptado de Google Earth 2022, 33

Figura 7. Porcentajes de las distintas áreas de estudio. 34

Figura 8. Grafica caudales de oferta vs caudal de demanda, 38

Figura 9 Parámetros Físico-químicos para Bajantes, 39

Figura 10. Parámetros Físico-químicos para Cunetas 40

Figura 11. Grafica de parámetros Físico-químicos para Aire libre, 40

Figura 12. Grafica comparativa de los parámetros Fisicoquímicos para los distintos puntos de captación, 41

Figura 13. Grafica resultante a parámetros físico químicos prueba de Jarras para Bajantes, 43

Figura 14. Grafica resultante a parámetros físico químicos prueba de Jarras para Aire Libre.... 44

Figura 15. Grafica resultante a parámetros físico químicos prueba de Jarras para Cunetas, 44

Figura 16. Grafica de Curva Integral, 45

Figura 17. Grafica de Consumo, 45

Figura 18. Diseño tanque de almacenamiento edificio Santo Domingo De Guzmán y Centro de 47

Figura 19. Diseño tanque de almacenamiento edificio Santo Tomás de Aquino, 48

Figura 20. Abaco para el cálculo de tuberías de agua fría para la tubería 1. 49

Figura 21. Abaco para el cálculo de tuberías de hierro galvanizado y PVC para la tubería 1 50

Figura 22. Abaco para el cálculo de tuberías de agua fría para la tubería 2. 52

Figura 23. Abaco para el cálculo de tuberías de hierro galvanizado y PVC para la tubería 2 53

Figura 24. Trazado de línea de Aducción, adaptado de Google Earth 2022, 54

1. Resumen

En este proyecto, se determinó el diseño de un modelo de aprovechamiento racional de aguas lluvias, para el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio. En primer lugar, se inspeccionó el área de estudio para establecer los posibles puntos de drenaje que contiene la universidad. Luego, se realiza un análisis fisicoquímico y microbiológico para determinar el grado de la calidad del agua lluvia recolectada de tres diferentes puntos de captación, Aire libre, cunetas y bajantes. No obstante, se analizó la demanda de la universidad, para ello, se delimito el área de estudio en pavimentos, zonas verdes y construcciones, con el fin de determinar si los caudales de estas áreas, pueden suplir a la demanda de la institución, sin embargo, para el desarrollo de lo anterior, se determinaron las magnitudes de lluvia del municipio de Villavicencio, por medio de curvas IDF identificando los caudales. Se determinó como resultados, que solamente se usará el agua pluvial que cae por las bajantes, ya que estas presentan un grado de calidad regular llegando a aceptable según resultados obtenidos en laboratorio. Finalmente, se diseñó el sistema de aprovechamiento racional de agua lluvia, por una parte, se determinó la ubicación de un tanque de almacenamiento para cada uno de los dos edificios que compone el Campus Aguas Claras, obteniendo para estos caudales de 15.76 L/s y 14.95 L/s respectivamente. Finalmente, se propone que, como tren de tratamiento, se utilice una planta compacta, ya que son exequibles y económicas.

Palabras clave: microbiológicos, tren de tratamiento, diseño de aprovechamiento, análisis fisicoquímico.

2. Abstract

In this project, the design of a model for the rational use of rainwater was determined for the Aguas Claras Campus of the Santo Tomás University, Villavicencio campus. First, the study area was inspected to establish the possible drainage points contained in the university. Then, a physicochemical and microbiological analysis was carried out to determine the degree of quality of the rainwater collected from three different catchment points, free air, gutters and downspouts. However, the demand of the university was analyzed, for this, the study area was delimited in pavements, green areas and buildings, in order to determine whether the flows of these areas, can supply the demand of the institution, however, for the development of the above, the magnitudes of rainfall of the municipality of Villavicencio were determined, by means of IDF curves identifying the flows. As a result, it was determined that only the rainwater that falls through the downspouts will be used, since these have a regular to acceptable quality according to laboratory results. Finally, the system for the rational use of rainwater was designed; on the one hand, the location of a storage tank was determined for each of the two buildings that make up the Aguas Claras Campus, obtaining flow rates of 15.76 L/s and 14.95 L/s respectively. Finally, it is proposed that a compact plant be used as a treatment train, since they are both feasible and economical.

Key words: microbiological, treatment train, utilization design, physicochemical analysis.

3. Introducción

Los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, actualmente se han convertido en una excelente alternativa como fuente para la dotación de los diferentes usos que no necesitan de agua potable, como son baños, aseo y lavado en las zonas que comúnmente no requieren de agua potable para consumo humano, y para riego (Pirachican, 2021).

Sin embargo, estos sistemas no se utilizarían, si las fuentes de abastecimiento que se necesitan para el suministro de agua de las poblaciones son deficientes en la distribución de este, destacando también que, en el momento de usar las fuentes de agua, ya sean superficiales o subterráneas, estas estarán expuestas a medios contaminantes y, por ende, las áreas (principalmente urbanas) requirentes del líquido, tendrán problemas por la obtención de este. (Suárez et al., 2006).

No obstante, como se mencionó anteriormente, hay fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas, la segunda corresponde a toda el agua que se filtra en la superficie terrestre y queda almacenada en cámaras de distintos volúmenes a los que denominamos acuíferos. esta agua se extrae de la superficie para satisfacer las necesidades de las poblaciones que no son beneficiadas por las entidades que ofrecen el agua superficial de buena calidad, sin embargo, al extraer el agua de los acuíferos, afectará de manera directa al suelo, caso como el de México, donde la mayoría de la población depende de forma total del agua subterránea (López Hernández et al., 2017).

Es por eso por lo que en este trabajo se diseñará un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para la sede Aguas Claras en la Universidad Santo Tomás Villavicencio, con el propósito de reducir el uso de agua potable, reemplazándola por la de aguas lluvias, considerándose una opción tanto económica, como ambientalmente rentable (Mahecha, 2019). De igual forma, mediante este estudio se pretende aclarar que, al aprovechar este tipo de fuente hídrica, no solo depende de la cantidad recolectada, producto del diseño de aprovechamiento racional, sino también de la calidad que esta agua tenga, (Solarte y González, 2012).

4. Planteamiento del problema

En Villavicencio durante la última década por causa de la mala ubicación de la bocatoma de la ciudad, porque esta se encuentra ubicada en la intersección de la falla Servitá con el río Guatiquía, son constantes y prolongados los cortes del servicio del acueducto de la ciudad. Normalmente en épocas de picos históricos de pluviosidad, los taludes que se presentan en el sitio en que se construyó la bocatoma, presentan eventuales procesos de remoción de masa como deslizamientos de ladera y flujos de escombros.

En uno de estos eventos, se produjo la emergencia de la bocatoma del acueducto de Villavicencio el 12 de julio del año 2022, cuando ésta quedó inutilizada por un deslizamiento y una avalancha de escombros que se presentó en ese sector del río Guatiquía. debido a esto, se puede llegar a tener una baja calidad en la fuente hídrica y también una mayor demanda lo hace que haya interferencias en el desarrollo de diferentes actividades socioeconómicas, trayendo como consecuencias una disminución de ingresos y un aumento en los egresos debido a que la obtención del recurso hídrico sería por parte de proveedores externos. hablar sobre el déficit del servicio de agua que eventualmente pueda presentar la sede aguas claras ¿qué ocurriría si llegara a faltar el servicio de agua en la universidad? describan el desastre con base a lo anterior, este proyecto pretende realizar el diseño de un colector para el aprovechamiento de agua de lluvia en el campus aguas claras, de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio y para ello planteamos la siguiente pregunta:

¿Con el diseño del sistema para el aprovechamiento de aguas lluvia en la Universidad Santo Tomás sede Aguas Claras en Villavicencio, se podría llegar a lograr a suplir con la oferta de agua suministrada por el acueducto de Villavicencio?

5. Objetivos

General

Diseñar un modelo de aprovechamiento de aguas lluvias para el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio, como complemento a la oferta del acueducto local, supliendo parcialmente la demanda de agua potable de la institución.

Específicos

- Establecer la zona de estudio para la red de aprovechamiento de aguas lluvias
- Evaluar las diferentes alternativas para el aprovechamiento de aguas lluvias en la universidad
- Determinar la valoración de la cantidad y calidad de agua lluvias en la universidad
- Diseñar las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento, potabilización y distribución.

6. Justificación

Al desarrollar un sistema de aprovechamiento racional de aguas lluvias para la universidad Santo Tomás Aguas Claras Villavicencio, se quiere reducir el agua potable suministrada por la entidad encargada del servicio de acueducto, generando un impacto positivo tanto económico como ambiental, debido al inadecuado uso del agua. Cuando se habla acerca del aprovechamiento de las aguas lluvias, se debe tener en cuenta que estos sistemas no son costosos, ya que solamente se componen de tres índices, los cuales son: la captación, el almacenamiento y la conducción. Sin embargo, hay que considerar otros factores, como son la intercepción de las aguas, el sistema para la recolección de las aguas (por gravedad o bombeo), y el método de tratamiento para la purificación del líquido (en el caso de que se pueda usar para el consumo humano). Estos representan un incremento en costos de la construcción del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias (Campo, 2017).

Es por esto, que para resolver la problemática que se presenta en la universidad tomasina, ligada a la escasez del agua en el transcurso del año en Villavicencio, debido a los daños que ha sufrido la bocatoma del municipio, por causa de las fuertes lluvias, las cuales provocan grandes caudales, afectando a las obras hidráulicas del punto de captación. Así mismo, en el uso de distintas actividades rutinarias, como el riego en zonas verdes, descarga de inodoros y limpieza de zonas transitorias, siendo estas, unas excelentes alternativas para justificar la realización de un sistema de captación de aguas lluvias, que permita suplir las necesidades de las actividades anteriormente mencionadas, generando una medida de ahorro en sitios donde el grado de consumo de agua es alta, como lo es esta institución. No obstante, por medio de este trabajo se podría transmitir tanto a los estudiantes de esta universidad, como a terceras personas, a establecer una gestión ambiental cuyo objetivo sea proponer diferentes soluciones significativas a los distintos problemas ambientales que presenta el país, por ende, quienes viven en él (Correa, 2014).

La implementación de sistemas de abastecimiento por el racionamiento del agua lluvia, puede llegar ayudar con el ahorro de consumo de agua potable, suministrada por las distintas empresas a las zonas o diferentes instituciones que presentan demandas del recurso, como puede llegar a ser una universidad. Con esto se podría aprovechar de mejor manera las aguas lluvias que se puedan recolectar para el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás de

Villavicencio, dándole distintos usos para principalmente abastecer los laboratorios, las cocinas, los baños y el riego de zonas verdes. Para que esto se lleve a cabo, se tratarán algunos problemas, como, por ejemplo, algunas tuberías que están dañadas u obstruidas debido a las basuras, y el mal uso de estas mismas. Se debe buscar una ubicación óptima para los tanques de almacenamiento, y así establecer una red de distribución para toda la sede Aguas Claras; disminuyendo la necesidad forzosa del acueducto de Villavicencio, por parte de la Universidad, debido a las contingencias que se han presentado por el mal servicio de parte del acueducto municipal. De igual manera, se reducirá, por medio de este sistema, el consumo de agua distribuida por la entidad encargada, ya que, al tener una estructura propia que se encargue de la recolección del líquido, se conseguiría llegar a un ahorro en la distribución de agua hasta de un 6% para el uso de zonas verdes y aseo. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015).

