

DISEÑO DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE AGUAS
LLUVIAS PARA EL CAMPUS LOMA LINDA DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VILLAVICENCIO



MARLLY JULIANA CARDOZO ROMERO
HERNÁN DARÍO ESPINOSA MARTÍNEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

DISEÑO DE ALTERNATIVAS PARA EL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE AGUAS
LLUVIAS PARA EL CAMPUS LOMA LINDA DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
VILLAVICENCIO

MARLLY JULIANA CARDOZO ROMERO
HERNÁN DARÍO ESPINOSA MARTÍNEZ

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

Asesor

ÁNGEL ARTURO RINCÓN

Ingeniero Civil, 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

Hernán:

Por mi parte, agradezco con el corazón a mis grandiosos padres Luis Felipe Espinosa Fonseca y Carmen Martínez Gutiérrez por la ayuda brindada en todo momento, puesto que sin ellos la idea de poder siquiera pensar en presentar este documento era nula. Quiero agradecer también a mis hermanos Sebastián, Andrés y Carlos Espinosa Martínez, por el compromiso y gratitud sin medidas que se tuvo, por siempre darme apoyo; a mi señora Daniela Rojas Díaz por ser quien está a mi lado en las buenas y en las malas, por el apoyo y la paciencia que se tuvo para la realización de este documento. Agradezco también a Reddy Hart Andrés Van Aundehove Mejía y Juan Sebastián Guzmán, grandes amigos que con su ayuda y colaboración se pudo sacar adelante este proyecto.

Marlly:

Dedicó los frutos de este trabajo a toda mi familia. El mayor agradecimiento a mis padres que me apoyaron y aguantaron mis malos y no tan malos momentos. Gracias por enseñarme a enfrentar la adversidad en lugar de perder la cabeza o morir en el intento.

Gracias a todos los que nos apoyan y hacen que nuestro trabajo sea un éxito, especialmente a los que abren sus puertas y comparten sus conocimientos.

Agradecimientos

Agradecemos enormemente a Dios por el tiempo, el lugar y la salud brindada para poder culminar este proyecto, de antemano poder nombrar en estos agradecimientos a nuestro director: el Ingeniero Ángel Rincón por la paciencia y el apoyo brindado durante este largo proceso agradecer también a la ingeniera Alfonsina Bocanegra por el apoyo incondicional brindado, también a nuestros grandes amigos Reddy Hart Mejía, Carlos Espinosa, Sebastián Guzmán y todas las personas que estuvieron involucradas con este proyecto, por la ayuda que sin medidas obtuvimos de ellos, muchas gracias.

Contenido

	Pág.
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Planteamiento del problema	16
2. Objetivos	18
2.1. General	18
2.2. Específicos	18
3. Justificación	19
4. Alcance	20
5. Marco de referencial	21
5.1. Marco Normativo	21
5.2. Marco teórico	22
5.2.1 Precipitación	22
5.2.2 Captación del agua de lluvia	22
5.2.3 Caudal de aguas lluvias	23
5.2.4 Elementos del Sistema de Captación de Agua Lluvias	24
5.2.5 Análisis y pruebas realizadas al agua lluvia	26
5.2.6 Canaletas de recolección	27
5.2.7 Malla de recolección	27
5.2.8 Tiempo de Concentraciones	27
5.2.9 Curvas IDF	27
5.2.10 Cunetas	28
5.2.11 Emisario final	28
5.3. Marco teórico	28
5.3.1 Agua atmosférica	28
5.3.2 Aguas lluvias	29
5.3.3 Condensación	29
5.3.4 Escorrentía superficial	29

APROVECHAMIENTO RACIONAL DE AGUAS LLUVIAS PARA EL CAMPUS LOMA LINDA		7
5.3.5	Hidrología	30
5.3.6	Análisis hidrológico	30
6.	Metodología	31
6.1.	Fase 1. Delimitación de la zona de estudio dentro de la universidad para la red de aprovechamiento de aguas lluvias	31
6.1.2	Visita de inspección	31
6.1.3	Ubicación de los puntos de drenaje de aguas lluvias por medio de la aplicación UTM Geo Map	31
6.2.	Fase 2. Análisis cuantitativo de las características del agua lluvia en el campus Loma Linda a través de análisis hidrológicos.	32
6.2.2	Análisis de información hidrográfica de estaciones hidrológicas.	32
6.3.	Fase 3. Caracterización cualitativa del agua lluvia en la universidad a través de estudios fisicoquímicos y microbiológicos.	32
6.3.2	Recolección y análisis de muestras de la zona de estudio	32
6.4.	Fase 4. Evaluación de las diferentes alternativas para la recolección, almacenamiento, tratamiento y distribución de aguas lluvias en el Campus Loma Linda	32
6.4.2	Determinación de la mejor opción de captación de aguas lluvias.	32
6.4.3	Determinación de la demanda de agua en el Campus Loma Linda	33
6.4.4	Plan de muestreo	33
6.5.	Fase 5. Diseño de las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento, potabilización y distribución	35
6.5.2	Cálculo del caudal de diseño	35
6.5.3	Ubicación del tanque de almacenamiento para su respectivo diseño, teniendo en cuenta los puntos de captación del agua	35
6.5.4	Determinación del diámetro y material de las tuberías	36
6.5.5	Determinación del tipo de tratamiento que se le aplique al agua.	36
7.	Resultados	37
7.1.	Delimitación de la zona de estudio	37
7.2.	Estudios de influencia hidrológica	38
7.3.	Cálculo de la cantidad de muestras para análisis cualitativo	42

7.4.	Caracterización de la calidad de agua lluvia en el campus de la Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio	44
7.4.2	Recolección de muestras de agua lluvia	44
7.4.3	Determinación de la calidad del agua lluvia	44
7.4.4	Ensayos de laboratorio:	44
7.4.5	Medición de parámetros físicos	45
7.4.6	Medición de parámetros químicos	47
7.5.	Tanques de almacenamiento	49
7.5.2	Localización de los tanques	51
7.5.3	Tipo de tanque según el soporte	52
7.5.4	Número de tanques y periodo de diseño	52
7.5.5	Capacidad del tanque de distribución	53
7.5.6	Diseño de la línea de conducción	53
7.6.	Red de distribución	55
7.6.2	El sistema de la red de distribución	56
7.6.3	Red principal o matriz	56
7.6.4	Red secundaria	56
7.6.5	Conexión domiciliaria	56
7.6.6	Velocidad de diseño	56
7.6.7	Profundidad de las tuberías	57
7.7.	Bomba	57
7.8.	Sistema de tratamiento	57
7.9.	Desinfección	58
7.10.	Evaluar las diferentes alternativas para la recolección, almacenamiento, tratamiento y distribución de aguas lluvias en la universidad Santo Tomás sede Loma Linda Villavicencio Meta	58
7.11.	Diseñar hidráulicamente las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento, potabilización y distribución.	59
7.11.2	Techos	59
7.11.3	Canaletas de recolección	61

7.11.4	Malla de recolección	62
7.11.5	Bajantes	63
7.11.6	Sistema de primer lavado (primeras aguas)	63
7.11.7	Dimensiones de tubería (método hunttee)	64
7.11.8	Diseño Del Tanque	65
7.11.9	Diseño de estaciones de bombeo	67
7.12.	Cuadro comparativo plantas compactas	69
8.	Análisis de resultados	71
8.1.	Análisis de la zona de estudio	71
8.2.	Caracterizar cuantitativamente el agua lluvia en el campus loma linda a través de análisis hidrológicos	72
8.3.	Caracterizar cualitativamente el agua lluvia en la universidad a través de estudios fisicoquímicos y microbiológicos.	73
	Conclusiones	74
	Recomendaciones	75
	Referencias bibliográficas	76

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Normativa,	21
Tabla 2. Periodos de retorno	23
Tabla 3. Área de zonas de estudio,.....	37
Tabla 4. Intensidad - periodo de retorno,	39
Tabla 5. Zonas de captación,.....	40
Tabla 6. Caudales de zonas de captación,	40
Tabla 7. Consumo mensual de agua en el último año.....	41
Tabla 8. Oferta – demanda.....	41
Tabla 9. Nivel de confianza y factor de seguridad.....	42
Tabla 10. Muestras estadísticas.....	43
Tabla 11. Volúmenes del tanque de almacenamiento.....	50
Tabla 12. Diámetros mínimos en la red de distribución	54
Tabla 13. Diámetros mínimos en la red de distribución	55
Tabla 14. Espesores de la cubierta	60
Tabla 15. Propiedades de la cubierta	61
Tabla 16. Datos del método de Hunter	65
Tabla 17. Nivel de complejidad a partir del tiempo de bombeo	68
Tabla 18. Cuadro comparativo plantas compactas.....	69

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización de la zona de estudio.....	20
Figura 2. Puntos de muestreo.....	31
Figura 3. Punto de muestreo atmosférico,	34
Figura 4. Punto de muestreo sumideros o canales	34
Figura 5. Punto de muestreo bajantes	35
Figura 6. Delimitación de la zona de estudio,.....	37
Figura 7. Curva IDF estación SENA,	38
Figura 8. Oferta – demanda	42
Figura 9. Color aparente	45
Figura 10. Turbiedad.....	46
Figura 11. Conductividad	46
Figura 12. pH.....	47
Figura 13. Temperatura.....	47
Figura 14. Alcalinidad	48
Figura 15. Dureza	48
Figura 16. Oxígeno disuelto.....	48
Figura 17. Diseño tanque	51
Figura 18. Red de distribución.....	52
Figura 19. Curva de consumo horario	53
Figura 20. Ubicación y localización de la tubería	54
Figura 21. Especificaciones de diseño de la canal.....	62
Figura 22. Sistema primer lavado (primeras aguas)	64
Figura 23. Dimensiones de la tubería de distribución	65
Figura 24. Diseño tanque	66
Figura 25. Elementos de una estación de bombeo.....	69
Figura 26. Proporción de zonas de estudio	71
Figura 27. Caudal de oferta vs caudal de demanda	72

Resumen

Mediante el proyecto de investigación denominado “Diseño de Alternativas para el Aprovechamiento Racional de Aguas Lluvias para el campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás Villavicencio”, se mostró el proceso que se llegó a emplear para las alternativas del sistema de aprovechamiento pluvial de la institución.

Como una parte preliminar del proyecto se estableció la zona de estudio y los distintos puntos de muestreo, con esto se llegó a determinar las diferentes áreas de aprovechamiento que se tendrán en cuenta, estas son denominadas: pavimentos, zonas verdes y construcciones. De esta manera, los datos hidrológicos obtenidos a partir del IDEAM fueron utilizados para saber la cantidad de agua que se precipita en estas zonas. Por otra parte, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua, mediante un plan de muestreo y distintos ensayos de laboratorio, con la finalidad de determinar la calidad de esta, en donde se tuvieron en cuenta los parámetros especificados en el RAS 2010 y la resolución 2115 del 2007 para los resultados obtenidos. Los datos anteriormente mencionados fueron base para el diseño de dicho sistema.

La segunda etapa de este proyecto tuvo como propósito diseñar el modelo de aprovechamiento, para lo cual se apreciaron las características del campus, aprovechando las obras de drenaje de la institución, entre estas cunetas, bajantes y canaletas que son usadas para la recolección y transporte hacia el tanque de almacenamiento el cual capta un caudal máximo diario de 13.604 L/s, presentando un 25.3% de consumo pico en el inicio de la jornada académica. Finalmente, se establece como tren de tratamiento una planta de filtración compacta, ya que este sistema posee las características requeridas para el mínimo tratamiento que requiere esta agua. Esta planta posee características filtración, dosificación y desinfección, siendo este sistema compacto, una alternativa viable en términos de economía, facilidad de transporte e instalación, dando respuesta al interrogante ¿cómo se llegaría a aprovechar el agua pluvial en el campus Loma Linda? Y ¿cuáles son las posibles instalaciones que deben ser implementadas para este sistema?

Palabras Clave: Calidad de aguas, pluvial, precipitación, aprovechamiento de aguas lluvias, cosecha del agua.

Abstract

Through the research project called "Design of Alternatives for the Rational Use of Rainwater for the Loma Linda campus of the Santo Tomás Villavicencio University", the process that was used for the alternatives of the institution's rainwater use system was shown. .

As a preliminary part of the project, the study area and the different sampling points were established, with this it was possible to determine the different areas of use that will be taken into account, these are called: pavements, green areas and buildings. In this way, the hydrological data obtained from IDEAM were used to determine the amount of water that precipitates in these areas. On the other hand, the physicochemical and microbiological characterization of the water was carried out, through a sampling plan and different laboratory tests, in order to determine its quality, where the parameters specified in the RAS 2010 and the Resolution 2115 of 2007 for the results obtained. The aforementioned data were the basis for the design of said system.

The second stage of this project had the purpose of designing the use model, for which the characteristics of the campus were appreciated, taking advantage of the institution's drainage works, among these ditches, downspouts and gutters that are used for collection and transport. towards the storage tank which captures a maximum daily flow of 13,604 L/s, presenting a 25.3% peak consumption at the beginning of the academic day. Finally, a compact filtration plant is established as a treatment train, since this system has the characteristics required for the minimum treatment that this water requires. This plant has filtration, dosing and disinfection characteristics, making this compact system a viable alternative in terms of economy, ease of transportation and installation, answering the question: how would rainwater be used on the Loma Linda campus? And what are the possible facilities that should be implemented for this system?

Key Word- Water quality, rainfall, precipitation, use of rainwater, water harvesting.

Introducción

Desde épocas anteriores, el hombre ha buscado mejorar su condición de vida, adaptándose al medio que lo rodea y buscando soluciones en pro de sus necesidades. Con el pasar del tiempo, las civilizaciones buscaban mejores alternativas de abastecimiento de agua, esto los llevó a aprender a analizar los diferentes factores climatológicos y ambientales que afectan directa o indirectamente el desarrollo sostenible de las fuentes hídricas; Dado que Colombia está dentro de los países con mayores recursos hídricos (Núñez 2011), es común encontrar comunidades con problemas con el suministro ya sea por la calidad, la cantidad o continuidad en el suministro de agua.

En la actualidad, los avances informativos, científicos, y tecnológicos, proporcionan parámetros que serán base para garantizar la seguridad, la economía y la calidad de cualquier suministro de agua. En relación con lo anterior, las aguas lluvias son una fuente importante de abastecimiento, esta posee una gran ventaja en su captación de agua relativamente limpia en comparación con otras fuentes de agua disponibles. Aparte de esto, es un recurso esencialmente gratuito e independiente de empresas que lo administren y requiere de infraestructura sencilla para su captación, almacenamiento y distribución (Rodríguez et al., 2010).

Esta investigación tiene la finalidad de aportar conocimiento sobre la mejor manera de aprovechar las aguas lluvias, este proporcionará diseños de lo que se compondría el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para una edificación de uso institucional. El campus cuenta con una infraestructura básica para la captación de estas aguas, entre estas se encuentran techos lisos, bajantes, cunetas y canaletas, las cuales conforman el sistema de transporte de estas aguas.

Para este diseño se tiene en cuenta un área de captación conformada por los techos de salones, estos se complementan por cunetas y bajantes que sirven como red de aducción al área de almacenamiento. Una vez llegado a su destino final se procede a generarse el proceso de tratamiento basándonos en los resultados de calidad captados, a continuación, es directamente bombeada a un tanque elevado para su respectiva distribución.

Mediante los análisis se obtuvieron resultados que fueron base para los diseños del sistema de aprovechamiento de aguas. En primer lugar, se establecieron las áreas óptimas de aprovechamiento del campus, logrando mediante análisis hidrológico determinar las cantidades

que se precipitaron en estas áreas y con esto seleccionar las que se adoptarán, a continuación, se obtuvieron muestras de las áreas más relevantes para determinar la calidad para su utilización.

De la caracterización cualitativa del agua, se obtuvieron resultados relativamente buenos a comparación de otras áreas del país, basándonos en este análisis se lograría recomendar un sistema de tratamiento menos complejo y capaz de satisfacer la demanda producida por la institución.

1. Planteamiento del problema

Durante los últimos cincuenta años, el crecimiento de la población ha alterado el comportamiento demográfico mundial; Ante esto, se estima que para el año 2045, la población mundial será de unos 9000 millones de personas (Gutiérrez, 2007), por lo tanto, la demanda superará el suministro de agua disponible, por lo que habrá escasez de agua potable en algunos lugares. (Gutiérrez, 2007)

Esta situación se ve agravada por la desigual distribución del recurso hídrico entre la población, pues se ha observado que aproximadamente 2.800 millones de personas, o más del 40% de la población mundial vive en la pobreza, enfrentando algún tipo de carencia de servicios básicos (UNICEF, 2021). En Colombia, según una evaluación del IDEAM, la disponibilidad de agua en el año 2000 se estimaba en alrededor de 40.000 m³/cápita/año, y el valor en 1985 era de

60.00 m³, por lo que ha disminuido significativamente, si se mantienen los usos y consumo actual en los próximos años la disponibilidad de agua será escasa. Según el último Estudio Nacional de Aguas de 2018, la oferta de agua en la Zona Hidrológica del Orinoco, incluidas las provincias de Meta y Casanare, es de 533.843 millones de metros cúbicos; Mostró una disminución del 0,8% en comparación con el estudio de 2014. (UNICEF, 2021)

En los últimos años, la ciudad de Villavicencio ha tenido dificultad con la captación del agua por parte de la bocatoma, ya que el acueducto de Villavicencio presenta inconvenientes cuando hay precipitaciones de alta intensidad en la cuenca Quebrada Honda. Es importante agregar que la implementación de un sistema de abastecimiento de agua para la universidad Santo Tomás que sea externo al del acueducto de la ciudad, permitirá un suministro continuo cuando la ciudad no tenga los medios para suministrar agua.

Existen diferentes formas de superar la escasez de agua a través del aprovechamiento de los recursos de agua existentes. El diseño de un sistema basado en el aprovechamiento, gestión y distribución de aguas lluvia, permitirá reducir la demanda de los recursos hídricos. Frente a esto, actualmente se realizan investigaciones dentro de la UNICEF, el IDEAM e internamente en cada país cumpliendo el sexto objetivo de las ODS sobre la gestión y disponibilidad sostenible del agua para todos, lo que implicaría el uso de agua de lluvia, lo cual posee un potencial desconocido. La capacidad de suministro de agua no se ha considerado para actividades como el riego de jardines ornamentales, áreas verdes y áreas comunes de los residentes universitarios del campus loma

linda. El proyecto determinará el destino que se le dará al agua de lluvia de la del campus, tomando el agua captada de los techos, cunetas, canaletas y tuberías existentes, con el fin de ayudar a la universidad a tener un abastecimiento de agua potable cuando sea necesario o como complemento al sistema de abastecimiento actual (como medida de contención). Este sistema contará con su propio tanque de almacenamiento el cual se encargará de recargar los tanques de almacenamiento central y mantener la universidad con agua.

¿De qué manera el aprovechamiento racional del agua lluvia podría llegar a ser viable en la universidad Santo Tomás sede Villavicencio?

¿Es posible reducir la dependencia y el riesgo del suministro de agua de la empresa prestadora del servicio de acueducto y generar beneficios para la universidad?

2. Objetivos

2.1. General

Diseñar un modelo de aprovechamiento de aguas lluvias en la Universidad Santo Tomás sede loma linda en Villavicencio, mediante la recolección de la precipitación de bajantes, canales y canaletas o cunetas.

2.2. Específicos

- Establecer la zona de estudio dentro de la universidad para la red de aprovechamiento de aguas lluvias.
- Caracterizar cuantitativamente el agua lluvia en el campus loma linda a través de análisis hidrológicos.
- Caracterizar cualitativamente el agua lluvia en la universidad a través de estudios fisicoquímicos y microbiológicos.
- Evaluar las diferentes alternativas para la recolección, almacenamiento, tratamiento y distribución de aguas lluvias en la universidad Santo Tomás sede Loma Linda Villavicencio Meta.
- Diseñar hidráulicamente las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento, potabilización y distribución.

3. Justificación

Con el diseño de un sistema de aprovechamiento racional de agua de lluvia para el Campus Loma de la Universidad Santo Tomás Villavicencio, se busca aumentar la oferta de agua para la institución mediante alternativas más sostenibles y que no se ven tan regularmente en grandes infraestructuras.

Para esto, se estudió el sector de la comuna 8 de la ciudad de Villavicencio, extrayendo la información necesaria de la estación Sena, la cual nos proporcionó datos como la temperatura promedio de aproximadamente 24 °C y humedad relativa máxima de 79.43% durante el mes de mayo. La anterior información presenta condiciones para precipitación constante durante la mayor parte del año, la precipitación promedio que presenta la ciudad es de 1120 mm de lluvia al año (IDEAM, 2012).

La región posee unas condiciones predilectas para poder ser implementadas más soluciones sostenibles, como lo es el aprovechamiento de las aguas lluvias. Por lo tanto, con el fin de aumentar la oferta que es generada para la institución, la implementación de esta alternativas poco usadas y conocidas. Estas alternativas tienen por objetivo de primera instancia el uso del agua lluvia en diversas actividades como riego de zonas verdes, lavado de baños y limpieza de las áreas comunes, para esto, se realiza un diseño de alternativa para el aprovechamiento de agua de lluvia, que permita suplir las necesidades de las operaciones antes mencionadas.

Cabe destacar que el país no cuenta con una normativa más específica que menciona el trato que se le debería a las aguas lluvias, ni mucho menos de cómo debería de ser la infraestructura requerida para la implementación del sistema de aprovechamiento, por lo que esté sería uno de los muchos motivos que explicaría la falta de implementación de estas alternativas.

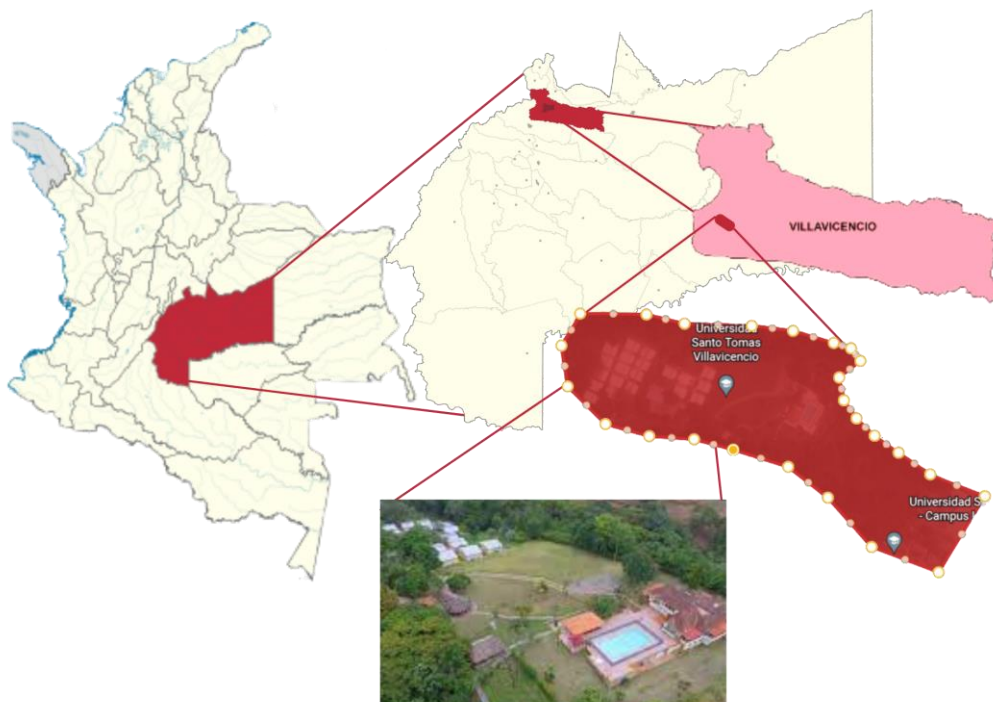
4. Alcance

El título de primer nivel es utilizado para el inicio de capítulos como Planteamiento del problema, Objetivos, Métodos, Discusión, Resultados entre otros, su característica principal es iniciar siempre en nueva página para trabajos de grado, Monografías y tesis, mientras para los artículos académicos se desarrollan de manera continua en el documento.

El estudio se realizará en la universidad Santo Tomás sede loma linda en la comuna 8 en la ciudad de Villavicencio. Loma Linda cuenta con un área de 32.211 m², esta sede cuenta con 25 salones, una cafetería, una biblioteca y dos piscinas, además también hace parte de Loma Linda un parqueadero y una zona verde constituyendo el área anteriormente dicha.

Villavicencio pertenece a una zona de precipitaciones constantes, ya que se ubica entre la cordillera y el piedemonte, las precipitaciones anuales se dan en la ciudad de aproximadamente 4300 mm. El proyecto se desarrollará en un promedio temporal de 8 meses iniciando en el mes de abril y finalizando en el mes de noviembre.

Figura 1. Localización de la zona de estudio



5. Marco de referencial

5.1. Marco Normativo

Tabla 1. Normativa,

Norma o ley	Descripción	Entidad
El Decreto 1594 de 1984	Reglamenta los establece los valores máximos permisibles en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para la calidad del agua para consumo humano, en su Capítulo 4, constituye los criterios de calidad para la destinación del recurso (Colombia, 1984).	Min. Ambiente
Ley 373 de 1997	Establece el uso eficiente y ahorro del agua; en su Artículo 2, el contenido del programa de uso eficiente y ahorro del agua dice: "... La oferta hídrica de las fuentes de abastecimiento y la demanda de agua, y contener las metas anuales de reducción de pérdidas, las campañas educativas a la comunidad, la utilización de aguas superficiales, lluvias y subterráneas, los incentivos y otros aspectos que definan las Corporaciones Autónomas Regionales."	Min. Ambiente
Resolución 2115 del 2007	Instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.	Min. Ambiente
El Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con el uso del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos del recurso hídrico; en el Capítulo 5, establece los criterios de calidad para la destinación de actividades de uso del recurso; en el Capítulo 6, se fijan las prohibiciones, control y regulación en materia de vertimientos, y restringe la descarga de aguas residuales a cuerpos de aguas lluvias (MADS, 2010).	Min. Ambiente
El decreto 1076 del 2015	Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible, en el capítulo 3 establece el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico. En la sección 2 se refiere a la destinación genérica de las aguas superficiales y subterráneas. Y en la sección 3 describe los criterios de calidad para destinación del recurso.	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Resolución 330 DE 2017	Adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico nuevo (RAS) capítulo 4 (Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales) artículo 135 establece todo lo relacionado acerca de los caudales de agua lluvia.	Normatividad Reglamento Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS

5.2. Marco teórico

5.2.1 Precipitación

De los fenómenos producidos por la atmósfera la precipitación es uno de los más notables, esta se puede presentar en sus diferentes estados, tanto líquida como en nieve y granizo o neblina, estas se asocian al fenómeno producido por la circulación del aire en la atmósfera.

Las masas de aire y cálido se mueven e interaccionan entre sí, estas zonas de interacción se les llama frentes, cuando la masa fría empuja con más fuerza a la cálida se le llama frente frío y de igual forma cuando a cálida empuja más fuerte se le conoce como frente cálido.

De cualquier de los casos anteriores, el aire cálido es menos denso, por lo que esta tenderá a ubicarse sobre la capa más fría, mediante esta ascensión, el vapor de agua se condensa en pequeñas gotas, de esta forma creando así las nubes, cuando estas gotas supera un diámetro mayor a los 500 μm el agua genera su precipitación en forma de llovizna. Las gotas de lluvias normales tienen un tamaño de entre 1 y 2 mm de diámetro, por lo que por encima de los 7 mm su forma se encuentra inestable por lo que tienden a dispersarse en diámetros menores (De la casa & Ovando, 2015).

Como se ha mencionado la forma más natural de precipitación es la lluvia, pero cuando las nubes contienen cristales de hielo, estos crecen por la colisión entre ellos o por encuentro con gotas de agua sobre enfriadas, en el momento en que la capa baja su temperatura debajo de los 0 grados centígrados, el hielo se aglutina transformándose en copos de nieve (De la casa & Ovando, 2015).

5.2.2 Captación del agua de lluvia

La unidad de ecotecnología ECOTEC vinculada al instituto de investigación en ecosistemas y sustentabilidad (IIES) de la universidad autónoma de México, basa su información en los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias (SCALL). Su diseño permite interceptar, recolectar y almacenar el agua lluvia mediante el uso de un sistema, que parte de una superficie que facilita la cosecha, como techos y jagüeyes que son destinados a este objetivo, a continuación, la recolección se da mediante métodos de conducción como canaletas y zanjas que

permiten llegar al sistema de almacenamiento del agua como tanques o cisternas para su destino final (SCALL, 2022).

5.2.3 Caudal de aguas lluvias

Para la estimación del caudal de aguas lluvias se debe determinar mediante un modelo de lluvias-esorrentía, utilizando la metodología racional para un área de drenaje no mayor a 80 ha, para aplicar este procedimiento se requiere de los siguientes factores:

5.2.3.1.Periodo de diseño. Corresponde a la duración planificada del proyecto, por lo general, se considera un periodo de diseño de veinticinco (25) años para este tipo de proyectos. No obstante, se debe tener en cuenta el periodo de retorno de las lluvias, este corresponde a los tiempos o duraciones promedio en los que las precipitaciones establecidas y relaciona la intensidad en mm/h, así mismo, se relaciona con la protección e importancia que conlleva intervenir en proyectos donde se involucra una fuente de agua. Con los periodos de retorno se pueden determinar los valores de precipitaciones del proyecto en ejecución, y así determinar, si estas son menores, iguales, o superiores a los que, en este caso, el Campus Loma linda, requiere para suplir los valores de demanda de consumo (Barrero Parra & Beltrán Beltrán, 2018).

Tabla 2. *Periodos de retorno*

Características del área de drenaje	Periodo de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas menores de 2 hectáreas.	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 horas.	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas.	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas.	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas.	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas.	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas.	100

Nota: Adaptado de Min Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017,

Mediante la selección de la curva IDF de la zona de estudio, localidad o región. En el caso de no contar con información de esta en un periodo de cinco (5) años atrás, se tendrán que obtener

mediante la toma de muestras pluviográficas de la zona de estudio, y con esto su debida comparación con los eventos extremos máximos producidos sucedidos en Colombia, teniendo en cuenta los datos y lineamientos desarrollados por el IDEAM. De igual manera se debe tener en cuenta un estudio de suelos, para un análisis más detallado, ya se debe realizar una inspección del uso que posee el suelo al que se le realizará el estudio, esto para tener en cuenta él antes y después del periodo de diseño.

5.2.4 Elementos del Sistema de Captación de Agua Lluvias

Para la estimación del caudal de aguas lluvias se debe determinar mediante un modelo de lluvias-escorrentía, utilizando la metodología racional para un área de drenaje no mayor a 80 ha, para aplicar este procedimiento se requiere de los siguientes factores: La función del sistema de captación de agua lluvia es la de recolectar el agua que se precipita de forma natural, esto se da gracias a superficies que facilita su recolección, independiente del empleo que se le puede dar a esta agua se la puede pasar por filtración y luego almacenada, para luego ser usada en diferentes actividades.