7. Alcance

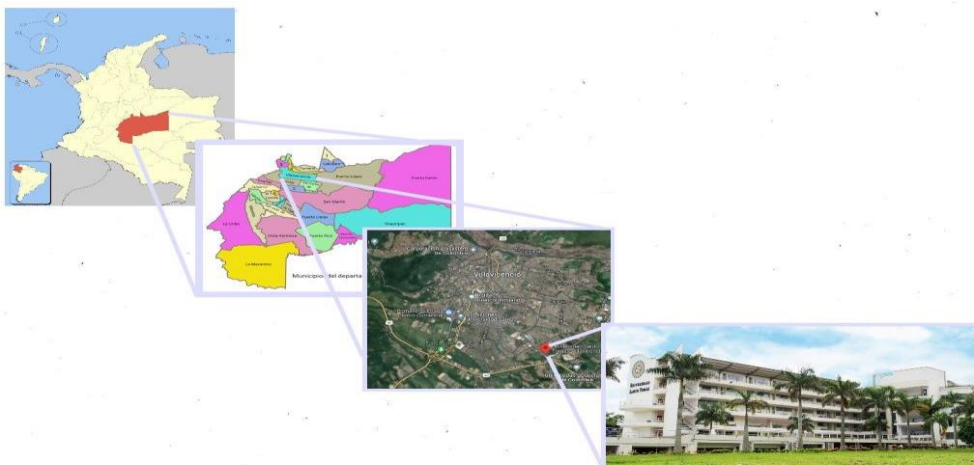
El área de estudio se localiza en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio, el cual está ubicado en la comuna 5 del municipio, ocupa un área de terreno de 63.172,1 m² y un área de construcción de 33.188,87 m². Este campus, se encuentra ubicado entre dos riquezas naturales que cuentan con una protección ambiental las cuales son el caño Aguas Claras y el humedal El Charco. Estas fuentes hídricas son de interés ambiental especial para la comuna, ya que en ellas habitan diferentes especies faunísticas representadas por aves, reptiles y mamíferos, y especies de flora de carácter endémico (Suarez, 2018).

Villavicencio se encuentra a una altitud promedio de 408 m.s.n.m, y presenta una alta tasa de precipitación anual por estar ubicado en el piedemonte oriental de la cordillera oriental, más conocido como piedemonte llanero, el cual presenta ecosistemas relacionados con la selva húmeda tropical. presenta un clima cálido con precipitaciones del orden de 4500 mm/año con una temperatura media de 24°C. De igual forma, presenta una humedad relativa de 60.51 % (baja medida en la temporada de febrero), y una humedad relativa alta de 79.43 % (medida en la temporada de mayo) (Climatedata.org, 2019).

Este proyecto hará un seguimiento de siete (7) meses desde el mes de junio hasta el mes de diciembre de 2022, para poder evaluar para el aprovechamiento racional de las aguas lluvias, en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás de Villavicencio.

Figura 1.

Ubicación de la zona de estudio,



8. Marco Referencial

8.1 Marco Conceptual

Algunos otros conceptos importantes a tener en cuenta son:

8.1.1 *Precipitación*

Es el fenómeno que se produce posterior a la condensación del vapor del agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra, ocurriendo debido a la saturación de vapor en la atmósfera, el agua condensando y cayendo en forma de gotas de agua conocido como lluvia, granizo, nieve. Es una pieza fundamental en el ciclo hidrológico y el sustento vital de muchas especies.

8.1.2 *Medición de la precipitación*

Se realiza mediante un aparato conocido como pluviómetro; este mide el agua que cae sobre un metro de superficie en un tiempo determinado y expresa esa cantidad en litros por metro cuadrado, los valores obtenidos para que sea válido deben ser científicamente comparables. Desde 1960 se han venido perfeccionando las técnicas y ahora es también posible realizar la medición de la lluvia por medio de un radar meteorológico en conjunto con modelos matemáticos, obteniendo datos como la intensidad y los caudales en tiempo real de determinadas zonas.

8.1.3 *Coefficiente de escurrimiento*

Es la relación presente entre la lámina de agua en una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente. Se expresa en milímetros (mm).

8.1.4 *Relación Intensidad-Duración-Frecuencia*

Los valores de frecuencia nos dan los elementos de juicio básicos para la realización de cálculos previos al diseño de obras de ingeniería. Por eso conviene representar estos valores en

otras formas más manejables y de más fácil lectura, con el fin de poder interpolar valores que no se encuentren en la tabla. Las familias de curvas de duración-intensidad-frecuencia nos permiten saber cuál será el valor de la intensidad máxima para una zona determinada y para un tiempo de referencia que se presente con una frecuencia de cierto período de tiempo. (UDEP).

8.1.5 *Análisis Físico y Químico del agua*

Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan en una muestra de agua para evaluar sus características físicas, químicas o ambas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

8.1.6 *Área de captación*

El techo de la edificación debe tener la superficie y pendiente adecuadas para facilitar la recolección (LIVSC, 2013).

8.1.7 *Recolección y conducción*

Conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo y tuberías, que llevan el agua lluvia al tanque de almacenamiento, a través de bajadas con tubos PVC (LIVSC, 2013).

8.1.8 *Sistema interceptor o de distribución*

Depende de la geografía y topografía del lugar y del uso que se dé al agua captada, si es para consumo humano, doméstico, etc. (LIVSC, 2013).

8.1.9 *Almacenamiento*

Tanque donde se guarda el agua lluvia limpia para el consumo humano debe tener: tapara, una entrada para poder limpiarlo, mallas en la entrada y el rebose, dispositivos para sacar el agua y drenaje (LIVSC, 2013).

8.1.10 Sistema de bombeo

El sistema de bombeo distribuirá el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las unidades requeridas, con la presión necesaria (LIVSC, 2013).

8.1.11 Sistema de potabilización

El agua que se saca del tanque de almacenamiento debe ser tratada, si es para consumo humano directo, con filtros y cloro (LIVSC, 2013).

8.2 Marco Legal

Tabla 1.

Descripción de la normatividad vigente

Normativa	Descripción
Ley 373 de 1997	ARTÍCULO 5o. REUSO OBLIGATORIO DEL AGUA. Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental. El Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Desarrollo Económico reglamentarán en un plazo máximo de seis (6) meses, contados a partir de la vigencia de la presente ley, los casos y los tipos de proyectos en los que se deberá reutilizar el agua. (Congreso de Colombia, 1997).
Ley 48 de 2017	Por medio de la cual se dictan normas para implementar e incentivar sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y de captación de energía solar y se dictan otras disposiciones. (SENADO, 2017)
Ley 142 de 1994	Artículo 1o. Ámbito de aplicación de la ley. Esta Ley se aplica a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía fija pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural; a las actividades que realicen las personas prestadoras de servicios públicos de que trata el artículo 15 de la presente Ley, y a las actividades complementarias definidas en el Capítulo II del presente título y a los otros servicios previstos en normas especiales de esta Ley. (Congreso de Colombia, 1994)
RAS 2000 Titulo B	Captación directa de aguas lluvias

Tabla 2. Continuación

Normativa	Descripción
RAS 2000	<p>El diseño de este tipo de captaciones debe cumplir los siguientes requisitos: 1. Deben establecerse las áreas de captación disponibles en el municipio, como techos, terrazas impermeables, zonas pavimentadas y todas las otras superficies adecuadas para tal efecto.</p> <p>2. El sistema debe ir acompañado por filtros de arena cuyo objetivo será retener los sólidos en suspensión.</p> <p>3. El agua debe recolectarse en tanques o cisternas ubicados en un sitio elevado.</p>
Título B Capítulo 4.5.12.1	<p>4. Si las cisternas se encuentran enterradas deben cumplirse los siguientes requisitos adicionales: a) Deben estar al menos a 15 m de distancia de toda fuente de contaminación, como pozos sépticos, descargas sanitarias, etc. b) La tapa debe quedar al menos 0.5 m por encima del nivel del terreno.</p> <p>5. Las cisternas y los tanques de almacenamiento deben tener tubos de ventilación, rebose y desagüe.</p> <p>6. Las tuberías que conducen el agua a los tanques o cisternas deben tener una válvula de alivio para eliminar las aguas de las primeras lluvias. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, 2010)</p>
NTC-1500	<p>Esta se utiliza para identificar, orientar y estudiar en detalle el correcto diseño y colocación de las redes sanitarias, así como los parámetros a considerar en el manejo de todos los elementos, accesorios, dispositivos y equipos. parte de la red (Bahamón, 2021).</p>
Resolución 2115 del 2007.	<p>La PTAP consta de una serie de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o características no deseables de las aguas (Barajas, 2015)</p>

Nota. Esta tabla compone diferentes normativas referentes al manejo de las aguas lluvias, así como de las estructuras diseñadas para el control de estas

8.3 Marco Teórico

8.3.1 ¿Qué es un sistema de captación de aguas lluvia?

Este como su nombre lo dice es un sistema que ayuda a la recolección de agua de lluvias es decir un conjunto de aparatos como tuberías, bombas, tanques entre otros que juntos ayudan a la recolección de la misma, Con esta agua puede llegar a ser usadas en diferentes actividades como lo son limpieza o aseo, riego de plantas, baños, etc. (Rotoplas, 2021)

Esta es una infraestructura tiene como función recolectar y almacenar el agua es que es precipitada de forma natural, mediante un sistema de filtración son retenida algunas impurezas que pueden llegar a tener, posteriormente esta es movida a través de tuberías a almacenarla para posteriormente ser distribuida para ser utilizada en las diferentes actividades. (Rotoplas, 2018).

8.3.2 *Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano*

En la Universidad Militar Nueva Granada (Hernández y Chaparro, 2020), se realizó un estudio de tratamiento de potabilización de aguas lluvia obtuvo como resultado que el sistema de tratamiento que mejor se desempeñó para la remoción de materia orgánica, color, sólidos y *Escherichia coli* fue el de filtración con carbón natural seguida de la desinfección solar.

También se observó que al tener el agua almacenada por un periodo de 96 horas aproximada esta influye a la calidad del agua inicial y es de tener consideración de alta relevancia utilizar recipientes que eviten la contaminación y que no exista una perturbación en el almacenamiento y así prevenir que sea suspendido el material sedimentado Aunque los parámetros evaluados del agua lluvia tratada mediante el sistema seleccionado cumplen con la normatividad colombiana para consumo humano, en esta investigación no es posible afirmar si este tratamiento realiza una adecuada potabilización del agua lluvia.

Teniendo en cuenta lo anterior por esto es recomendado incluir la evaluación de distintos parámetros como lo son el nitrógeno, hongos, ensayos de toxicidad por metales pesados y estudios de modelación de transporte por contaminación atmosféricos ya que estos son esenciales para verificar la influencia de las nubes contaminadas en el comportamiento químico-físico del agua lluvia (Hernández y Chaparro, 2020).

8.3.3 *¿Qué son las Aguas Lluvias?*

Las aguas pluviales son agua de lluvia que no es absorbida por el suelo, sino que escurre de edificios, calles, estacionamientos y otras superficies. Las aguas pluviales se recolectan en el alcantarillado y fluyen a colectores pluviales y al sistema de drenaje pluvial de la ciudad. (Valdivielso, 2022).

9. Antecedentes

En el artículo “Captación de agua lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la Comunidad de Vilca Maquera en Puno, Perú “ de Chino et al. (2016), se evalúa la implementación de un sistema de drenaje pluvial para abastecer a los hogares de la zona debido a que carecen de suministro de agua limpia; Para efectos de este estudio se realizaron censos, calculando la demanda de agua de una familia, precipitación neta, área cosechada, almacenamiento y bombeo de agua captada, teniendo en cuenta los recursos disponibles para la finca y la especificación. De los datos obtenidos se obtuvo un volumen promedio de 73 m³ para cuatro familiares con un área de 120 m², consumieron 24.2 m³ en el periodo de diciembre a marzo, y el resto se almacenó en el embalse; concluyó que la cantidad de agua captada en un área de 120 m² es suficiente para abastecer las necesidades de uso de agua de la población, los parámetros de calidad del agua se encuentran dentro de los límites permisibles del Reglamento Nacional de Calidad Ambiental (Chino et al., 2016).

Guadrón (2014), resume los resultados de una investigación realizada en las veredas El Salado, La Aguda, El Santero, y El Oso, del municipio de Lebrija, Departamento de Santander, Colombia, en donde se evaluó el impacto social y económico de la introducción de un sistema de recolección de agua de lluvia como una alternativa pública a la escasez, y la contaminación del agua tanto para el consumo, como para la agricultura humana en los pueblos de El Salado y La Aguada, municipio de Lebrija, Santander, Colombia (Guadrón, 2014).