5.2.4.1. Captación. Mediante módulos de recolección que permiten la cosecha de estas aguas, esta puede ser mediante techos y en algunos casos cuando el espacio lo permite en zonas rurales los jagüeyes, el cual permite la recolección de agua directamente del ambiente. Estas mediante canaletas y cunetas hacen la debida recolección del agua de techos y bajantes, estas se encuentran puestas alrededor de las construcciones y donde se permita la recolección de agua de la escorrentía superficial producida por la precipitación.

5.2.4.2. Techos. La función principal del techo es proteger el edificio de la intemperie (lluvia, sol, viento, etc.), por lo general de tiempo severo. Funciones principales Para el techo se mencionan los siguientes puntos: resistencia, aislamiento térmico, impermeabilidad. Un techo duradero bien diseñado puede compensar muchos problemas que pueden surgir en otras partes del edificio (Cruz et al., 2012).

Los techos pueden ser clasificados en función de la capacidad que tienen de funcionar como diafragmas rígidos o flexibles en la estructura de la edificación, en función de la condición de apoyo con la edificación en conjunto, sean paredes o columnas.

5.2.4.3. Conducción. Después que esta agua pase por el sistema de recolección es necesario optar por utilizar una línea de aducción la cual permite un flujo constante del agua con el objetivo de no dejarla estancada, este sistema cuenta con tuberías que permite trasladar el agua desde los canales y cunetas la cual son las encargadas de recolectar y posteriormente dirigirla hasta el lugar donde se almacenará, esta red de tuberías funciona principalmente mediante gravedad, proporcionándole pendientes la cuales permiten que la red funcione correctamente, con el fin de que se garantice de una manera más eficiente un agua más limpia (Acosta Martínez & Peláez Marín, 2016).

5.2.4.4. Interceptor con sistema de primer lavado. Este dispositivo permite la separación de las primeras aguas, las cuales se encuentran cargadas con suciedad generada por techos y bajantes, por lo tanto, con este dispositivo se pretende que esta agua, no se almacene, debido a lo mencionado anteriormente, garantizando así una reducción de contaminación al agua a almacenar (Acosta Martínez & Peláez Marín, 2016).

Las proporciones de dimensiones del diseño del dispositivo debe tener en cuenta el volumen necesario para contar con el lavado del techo total, en promedio se puede estimar un volumen de 1 litro por metro cuadrado de techo, esta agua será almacenada en tanque que se vea en función del área de techo para poder captar su volumen total.

5.2.4.5. Almacenamiento. La selección de este dispositivo de almacenamiento debe contar con una serie de requerimientos para garantizar la conservación del agua en este, contando con características que garanticen la duración durante periodos de sequía. Algunos requerimientos como:

- El material de almacenamiento debe de ser impermeable con el objetivo de evitar la pérdida por evapotranspiración o por goteo.

- En caso de que almacene grandes cantidades de agua la altura del elemento de almacenamiento no debe de superar los dos metros, esto con el objetivo de evitar y minimizar la sobrepresión generada por el almacenamiento.
- A consecuencia de evitar contaminantes externos como el polvo e insecto, el almacenamiento debe contener una tapa que le proporcione incluido de la luz solar, esta también permitirá crear una vía de acceso por el cual una persona puede entrar a realizar su debido mantenimiento.
- Para los momentos de limpieza y drenaje debe de contar con dispositivos que cuenten con este sistema, en caso de que el tanque esté enterrado debe de contar con una bomba manual para su debido mantenimiento.

5.2.5 Análisis y pruebas realizadas al agua lluvia

Uno de los aspectos más importantes en el momento de la captación de aguas lluvias y su debido aprovechamiento es la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua, la resolución 0330 del 8 de junio del 2017 nos ordena analizarla para poder ser considerada potable y garantizar las características necesarias independientemente del uso que se le vaya a proporcionar, esta resolución cumple con los requerimientos establecidos por la norma colombiana.

Algunas pruebas se pueden hacer con el primer contacto del líquido como lo son el color, turbiedad, las pruebas que necesitan químicas como la toma del pH y otras que requieren de un laboratorio con instrumental más complicada como la conductividad, color, nitritos, nitratos, alcalinidad total, hierro total, sulfatos, aluminios y coliformes (Villanueva Montealegre & Ávila Rojas, 2019).

Mediante los parámetros establecidos en la resolución 2115 del 22 de junio del 2007 se realiza un análisis comparativo con base en las muestras recogidas, dependiendo de los resultados obtenidos se podrá determinar el tratamiento requerido para cada uno de los casos (PÉREZ PATIÑO, 2021).

5.2.6 *Canaletas de recolección*

La canaleta es una tubería de aluminio preferiblemente, utilizada como canalón para llevar el agua de lluvia desde el techo hasta el suelo, está conectada a la estructura del techo del edificio con soportes de metal para mayor durabilidad y sin grietas mediante el transporte de agua de lluvia recogida.

5.2.7 *Malla de recolección*

La malla es un producto cilíndrico, en su interior hay un elemento filtrante perforado y metálico, normalmente la malla es de acero inoxidable, estas mallas ayudan a filtrar el líquido y obtienen muchas ventajas, se emplean para separar, tamizar o tamizar diferentes líquidos.

El tamaño del agujero en la malla determina el tamaño máximo de partícula que puede pasar a través del filtro, dependiendo de lo que queramos filtrar usaremos diferentes tamaños de agujeros que están clasificados por colores para definir mejor el tamaño de esos agujeros y encontrar el adecuado para su proyecto más fácil (Quima, 2018).

5.2.8 *Tiempo de Concentraciones*

Es el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de una forma simultánea, es decir, que es el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca.

5.2.9 *Curvas IDF*

Las curvas IDF son siglas que representan intensidad, duración y frecuencia, las cuales son principalmente empleadas en cuencas de pequeñas magnitudes, puesto que para ella no constan ni investigaciones del caudal; dichas curvas sirven para calcular el volumen del drenaje. Regionalización es un método solo utilizado en Colombia y se mide por medio de ecuaciones que nos dejan calcular las curvas IDF. Para la implementación de este método es necesario hacer empleo de los datos de precipitación medio anual.

5.2.10 Cunetas

Cauce artificial construido con el objetivo de conducir las aguas lluvias, en algunos casos su destino final sería el cauce natural receptor (Min vivienda, bienestar y desarrollo, 2017, RES 0330).

5.2.11 Emisario final

Colectores cerrados que llevan parte o la totalidad de las aguas lluvias, sanitarias o combinadas de una localidad hasta el sitio de vertimiento o las plantas de tratamiento de aguas residuales. En caso de aguas lluvias pueden ser colectores a cielo abierto (Min vivienda, bienestar y desarrollo, 2017, RES 0330).

5.3. Marco teórico

Para el presente proyecto es necesario realizar el diseño de un sistema de aprovechamiento racional de aguas lluvias (sede loma linda), en el cual se analizaron los puntos estratégicos más cómodos tanto para la toma de muestras, como para el posicionamiento del sistema, ya que la topografía del terreno puede variar y, por lo tanto, puede afectar la captación del agua en el afluente. Por medio de este proyecto, podemos analizar los diferentes factores climáticos e hidrológicos que afectan el caudal del afluente. Del mismo modo, es necesario llevar a cabo modelado el cual se enfoca en la recolección de datos de población muestral para determinar un caudal de diseño que permite el modelado del sistema de aprovechamiento y sus alternativas de tratamiento para el agua.

5.3.1 Agua atmosférica

Representada como el 0.0009% del agua del planeta, el agua atmosférica se puede encontrar en forma de vapor, nubes, y pequeños cristales de hielo, esta pequeña proporción cumple con el objetivo del control climatológico, el ciclo hidrológico, la química atmosférica y cumplir con el desarrollo de la vida, a esta clase de agua la podemos encontrar más comúnmente en forma

de vapor, cuando se percibe en el aire se le alude como humedad, esta no tan visible como lo sería de forma líquida o sólida tal como se podría apreciar las nubes, neblinas, lluvias y nieve, de esta forma se puede presenciar en la atmósfera incluido el desierto (Open Ms, 2012, 2).

La concentración del vapor de agua se encuentra muy variable y temporal en la atmósfera, su proporción promedio mezclado como el aire la hace el 1% de la de la mezcla, por lo que la hace el tercer gas más abundante en la atmósfera. El aire en seco está compuesto por 78.08% de nitrógeno, 20.88% de oxígeno y 0.93% de argón, alrededor del 0.1% hace parte de gases de efecto invernadero, la atmósfera también contiene pequeñas partículas aerosoles sólidas y líquidas en el aire. Además, la mayoría del agua en fase líquida o sólida se concentra en los dos primeros kilómetros (Martínez Arroyo, 2007).

5.3.2 Aguas lluvias

Estas aguas son provenientes de las precipitaciones pluviales de la atmósfera, estas pueden ser reutilizadas en zonas donde los recursos son muy escasos, en el caso de las aguas urbanas estas no son absorbidas por el suelo debido al asfalto o en las pocas zonas verdes, estas son redirigidas a los alcantarillados del área (Min vivienda, bienestar y desarrollo, 2017, RES 0330).

5.3.3 Condensación

Mediante este procedimiento se lleva una sustancia a un estado más densa, como por ejemplo el vapor de agua a un estado líquido, a este se le denomina condensado (Pérez, ciclo hidrológico).

5.3.4 Escorrentía superficial

Este es un componente importante del ciclo del agua, ya que se basa en el flujo de lluvia, nieve u otras fuentes sobre la superficie de la tierra.

A la escorrentía ocurrida antes de llegar a un canal se le denomina no puntual, y si esta contiene contaminantes naturales o artificiales, se le denomina polución de fuente no puntual (Pérez, ciclo hidrológico).

5.3.5 Hidrología

Esta ciencia estudia el movimiento, distribución y calidad del agua en todas las zonas de la tierra, y se dedica a monitorear los ciclos hidrológicos, los hidrólogos se enfocan en las ciencias ambientales, la geología, geografía y la ingeniería civil y ambiental. Para Colombia está el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM. (Pérez, ciclo hidrológico)

5.3.6 Análisis hidrológico

“Se entiende por análisis hidrológico la evaluación cualitativa de las relaciones entre pluviometría y pluviometría de una determinada cuenca, y de los registros que de ella se generarán, con el fin de determinar los recursos hídricos disponibles. Esta disponibilidad podrá ser superficial o subsuperficial” (Arumí R et al., 2001).

6. Metodología

6.1. Fase 1. Delimitación de la zona de estudio dentro de la universidad para la red de aprovechamiento de aguas lluvias

6.1.2 *Visita de inspección*

En la visita realizada, se llegó a evidenciar que el Campus Loma Linda, cuenta con distintos puntos de drenaje, de los cuales la mayoría de estos se desembocan hacia un riachuelo ubicado hacia el costado izquierdo de la universidad, en dirección Noroeste de este, también se llegó a observar que dicho riachuelo presenta un fuerte olor a cloro; se plantea que esto sucede debido a residuos de algunos reactivos del antiguo laboratorio de química de dicha sede.

6.1.3 *Ubicación de los puntos de drenaje de aguas lluvias por medio de la aplicación UTM Geo Map*

Durante la inspección del sitio, se marcaron los puntos de drenaje que contiene la universidad, como canales, sumideros, tuberías de drenaje y más. Esto se realizó mediante la aplicación UTM Geo Map para definir características específicas para el desarrollo del proyecto.

Figura 2. *Puntos de muestreo*



Nota: Adaptado de la aplicación UTM Geo Map

6.2. Fase 2. Análisis cuantitativo de las características del agua lluvia en el campus Loma Linda a través de análisis hidrológicos.

6.2.2 Análisis de información hidrográfica de estaciones hidrológicas.

Una vez establecida la zona de estudio, se procede con la alimentación de fuentes bibliográficas que contengan información hidrológica, con el fin de determinar los valores de precipitación media mensual, número de días de lluvia y registros de precipitaciones máximas en 24 horas de la zona. Esta información es suministrada por las estaciones pluviométricas administradas por el IDEAM, cabe destacar que es de suma importancia la obtención de información de estaciones que estén cercanas al Campus Loma Linda.

6.3. Fase 3. Caracterización cualitativa del agua lluvia en la universidad a través de estudios fisicoquímicos y microbiológicos.

6.3.2 Recolección y análisis de muestras de la zona de estudio

Mediante ensayos de laboratorio, se obtuvieron datos de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con el objetivo de determinar la calidad del agua tomada de los diferentes puntos de captación seleccionados, los cuales son bajantes, cunetas y aire libre (atmosférico).

6.4. Fase 4. Evaluación de las diferentes alternativas para la recolección, almacenamiento, tratamiento y distribución de aguas lluvias en el Campus Loma Linda

6.4.2 Determinación de la mejor opción de captación de aguas lluvias.

Para la captación de agua de lluvia se contemplaron diversas opciones, dependiendo del punto de donde se tomará la fuente, las muestras fueron tomadas de fuentes seleccionadas como alternativas, ya sean bajantes, cunetas o de manera directa, es decir, sin intervención humana. Cabe mencionar que, para la evaluación de las alternativas anteriormente mencionadas, se analizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:

- Potencial de hidrógeno (pH)
- Temperatura
- Turbiedad
- Conductividad,
- Color
- Oxígenos disueltos
- Alcalinidad
- Dureza total
- Presencia de coliformes totales

6.4.3 Determinación de la demanda de agua en el Campus Loma Linda

Una vez proporcionada la información de los datos pluviométricos por parte de la estación seleccionada, se procede con la información de la demanda que consume la universidad, para esto, se solicitaron los datos provenientes de los volúmenes de consumo por parte del campus Loma Linda. esto con el fin de determinar si con el diseño de la alternativa del aprovechamiento de aguas lluvias, podrá suplir con la demanda de la institución.

6.4.4 Plan de muestreo

6.4.3.1. Puntos de muestreo Campus Loma Linda Universidad Santo Tomás Villavicencio. Fue necesario establecer sitios de recolección para la captación de agua de lluvia, con el objetivo de determinar la calidad fisicoquímica del área de estudio, por lo que se optó por tres (3) tipos de muestreo para el campus Loma Linda.

6.4.3.2. Agua atmosférica. El agua es precipitada directamente sin intervención y recolectada en un contenedor que almacena la muestra.

Figura 3. *Punto de muestreo atmosférico,*



6.4.3.3. Agua proveniente de Sumideros – Cunetas. Son los más efectivos para drenar y evacuar el agua de lluvia de la infraestructura, en este caso se eligió el punto de drenaje del pantano ubicado en la parte trasera del campus Loma Linda.

Figura 4. *Punto de muestreo sumideros o canales*



6.4.3.4. Agua proveniente de Cubiertas – Bajantes. Las tuberías en paredes exteriores y techos son un elemento esencial en cualquier edificio, utilizado para el drenaje de agua de lluvia. Con el tiempo, los daños estructurales y los posibles obstáculos para el drenaje adecuado del edificio se hacen visibles. Precisamente por ello, para el mantenimiento de estos canales y el correcto flujo y desagüe del agua en estos, se requieren bajantes y cubiertas donde escurre el agua de lluvia de los canales de fachada y otros.

Figura 5. *Punto de muestreo bajantes*



Para la concesión del agua de lluvia se tomaron muestras de bajante, canales y atmosférica (aire libre).

6.5. Fase 5. Diseño de las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento, potabilización y distribución.

6.5.2 Cálculo del caudal de diseño

Basándonos en la muestra poblacional se calculó el QMD, teniendo en cuenta los usos que se le pueden asignar al área de aguas superficiales, en este caso áreas verdes, baños, cafeterías y fuentes de agua potable. Para esto, se delimitan las áreas anteriormente mencionadas, esto con el fin de establecer los coeficientes de esorrentía para cada una de las áreas, para finalmente con los valores de precipitación, obtenidos de la estación seleccionada, se pueda encontrar el caudal máximo diario promedio del área de estudio.

6.5.3 Ubicación del tanque de almacenamiento para su respectivo diseño, teniendo en cuenta los puntos de captación del agua

Tras la inspección mencionada en la fase 1, se determinaron las posibles ubicaciones de los depósitos de agua de lluvia. Cabe señalar que la posición de los tanques debe corresponder al punto donde se encuentran todos los puntos de captación. Delimitación de tubería de aducción.

Para diseñar la línea de aducción, se necesitó un plano de la sede Loma Linda para determinar dónde se cruzará la red de tuberías.

6.5.4 Determinación del diámetro y material de las tuberías

Después de determinar el caudal de diseño, se seleccionó el diámetro de la tubería que se utilizará para el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, se instaló el material adecuado para el diseño y se verifica su cumplimiento con las normas de construcción. En resistencia y costo.

6.5.5 Determinación del tipo de tratamiento que se le aplique al agua.

Analizando los resultados obtenidos en el laboratorio, se determinó el tipo apropiado de tratamiento de agua, con base en una serie de factores proporcionados por las propiedades fisicoquímicas y el costo del tratamiento.

7. Resultados

7.1. Delimitación de la zona de estudio

Figura 6. Delimitación de la zona de estudio,



Nota: adaptado de Google Earth

En la figura anterior se puede observar la zona que se abarcó en este estudio, en este caso corresponde a las instalaciones del campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás Villavicencio, esta delimitación se llevó a cabo junto con la aplicación de UTM Geomap y Google Earth , esto para geo referenciar los distintos puntos que tomamos en campo para así determinar el área total del estudio, se tuvo en cuenta a la hora de delimitar los distintos usos de suelo como lo son zonas verdes, pavimentos y construcciones como se observa en la imagen llevando así a tener los siguientes resultados:

Tabla 3. Área de zonas de estudio,

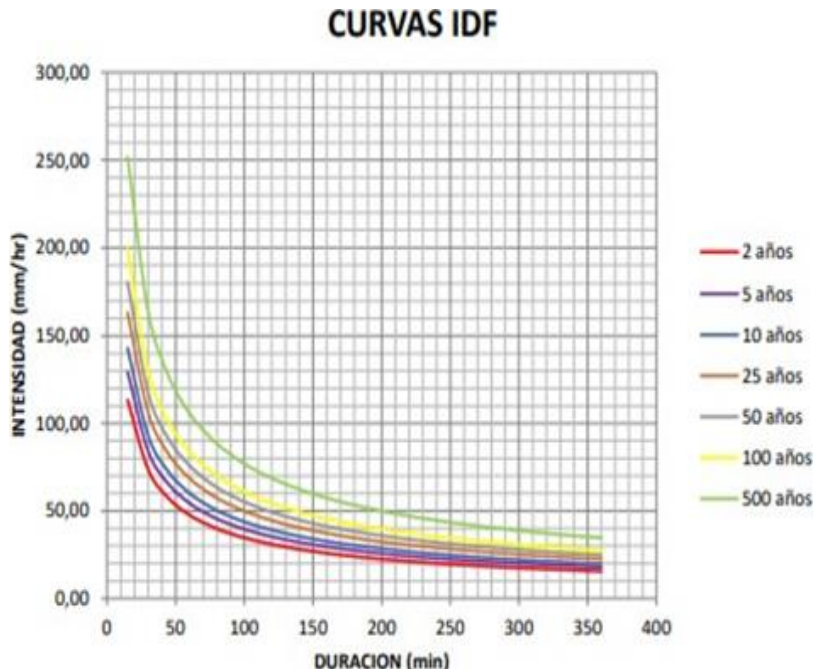
Zonas		Área (m ²)	
Pavimento	Pavimento 1	3179	3179
Zona Verde	Zona Verde 1	17897	17897
Construcciones	Zona De Construcción 1	2301	7142.9
	Zona De Construcción 2	1506	
	Zona De Construcción 3	1587	
Construcciones	Zona De Construcción 4	1690	
	Zona De Construcción 5	58.9	
Total		28218.9	28218.9

7.2. Estudios de influencia hidrológica

Los datos hidrológicos fueron extraídos de la información meteorológica recolectada por la estación pluviométrica que son suministradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la estación más conveniente para los análisis que se realizarán fue la estación SENA, ubicado en la Cra. 48 #6-40, Villavicencio, Meta frente al Centro Comercial Viva, siendo esta estación, la más cercana a la zona de estudio, aproximadamente a 2594.34 m (medidos en línea recta desde la estación SENA, hasta la zona en estudio, el cual es el Campus Loma Linda de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio).

Para el análisis de esta información se extrajeron las precipitaciones máximas a 24 horas, números de días con lluvia y las precipitaciones mensuales multianual, y mediante la metodología racional de curva de intensidad, duración y frecuencia, para lo cual se determinó datos específicos de intensidad y con la duración en minutos y el periodo de retorno se logra generar la curva IDF para esta estación pluviométrica.

Figura 7. Curva IDF estación SENA,



Nota. Adaptado del IDEAM,

Tabla 4 .Intensidad - periodo de retorno,

INTENSIDAD EN DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO							
T(min)	2	5	10	25	50	100	500
15	113.33	129.38	143.01	163.25	180.45	199.46	251.68
30	73.51	83.92	92.76	105.89	117.04	127.37	163.25
45	57.07	65.14	72.01	82.20	90.86	100.43	126.73
60	47.68	54.43	60.17	68.68	75.92	83.91	105.89
90	37.01	42.25	46.71	53.32	58.93	65.14	82.20
120	30.93	35.31	39.02	44.55	49.24	54.43	68.68
240	20.06	22.90	25.31	28.90	31.94	35.30	44.55
360	15.57	17.78	19.65	22.43	24.79	27.41	34.58

Nota. Adaptado del IDEAM,

La figura 5 representa el tiempo de intensidad que corresponde en milímetros por hora por periodos de 15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 y 360 minutos para lo que se relacionan unos periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, para lo que tomó como referencia para el cálculo del caudal a tratar para un periodo de retorno de 100 años con una duración de 60 minutos, para los que se obtuvo 83.91 mm/h para el campus de loma linda.

Se llegó a determinar para los valores de escorrentía, respectivamente a las diferentes zonas de aprovechamiento correspondientes a pavimentos, zonas verdes y cubiertas. fueron obtenidas por la RAS 2000, estos valores corresponden a 0.95, 0.45 y 0.97, las cuales fueron acogidas según el uso de la zona para así calcular el caudal que se podría llegar a recolectar en estas zonas a través del método racional.

Para las zonas que corresponden a las zonas que serían destinadas para la captación de agua se delimitó teniendo en cuenta a aquellas que permitan más fácilmente la captación y utilizando Google Earth como ayuda para su delimitación, estas zonas corresponden al área de salones y de construcción con cubiertas, zonas verdes y el pavimento.

Tabla 5. Zonas de captación,

Zonas		Perímetro (m)		Área (m ²)		% Área
Pavimento	Pavimento 1	482	482	3179	3179	11,27%
Zona Verde	Zona Verde 1	1,609	1,609	17897	17897	63,42%
	zona de construcción 1	205		2301		
	zona de construcción 2	173		1506		
Construcciones	zona de construcción 3	183	761.4	1587	7145.9	25.31%
	zona de construcción 4	169		1690		
	zona de construcción 5	31.4		58.9		
Total		1245.009	1245.009	28218.9	28218.9	100%

Teniendo en cuenta estas zonas descritas en la figura 5, fueron base para la determinación de la cantidad de caudal suministrado por cada zona, como resultado se obtuvo 0.033 m³/s, 0.083 m³/s, 0.015 m³/s, respectivamente de caudal para cada zona.

Tabla 6. Caudales de zonas de captación,

		Caudales	
Construcciones	I	22,430	mm/h
	A	0,714	Ha
	C	0,613	
	Q	0,027	m ³ /s
Zona Verde	I	22,430	mm/h
	A	1,790	Ha
	C	0,613	
	Q	0,068	m ³ /s
Pavimento	I	22,430	mm/h
	A	0,318	Ha
	C	0,613	
Pavimento	Q	0,012	m ³ /s
General	I	22,430	mm/h
	A	2,822	Ha
	C	0,613	
	Q	0,108	m ³ /s

Nota. "I" Corresponde a la intensidad promedio, "A" es el área de la zona de estudio, "C" vendría siendo el coeficiente de escorrentía y "Q" el caudal calculado por el método racional.

Una vez obtenidos los valores correspondientes a la cantidad de agua por zona, se procederá a realizar los cálculos para precipitaciones correspondientes cada uno de los meses del

año, para los datos de consumo se obtuvo un gasto en el último año de 25.0002 m³/mes dentro de la institución.

Tabla 7. Consumo mensual de agua en el último año

Consumo Universidad Santo Tomás - sede loma linda			
Mes	Consumo de agua (m3/mes)	Consumo de agua (m3/s)	Consumo de agua (L/s)
Enero	453	0,000175	0,174769
Febrero	2516	0,000970	0,970486
Marzo	2760	0,001065	1,064,815
Abril	1410	0,000544	0,543981
Mayo	3460	0,001335	1,334,877
Junio	4706	0,001816	1,815,586
Julio	1516	0,000585	0,584684
Agosto	3760	0,001450	1,450,424
Septiembre	797	0,000307	0,307292
Octubre	1245	0,000480	0,480131
Noviembre	1929	0,000744	0,744020
Diciembre	453	0,000175	0,174769
Total	25,002,000	0,009646	9,645,833

Nota. Datos suministrados por la Universidad.

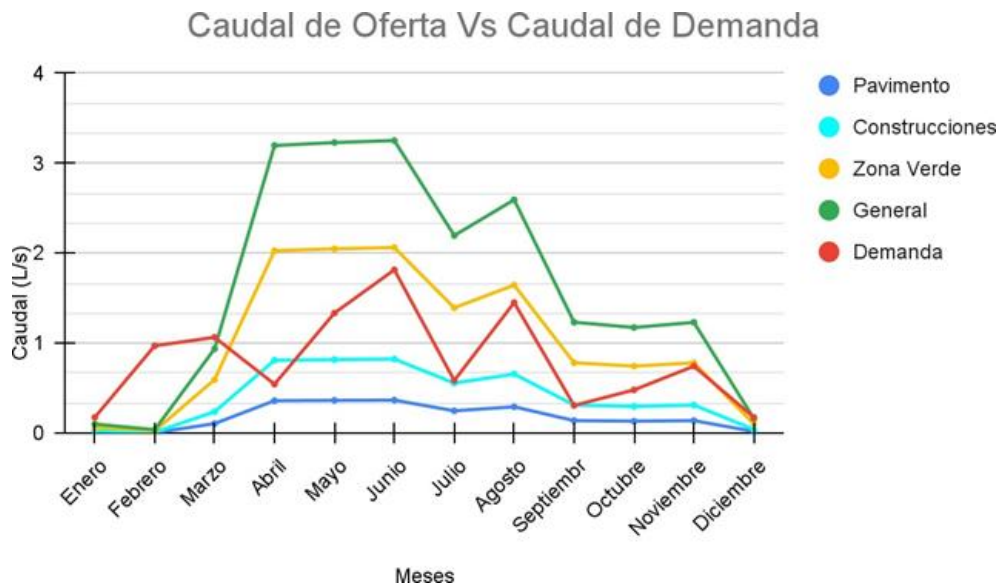
Teniendo en cuenta los datos anteriores y la precipitación de la estación, se logró determinar la comparación oferta y demanda de requeridos para la institución teniendo en cuenta las zonas a estudiar.

Tabla 8. Oferta – demanda

CAUDAL DE OFERTA VS CAUDAL DE DEMANDA					
Mes	Pavimento	Construcciones	Zona Verde	General	Demanda
Enero	0,01136	0,02552	0,0640	0,101	0,174769
Febrero	0,00422	0,00948	0,0238	0,037	0,970486
Marzo	0,10559	0,23726	0,5945	0,937	1,064,815
Abril	0,36022	0,80937	20,279	3,198	0,543981
Mayo	0,36395	0,81776	20,489	3,231	1,334,877
Junio	0,36644	0,82335	20,629	3,253	1,815,586
Julio	0,24748	0,55607	13,933	2,197	0,584684
Agosto	0,29227	0,65671	16,454	2,594	1,450,424
Septiembre	0,13886	0,31201	0,7818	1,233	0,307292
Octubre	0,13226	0,29718	0,7446	1,174	0,480131
Noviembre	0,13870	0,31164	0,7808	1,231	0,744020
Diciembre	0,01823	0,04096	0,1026	0,162	0,174769

Mediante la siguiente gráfica se quiere resumir la anterior información de manera más clara y con el objetivo de hacer la comparativa correspondiente, se aclara que el agua de construcciones que es lo que se piensa tratar no cubrirá la totalidad de la demanda.

Figura 8. Oferta – demanda



7.3. Cálculo de la cantidad de muestras para análisis cualitativo

Para la determinación del tamaño de la muestra a utilizar se debe establecer un nivel de confianza y un porcentaje de error que viene asociado a este y al tipo de población al que se está enfocando el estudio.

Tabla 9. Nivel de confianza y factor de seguridad

Nivel de confianza	Z $\alpha/2$
90%	1.645
95%	1.96
99%	2.576

El tamaño de la muestra se puede presentar en poblaciones con números conocidos como finitas y las que son demasiadas como infinitas, para esto se puede determinar mediante 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.

En estas ecuaciones la **Z** representa el nivel de confianza, **e** es el error estándar, **p** la probabilidad de éxito y **q** representa la probabilidad de fracaso.

Tabla 10. Muestras estadísticas

BAJANTES				
Variable	Nomenclatura	Unidades	Valor	Comentarios
Población	N	ha	60	60 bajantes correspondientes a salones, cafetería y administrativos
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
Muestra	n	ha	32	Cuando se conoce el tamaño de la población
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
muestra	n	ha	68	Cuando no se conoce el tamaño de la población
NÚMERO TOTAL DE MUESTRAS				168

7.4. Caracterización de la calidad de agua lluvia en el campus de la Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

7.4.2 Recolección de muestras de agua lluvia

Se recolectó una muestra de 3 L y estas muestras se recolectarán en tres (3) puntos designados en el recinto de Aguas Claras descrito anteriormente.

7.4.3 Determinación de la calidad del agua lluvia

Después de recolectar las muestras y enviarlas al laboratorio para sus respectivos exámenes, se debe indicar claramente que para la protección del agua es necesario trasladar el agua al laboratorio inmediatamente después de la recolección para garantizar la seguridad desde el momento del almacenamiento, de no ser así, a partir de ese momento, se adoptará un proceso de enfriamiento el cual no debe ser mayor a veinticuatro (24) horas, durante el mismo lapso de tiempo se analiza con base en el análisis básico del volumen de agua.

7.4.4 Ensayos de laboratorio:

Para este proyecto, se han propuesto varios laboratorios, con el fin de determinar la calidad del agua recolectada y realizar el respectivo análisis. Estos laboratorios se harán de tres puntos de recogida donde se recogerán cada una de estas muestras para los estudios correspondientes.