Rojas et al. (2012). presentan la implementación de un sistema de recolección de agua de lluvia para determinar la calidad de esta agua para consumo humano, en el cual se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos de acuerdo con la normatividad vigente en México, determinando con esto la calidad de esta agua para el consumo humano, identificando los diferentes tipos de bacterias y sólidos. Con la identificación de y los contaminantes se determinó qué método de tratamiento es el más apropiado para llevar el agua a condiciones óptimas. El trabajo también propone la adecuación del sistema de captación de agua en un edificio que se ha construido con una línea de tratamiento, asegurando una calidad de agua suficiente para la demanda actual. (Rojas et al., 2012).

Palacio (2010) desarrollaron un diseño conceptual para implementar un sistema de recolección de agua de lluvia como una opción para ahorrar el consumo de agua, especialmente la

utilizada para la descarga de inodoros y el lavado de áreas comunes. Por ello, presentaron un análisis económico financiero de dicho uso, asumiendo la ciudad de Caldas, Antioquia. (Palacio, 2010).

Lara (2007) plantea que la obra es una justificación económica, social y técnica para la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia para riego y lavado de superficies duras y fachadas en el campus de la Universidad Javeriana; Se realizarán análisis de volumen de agua y posibles puntos de recogida, análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua captada y elaboración de un presupuesto del sistema, de acuerdo con los consumos actuales, presentes y futuros. Los resultados obtenidos con la implementación del sistema son técnica y económicamente factibles y dan solución al problema de ahorro de agua potable en el campus. (Lara et al., 2007)

10. Metodología

El presente proyecto plantea una metodología mixta, la cual se realizará en tres fases para dar cumplimiento con los objetivos propuestos

Tabla 2.

Descripción de la metodología,

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Establecer la zona de estudio para la red de aprovechamiento de aguas lluvias	Visita de reconocimiento, delimitación y demarcación de los puntos de captación (UTM GeoMap).	Ubicación de los puntos de drenaje como sumideros, cunetas, redes de tubería y bajantes, con el fin de elegir de estos, los puntos de captación a los que se le harán el respectivo análisis	Universidad Santo Tomás Campus Aguas Claras, Academia.
Evaluar las diferentes alternativas para la recolección de aguas lluvias en la universidad	Evaluar la mejor alternativa de captación.	De los puntos de captación escogidos anteriormente, se elegirá de estos, el mejor en recolección de agua, esto depende de los análisis y estudios del agua en evaluación de los puntos de captación seleccionados	Universidad Santo Tomás Campus Aguas Claras, Academia.
Valoración de la calidad de agua lluvias en universidad	Consulta de fuentes secundarias y de datos hidrometeorológicos. Toma de muestras y ensayos de laboratorio para determinar calidad de aguas.	Se recolectará información de fuentes bibliográficas referentes a fundamentos teóricos y los datos hidrometeorológicos del IDEAM. Se realizará la recolección de muestras en puntos de captación para que en el laboratorio de calidad de aguas se realice la caracterización fisicoquímica de las aguas lluvias según la norma NTC – 5667-3.	Universidad Santo Tomás Campus Aguas Claras, Academia.

Tabla 2. Continuación

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Diseñar las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento y distribución	Diseño del sistema de captación.	De la alternativa escogida, se diseñará el modelo aprovechamiento racional de aguas lluvias en el cual se compone de la captación, almacenamiento, tratamiento, potabilización y distribución de la fuente, para esto se necesita de información como el caudal que tendrá el sistema, el diámetro de la tubería de la red del modelo de aprovechamiento, el material de dicha tubería, el volumen del o de los tanques de almacenamiento, el tipo de bomba y la potencia de la misma, y finalmente el tipo de tratamiento que se realizará al agua para su debida potabilización, para esto se tendrán en cuenta la resolución 2115 del 2007 y la NTC 1500 del 2004	Universidad Santo Tomás Campus Aguas Claras, Academia.
Diseñar las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento y distribución	Diseño del sistema de captación.	Se estiman los costos de los materiales del sistema de aprovechamiento racional de aguas lluvias para la Universidad Santo Tomás de la siguiente manera: Tubería de aducción por 1m hierro galvanizado 6” = 37.000 Tubería de aducción por 1m de A/LLUVIAS 6” =5.900 COP Tanque de almacenamiento PVC = 1.236.000,000 Válvula HD 6” junta hidráulica comp elast= 1.350.680,71 COP Sistema de bombeo (electrobomba 5HP) = 3.218.589,39 COP	Universidad Santo Tomás Campus Aguas Claras, Academia.

Nota. Descripción de la metodología, donde se compone de cinco fases, desde establecer la zona de estudio, hasta Diseñar las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento y distribución.

11. Resultados

11.1 Plan de Muestreo

11.1.1 Puntos de captación Campus Aguas Claras Universidad Santo Tomás Villavicencio para análisis físicoquímicos y caracterización del agua

Para la recolección del agua lluvia que se necesitará para determinar la calidad físicoquímica de esta en el área de estudio, es necesario establecer los puntos donde se recolectarán, por lo tanto, se escogieron tres (3) puntos de muestreo en el Campus Aguas claras, los cuales son:

- A. Agua directa:** será el agua que se precipite directamente y sin ninguna intervención llegue al recipiente donde se almacenará el agua lluvia, para esto, el punto seleccionado es la zona trasera del edificio Sol de Aquino, al noreste del Campus Aguas Claras.

Figura 2.

Ubicación punto de muestreo directo,



- B. Cunetas- Sumideros:** son los más eficientes para el drenaje y evacuación del agua de lluvia en una infraestructura, en este caso, se seleccionó el punto de drenaje de sumidero que está en la parte trasera del Campus Aguas Claras, específicamente, este conecta el edificio Santo Domingo de Guzmán con el edificio Sol de Aquino.

Figura 3.

Ubicación punto de muestreo por cuneta y/o sumideros,



C. Bajantes- Cubiertas: “Las canalizaciones en las fachadas y cubiertas son elementos indispensables en cualquier edificio construido destinados a la evacuación de las aguas pluviales. Con el paso del tiempo se hacen evidentes daños estructurales y posibles obstrucciones que afectan al correcto drenaje de los edificios” (LIFTING SOLUTION GROUP, 2022). Es por eso que para el mantenimiento de estos y el correcto flujo y drenaje del agua de estas cunetas, es necesario de unas bajantes y cubiertas en donde caiga el agua pluvial recolectada del canal de fachadas y demás. Para este punto, se seleccionó uno de los bajantes de la sección trasera del edificio Sol de Aquino, específicamente detrás de la coordinación de laboratorios del edificio mencionado.

Figura 4.

Punto de muestreo de bajantes-cubiertas,



D. Cálculo de la cantidad de muestras

Para el cálculo de la cantidad de muestras, se utilizó la fórmula de cálculo del tamaño de muestra para una proporción de (n/N o %) para muestra finitas e infinitas tomada del libro probabilidad y estadística para ingenieros (Walpole, R. E, 1999) la cual es:

$$p \pm z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{P(1-p)}{n}}$$

Ecuación 1. cálculo del tamaño de muestra para una proporción de (n/N o %)

Nota: tomado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999

Donde despejamos n que es el número de muestras, para así establecer el número de muestras por los puntos de captación nombrados en anteriormente, obteniendo así las siguientes ecuaciones:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 Pq}{e^2}$$

Ecuación 2. cálculo de cantidad de muestras para tamaños infinitos

Nota: tomado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 Pq}{Z_{\alpha/2}^2 Pq + (N - 1)e^2}$$

Ecuación 3. cálculo de cantidad de muestras para tamaños finitos

Nota: tomado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999

Donde:

Z = coeficiente de estandarización de confianza

P = proporción

N = población

q = (1-p)

α = nivel de significancia (Alpha)

Para poder realizar lo anterior, hay que tener en cuenta un nivel de confianza dependiendo del factor de seguridad seleccionado a través de la siguiente tabla:

Tabla 3.

Nivel de confianza y factor de seguridad, adaptado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999,

Nivel de confianza	Z _{α/2}
90,00%	1,645
95,00%	1,96
99,00%	2,576

Nota. Esta tabla representa los niveles de confianza como los factores de seguridad que se tienen que tener en cuenta para el cálculo de cantidad de muestras, tanto para poblaciones finitas e infinitas.

Teniendo en cuenta lo anterior se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.

Cantidad de muestras de Bajantes con una población finita, adaptado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999,

BAJANTES				
Variable	Nomenclatura	Unidades	Valor	Comentarios
Población	N	ha	92	92 bajantes correspondientes a los bloques A y B USTA V/CENCIO
Nivel de confianza	-	%	90	
Alpha (significancia)	α	%	10	

Tabla 5.

Cantidad de muestras de Bajantes con una población finita. (Continuación), adaptado de Walpole, R.E, probabilidad y estadística para ingenieros, 1999,

BAJANTES				
Variable	Nomenclatura	Unidades	Valor	Comentarios
Valor normal estandarizado	$Z (\alpha/2)$	-	1,645	Se saca de tabla
Margen de error (propuesto)	e	-	0,1	
proporción	P	-	0,5	Se recomienda P=0.5 cuando no se tiene conocimiento de la proporción [1]
muestra	n	ha	39	Cuando se conoce el tamaño de la población [2]

Tabla 5. Continuación

AIRE LIBRE, CUNETAS				
Variable	Nomenclatura	Unidades	Valor	Comentarios
Población	N	ha	INFINITO	
Nivel de confianza	-	%	90	
Alpha (significancia)	α	%	10	
Valor normal estandarizado	Z ($\alpha/2$)	-	1,645	Se saca de tabla
Margen de error (propuesto)	e	-	0,1	
proporción	p	-	0,5	Se recomienda P=0.5 cuando no se tiene conocimiento de la proporción [1]
muestra	n	ha	68	Cuando no se conoce el tamaño de la población [1]

11.2 Estimación de la cantidad de aguas lluvias a partir de datos pluviométricos.

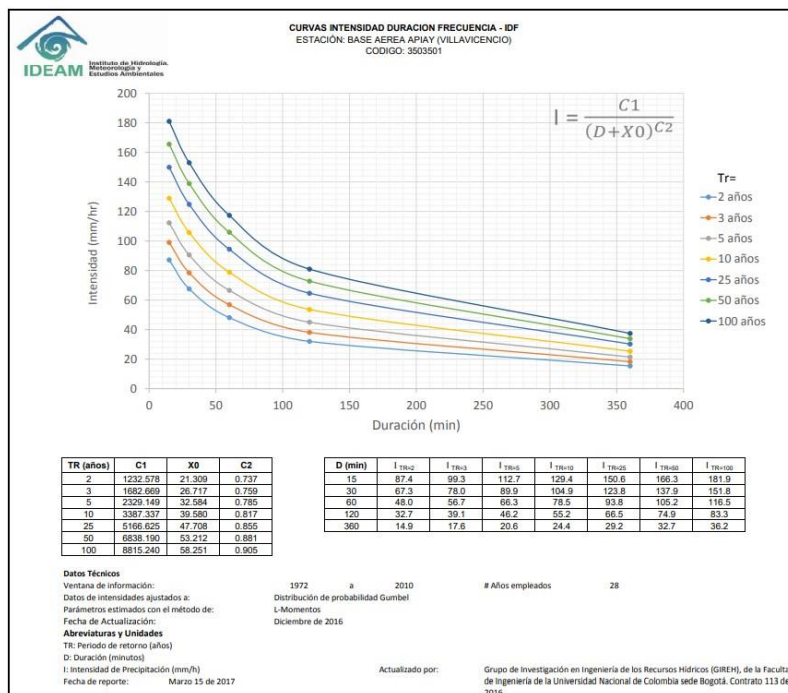
Para realizar a cabo la estimación de las cantidades de aguas lluvias se llevó a cabo la búsqueda de los registros de la precipitación máxima en 24 horas, el número de días con lluvia y las precipitaciones mensuales multianual, esto teniendo en cuenta los datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas más cercanas a las instalaciones de la universidad del Campus Aguas Claras.

Esta información fue obtenida de a través de la página del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, con estos datos se procesaron a partir del método Racional según la metodología de Vargas y Díaz-Granados (1998), en su artículo “Curvas sintéticas regionalizadas intensidad-duración-frecuencias para Colombia”

Con esto se obtienen los datos de intensidad, teniendo en cuenta la duración en minutos y el periodo de retorno en años, se genera la curva IDF para el campus Aguas Claras como se observa en la Figura 5.

Figura 5.

Curva Intensidad-Duración-Frecuencia Tomada del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, adaptado de IDEAM 2002.



La figura 5 representan la intensidad expresada en milímetros por hora, para una duración determinada de 5, 10, 15 y 180 minutos, se estima una probabilidad de ocurrencia (periodo de retorno), o frecuencia expresada en 2, 5, 10, 15, 25, 50 y 100 años. En ellas, se observa que la intensidad aumenta a mayor periodo de retorno y varía de acuerdo con la duración con la que se presenta. Posteriormente, se estima el caudal, para el cual se tomó como referencia una duración de 60 minutos y un periodo de retorno de 100 años, y se obtuvo un valor de 82.38 mm/h en el campus Aguas Claras.

Se calculó el caudal a partir del método racional, con la Ecuación 3, donde el coeficiente de escorrentía (C) se tomó del título del reglamento técnico RAS 2000 (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), obteniendo así una escorrentía parcial para pavimentos, zonas verdes, pavimento y cubiertas de 0.95, 0.45 y 0.97 respectivamente. La estimación del área de las estructuras de captación de aguas lluvias, el área se calculó tomando como base todos los posibles lugares donde se podría llegar a recolectar agua lluvia, como el bloque A y B, zonas verdes entre otros. Obteniendo las siguientes áreas y perímetros:

Tabla 6. *Tabla de Áreas del Campus Aguas Claras,*

	Zonas	Perímetro (m)		Área (m ²)	
Pavimento	Pavimento 1	187	1898	1832	9537
	Pavimento 2	1711		7705	
Zona Verde	Zona Verde 1	115		425	21583
	Zona Verde 2	153		1053	
	Zona Verde 3	53,4		212	
	Zona Verde 4	322		1428	
	Zona Verde 5	139		365	
	Zona Verde 6	195	2207,4	510	
	Zona Verde 7	1230		17590	
Construcciones	Bloque A Salón de Convenciones	359	1048	5122	12039
	Bloque B	143		1057	
		546		5860	
Total		-	5153,4	-	43159

Nota: Datos de áreas de las cubiertas en metros cuadrados del campus Aguas Claras Propios

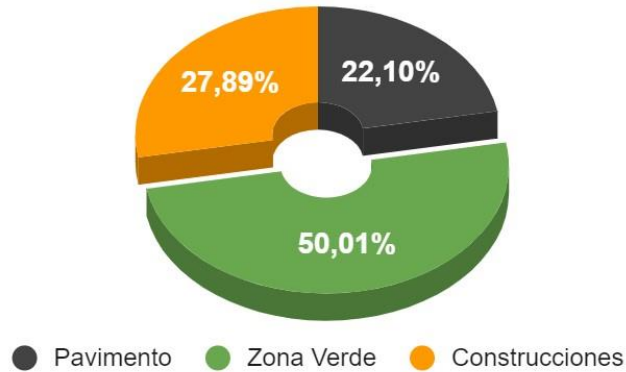
Figura 6.

Delimitación de las áreas de estudio adaptado de Google Earth 2022,



Figura 7.

Porcentajes de las distintas áreas de estudio.



El caudal se determinó para conocer la cantidad de agua con la que puede contar en cada una de las zonas nombradas en la Figura 10, para este caso se obtuvo un caudal de 0,08 m³ /s, 0,017 m³ /s, 0,092 m³ /s, 0,339 m³ /s y de 0,015 m³ /s para las zonas de Pavimento, Zona verde, Bloque A y B y Salón de convenciones respectivamente, con un caudal total de 0,667 m³ /s siendo este el caudal posiblemente aprovechable. El caudal mayor corresponde a zona verdes, esto se debe a que esta posee mayor área de cobertura y tiene mayor recepción de agua lluvia (Tabla 7).

Tabla 7.*Tabla de Áreas del Campus Aguas Claras,*

Caudales			
Bloque A	I	36,200	mm/h
	A	0,512	Hec
	C	0,686	
	Q	0,035	m ³ /s
Salón de Convenciones	I	36,200	mm/h
	A	0,106	Hec
	C	0,686	
	Q	0,007	m ³ /s
Bloque B	I	36,200	mm/h
	A	0,586	Hec
	C	0,686	
	Q	0,040	m ³ /s
Zona Verde	I	36,200	mm/h
	A	2,158	Hec
	C	0,686	
	Q	0,149	m ³ /s
Pavimento	I	36,200	mm/h
	A	0,954	Hec
	C	0,686	
	Q	0,066	m ³ /s
General	I	36,200	mm/h
	A	4,316	Hec
	C	0,686	
	Q	0,298	m ³ /s

Nota. Datos de intensidades, áreas y caudales de cada una de las zonas que compone el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, donde I = Intensidad (mm/h); A = Área (m²) y Q = Caudal (m³/h)

11.3 Comparación Hidrográfica

Una vez determinados los cálculos correspondientes a la estimación de la cantidad de aguas lluvias a partir de datos pluviométricos se procede con el cálculo de los caudales para cada una de las zonas anteriormente mencionadas (Tabla 8), en cada uno de los meses del año, para esto, se tuvieron en cuenta los datos de las precipitaciones totales mensuales obtenidas de la estación ICA

Villavicencio con numero de referencia 35030370 ubicado en el sector del Macal municipio de Villavicencio, a una longitud de -73.62 Longitud y 4,14 latitud, a 444 m.s.n.m. Cabe destacar que se tomó como referencia los datos pluviométricos de esta estación, ya que se

encuentra a menor distancia del lugar de estudio (1.98072 km medidos en línea recta), a comparación de otras estaciones, como es el caso de la estación BASE AEREA APIAY (7.52057 km medidos en línea recta).

No obstante, teniendo en cuenta lo anterior se obtienen una demanda de consumo de agua entregada por la Universidad Santo Tomás Sede Aguas Claras del año 2021 la cual fue de 18,752 m³, y un caudal promedio aproximado de 1,562.67 m³/mes.

Tabla 8.

Demanda del consumo de agua mensual del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo

Consumo Universidad Santo Tomas			
Mes	Consumo de agua (m³/mes)	Consumo de agua (m³/s)	Consumo de agua (L/s)
Enero	87	0,000034	0,033565
Febrero	263	0,000101	0,101466
Marzo	196	0,000076	0,075617
Abril	418	0,000161	0,161265
Mayo	586	0,000226	0,226080
Junio	497	0,000192	0,191744
Julio	341	0,000132	0,131559
Agosto	7519	0,002901	2,900849
Septiembre	1593	0,000615	0,614583
Octubre	2489	0,000960	0,960262
Noviembre	3857	0,001488	1,488040
Diciembre	906	0,000350	0,349537
total	18752,000	0,007235	7,234568

Nota. Esta tabla representa los valores de consumo de agua del Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio para el año 2021, en donde agosto fue el mes con mayor consumo de agua registrado. Adaptado de Oficina de Planta Física de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio,

Teniendo en cuenta la precipitación reportada por de la estación ICA del IDEAM, la pluviosidad para el año 2021 fue:

Tabla 9.*Datos de precipitación reportados por la estación ICA Villavicencio.*

Mes	Precipitación (mm)
Enero	79
Febrero	18
Marzo	189
Abril	817
Mayo	905
Junio	714
Julio	585
Agosto	547
Septiembre	347
Octubre	282,8
Noviembre	310
Diciembre	28

Nota. Datos de precipitación obtenidos de la estación ICA, siendo esta la más cercana a la zona de estudio, se evidencia que el mayor valor de precipitación fue el mes de mayo, Adaptado de IDEAM (2022),

Teniendo en cuenta lo anterior se obtuvieron los caudales para las áreas respectivas de las zonas nombradas anteriormente mes a mes. De igual manera se determina la comparación entre los caudales que corresponden a los datos de las precipitaciones de la estación ICA (Tabla 10) con los de los datos de la demanda del año 2021 requeridos por la universidad. de acuerdo con esto, en este trabajo se realizaron los cálculos para el caudal de oferta versus el caudal de demanda, que se observan en la tabla 11, de acuerdo a la información que nos suministró la oficina de planta física de la universidad.

Tabla 10.

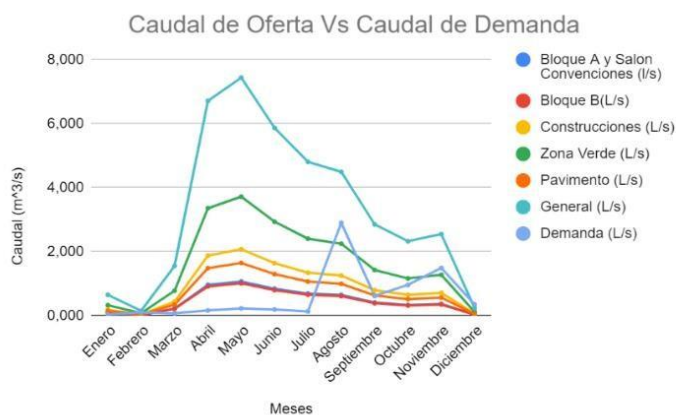
Datos caudales de oferta vs caudal de demanda requeridos por la Universidad,

CAUDAL DE OFERTA VS DEMANDA							
Mes	Bloque A y Salón Convenciones (l/s)	Bloque B(L/s)	Construcciones (L/s)	Zona Verde (L/s)	Pavimento (L/s)	Caudal de oferta General (L/s)	Caudal de Demanda (L/s)
Enero	0,093	0,088	0,181	0,325	0,143	0,649	0,034
Febrero	0,021	0,020	0,041	0,074	0,033	0,148	0,101
Marzo	0,222	0,211	0,433	0,777	0,343	1,553	0,076
Abril	0,961	0,912	1,873	3,358	1,484	6,715	0,161
Mayo	1,065	1,010	2,075	3,720	1,644	7,438	0,226
Junio	0,840	0,797	1,637	2,935	1,297	5,868	0,192
Julio	0,688	0,653	1,341	2,404	1,062	4,808	0,132
Agosto	0,644	0,610	1,254	2,248	0,993	4,496	2,901
Septiembre	0,408	0,387	0,796	1,426	0,630	2,852	0,615
Octubre	0,333	0,316	0,648	1,162	0,514	2,324	0,960
Noviembre	0,365	0,346	0,711	1,274	0,563	2,548	1,488
Diciembre	0,033	0,031	0,064	0,115	0,051	0,230	0,350

No obstante, se realizó un gráfico comparativo entre los caudales de oferta con la demanda de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio Campus Aguas Claras, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 8.

Grafica caudales de oferta vs caudal de demanda,



Nota. Esta grafica representa el caudal de oferta vs la demanda del Campus Aguas Claras, observando que las distintas formas de captación de agua no son suficientes para cubrir la demanda en su totalidad

11.4 Estudios de Calidad de agua

11.4.1 Determinación de la calidad del agua lluvia

Una vez tomadas las muestras, se procede con el traslado de éstas al laboratorio para su respectivo estudio, cabe aclarar que para su conservación, es necesario que el agua una vez recolectada, sean trasladadas al laboratorio de manera inmediata, en el caso de que no se pueda, esta tendrá que estar en un proceso de refrigeración no mayor a veinticuatro (24) horas contadas desde el momento de ser almacenadas en el recipiente, en ese mismo lapso de tiempo, el agua tendrá que ser analizada desde sus análisis básicos, volumétricos, gravimétricos (Eumed.net, 2013).