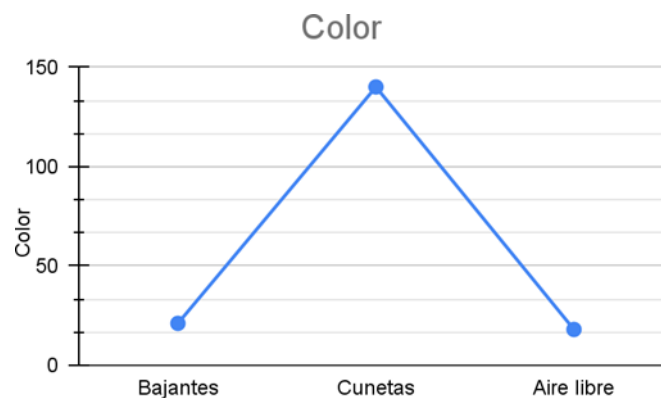
- Micro contaminantes
- Coliformes
- Alcalinidad
- Hierro
- Dureza
- Turbiedad
- Conductividad
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Color total
- Temperatura

7.4.5 Medición de parámetros físicos

Las siguientes gráficas representan los resultados de las mediciones de parámetros físicos para las muestras tomadas dentro de la institución para los puntos de aire libre, canales y bajantes, los valores mostrados son los promedios obtenidos para la cantidad de muestras obtenidas.

Para la gráfica 10 se muestra como valor relevante de la muestra tomada para canales, ya que su valor promedio mostrado para la gráfica sobrepasa el nivel máximo permitido que establece la resolución 2115 de 2007, esto permite demostrar el arrastre de material a las muestras tomadas y su aumento en los datos.

Figura 9. Color aparente



La gráfica 2 presenta la misma tendencia anterior de la gráfica 1 que representa al color aparente, y que de igual forma supera los valores máximos aceptables para un agua potable actualmente de 2 NTU, esto establecido por la resolución 2115 de 2007, estos valores complementan lo antes mencionado sobre el color aparente y los materiales arrastrados por los canales.

Figura 10. *Turbiedad*



La gráfica 3 muestra los valores promedios obtenidos para la conductividad de las muestras, estos valores dieron realmente muy bajos comparados con el valor máximo aceptable segunda norma resolución 2115 de 2007 con un valor de 1000 microsiemens/cm, para valores tan bajos la medición electroquímica parte del hecho que el agua tiene conductividad eléctrica suficiente, ya que el agua pura es una conductora pobre de electricidad, aclarando que los valores para canales sigue siendo un valor relevante a comparación de las demás muestras.

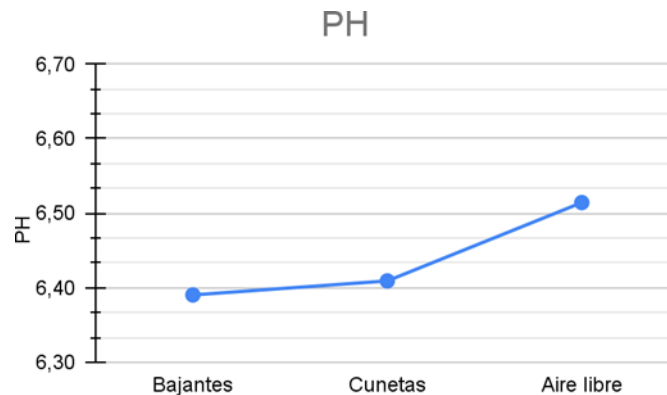
Figura 11. *Conductividad*



El valor promedio de las muestras obtenidas para el análisis de pH se ven reflejado en la gráfica 4, a primera instancia se puede observar que los valores para la muestra de aire libre, la cual no tuvo ningún contacto externo además de su correspondiente depósito, está muestra se encuentra dentro del rango máximo permitido por norma para ser considerados como agua potable,

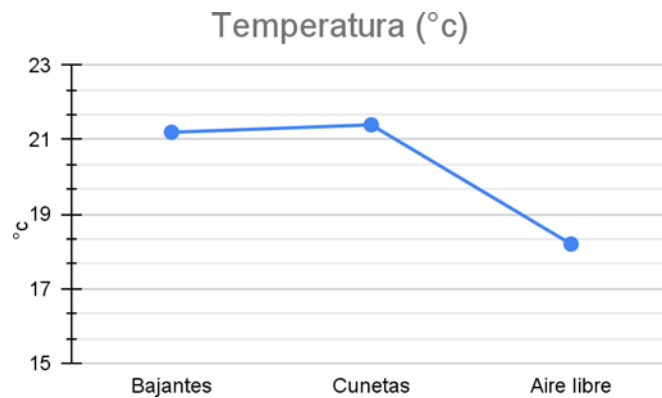
lo que las otras muestras correspondientes a canales y bajantes se consideran un poco más ácidas, pero tampoco tan alejadas del límite permitido.

Figura 12. pH



Los valores de temperatura promedio correspondientes para cada muestra se presentan en la gráfica 5.

Figura 13. Temperatura



7.4.6 Medición de parámetros químicos

A continuación, se presentará los análisis químicos resultados de las muestras, los gráficos que se mostraran continuación representan los valores promedios de la muestra tomadas para aire libre, bajantes y canales.

Figura 14. *Alcalinidad*

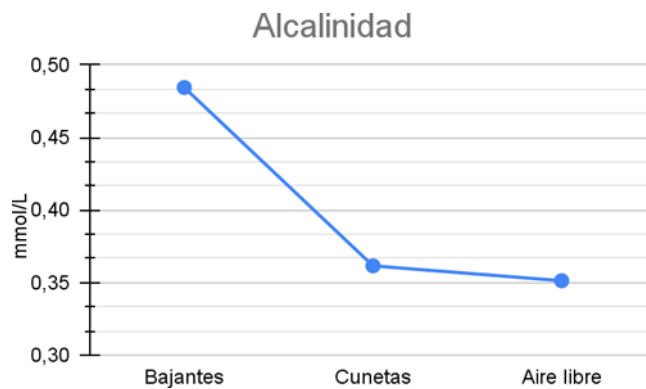
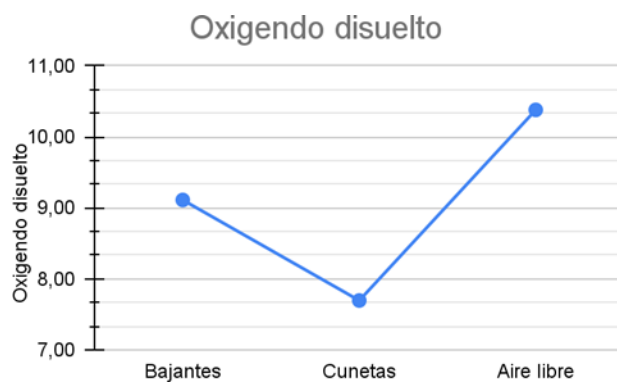


Figura 15. *Dureza*



Figura 16. *Oxígeno disuelto*



Se puede observar que las gráficas para los parámetros químicos analizados para las muestras de los valores promedios, estos datos se encuentran por debajo de los valores límite máximos establecidos por la norma, para los valores correspondientes a dureza y alcalinidad las muestras de aire libre dieron como resultado valores menores a comparación a las demás muestras, en comparación al oxígeno disuelto, esta presentó un valor mayor a las demás.

7.5. Tanques de almacenamiento

En un sistema de abastecimiento de agua los tanques reguladores o de almacenamiento deben cumplir las siguientes funciones:

- Inicialmente, debe atender las necesidades del servicio de agua. Puesto que en ocasiones el suministro del agua al tanque puede ser mayor al consumo o viceversa.
- Conservar en la red de distribución las presiones asignadas para el buen funcionamiento del sistema.
- Tener un almacenamiento de respaldo para posibles emergencias como lo son incendios, daños en la bocatoma, desarenador o en el sistema de aducción o conducción (Cualla, 2003).

Para el diseño de un tanque regulador para un sistema de abastecimiento de agua, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Capacidad**

Para el cálculo de la capacidad de almacenamiento de un tanque de regulador, es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

El volumen del tanque cumple para las dimensiones especificadas

$$V = \theta * Q$$

Ecuación 3. Cálculo Volumen del tanque

Nota: Tomado de Cualla, 2003.

Donde,

V = Volumen del tanque, (m^3).

Q = Caudal medio diario, (m^3/s).

$$A_s = \frac{V}{H}$$

Ecuación 4. Cálculo de Volumen del tanque

Nota: Tomado de Cualla, 2003.

Donde,

As = Área superficial del tanque, (m^2).

H = profundidad útil de sedimentación, (m).

Tabla 11. Volúmenes del tanque de almacenamiento

Volumen		
Tanque Hab	3,573,065,903	m3
Incendios	71,461	m3
Total, Del Tanque	428,768	m3

- **Cálculo de dimensiones del tanque**

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{4}}$$

Ecuación 5. Cálculo de base (m)

Nota: Tomado de Arumí R et al., 2001.

$$L = 4 * B$$

Ecuación 6. Cálculo de ancho (m)

Nota: Tomado de Arumí R et al., 2001.

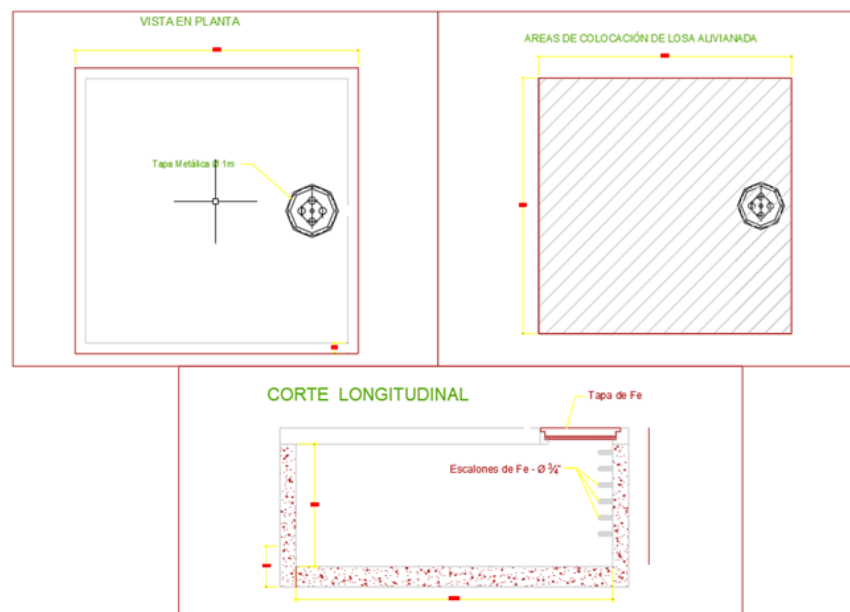
Donde, $B:L=4:1$ ()

- **Compensación de las variaciones horarias:**

Para conocer el cálculo que deben tener los tanques reguladores es necesario tener en cuenta datos estadísticos de consumo de la localidad durante diferentes periodos del día. Teniendo en cuenta que los tanques reguladores tienen como principal función satisfacer la demanda del suministro del agua durante el periodo de 24 horas del día.

Por medio de la implantación de una curva típica, se identifica la capacidad del tanque, y a su vez, se establece el equilibrio entre los caudales de entrada y salida. Por otra parte, se determina el tipo de conducción de agua al tanque, es decir, si se alimenta por gravedad o por bombeo (Cualla, 2003).

Figura 17. *Diseño tanque*



7.5.2 Localización de los tanques

Para ello se debe tener en cuenta las condiciones topográficas, es decir, para la ubicación del tanque se tiene en cuenta la dirección que lleve el flujo.

Figura 18. *Red de distribución*

7.5.3 Tipo de tanque según el soporte

- Tanques enterrados, cuando toda la estructura del tanque se encuentra debajo de la superficie del terreno. (Cualla, 2003)
- Tanques semienterrados, cuando parte de la estructura se encuentra por debajo de la superficie.
- Tanques elevados.
- Los dos primeros se proyectan cuando cerca de la localidad hay zonas aledañas de mayor altura para posicionar el tanque. Mientras que el último se proyecta cuando no hay terrenos elevados a la localidad (Cualla, 2003).

7.5.4 Número de tanques y periodo de diseño

La cantidad de tanques a utilizar deben ser establecidos con anterioridad al cálculo del volumen requerido para cumplir con la demanda de la población institucional. El almacenamiento contra incendios y el cumplimiento de cada una de las presiones establecidas para el diseño en la red de distribución y el número de tanques también depende del periodo de diseño, el cual se encuentra comprendido entre 20 y 30 años. En el caso del tanque de almacenamiento, se obtuvo un caudal de entrada de 13.6 L/s. De igual forma, se evidencia un volumen de consumo del 25.33% en el inicio de la jornada académica del Campus Loma Linda que se tuvo en cuenta para el diseño de estos.

7.5.5 Capacidad del tanque de distribución

Para el cálculo del volumen del tanque se hace uso de datos estadísticos que evidencian el consumo de la población teniendo en cuenta la variación durante el tiempo. Dicho comportamiento se puede evidenciar por medio de la siguiente gráfica:

Figura 19. Curva de consumo horario

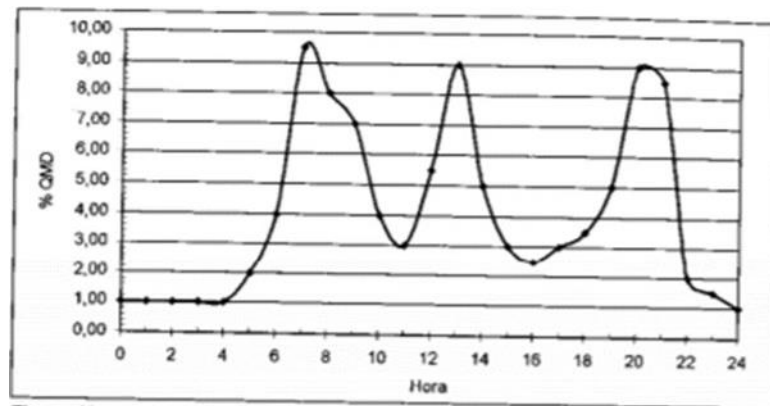


Figura 12.13 Curva de consumo horario.

Nota: Adaptado de Cualla, 2003,

7.5.6 Diseño de la línea de conducción

Se entiende como línea de conducción al tramo de la tubería encargada de transportar agua desde los canales hasta el tanque de regulación, esto dependiendo del sistema a trabajar.

Una línea de conducción en lo posible debe en primera instancia seguir el perfil del terreno, y segundo, tener una ubicación de fácil acceso. Esta puede ser diseñada para que trabaje por gravedad o bombeo, en este caso se optó por utilizar un sistema por gravedad, ya que el terreno se adecuaba para esto, transportando el agua directamente hacia el tanque de almacenamiento.

Figura 20. *Ubicación y localización de la tubería*



Para la ejecución de una línea de conducción por gravedad, se debe dar inicio evidenciando si la fuente de suministro se encuentra con una altura mayor con respecto al sector a trabajar.

Al trabajar la tubería a presión, esta debe estar por lo menos a una distancia de 2 m por debajo de la línea piezométrica, exceptuando el punto de inicio y final de la delimitación. Se recomienda que la tubería sea enterrada como mínimo a 0,6 m y que cuando se encuentre con terrenos con altas cargas, su profundidad será de 1 m.