11.4.2 Caracterización fisicoquímica del agua

Una vez las muestras en laboratorio, se procede con la caracterización física y química del agua en estudio, esto se hace con el fin de determinar el estado en el que se encuentra la muestra, teniendo en base lo mencionado en el inciso 13.4.1, con ayuda de diferentes equipos los cuales, proporcionan valores de parámetros como turbiedad, color, temperatura, conductividad, pH, entre otros.

En primer lugar, se analizaron diferentes cantidades de muestras nombradas en la Tabla 4 y 5, para cada uno de los puntos de captación (Aire libre, bajantes y cunetas), teniendo como resultados valores no lejanos entre ellos, por lo que se obtuvieron los siguientes valores promedio:

Figura 9

Parámetros Físico-químicos para Bajantes,
Bajantes

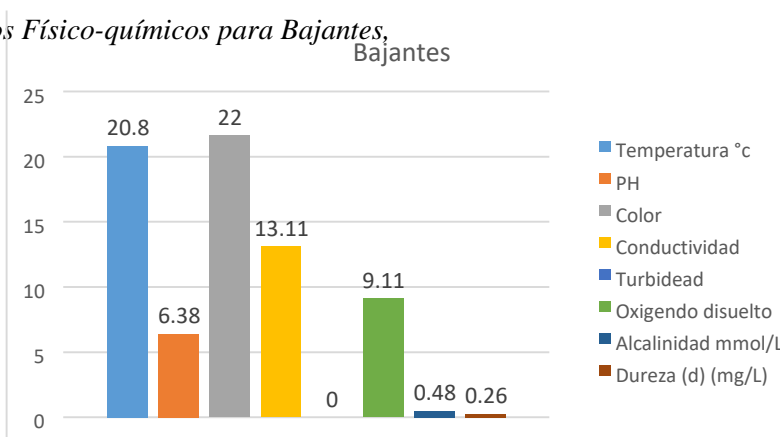


Figura 10.

Parámetros Físico-químicos para Cunetas,

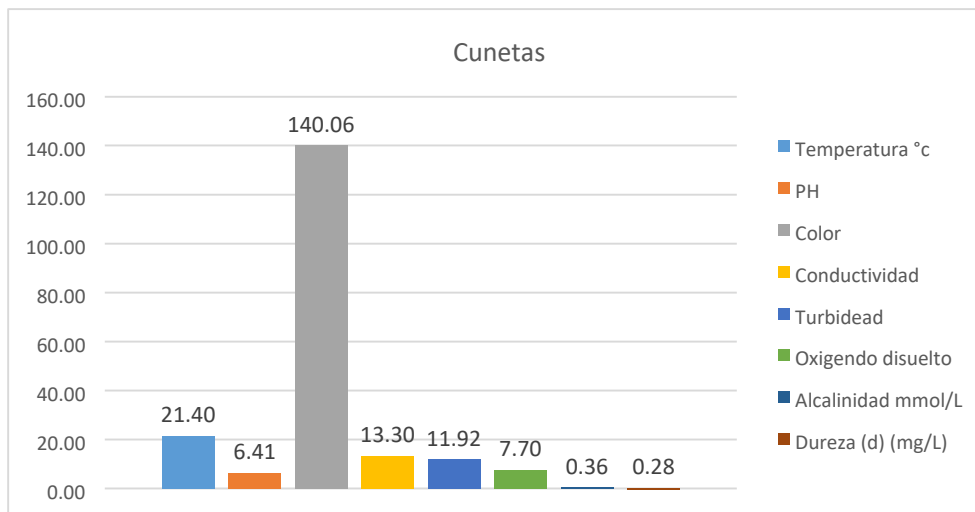
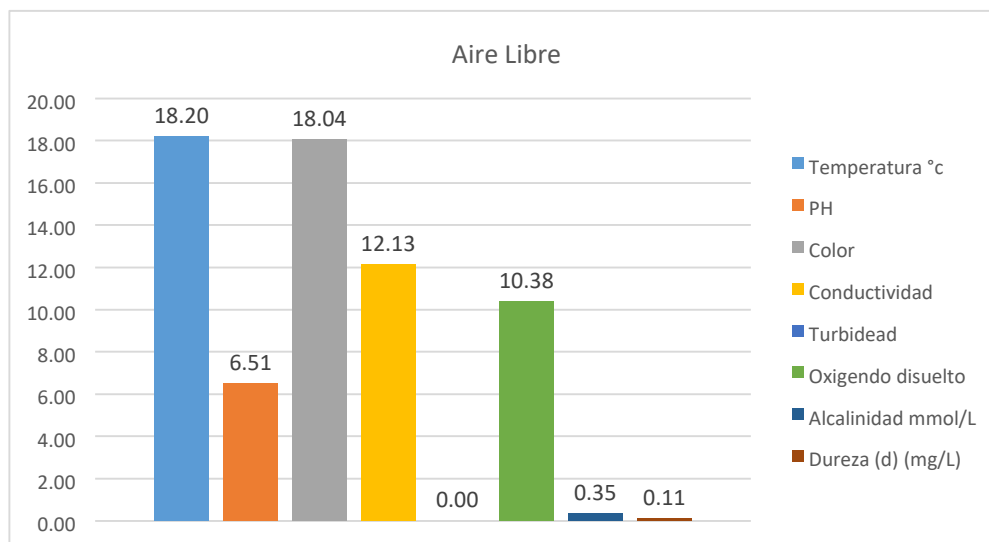


Figura 11.

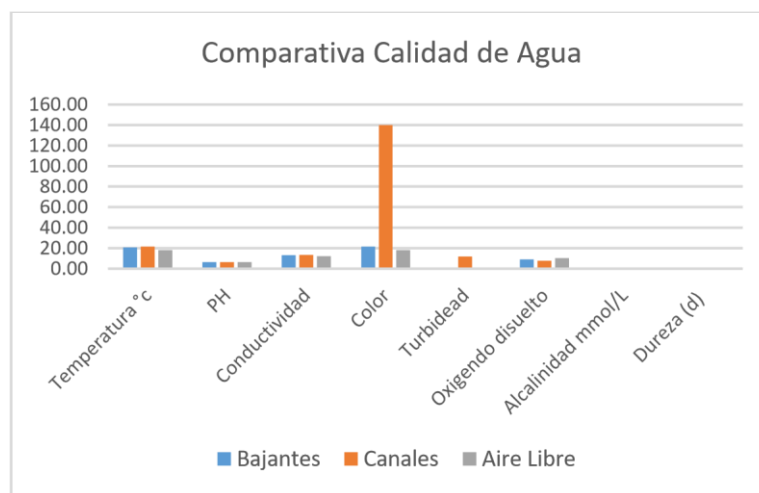
Grafica de parámetros Físico-químicos para Aire libre,



No obstante, se comparan los resultados de los datos obtenidos de las tres diferentes muestras (Aire libre, Bajantes y Cunetas) para visualizar de manera analítica, el nivel de calidad de agua de las mencionadas anteriormente con base a los parámetros mencionados en el inciso 13.4.2

Figura 12.

Grafica comparativa de los parámetros Fisicoquímicos para los distintos puntos de captación,



11.4.3 Laboratorio de test de jarras

La prueba de Jarras es un método de laboratorio en el que determina las dosificaciones óptimas de coagulantes para el tratamiento de agua (que en este caso es el agua lluvia). De igual forma, permite, por medio de este ensayo, realizar ajustes a las variaciones en las dosis del coagulante a implementar, realizando una alteración en las diferentes velocidades de mezclado que se apliquen y así vez, en los tiempos de sedimentación a baja escala, esto con el fin de predecir el tratamiento del agua, en una operación a gran escala. Esta prueba de jarras, tiene en cuenta los procesos de floculación, sedimentación y coagulación, los cuales tratan la eliminación de los coloides y materia orgánica en suspensión los cuales aportan distintos elementos que pueden conducir a problemas de color, conductividad, turbidez, sabor y temperatura.

En este ensayo se determinaron las muestras de los puntos de captación mencionados anteriormente, de igual forma, se agregó a la muestra diferentes cantidades de dosificaciones, con el fin de determinar a cuanta dosificación se eliminarían los flocs del agua, y así se trataría.

los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 11.

Resultados test de jarras punto bajantes,

	Volumen de coagulante (mL)	T °C	PH	Conductividad	Color	Turbiedad
Bajantes	0	18,8	8,433	11	0	0
	1	20,6	5,15	159,4	23	3,5
	3	20,6	5,01	352	84	9,98
	5	20,6	4,99	505	133	19,97
	8	20,9	4,87	740	236	30,91
	10	20,9	4,852	846	375	43,06
	15	20,8	4,763	1157	500	56

Tabla 12.

Resultados test de Jarras punto Aire Libre,

	Volumen de coagulante (mL)	T °C	PH	Conductividad	Color	Turbiedad
Aire Libre	0	20,7	7,212	8,8	1	0
	1	19	5,52	129,9	14	2,6
	3	19,2	5,3	321	93	10,68
	5	19,55	5,182	465	137	16,8
	8	19,75	5,072	670	181	20,01
	10	19,85	5,039	756	85	17
	15	19,84	5,971	1086	93	22,04

Tabla 13.

Resultados test de Jarras punto Cunetas,

	Volumen de coagulante (mL)	T °C	PH	Conductividad	Color	Turbiedad
Cunetas	0	20,8	7,486	10,6	186	20,71
	1	19,7	5,75	137,5	74	16,75
	3	20	5,49	306	89	12,74
	5	19,7	5,35	475	54	6,97
	8	19,7	5,29	393	53	5,11
	10	19,7	5,25	763	46	3,87
	15	19,6	5,09	1093	55	22,64

En primera instancia, se estimó una concentración de coagulante de $Al_2(SO_4)_3$ de 17100 mg/L para el desarrollo de este laboratorio. No obstante, se determina el comportamiento del pH a medida en que aumenta la cantidad de coagulante, desde los 1ml, hasta los 15 ml de coagulante. Para el caso de los puntos de bajantes, aire libre y cunetas se obtuvieron resultados de pH de 8.433, 7.212 y 7.486 respectivamente, a cero (0) ml de volumen de Sulfato de

Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), los cuales se clasifican como una fuente aceptable- regular, ya que se encuentran bajo un rango de 6.0-8.5 (para fuente aceptable) y 5.0- 9.0 (para fuente regular), según la tabla C.2.1 calidad de la fuente (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y saneamiento Básico, Título C, 2000). De igual forma, se evidencia que a medida que se va aplicando las distintas cantidades de $Al_2(SO_4)_3$, se evidencia una disminución del pH, los cuales para ambas muestras se reflejaron en un rango regular según el RAS 2000 título C (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y saneamiento Básico, Título C, 2000).

Por otra parte, para los casos de conductividad y turbiedad, se evidencian en las dos muestras una afectación negativa, ya que a medida en que se aumenta el volumen de coagulante de $Al_2(SO_4)_3$, estos valores aumentan de manera considerable a comparación de las muestras sin coagulante, clasificándolas desde una fuente regular, hasta una fuente deficiente según el RAS 2000 (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y saneamiento Básico, Título C, 2000). Cabe destacar que en caso de cunetas se evidencia a los 10 ml de coagulante de $Al_2(SO_4)_3$, un valor de turbiedad de 3.87 UNT, clasificándolo de igual manera como una fuente regular.

Figura 13.

Grafica resultante a parámetros físico químicos prueba de Jarras para Bajantes,

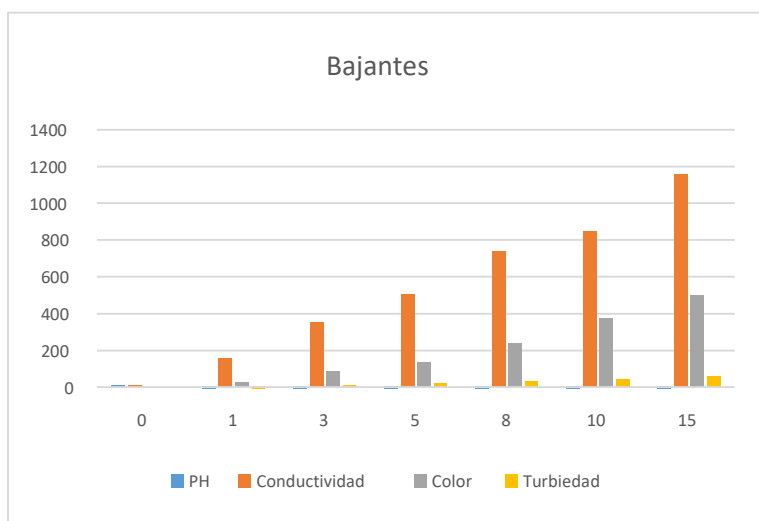


Figura 14.

Grafica resultante a parámetros físico químicos prueba de Jarras para Aire Libre

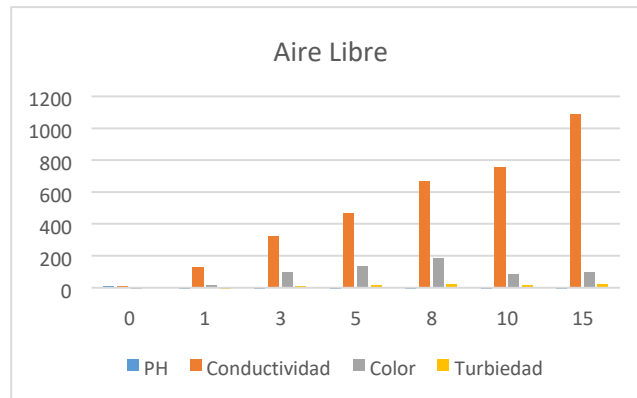
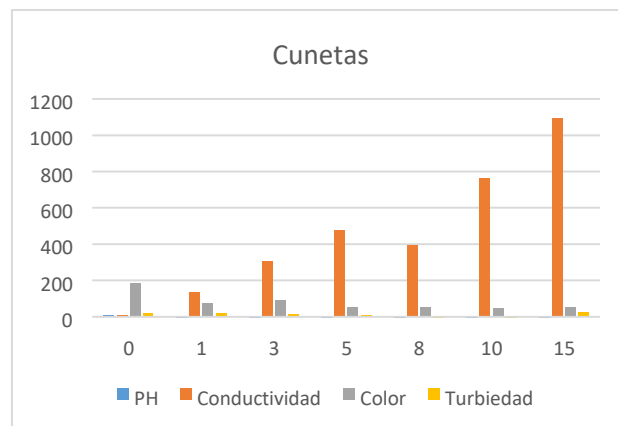


Figura 15.

Grafica resultante a parámetros físico químicos prueba de Jarras para Cunetas,



12. Diseño

12.1 Tanque de Almacenamiento

Para el desarrollo del diseño del tanque de almacenamiento, se tuvieron en cuenta los tiempos de consumo (C) y suministro (S) de agua en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, en un transcurso de tiempo de veinticuatro (24) horas, de igual forma se determina el volumen de almacenamiento en forma gráfica por medio de la curva integral, donde se evidencia la combinación entre los consumos en el lapso de tiempo estudiado, y el suministro de agua, que en este caso es continuo (24h). El método de curva integral, se realiza trazando dos curvas en un sistema de ejes uniforme, con el fin de que estas coincidan en las escalas de tiempo (Universidad Mayor de San Simón, 2010).

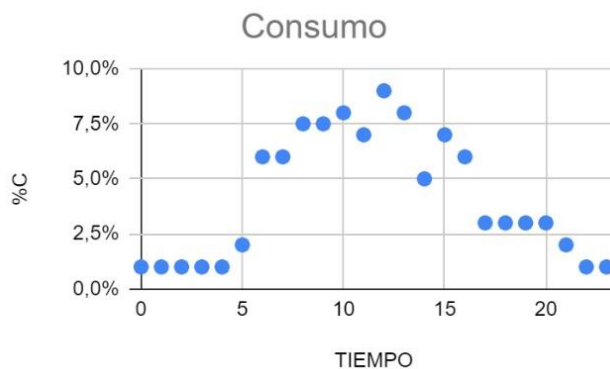
Figura 16.

Grafica de Curva Integral,



Figura 17.

Grafica de Consumo,



Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó el diseño de dos tanques de almacenamiento, el primero que satisfaga el área del edificio Santo Domingo de Guzmán y el salón de convenciones, por otra parte, el segundo, el cual suministre agua para el área que ocupa el edificio Santo Tomás de Aquino. En primera instancia para el primer y segundo tanque, se obtuvieron caudales máximo diarios (QMD) de 15.76 L/s y 14.95 L/s respectivamente, donde para ambos casos, se evidencia un volumen de consumo del 29.33% con un grado de consumo de 9% en el transcurso del medio día, donde se determina la hora pico del día en consumo de agua, de igual forma se establece que el mejor diseño por dimensiones geométricas, y ubicación, es de un tanque de almacenamiento cuadrado, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 14.

Volumen del tanque de almacenamiento edificio Santo Domingo De Guzmán y Centro de Convenciones,

VOLUMEN TANQUE HAB	479,301	m3
VOLUMEN DE INCENDIOS	119,8253	m3
VOLUMEN TOTAL DEL TANQUE	599,126	m3

Tabla 15.

Dimensionamiento del tanque de almacenamiento edificio Santo Domingo De Guzmán y Centro de Convenciones

H	4	m
AREA	149,782	m2
L	13	m

Así mismo, se realiza el bosquejo del tanque de almacenamiento del edificio Santo Domingo De Guzmán y Centro de Convenciones en base a los cálculos mostrados anteriormente:

Figura 18.

Diseño tanque de almacenamiento edificio Santo Domingo De Guzmán y Centro de

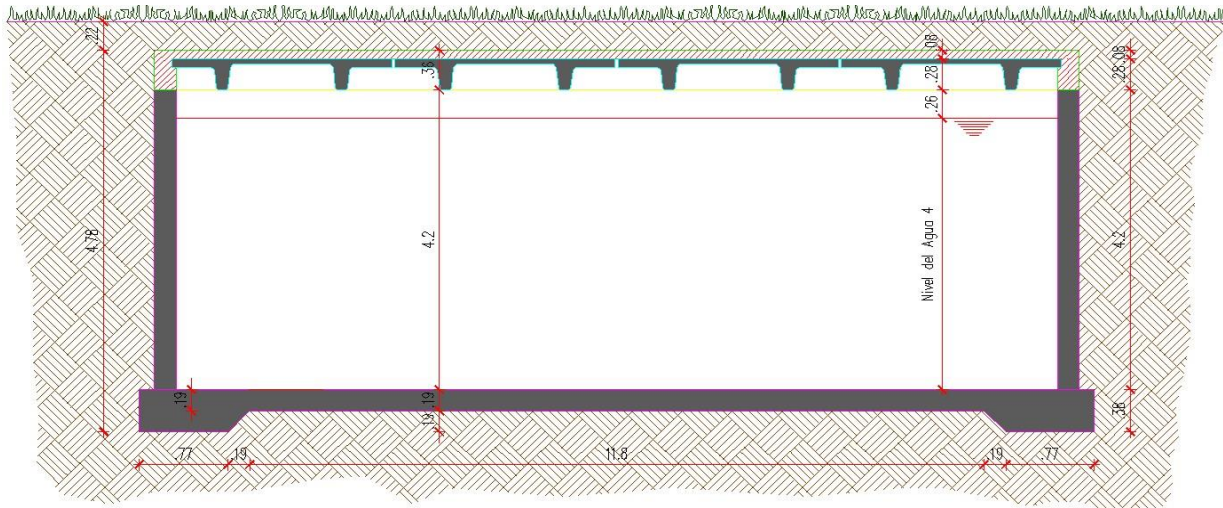


Tabla 16.

Volumen del tanque de almacenamiento edificio Santo Tomás de Aquino, por Espinosa & Van Audenhove, 202

VOLUMEN TANQUE HAB	454,56	m3
VOLUMEN DE INCENDIOS	113,64	m3
VOLUMEN TOTAL DEL TANQUE	568,2	m3

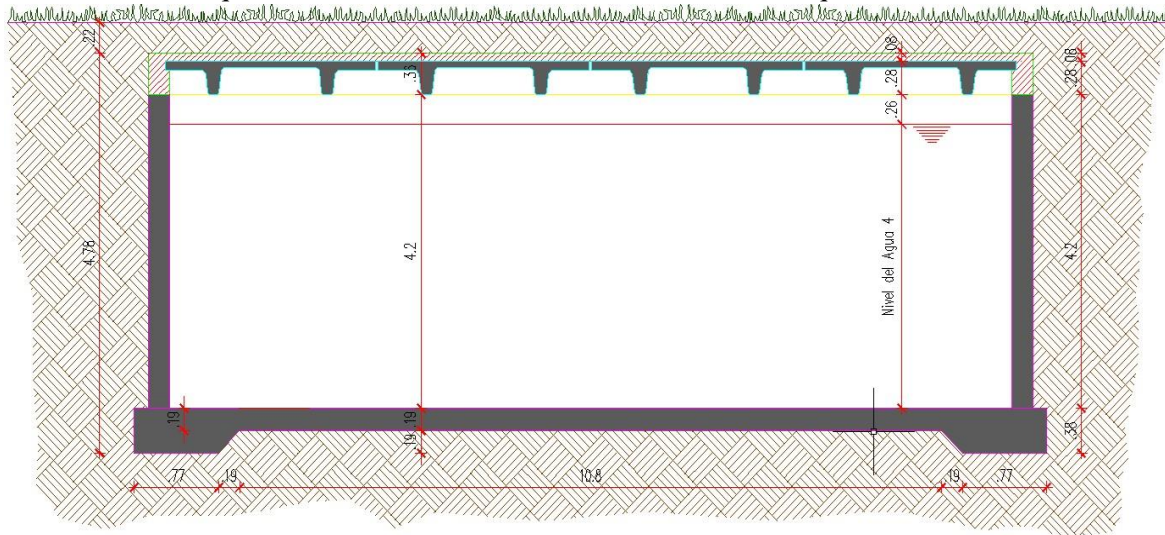
Tabla 17.

Dimensionamiento del tanque de almacenamiento edificio Santo Tomás de Aquino, por Espinosa & Van Audenhove, 2023

H	4	m
AREA	142,05	m2
L	11,92	m

Figura 19.