Tabla 12. *Diámetros mínimos en la red de distribución*

Población (habitantes)	Diámetro mínimo		
	Red Matriz	Redes Menores	
<2.500	2 1/2" (64 mm)	1 1/2" (38 mm)	
2.5	12.5	4" (100 mm)	2" (50 mm)
12.5	60	6" (150 mm)	4" (100 mm) zona comercial e industrial
			2 1/2" (64 mm) Zona residencial
>60.000	12" (300 mm)	6" (150 mm)	Zona comercial e industrial
		3" (75 mm)	Zona residencial

Nota: Adaptado de Cualla, 2003

Basándonos en lo anterior, se determina que esta tubería de conducción tendría un diámetro especificado de 4", con base en lo establecido por el RAS 2000, y debido a que se observó en la visita en campo, que las bajantes del campus son de 3'. Por esta razón se decide aumentar 1' debido a que se debe tener en cuenta la acumulación de agua, puesto que esta va a estar conectada a distintas bajantes, llevando así, a que el volumen de agua sea mayor al de la tubería de las canaletas.

De igual manera, esta línea de conducción se comprenderá por una longitud de 1126.5 m, 40 codos de 90°, 20 codos de 45° y 16 T.

7.6. Red de distribución

Una red de distribución es un conjunto de tuberías que trabajan a presión, que permiten el paso y posteriormente la distribución del agua proveniente del punto de captación. Dicha distribución se realiza a través del sistema de redes que tenga la población de estudio, o en su defecto, si está sujeta a una posible reestructuración, el sistema ya existente será una guía para este.

Tabla 13. *Diámetros mínimos en la red de distribución*

Población (habitantes)	Diámetro mínimo		
	Red Matriz	Redes Menores	
<2.500	2 1/2" (64 mm)	1 1/2" (38 mm)	
2.5	12.5	4" (100 mm)	2" (50 mm)
12.5	60	6" (150 mm)	4" (100 mm)
			zona comercial e industrial
			Zona residencial
		2 1/2" (64 mm)	
>60.000	12" (300 mm)	6" (150 mm)	Zona comercial e industrial
		3" (75 mm)	Zona residencial

Nota: Adaptado de Cualla, 2003

De igual manera se determina que esta línea de distribución tendrá un diámetro de 4', ya que, por criterio, se establece un diámetro uniforme con la línea de conducción, que en este caso se mantiene con un diámetro de 4', teniendo en cuenta lo especificado por la RAS 2000. Cabe destacar que esta línea de distribución tendrá una longitud de 787.73, así mismo, 1 codos de 90°, 11 codos de 45° y 18 Tee.

7.6.2 *El sistema de la red de distribución*

La relación entre el tanque de almacenamiento y la red de distribución se realiza mediante una conducción denominada “línea matriz”, la cual transporta el agua a los puntos de entrada de la red. La red de distribución puede estar conformada por las siguientes tuberías teniendo en cuenta su determinado diámetro

7.6.3 *Red principal o matriz*

Es un conjunto de tuberías con un diámetro nominal mayor o igual a 100 mm. Esta es la red encargada de la distribución del agua a diferentes sectores de la población. en este caso, esta red principal.

7.6.4 *Red secundaria*

Se denomina red secundaria al conjunto de tuberías con diámetros menores de 100 mm hasta los mayores o iguales a 50 mm. Su sistema es abastecido por las tuberías principales y está a su vez alimenta las terciarias.

7.6.5 *Conexión domiciliaria*

La conexión a la red de cada predio. Cuenta con un diámetro de 12.5 mm hasta 75 mm, dependiendo del tipo de usuario (Cualla, 2003).

7.6.6 *Velocidad de diseño*

El sistema debe diseñarse con velocidades que se encuentren comprendidas entre 0,4 y 2.5 m/s (Cualla, 2003).

7.6.7 Profundidad de las tuberías

La profundidad mínima permitida para las tuberías en la red de distribución debe ser de 1 m, el cual es medido desde la rasante hasta la cota externa superior de la tubería. Mientras que la profundidad máxima preestablecida es de 1,5 m hasta la cota externa superior de la tubería (Cualla, 2003).

7.7. Bomba

Una bomba es un dispositivo capaz de transformar energía mecánica (torque y vel. del motor) en energía hidráulica (caudal). Cuando una bomba se encuentra operando realiza dos funciones: primero, debido a la acción mecánica, se crea una fuerza de succión capaz de traer el líquido del tanque o reservorio a la entrada de la bomba, y segundo, esta misma acción, lleva el líquido a la salida de la bomba la cual converge al circuito hidráulico.

Al momento de seleccionar la bomba se deben tener en cuenta diferentes factores, no solo de las características del bombeo, sino también los costos como: el diámetro de la tubería, el volumen y el tiempo de bombeo al tanque, la variación del nivel de succión y descarga. Se pueden encontrar diferentes tipos de bombas, entre las cuales está la centrífuga, axiales, mixtas y sumergibles, siendo estas las más comunes (Cualla, 2003).

7.8. Sistema de tratamiento

Dado el aprovechamiento racional del agua de lluvia de la Sede Loma Linda, se debe considerar al menos un sistema de tratamiento, pero este debe tener al menos filtración y absorción, por ende, se recomienda instalar este tratamiento después del almacenamiento de la fuente.

Se determinó que para esta aplicación se seleccionaría una planta de tratamiento compacta de ultrafiltración, la cual dicta brindar un sistema de tratamiento de agua que trata aguas, aguas pluviales. Además, son ideales para pequeñas y medianas infraestructuras como fincas, parques industriales, donde no se puede evitar el acceso al agua potable (Cualla, 2003).

7.9. Desinfección

La desinfección del agua puede llevarse a efecto por diferentes procesos: 1- con agentes químicos y 2-con medios físicos. Para lo cual es conveniente llevar este proceso por medio de Agentes químicos, ya que presenta más ventajas y eficiencia en la eliminación de los microorganismos presentes en el agua.

El cloro y sus derivados son los agentes desinfectantes que más se emplean en el mundo. Es posible utilizar compuestos tales como: el cloro gas, el hipoclorito de sodio, el hipoclorito de calcio, entre otros.

7.10. Evaluar las diferentes alternativas para la recolección, almacenamiento, tratamiento y distribución de aguas lluvias en la universidad Santo Tomás sede Loma Linda Villavicencio Meta

“Hoy en día la construcción está dando mayor importancia el establecimiento de medidas sostenibles, en las que cualquier edificación emplea mejores prácticas de ingeniería para minimizar el impacto ambiental que esta genera en su entorno e involucran tanto la fase de construcción como la de operación de dicha edificación; es por eso que se hace énfasis en la conveniencia del manejo y uso eficiente de aguas con el fin de utilizar la menor cantidad de agua proveniente de fuentes de abastecimiento convencional, se abre paso entonces la alternativa para el aprovechamiento de fuentes naturales en las que se reducen los costos tanto de suministro como de transporte del líquido vital” (REYES & RUBIO, 2014).

Es por ello se tienen en cuenta los siguientes parámetros para el diseño del sistema de abastecimiento:

- Generalidades de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias
- Hidrología de la zona.
- Demanda de agua dentro de la edificación
- Arquitectura y estructura del proyecto (REYES & RUBIO, 2014)
- Sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para edificaciones
- Precipitación efectiva

- Uso consuntivo
- Planificación del sistema
- Área de captación
- Tanque de almacenamiento o embalse
- Canales principales, bajantes y colectores
- Obras complementarias
- Mantenimiento
- Ventajas del sistema de aprovechamiento de agua lluvia (REYES & RUBIO, 2014)
- Desventajas del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias. (REYES & RUBIO, 2014)

Dado lo anteriormente dicho se opta por mantener un diseño acorde a las especificaciones dadas en el proyecto las cuales se mencionan en el siguiente inciso

7.11. Diseñar hidráulicamente las estructuras que componen el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias como la captación, almacenamiento, tratamiento, potabilización y distribución.

7.11.2 Techos

La función principal del techo es proteger el edificio de la intemperie (lluvia, sol, viento, etc.), por lo general de tiempo severo. Funciones principales Para el techo se mencionan los siguientes puntos: resistencia, aislamiento térmico, impermeabilidad. Un techo duradero bien diseñado puede compensar muchos problemas que pueden surgir en otras partes del edificio (Cruz et al., 2012).

Los techos pueden ser clasificados en función de la capacidad que tienen de funcionar como diafragmas rígidos o flexible en la estructura de la edificación, en función de la condición de apoyo con la edificación en conjunto, sean paredes o columnas, como se nombran a continuación:

- **Techos autosoportantes y soportados**
 - o Rígido

- Losas de azotea de concreto reforzado
 - Autosoportante
 - Techos con láminas peraltadas
 - Autosoportante
- **Techos con cubierta y estructuras de soporte**
- Cubierta
 - Lámina galvanizada
 - Lamina fibrocemento
 - Engargolables
 - Estructura
 - Madera
 - Metálica
 - Apoyo
 - Paredes
 - Concreto reforzado
 - Mampostería
 - Columnas
 - Concreto reforzado
 - Acero estructural

Dado lo anterior se especifica que, el tipo de techo que preferiblemente se tomó como referencia es el techo que ya se tiene en la sede Loma Linda denominando las siguientes especificaciones:

Tabla 14. *Espesores de la cubierta*

Milímetros	Calibre	Peso (Kg/ml)	3 metros	6 metros	Ancho útil
0.3	30	2.87	8.61 Kg	17.22 Kg	1000 mm
0.35	29	3.35	10.05 Kg	20.11 Kg	1000 mm
0.4	26	3.83	11.49 Kg	22.98 Kg	1000 mm
0.42	26	4.02	12.06 Kg	24.13 Kg	1000 mm
0.45	26	4.31	12.93 Kg	25.86 Kg	1000 mm

Nota: Adaptado de Campana, n.d

Tabla 15. *Propiedades de la cubierta*

Color	Reflectancia y emitancia		Espesor de pintura	
	Reflectancia solar	Emitancia térmica	Exterior	Interior
Azul	0.27	0.86	20 - 25 micras	10 - 15 micras
Verde	0.4	0.85	20 - 25 micras	10 - 15 micras
Rojo	0.45	0.87	20 - 25 micras	10 - 15 micras
Crema	0.74	0.84	20 - 25 micras	10 - 15 micras
Aluzinc	-	-	AZ120 ambas caras	
Galvanizada	-	-	G60 ambas caras	

Nota: Adaptado de Campana, n.d.

- Especificación de las dimensiones

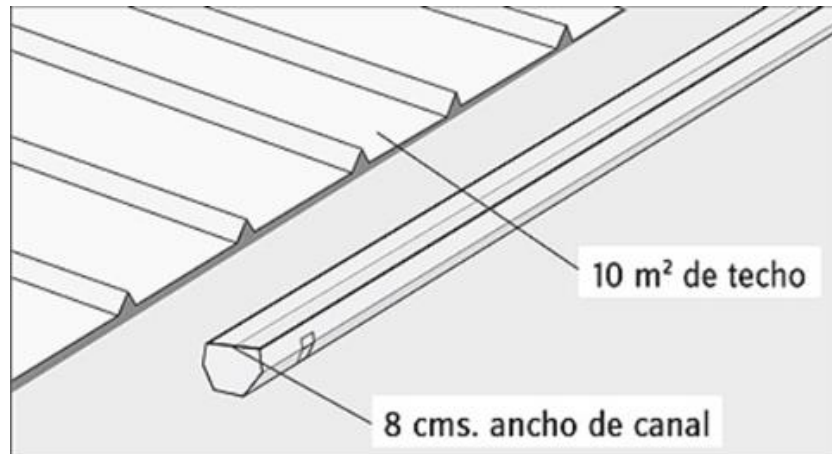
Según las normas ASTM A792 = NTC 4015, ASTM A755 = NTC 3465 y ASTM A653 = NTC 4011, se dan las siguientes especificaciones:

- Cresta: Parte más alta de la cubierta.
- Valle: Parte más baja de la cubierta en medio de dos crestas.
- Traslapo: Espacio que debe ocupar una teja sobre otra transversalmente, 15 cm entre tejas.
- Ancho Útil: Ancho real de cubrimiento de la cubierta.
- Ancho Total: Ancho total entre los dos extremos de la cubierta.

7.11.3 Canaletas de recolección

La canaleta de PVC de la misma universidad es empleada para llevar el agua de lluvia desde el techo hasta el suelo, está conectada a la estructura del techo del edificio con soportes de metal para mayor durabilidad y sin grietas mediante el transporte de agua de lluvia recogida (Ávila & Ramírez, 2015).

Así mismo se tienen las siguientes especificaciones de la canaleta:

Figura 21. Especificaciones de diseño de la canal

Nota, Adaptado de Sodimac, 2009

El tamaño de la canaleta debe estar en relación con la superficie de cubierta que desagua. Se calcula una sección de 0,8 cm² por cada m² de cubierta (SODIMAC, 2009).

De igual forma en la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda se tienen 7142.9 m² de techo por lo cual se tendrá 5714.32 cm de ancho de canal.

- **Pendiente de la canal**

- La pendiente más usual es entre 0,7 a 1 cm por cada metro lineal. Dicho esto, en la universidad se tendrá una pendiente de 1.75 % para todas las canales.
- La pendiente de la canaleta deberá conducir hacia la bajada más cercana.

7.11.4 Malla de recolección

La malla al ser, un producto cilíndrico, en el cual, en su interior hay un elemento filtrante perforado y metálico, normalmente la malla es de acero inoxidable, estas mallas ayudan a filtrar el líquido y obtienen muchas ventajas, se emplean para separar o tamizar diferentes líquidos.

Dado lo anterior, el tamaño del agujero en la malla determina el tamaño máximo de partícula que puede pasar a través del filtro, dependiendo de lo que queramos filtrar usaremos (Quima, 2018).

7.11.5 Bajantes

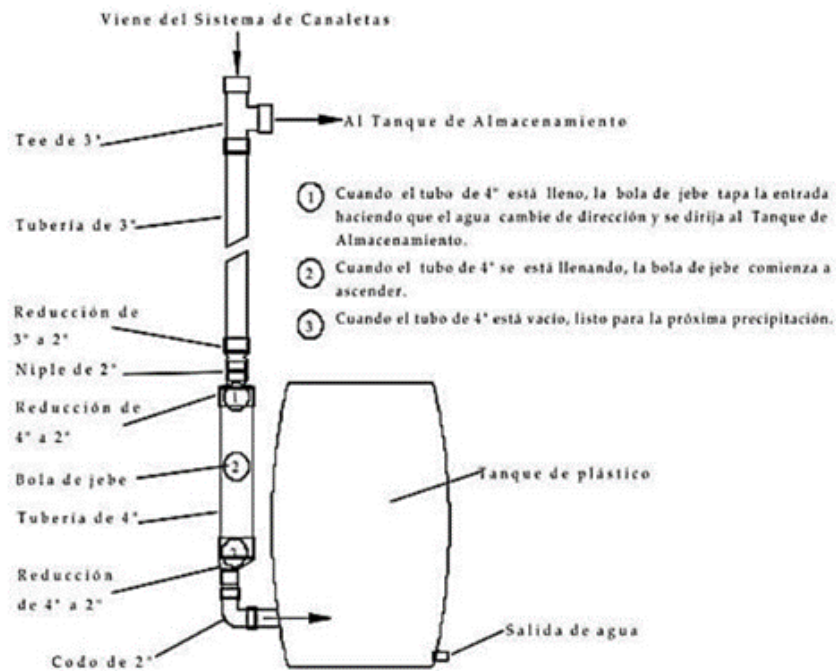
Para el proyecto lo normal es que las bajantes vayan en los extremos de las canales, el número de bajadas necesarias dependerá de la pendiente de la canal; por corta que esta sea, necesitará tener al menos una, cuando la pendiente es poca, una bajada cada 5 o 6 m. de canal puede ser suficiente. Si la pendiente es mayor, considere una cada 9 o 10 m. Al igual que las canales, el tamaño de su sección debe estar relacionado con la superficie de cubierta que desagua. Lo más frecuente es considerar $0,7 \text{ cm}^2$ de sección por cada m^2 de cubierta, De igual forma en la Universidad Santo Tomás sede Loma Linda se tienen 7142.9 m^2 de techo por lo cual se tendrá 5000.03 cm^2 de bajante; normalmente, una bajada sirve para evacuar aproximadamente 65 m^2 de superficie de techo.