Diseño tanque de almacenamiento edificio Santo Tomás de Aquino,



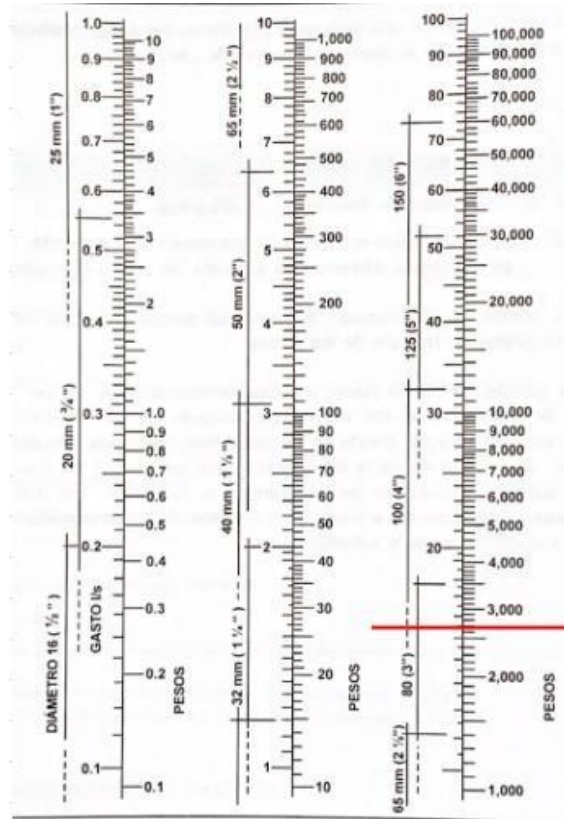
12.2 Diseño de tubería de aducción

Se tiene propuesto las siguientes rutas, la línea de aducción 1 tendrá inicio en la parte superior del bloque A y posterior mente dirigida por gravedad hacia el bloque B donde se encontrara el respectivo tanque para dicha línea, esta ruta debido que se realizó una inspección en campo se observó que el agua fluye en este sentido, para la línea de aducción 2 este comenzara en donde comienza igualmente la tubería 1 pero con dirección hacia el odeón, pasando por debajo del lobby ubicado en el bloque A llegando a conectar el dicho tanque para esta línea, cabe aclarar que para la línea 2 igualmente como la línea 1 se trabajara por gravedad. Para las tuberías de aducción que llegarían a los respectivos tanques de almacenamiento en cada edificio, teniendo en cuenta que estas estarán por donde actualmente se encuentran las líneas de cunetas. La decisión de conducir el agua cosechada por tuberías sobre las cunetas se tomó debido a que, en los resultados de calidad del agua, el agua de techos y bajantes está libre de coliformes, mientras que las cunetas ya presentan contaminación biológica como se observa en el índice 11.4.2 y en el 11.4.3. Por esto, se decidió conectar directamente las bajantes con la tubería de aducción atreves de uno codos de 90° y así junto a una unión tipo Tee, evitando así que el agua se contamine debido a las cunetas.

Los cálculos fueron realizados a través del método de Hunter basándonos en el libro de Enríquez Gilberto "Cálculo de instalaciones hidráulicas y sanitarias, residenciales y comerciales" (Enríquez, 2007), como se muestran a continuación.

Figura 20.

Abaco para el cálculo de tuberías de agua fría para la tubería 1.

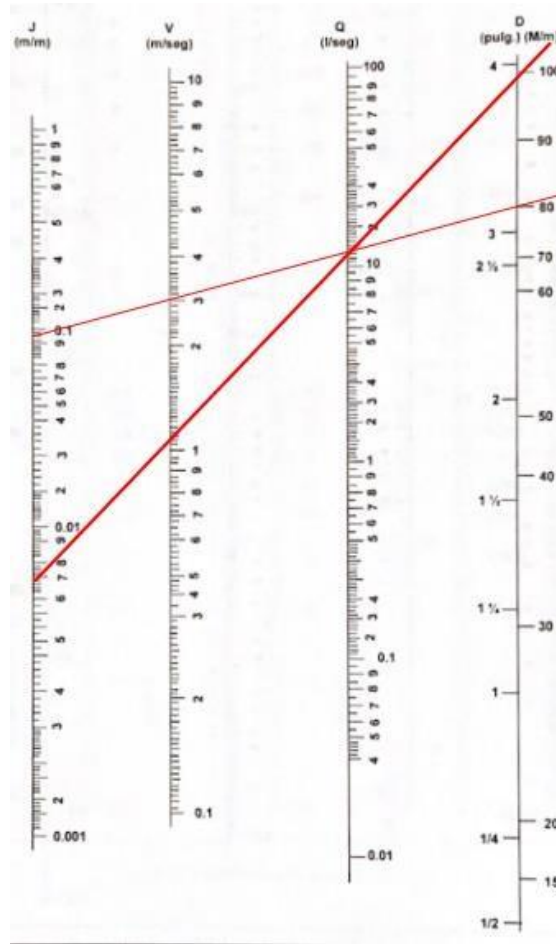


Nota. Calculo para el diámetro de tuberías, adaptado de Cálculo de instalaciones hidráulicas y sanitarias, residenciales y comerciales Enríquez, 2007,

En la figura (Abaco) anterior se puede observar que trazando una línea horizontal nuestro gasto o consumo el cual es de 15.76 L/s, este Abaco nos entra los dos posibles diámetros de la tubería que se podrían llegar a usar en este caso de 3” o 4”, una vez teniendo los diámetros de la tubería se pasó a calcular las velocidades máximas que se tendría con estas seleccionadas como se muestran a continuación.

Figura 21.

Abaco para el cálculo de tuberías de hierro galvanizado y PVC para la tubería 1



Nota. comprobación de velocidades por medio de diámetros de tuberías, adaptado de Cálculo de instalaciones hidráulicas y sanitarias, residenciales y comerciales Enríquez, 2007,

Se puede evidenciar en la figura (Abaco) anterior las velocidades máximas y el caudal los cuales arrojan unas velocidades de 1.03 m/s y 3.1 m/s con unos caudales de 15.5 L/s para ambos casos que pasarían por estas mismas para la selección de la tubería es de tener en cuenta las velocidades máximas permitidas por la NTC 1500 y la RAS 2010 las cuales son las siguientes:

Tabla 18.

Velocidades Máximas según B. 8.4.8.2 del RAS 2010, adaptado del RAS 2010

Diámetro de la tubería	Velocidad máxima
50 mm	0.75 m/s
75 mm	1.00 m/s
100 mm	1.30 m/s
150 mm	1.45 m/s
200 mm	1.60 m/s
250 mm	1.60 m/s
300 mm	1.70 m/s
Mayor 400 mm	1.80 m/s

Tabla 19.

Velocidades Máximas según el inciso 6.9 de la NTC 1500, adaptado de la NTC 1500

Diámetro de la tubería	Velocidad máxima
Menor 76.2 mm	2.00 m/s
Mayora igual 76.2 mm	2.50 m/s

Teniendo en cuenta que esta tubería de aducción será para un establecimiento se toma la tabla 18, debido a que la NTC 1500 establece los requisitos mínimos para garantizar el funcionamiento correcto de los sistemas de abastecimiento de agua potable, los cuales deben tenerse en cuenta en: Diseño. Construcción, una vez especificado las velocidades máximas procedemos a compararlas con las que nos arrojó la figura 19, las cuales son para un diámetro de 3" una velocidad de 3 m/s y para 4" una velocidad de 1.12 m/s siendo esta la cumple con los requerimientos establecidos por la NTC 1500 como se muestra en la tabla 18.

Para el material de la tubería se optó por dos opciones tubería en hierro galvanizado o en PVC, siendo la de PVC escogida debido a es que es la más higiénica para el traslado de agua potable, de igual manera este material es más económico y de mejor manejo y comercialización y en caso de mantenimiento o cambio por una fuga es sencillo debido a que el material permite un fácil mantenimiento.

Llevando a así a las siguientes especificaciones para la línea de aducción:

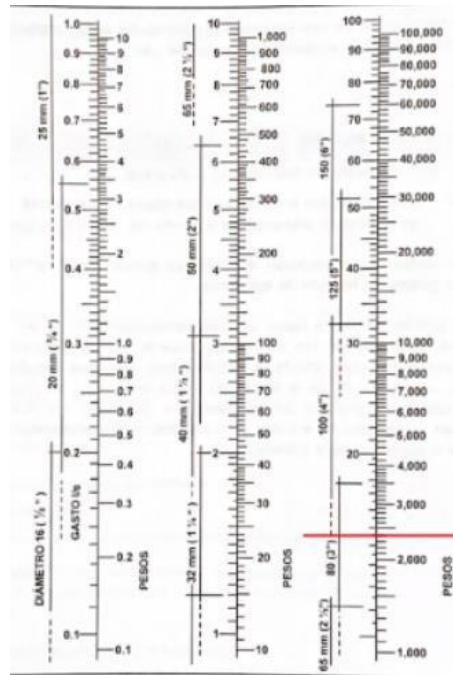
- Para la línea de aducción 1, se determinó una longitud aproximada de 306.56m obteniendo una pendiente máxima de 1.3%, así mismo, se seleccionó como material, PVC, con un diámetro exterior de 4 In e interior de 3.5 In, obteniendo así, los siguientes accesorios: 56 codos de 90°; 9 codos de 45° y 24 Tee.

De igual forma para la tubería 2 se tuvieron los siguientes cálculos:

En la figura (Abaco) continuación puede observar de igual forma trazando una línea horizontal, para un consumo de 14,97 L/s los diámetros óptimos para este caudal son igualmente de 3” o 4”.

Figura 22.

Abaco para el cálculo de tuberías de agua fría para la tubería 2.



Nota. Calculo para el diámetro de tuberías, adaptado de Cálculo de instalaciones hidráulicas y sanitarias, residenciales y comerciales Enríquez, 2007, .

Una vez teniendo los diámetros óptimos para la tubería 2 se sigue con la verificación de las velocidades máximas con la tabla a continuación.

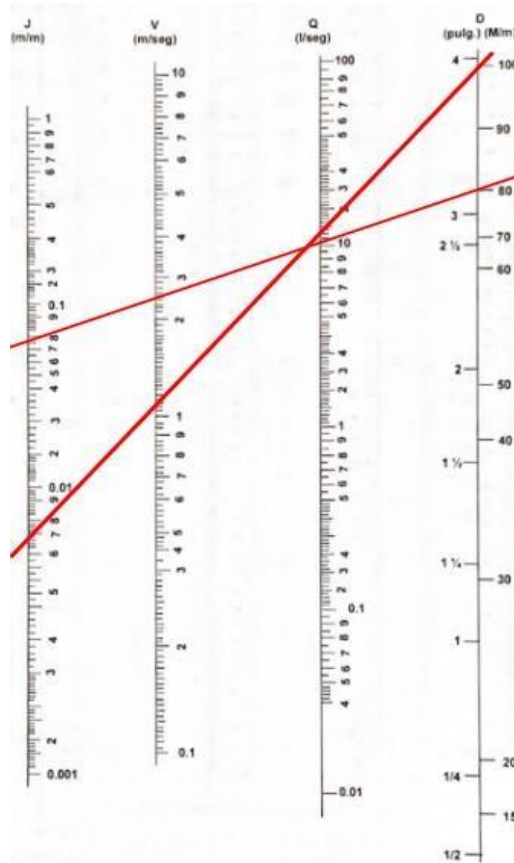
Tabla 20.

Velocidades Máximas según el inciso 6.9 de la NTC 1500

Diámetro de la tubería	Velocidad máxima
Menor 76.2 mm	2.00 m/s
Mayora igual 76.2 mm	2.50 m/s

Figura 23.

Abaco para el cálculo de tuberías de hierro galvanizado y PVC para la tubería 2



Nota. comprobación de velocidades por medio de diámetros de tuberías, adaptado de Cálculo de instalaciones hidráulicas y sanitarias, residenciales y comerciales Enríquez, 2007,

Como se puede observar en la figura anterior, ambos diámetros están cumpliendo con los requerimientos de la tabla 19, es decir los diámetros de 3 y 4 In cumplen con una velocidad menores 2.5 m/s, pero debido a proceso constructivo se opta por un diámetro debido a que tanto como la tubería 1 y las tuberías de las bajantes son de un diámetro de 4 In.

Llevando a así a las siguientes especificaciones para la línea de aducción:

- De igual forma, para la tubería 2, se obtuvo una longitud aproximada de 168.58m, estableciéndose de igual manera en cuanto al material, obtenidas para la tubería 1. No obstante, se determinan los siguientes accesorios: 34 codos de 90°; 0 codos de 45° y 12 Tee.

sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás Villavicencio.

Tabla 21.

Cuadro comparativo de Características principales de cinco plantas compactas,

Tipo de sistema	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5
PH	-----	-----	Alcalinización	-----	-----
Tipos de Filtración	Microfiltración -----	Microfiltración -----	Microfiltración -----	Microfiltración Microfiltración	Microfiltración Microfiltración
	-----	Ultrafiltración	Filtración	Filtración	-----
Remoción de sólidos	----- Dosificación en línea de Floculante	----- -----	Clarificación -----	Clarificación -----	Clarificación -----
	Mezcla Rápida	-----	-----	-----	-----
Remoción de hierro y manganeso	-----	-----	Oxidación	-----	-----
Remoción de Conductividad	----- -----	----- -----	----- -----	----- -----	Resina aniónica Resina catiónica
Desinfección	Ultravioleta Cloro	Ultravioleta Cloro	Ultravioleta Cloro	Ultravioleta -----	Ultravioleta -----

Con base a la tabla anterior, se determinó que la planta N° 4 será la que se utilizará para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias de este proyecto las cual cuenta con las siguientes especificaciones más al detalle del tren de tratamiento las cuales son:

- Filtración: Retención de sólidos y sedimentos de hasta 30 micras de diámetro
- Clarificación: Eliminación de color aparente, olor, sabor, pesticidas y cloro presente en el agua.
- Microfiltración 1: Retención de partículas sólidas finas (menores a 10 micras)
- Microfiltración 2: Retención de partículas sólidas finas (menores a 5 micras)
- Desinfección: Eliminación de virus y bacterias patógenas presentes en el agua, mediante luz UV
- Bombeo de alta presión
- Osmosis inversa con membranas.
- Desinfección: Eliminación de virus y bacterias patógenas presentes en el agua mediante dosificación de cloro.

- Filtro de sedimentos en polipropileno de 5 micras
- Filtro de carbón activado – 10”
- Membrana de ósmosis inversa Lewabrane y Toray (dependiendo de la conductividad del agua)
- Filtro de resina mixta Lewatit
- Uv bombillo de 12W + Horómetro

Ya que además que ofrece mayores especificaciones técnicas, las cuales se nombraran a continuación, esta ofrece lo mínimo que se necesita en un tren de tratamiento, lo cuales son filtración, absorción y desinfección. De igual manera, cumple con los requerimientos mínimos de tratamiento en base a los cálculos obtenidos en laboratorio, tanto en los parámetros fisicoquímicos (temperatura, color, turbiedad, conductividad, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno (pH)), como también los parámetros microbiológicos (coliformes totales, E.coli).

12.4 Ahorro económico

Si se hubiera contado con este sistema de aprovechamiento racional de aguas lluvias la Universidad se pudo a llegar a ver ahorrado económicamente lo que se muestra a continuación:

Tabla 22.

Ahorro económico para el año 2023

Mes	Caudal (m3/mes)	Precio (m ³ / \$)	Ahorro (m ³ */\$/mes)
enero	469,440	158,2	\$74.265
febrero	106,961	158,2	\$16.921
marzo	1123,090	158,2	\$177.673
abril	4854,837	158,2	\$768.035
mayo	5377,757	158,2	\$850.761
junio	4242,783	158,2	\$671.208
julio	3476,230	158,2	\$549.940
agosto	3250,423	158,2	\$514.217
septiembre	2061,969	158,2	\$326.203
octubre	1680,475	158,2	\$265.851
noviembre	1842,105	158,2	\$291.421
diciembre	166,384	158,2	\$26.322

Con la tabla anterior se puede concluir que nuestro sistema no solo ayudara a tener oferta de fuente de agua potable externa, es decir una mayor oferta y así no estar valiéndose solo del acueducto de Villavicencio. Si no que la Universidad contaría con un ahorro económico como se llega a mostrar en la tabla 26.

Conclusiones

- En la zona de estudio, Se determinó construir un tanque de almacenamiento de agua pluvial, para los dos edificios, los cuales están estarán conectados a su determinado tanque de almacenamiento de agua potable, por medio del tren de tratamiento.
- Las alternativas que se analizaron para el aprovechamiento del agua lluvia fueron las áreas de pavimentos, zonas verdes y construcciones. A raíz de esto, se dedujo que la mejor forma para captar el recurso hídrico, son las áreas de construcciones, debido a que es más factible la recolección del agua pluvial, por medio de los canales del techo, cunetas y bajantes.
- A través de los distintos cálculos para la posible cantidad de agua lluvia a captar, se obtuvo como resultados que la mejor fuente de captación, son las áreas verdes, sin embargo, por lo nombrado anteriormente, no sería factible para su recolección, dejando, así como mejor fuente de captación al área de construcciones. De igual forma, mediante los distintos laboratorios, se analizaron un número determinado de muestras de los distintos posibles tipos de captación establecidos en el plan de muestreo, dando como conclusión que el agua más contaminada es la de las cunetas, seguidas por la de las bajantes, y finalmente las de cubierta. A raíz de esto, se decidió no transportar el agua a través de las cunetas hacia el tanque de almacenamiento, sino que, conectar las bajantes directamente al tanque de almacenamiento por medio de tubería de PVC.
- Para el tren de aprovechamiento, se dejó como captación el agua de las construcciones, esta agua vendría a ser distribuida como se nombró anteriormente, teniendo las tuberías un diámetro de 4 In direccionándola hacia el tanque de almacenamiento ubicados en su edificio correspondiente, distribuyéndose por gravedad. Dicho tanque de almacenamiento, diseñados por medio del consumo vs suministro, dando como dimensiones, tanques de almacenamiento de 12 y 13 metros respectivamente, debido a que las dimensiones dan exactamente grandes, se tomó $\frac{1}{2}$ de estas mismas continuando con el tratamiento y la potabilización, se tomó como tren de tratamiento, un sistema compacto, ya que es factible por su calidad/precio, y posteriormente dirigidas al tanque de agua potable de la universidad, para así ser distribuidas por la institución.

Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de material reactivo para los diferentes análisis fisicoquímicos de calidad de agua
- Cabe resaltar que esta investigación no abarca la parte estructural, debido a esto se recomienda tener en cuenta, para los tanques de almacenamiento, así como la caseta para la ubicación del tren de tratamiento.
- Se recomienda tener una constante limpieza a los canales del techo y los distintos bajantes, debido a que están expuestas a distintos agentes contaminantes, ya que se encuentra cercano a una zona boscosa.
- Debido a los resultados de cantidad de agua lluvia, con la que puede llegar a contar la universidad, no cumple para llegar a suplir el consumo del campus. Por esto se recomienda implementar el agua subterránea para así poder llegar a suplir con el consumo.

Referencias bibliográficas

- Asociación Española de Normalización. (2019). *Calidad del agua Parte 3: Conservación y Manipulación de las muestras de agua*. UNE. <https://www.une.org/encuentra-tunorma/busca-tu-norma/norma?c=N0061431>
- Bahamón, T. (2021, mayo 17). *Lo que debería saber de la NTC 1500*. A la Obra Maestros. Retrieved Julio 21, 2022, from <https://maestros.com.co/buenas-practicas/lo-que-deberiasaber-de-la-ntc-1500/>
- Ballén Suárez, J. A., Galarza García, M. Á., y Ortiz Mosquera, R. O. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BALLEN%20et%20al.%202006.%20Historia%20de%20los%20sist%20de%20aprovechamiento%20agua%20lluvia.pdf
- Chino Calli, M., Velarde Coaquira, E., & Espinoza Calsín, J. J. (2016, septiembre 21). *Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la Comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú*. Perú. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5645608>
- Climate-Data.Org. (2019, 07 12). *Climate-Data.org > Colombia > Meta > Villavicencio clima villavicencio*<https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/meta/villavicencio-5327/>
- Congreso de Colombia. (1994, julio 11). *Ley 142 de 1194*. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>
- Congreso de Colombia. (1997, junio 11). *Ley 373 de 1997*. por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- 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*. [Trabajo de grado, Universidad Libre de Colombia] Repositorio. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11231/PROYECTO%20DE%2>

- 0GRADO%20ANGIE%20HASLEY%20CORREA%20SASTOQUE%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Eumed.net. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas*.
<https://www.eumed.net/librosgratis/2013a/1326/1326.pdf>
- Guadrón, Becerra, N. (2014). captación de agua lluvia como alternativa comunitaria ante la escasez y la contaminación para el consumo humano y actividades agropecuarias en las veredas el salado y la aguada del municipio de Lebrija Santander, Colombia, [Trabajo de grado, Universidad de Manizales]. Repositorio.
[hp://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1714/Gualdron_Becerra_Nelsy_2014.pdf?sequence=1](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1714/Gualdron_Becerra_Nelsy_2014.pdf?sequence=1))
- Hernández Avilés, D. M., & Chaparro, T. (2020, diciembre 9). *Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano | Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Revistas Unimilitar.
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/4409/4640>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2022, 07 12). *Consulta catastral*. Colombia en mapas.
<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/consulta-catastral>
- Juez Pirachican, P. A. (2021). Seguimiento y Aproximación a la metodología de diseño para sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias. [Tesis de MAestrpia, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/80589/1049604786.2021.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Lara, Campos, Duarte, Echeverri, & Villegas. (2007). Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana Ingeniería y Universidad. 11(2) 193-202.
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/25640>
- Laboratorio de ideas Verdes. (2013, mayo 13). Como cosechar agua de lluvia. Blog.
<https://laboratoriodeideasverdes.wordpress.com/2013/05/13/como-cosecharagua-delluvia/>
- López Hernández, N. A., Palacios Vélez, O. L., Anaya Garduño, M., Chávez Morales, J., Rubiños Panta, J. E., & García Carrillo, M. (2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 8(6)

- 1433-1439. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n6/2007-0934-remexca-8-06-1433-en.pdf>
- Mahecha Ruiz, D. J. (2019). Determinación de los posibles usos del aprovechamiento de aguas lluvias a partir de su cantidad y calidad en los campus de la universidad Santo Tomás sede Villavicencio. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19337?show=full>
- Martín del Campo, M. G. (2017, junio 20). Diseño de sistema de captación de agua pluvial como alternativa para el ahorro de agua potable en la UTVT. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Desarrollo_Urbano_y_Sustentable/vol3_num7/Revista_del_Desarrollo_Urbano_y_Sustentable_V3_N7_7.pdf
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS Titulo B*. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob030714.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS Titulo C*. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo-c-dic-42013.pdf>
- Palacio, c. (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. [Tesis de especialización, Universidad de Antioquia]. Repositorio. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/1325>
- Rojas Valencia, M., Gallardo Bolaños, J., & Martínez Coto, A. (2012). Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas. 15(1). 16-23. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v15n1/v15n1a2.pdf>
- Rotoplas. (2018, June 25). ¿Cómo funciona un sistema de captación de agua de lluvia? Rotoplas. Retrieved July 24, 2022, from <https://rotoplas.com.mx/como-funciona-un-sistema-decaptacion-de-agua-de-lluvia/>
- Rotoplas. (2021). *Sistema de Captación de Agua de Lluvia*. Rotoplas Centro América. Retrieved July 24, 2022, from <https://rotoplascentroamerica.com/sistema-de-captacion-de-agua-delluvia/>

- Solarte, L., & González, L. (2012, 12 03). Aprovechamiento del agua lluvia en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá en función de la variabilidad de la calidad. [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/15421>
- Suarez Nieva, J. J., & García Beltrán, e. a. (2018). Y el Impacto Ambiental Ocasionado por la Reducción del Humedal el Charco en el Municipio de Villavicencio Meta Seminario de pro. Repositorio Institucional UCC. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/4119/1/2018_impacto_ambiental_ocasionado.pdf
- Valdivieso Alberto (2022) ¿Qué son las aguas pluviales? Iagua respuestas from <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-pluviales>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2022), Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos. Tomado de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Walpole, R. E. Myers, R, H, & Myers, S.L (1999). Probabilidad y estadística para ingenieros. Pearson education. Tomado de https://vereniciafunez94hotmail.files.wordpress.com/2014/08/8va-probabilidad-yestadistica-para-ingenier-walpole_8.pdf
- Aguas e Ingeniería S.A.S. Purificación del Agua, tratamiento de agua superficial, lluvia, pozo o acueducto, 2022, from: <https://aguaseingenieria.com/producto/ptap-compactaspresurizadas/>
- Enríquez, G (2007), Cálculo de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, Residenciales y Comerciales, Editorial Limusa, México, from: <https://www.casadellibro.com.co/librocalculo-de-instalaciones-hidraulicas-y-sanitarias-residenciales-ycomerciales/9789681869274/1140245>