7.11.6 Sistema de primer lavado (primeras aguas)

El sistema tiene un interceptor de primeras aguas para almacenar el agua lluvia que contiene mayor cantidad de sedimentos por ser las aguas encargadas del lavado de la cubierta. Esto también puede mejorar la calidad de los sistemas de agua, hidroneumáticos y de bombeo (REYES & RUBIO, 2014).

- Cuando el tubo de 4" está lleno, la bola de jebe tapa la entrada haciendo que el agua cambie de dirección y se dirija al tanque de almacenamiento (Moreno Lozano, 2020).
- Cuando el tubo de 4" se está llenando, la bola de jebe comienza a ascender (Moreno Lozano, 2020).
- Cuando el tubo de 4" está vacío, listo para la próxima precipitación (Moreno Lozano, 2020).

Figura 22. Sistema primer lavado (primeras aguas)



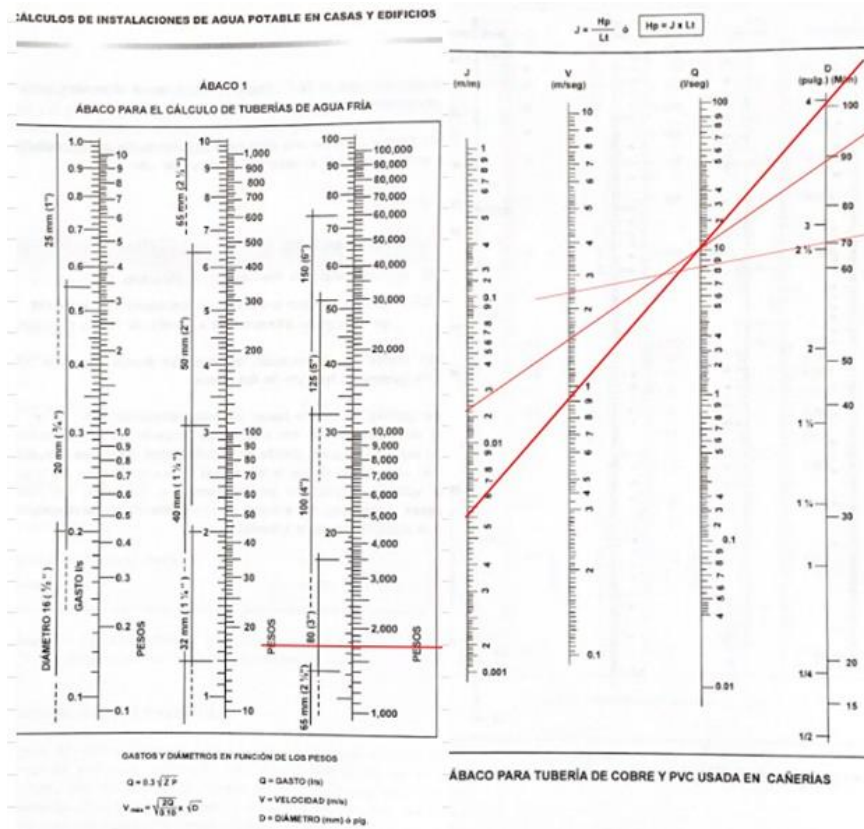
Nota: Adaptado de Moreno Lozano, 2020

Este depósito de agua tiene una función la retención de las primeras aguas cuando esté lleno, el nivel del agua hará que la bola cubra la entrada del tanque y el agua que continúa ingresando al sistema se desvía a un tanque de almacenamiento.

7.11.7 Dimensiones de tubería (método hunttee)

Mediante el método hunttee se quiso se determinan las dimensiones que fueron necesarias para la tubería de distribución y comparar estas dimensiones con las obtenidas mediante el método Coalla, las siguientes son los resultados del método hunttee:

Figura 23. Dimensiones de la tubería de distribución



Nota: Adaptado de Enríquez Harper, 2008

En la siguiente tabla se especifican los datos obtenidos del método de Hunter, los cuales se acercan a los que se obtuvieron con el método Coalla.

Tabla 16. Datos del método de Hunter

Q	13.604 l/s
Diámetro	4" in
Vel	1.94 m/s

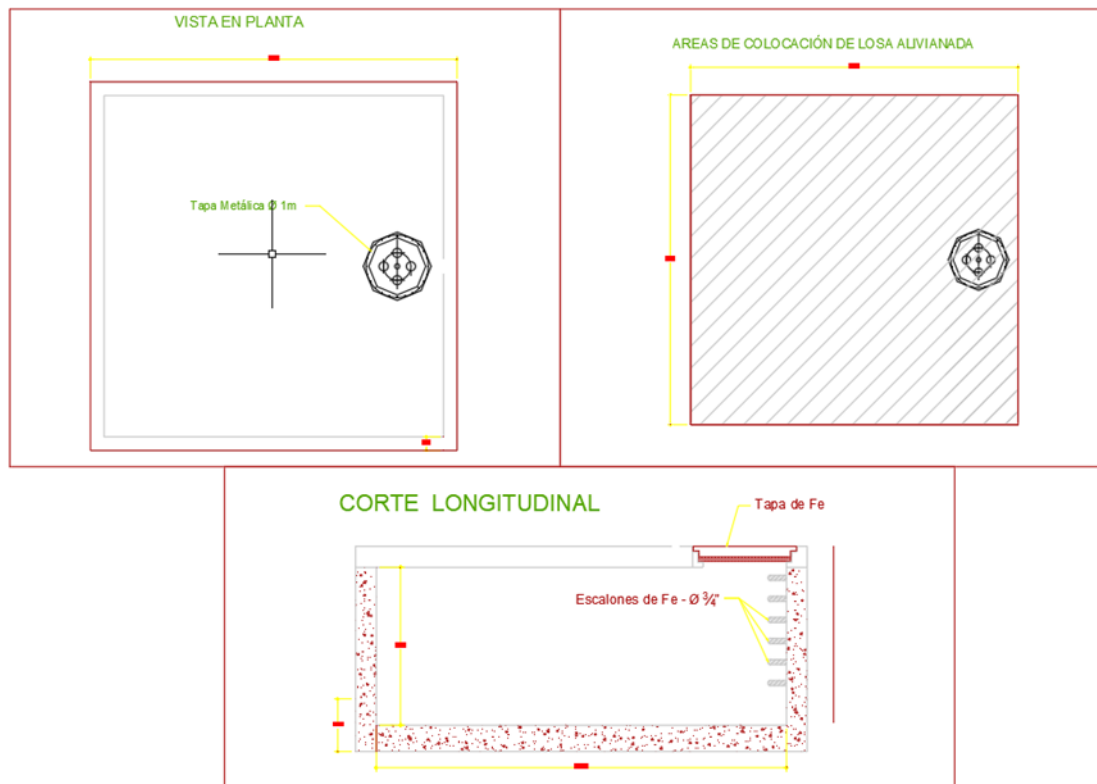
Nota: Adaptado de Enríquez Harper, 2008

7.11.8 Diseño Del Tanque

Para el diseño del tanque se tuvo en cuenta el caudal de las precipitaciones obtenidas de la zona de construcción, obteniendo el agua de techos canaletas bajantes y cunetas, una vez hecho

eso se obtiene el volumen necesario para el diseño del tanque el cual se muestra en la siguiente imagen.

Figura 24. Diseño tanque



- Artículo 79. Requisitos de diseño de los tanques de almacenamiento.

A lo largo de la ejecución de los diseños de los tanques de almacenamiento se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los tanques deben funcionar hidráulicamente con esquema tipo FIFO, es decir, lo primero que entra es lo primero que sale.
- Las esquinas de los tanques deben ser achaflanadas.
- Los tanques deben tener un sistema de renovación de aire. Debe contar con un borde libre de 0.3 m.
- Para garantizar los niveles de cloro preestablecidos por la norma, se debe realizar recloración en la entrada de los tanques de almacenamiento.
- La tubería de salida debe ser ubicada de tal forma que, en los niveles mínimos no se produzcan vórtices, ni entrada de aire, ni re-suspensión de sedimentos.

- Los tanques de almacenamiento deben contar con una pendiente en el fondo, que permita el cálculo de los lodos y por ende las labores de limpieza.
- El terreno donde se encuentre ubicado el tanque de almacenamiento debe contar con un sistema de drenaje.
- Los tanques deben contar con un sistema de salida de excesos, por el cual, se evacua el QMD.
- Las secciones que conforman el tanque de almacenamiento deben contar con una entrada para el ingreso de los operarios.
- Los tanques que cuentan con un volumen $> 10.000 \text{ m}^3$ deben hacer uso de válvulas de cierre automático (Cualla, 2003).

- **Artículo 80. Número mínimo de tanques de almacenamiento.**

Todos los sistemas de suministro de agua deben contar con un tanque de almacenamiento. A partir de un análisis técnico y económico de alternativas se establece el número de tanques necesarios para satisfacer la demanda de almacenamiento.

En tal caso que el tanque de almacenamiento solo cuente con un módulo, este debe tener un bypass que permita realizar el mantenimiento y la limpieza del mismo (Cualla, 2003).

- **Artículo 81. Volumen útil del tanque de almacenamiento.**

El volumen del tanque debe ser el mayor valor obtenido entre la capacidad de regulación y la capacidad de almacenamiento. La capacidad de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del volumen que va a ser distribuido en la zona a abastecer el día máximo consumo (Cualla, 2003).

7.11.9 Diseño de estaciones de bombeo

7.11.8.1. Ubicación de la estación. Para la captación de agua por bombeo, la estación debe ser colocada aguas arriba de cualquier descarga de aguas residuales. Del mismo modo, se debe estudiar las disponibilidades de energía eléctrica o combustible y el acceso a las instalaciones (Cualla, 2003).

7.11.8.2. Periodo y caudal de diseño. Para las estaciones de bombeo con caudales pequeños el caudal de diseño es de 15 años, mientras que para proyectos en grandes comunidades el caudal de diseño a adoptar debe ser de 30 años. Este diseño debe ser realizado por etapas a lo largo del proyecto.

El caudal de diseño de la estación de bombeo se determina a partir del número de horas de bombeo al día:

- Bombeo 24 h al día: el caudal de diseño es el caudal máximo diario.
- Bombeo >24 h al día: el caudal de diseño es el caudal máximo diario dividido por el % de tiempo que se bombea al día (Cualla, 2003).

Tabla 17. Nivel de complejidad a partir del tiempo de bombeo

Nivel de complejidad	Periodo de diseño (años)	Tiempo de Bombeo (h/día)
Alto	25	24
Medio Alto	25	20
Bajo	30	12

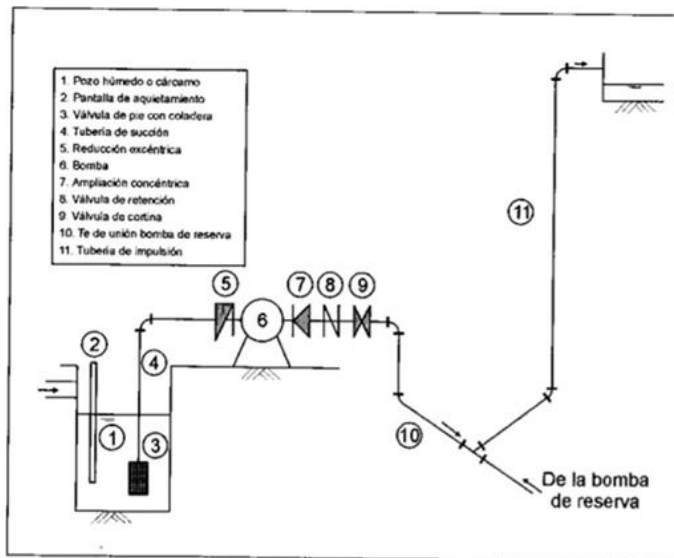
Nota: adaptado de Cualla, 2003

7.11.8.3. Elementos de la estación de bombeo.

- o La estación de bombeo está conformada por los siguientes elementos:
- o La tubería de succión y sus accesorios (antes de la bomba).
- o La bomba (centrífuga; se debe tener una de reserva).
- o La tubería de impulsión con sus respectivos accesorios (posterior a la bomba).

El sistema de bombeo puede ser continuo o no; esto depende del diseño y del tamaño del tanque a implementar. Por medio de la siguiente figura (7.5), se puede observar el esquema de cada uno de los elementos que constituyen el sistema de bombeo.

Figura 25. Elementos de una estación de bombeo



Nota: adaptado de Cualla, 2003

7.12. Cuadro comparativo plantas compactas

Tabla 18. Cuadro comparativo plantas compactas

	Características	Tren de tratamiento
1° Planta Compacta	Caudal diseño: 6 m ³ /día – 120 m ³ /día Presión de trabajo: 30 psi – 50 psi Presión máxima (Soporte del sistema): 70 psi Aguas de fuente: veredal, superficial, de acueducto, de pozo. Estos sistemas van desde equipos relativamente simples en su operación y manejo hasta equipos más complejos y de gran tamaño	Generalmente, están compuestas por tanques en PRFV o Polyglass o mezcla de ambos con tubería y accesorios en PVC. Cuentan con diferentes lechos filtrantes como: gravas, arenas, carbón activado, resinas de intercambio o Katalox, para las etapas de floculación, filtración, clarificación y desinfección microbiológica.
1° Planta Compacta	dependiendo de las características del agua.	Además, pueden incluir bombes, bombas dosificadoras, membranas, lámparas UV, ozono y tanques de almacenamiento. Alcalinización: Adición de cal para elevar pH Filtración: Paso del agua a través de lechos filtrantes para retener partículas sólidas. Oxidación: Remoción de hierro y manganeso a través de lechos especializados o adición de químicos. Clarificación: Remoción de sólidos suspendidos y sedimentos Microfiltración: Remoción de sedimentos mayores a 0.5 micras Doble desinfección: Eliminación de sustancias patógenas, virus y bacterias por medio de adición de cloro y luz ultravioleta.
2° Planta Compacta	Caudal diseño: 6m ³ /día – 120 m ³ /día Presión de trabajo: 30 psi – 50 psi Presión máxima (Soporte del sistema): 70 psi Aguas de fuente: Agua lluvia sistemas que permiten el uso de agua lluvia para reúso en el hogar, removiendo los agentes contaminantes o patógenos del agua a través de un tren de tratamiento; es importante contar con un área de techo, con canaletas y tubería de distribución hacia un tanque de almacenamiento.	

Tabla 18. *Continuación*

	Características	Tren de tratamiento
3° Planta Compacta	Preensambladas 8.000 y 16.000 litros/día Caudal Diseño: 6m3/día – 10 m3/día Presión de trabajo: 30 psi – 50 psi Presión máxima (Soporte del sistema): 70 psi Preensambladas 8.000 y 16.000 litros/día Caudal	Bombeo: Presurización del flujo por gravedad o por bombas impulsoras para garantizar la presión de entrada al sistema. Filtración: Paso del agua a través de lechos filtrantes para retener partículas sólidas. Oxidación: Remoción de hierro y manganeso a través de lechos especializados o adición de químicos.
3° Planta Compacta	Diseño: 6m3/día – 10 m3/día Presión de trabajo: 30 psi – 50 psi Presión máxima (Soporte del sistema): 70 psi Aguas de fuente: veredal, superficial, de acueducto. Sistemas para el tratamiento de purificación del agua, los cuales poseen un diseño compacto soportado sobre una base metálica que simplifica el transporte y la instalación de este en sitio. Caudal de diseño: 0,83 l/s Aplicación: Agua potable (A1 y A2) Tipo de operación: Manual Turbiedad máxima: 30 NTU Presión de trabajo: 15 – 25 psi	Clarificación: Remoción de sólidos suspendidos y sedimentos Microfiltración: Remoción de sedimentos mayores a 0.5 micras Desinfección: Eliminación de sustancias patógenas, virus y bacterias por medio de adición de cloro automático.
4° Planta Compacta	Presión máxima soportada: 50 psi Peso neto: 60 kg Acometida hidráulica: 1 1/2" Voltaje de trabajo: 110 v -60 Hz Consumo eléctrico: 0,12 Kw/h	Dosificación en línea de Floculante / Coagulante Mezcla Rápida y Coagulación en línea Desodorización y Reducción de Metales Pesados Microfiltración de agua desinfección por luz ultravioleta dosificación de cloro residual

Nota: Adaptado de Aguas E Ingeniería, N.D.

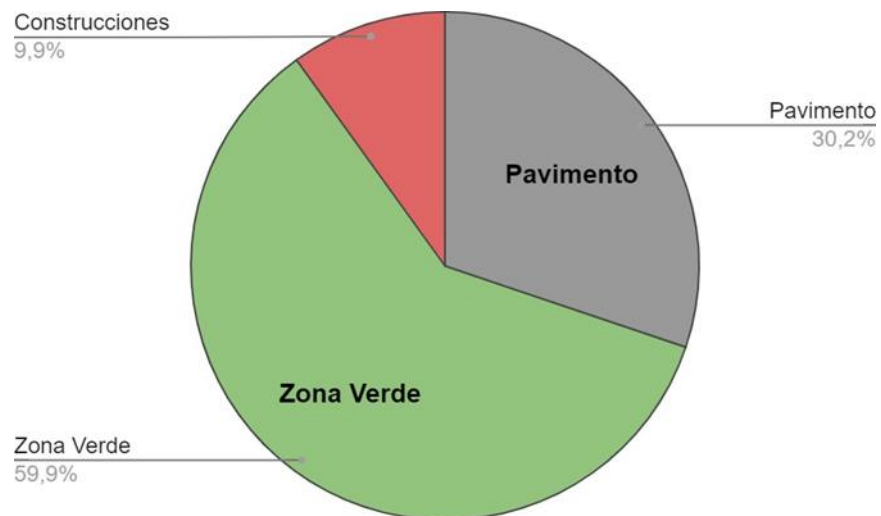
Se decidió que el sistema de recolección de agua de lluvia del proyecto debería utilizar el dispositivo No 4, ya que proporcionaba lo mínimo necesario para la serie de purificación, es decir, filtración, absorción y desinfección, además de especificaciones técnicas superiores.

8. Análisis de resultados

8.1. Análisis de la zona de estudio

Para la delimitación tal como se menciona en el inciso 8.1, se llegó a determinar que en esta zona en cuestión, que las zonas verdes son las predominantes en el área del estudio seguido por el pavimento y por último las construcciones, esto queriendo decir que se llegara a recolectar agua en 9.9% de toda la zona como se puede llegar a observar a continuación:

Figura 26. *Proporción de zonas de estudio*

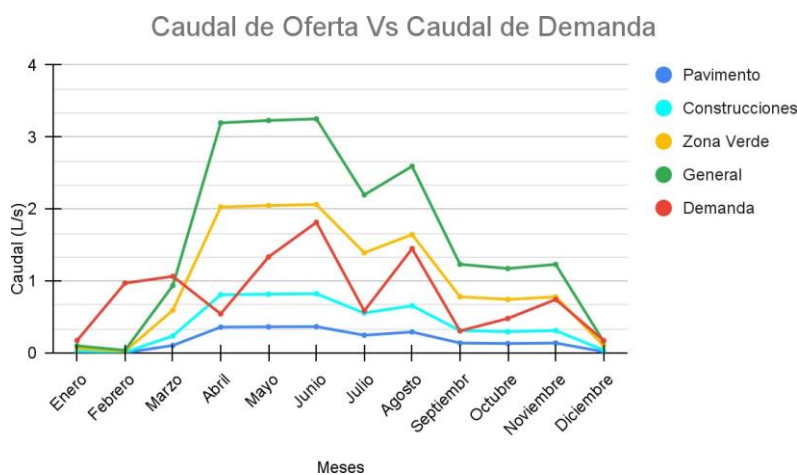


A raíz de lo anterior, se llegó a la conclusión que toca diseñar un sistema para la recolección de del agua aparte de las construcciones como podría ser una red alcantarillado en los pavimentos o diseñar un sistema de recolección en puntos estratégicos para así poder a llegar a aumentar el área útil a aprovechar en ese proyecto.

8.2. Caracterizar cuantitativamente el agua lluvia en el campus loma linda a través de análisis hidrológicos

Los datos obtenidos cuantitativamente de la hidrología arrojan que la gráfica de pavimento, la de construcciones y zonas verdes, por separado no suplen la oferta necesaria, pero al sumarlas se obtiene un dato de oferta que suple la demanda de la universidad y es específica para poder tenerla en cuenta para el diseño del sistema de aprovechamiento del agua.

Figura 27. Caudal de oferta vs caudal de demanda



Como se observa en la gráfica anterior y como se mencionó anteriormente la demanda no se llega a suplir por completo en algunos meses del año, también se puede llegar a ver que en los meses de temporada de lluvia fuerte se llega a suplir la necesidad por completo, los cuales son abril, junio y septiembre, y se suple casi por completo en los meses de enero y diciembre, esto queriendo decir que se supliría el agua en un 41.7% de la demanda para el año 2021, esto quiere decir que se debe buscar otra fuente de abastecimiento de agua para llegar a suplir la demanda, o como se mencionó en el inciso anterior **9.1**, aumentar el área útil o área de aprovechamiento para la recolección del recurso hídrico a través de diferentes métodos de captación.

8.3. Caracterizar cualitativamente el agua lluvia en la universidad a través de estudios fisicoquímicos y microbiológicos.

Mediante diferentes estudios de calidad de agua desarrollados en laboratorio, los cuales se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se logró determinar el análisis de la fuentes de captación seleccionados (bajantes, cunetas y aire libre (atmosférica)), se llegaron a resultados en un rango regular, estos son aceptable para consumo humano, según lo establecido en la tabla C 2.1 del título C del RAS 2000 “calidad de la fuente”, se puede observar lo anterior en los resultados obtenidos en laboratorio del capítulo 8, como es en el caso del potencial de hidrógeno (pH) donde presenta un valor promedio de 6.35, estando entre el rango promedio aceptable de 6.0 - 8.5 según el RAS 2000 (Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico, 2010).

Conclusiones

- Las aguas lluvias son una fuente aprovechable que presenta ventajas económicas y ambientales a la hora de abastecer el consumo de agua en edificaciones institucionales.
- La cantidad de aguas lluvias que puede aprovecharse en el campus loma linda, permite acceder a ventajas económicas para la institución
- Debido a que las precipitaciones para la ciudad de Villavicencio cuentan con periodos de verano, para los meses de enero, febrero y diciembre, estos poseen menores intensidades a comparación de los demás meses.
- La calidad presente de las aguas lluvias que se recolectarán sin mayor tratamiento, puedan usarse para abastecer necesidades de aseo, unidades sanitarias y riego de jardines.
- La calidad de las aguas lluvias permite que previo a tratamiento se usen para consumo humano.
- La calidad de las aguas lluvias se ve enormemente afectada por la calidad y mantenimiento de las superficies por las cuales se transporta desde la precipitación, hasta su almacenamiento.
- El tratamiento de las aguas lluvias depende en gran medida de la calidad y mantenimiento de las superficies con las que tiene contacto.

Recomendaciones

- Se debe tener en cuenta la limpieza de los techos, canales, canaletas, cunetas y demás, puesto que estas están expuestas a contaminantes, por el hecho de que loma linda se encuentra en una zona de bosques, principalmente la zona de canales está expuesta a él arrastre de material.
- Se destaca que la investigación propone un prototipo de sistema, que puede mejorarse y complementarse con mayores áreas de cubiertas, mayor volumen de almacenamiento separando las aguas lluvias de mejor calidad para que sean las que después de potabilizadas se destinen al consumo humano y las aguas de menor calidad se almacenen para aseo y riego de jardines.
- Mejorar las superficies de cubiertas y cunetas a medida que se haga mantenimiento y reemplazo (enchapando o recubriendo las cunetas y reemplazando o recubriendo las cubiertas con materiales que faciliten su mantenimiento.
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las muestras se recomienda un método de tratamiento menos invasivo y con un costo más elevado.

Referencias bibliográficas

- Acosta. J, Peláez. R, (2016), Diseño de tanques automatizados para la reserva de aguas lluvias, [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira], Repositorio <https://hdl.handle.net/11059/6949>
- Aguas e Ingeniería S.A.S. Purificación del Agua, tratamiento de agua superficial, lluvia, pozo o acueducto, 2022, from <https://aguaseingenieria.com/producto/ptap-compactas-presurizadas/>
- Ambientum. (2012). Las precipitaciones atmosféricas - Enciclopedia Medioambiental, from https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/las-precipitaciones-atmosfericas.asp
- Arumi R., José Luis, Jara R., Jorge y Salgado S., Luis (2000) Análisis hidrológico, Temuco: INIA. [trabajo de grado, Universidad de concepción] Repositorio: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/39933>
- Ardila Baquero, S. (2020). Regionalización de curvas IDF en el Noroccidente del Meta, [trabajo de grado, Universidad Santo Tomas] Repositorio. <http://hdl.handle.net/11634/21721>
- Ávila Beltrán, L. M., & Ramírez Bohórquez, L. G. (2015). Diseño hidráulico de un sistema de recolección y recirculación de aguas lluvias para uso sanitario en el Colegio Lausana ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. [trabajo de grado, Universidad De La Salle, Bogotá] Repositorio. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/138
- Ávila-Rojas, J y Villanueva-Montealegre, M. (2019). Análisis de calidad del agua (turbiedad y color) de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de agua lluvia [trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia] Repositorio <https://repository.ucatolica.edu.co/items/4f3bca11-9c40-4482-a601-f58492ae378f>
- Compact Dry. (2018). EC blue para detección de Coliformes y Escherichia coli en aguas. From: <https://compact-dry.com/wp-content/uploads/2021/03/ec.-blue.jpg.webp>
- Cruz. C, Figueroa. P, & Hernández, C (2012). Estructuración, Análisis Y Diseño Estructural De Elementos De Techo Con Perfiles Metálicos Utilizando El Método LRFD, [trabajo de grado, Universidad El Salvador] Repositorio. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3911/>

- Cualla, R.A.L. (2003). *Elementos de diseños para acueductos y alcantarillados* (2a. Edición ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería from [https://www.academia.edu/38610655/Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados](https://www.academia.edu/38610655/Elementos_de_Diseño_para_Acueductos_y_Alcantarillados) Ing Ricardo Alfredo López Cualla
- De La Casa, A., & Ovando, G. (2006). Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86435105>
- Ecotec. (2022). Sistema de Captación de Agua de Lluvia (Ecotec), Unidad de Ecotecnologías, UNAM, Campus Morelia, from <https://ecotec.unam.mx/>
- Enríquez Harper, G. (2008). Cálculo de Instalaciones Hidráulicas y sanitarias, residenciales y comerciales, Editorial Limusa S.A from <https://www.casadellibro.com.co/libro-calculo-de-instalaciones-hidraulicas-y-sanitarias-residenciales-y-comerciales/9789681869274/1140245>
- Eumed.net. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas from <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>
- Gutiérrez, A. (2007). ONU estima que la población mundial llegará a 9.000 millones en 2050. Revista UN News, from <https://news.un.org/es/story/2007/03/1099691>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2012). Características Climatológicas de Ciudades Principales y Municipios Turísticos from <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Características+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Turísticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- La Campana (2022) Cubierta Trapezoidal, from <https://lacampana.co/producto/cubierta-trapezoidal/>
- Martínez, A. (2007). El agua en la atmósfera. Academia mexicana de ciencia, from <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-anteriores/77-vol-58-num-3-j%20ulio-septiembre-2007/agua/117-el-agua-en-la-atmosfera>
- Ministerio De La Protección Social, Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial (2007). Resolución 2115 de 2007 from <https://laboratoriodeanalis.lasalle.edu.co/wcm/connect/LIAC/d951c109-a227-44a3->

- [8a42-1d1f87db2b43/Resolución_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IMo0SFe](https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Bienestar y Desarrollo. (2017). Reglamento técnico para el sector del agua potable y saneamiento básico de 2017, from <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>
- Moreno, L (2020). Metodología de Dimensionamiento de un Sistema de Recolección de Aguas Lluvias con un Mecanismo de Separación de Primer Flujo Variable, [trabajo de grado, Universidad De Los Andes] from <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/48919/u833578.pdf?sequence=1>
- Núñez, R. (2011). Colombia: uno de los más ricos en recursos hídricos. Periódico El Universal from <https://www.eluniversal.com.co/ambiente/colombia-uno-de-los-mas-ricos-en-recursos-hidricos-18471-FPEU96564>
- Open Ms. (2012, 11 04). Cosecha De Agua A Partir De Brumas Y Nieblas, from https://www.openms.es/sites/default/files/documentacion/Sistemas%20AQUAIR%20Openwater_0.pdf
- Pérez, G. (2022). Ciclo hidrológico (o del agua) from <https://www.ciclohidrologico.com/>
- Pérez Patiño, J. H. (2021). Medición y Caracterización de la Calidad del Agua Lluvia de Escorrentía en Cubierta Para el Diseño de un Sistema de Aprovechamiento Implementado a Descargas en la Institución Educativa Municipal Nuevo Horizonte de Girardot, Cundinamarca sede principal. Bloque B, [trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia] Repositorio. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10087>
- Quima. (2018). ¿Cuál es la función de las mallas para Filtros? [trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia] Repositorio. <https://quima.com/blogs/blog/mallas-para-filtros-en-linea-e-hidraulicos>
- Reyes, M. C, & Rubio, J. J (2014). Descripción de los Sistemas de Recolección y Aprovechamiento de Aguas Lluvias, [trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia] Repositorio. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0657ae70-006b-468b-afe1-60f2f4d2a7f2/content>
- Rodríguez Loucel, R, Badfa Serra, E, Porras, J. L, Vieras, R. E., Orantes, B. R, & Vidal, A. C. (2010). Modelo de aprovechamiento de aguas lluvias en zonas de pobreza extrema, from

<https://doi.org/10.5377/entorno.v0i45.7124>

Sodimac. (2009, 08 27). *¿Cómo escoger canaletas y bajadas de agua lluvia?* Hágalo Usted Mismo, from <https://www.hagaloustedmismo.cl/proyectos/como-escoger-canaletas-y-bajadas-de-agua-lluvia.html>

Unicef. (2021). Miles de millones de personas se quedarán sin acceso a servicios de agua potable, saneamiento e higiene antes de 2030 a menos que el progreso se multiplique por cuatro, advierten la OMS y UNICEF, from <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/miles-de-millones-de-personas-se-quearán-sin-acceso-servicios-de-agua-potable>