

DISEÑO Y EVALUACION DE SISTEMAS HIDRAULICOS PARA LA RECOLECCION Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN
EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO



FARLEY URREA ACOSTA
JOHAN ALEXANDER RODRÍGUEZ MURILLO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2026

DISEÑO Y EVALUACION DE SISTEMAS HIDRAULICOS PARA LA RECOLECCION Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS PARA VIVIENDAS FAMILIARES EN LA
FAMILIA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO

FARLEY URREA ACOSTA
JOHAN ALEXANDER RODRIGUEZ

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

Asesor
Mg. IVAN DARIO ACOSTA SABOGAL
IC, Esp. Mg en desarrollo sostenible y medio ambiente

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2026

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O. P.

Vicerrector Académico General

P. Luis Antonio ALFONSO VARGAS, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Juan Francisco CORREA HIGUERA O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. Luis Fernando DÍAZ CRUZ

Decano de la Facultad Ingeniería Civil

Dedicatoria

Farley Urrea

Son muchas las personas que fueron necesarias para llegar al punto en el que me encuentro, desde mis abuelos que fueron una pieza clave en mi crianza, mi padre Alex Urrea y mi madre María Acosta con su apoyo incondicional, mis tíos con su orgullo y motivación y mis hermanas con sus pequeños aportes que generaban seguridad y convencimiento de mis capacidades personales. También resaltar el apoyo de mi abuela paterna que siempre ha estado de manera incondicional en las diferentes etapas de mi vida

Jhoan Rodriguez

Esta dedicatoria va dirigida a mi madre Elvira Murillo y mi Padre Alexander Rodriguez que de una u otra forma hicieron esto posible con su ayuda económica y ese apoyo que siempre he recibido de parte de ellos no podemos dejar por fuera las bendiciones y oraciones de mi abuela materna que me cuidan y me protegen en todo momento y circunstancia.

También me la dedico a mí por la constancia y esfuerzo que le metimos durante todo el proceso profesional, cruzando obstáculos y percances en el camino.

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios por la vida, sabiduría y tiempo, para poder culminar este proyecto, de antemano poder nombrar en estos agradecimientos a nuestro director, el Ingeniero Iván Darío Acosta Sabogal por el apoyo brindado durante este largo proceso y las reuniones brindadas que fueron de gran ayuda, agradecer también a nuestros grandes ingenieros que contamos en nuestra planta de profesionales por cada consejo y colaboración brindada, y todas las personas que estuvieron involucradas con este proyecto, muchas gracias.

Contenido

	Pág.
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Planteamiento Del Problema.....	15
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo General	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3. Justificación	18
4. Alcance	20
5. Marco de Referencia	21
5.1 Marco Normativo	21
5.2 Marco Conceptual	22
5.3 Marco Teórico.....	23
5.3.1 Precipitación.....	23
5.3.2 Captación del agua de lluvia	23
5.3.3 Caudal de aguas lluvias.....	24
5.3.4 Conducción.	24
5.3.5 Interceptor con sistemas de primer lavado.....	25
5.3.6 Almacenamiento.	25
5.3.7 Malla de recolección	25
5.3.8 Curvas IDF.	25
5.3.9 Canaletas	26
5.3.10 Aguas lluvias.....	26
5.3.11 Escorrentía superficial.....	26
5.3.12 Hidrología	26
5.3.13 Análisis hidrológico	27
5.3.14 Consumo Neto.....	27

5.3.15	Agua atmosférica	27
6.	Metodología	28
6.1	Fase 1: Selección de Las Viviendas Según el Tipo y Material de la Cubierta	28
6.2	Fase 2: Recolección de Información histórica de Datos Hidrológicos	28
6.2.1	Búsqueda de información meteorológica.....	28
6.3	Fase 3: Análisis de la Información Recolectada Para Generar el Caudal de Diseño y Las Curvas IDF	29
6.4	Fase 4: Análisis Cuantitativo de Las Características Del Agua Lluvia en Cada Uno de Los Tipos de Cubierta.....	30
6.5	Fase 5. Diseño de Las Estructuras Que Integran el Sistema de Recolección de Aguas Pluviales, Incluyendo la Captación, Almacenamiento, Tratamiento, Purificación y Distribución.....	30
6.5.1	Canal	31
6.5.2	Bajante	31
6.5.3	Filtración	31
6.5.4	Tanque de almacenamiento subterráneo	31
6.5.5	Tanque elevado	32
6.5.6	Red de distribución	32
7.	Resultados	33
7.1	Selección de Las Viviendas	33
7.1.1	Descripción de vivienda de estudio	33
7.2	Información Histórica de Datos Hidrológicos	34
7.2.1	Estación de aeropuerto Vanguardia.....	35
7.2.2	Estación de base aérea Apiay	37
7.2.3	Caudal de diseño y curvas idf	38
7.2.4	Cálculo del caudal de diseño.....	39
7.3	Análisis cuantitativo de las características del agua lluvia	43
7.3.1	Resultados de estudio de muestra de agua del techo sin previo lavado.....	45
7.3.2	Resultados de estudio de muestra de agua del techo con previo lavado.....	47
7.4	Diseño de elementos de captacion de aguas lluvias.....	50
7.4.1	Canal	50

7.4.2	Bajante	51
7.4.3	Diseño y dimensionamiento del tanque de almacenamiento de aguas lluvias.....	53
7.4.4	Cálculo de diámetros y presiones en la red de distribución.....	55
7.4.5	Cálculo y Diseño del Sistema de Bombeo	58
7.4.6	Filtración	58
7.5	Presupuesto	60
7.5.1	Presupuesto casa de dos aguas	60
7.6.2	Presupuesto casa de cuatro aguas.....	61
7.7	Periodo de recuperación.....	62
7.7.1	Periodo de recuperación para casa de dos aguas.....	63
7.7.2	Periodo de recuperación para casa de cuatro aguas	64
7.8	desinfección	65
7.8.1	Frecuencia de aplicación de desinfectante en casa de dos aguas	66
7.8.2	Frecuencia de aplicación de desinfectante en casa de cuatro aguas	66
	Conclusiones	67
	Recomendaciones	69
	Referencias Bibliográficas	70

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Normativa	21
Tabla 2. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida	27
Tabla 3. Precipitación media mensual de 22 años del Aeropuerto Vanguardia	35
Tabla 4. Información meteorológica Aeropuerto Vanguardia	36
Tabla 5. Precipitación media mensual en la estación base aérea Apiay	37
Tabla 6. Información meteorológica estación base aérea Apiay	38
Tabla 7 Intensidades de estación del IDEAM aeropuerto Vanguardia	40
Tabla 8 Tabla curva IDF estación Base aérea Apiay	42
Tabla 9. Resultados de laboratorio de la muestra con el techo sucio.....	47
Tabla 10. Resultados de laboratorio de la muestra con el techo limpio.....	48
Tabla 11. Análisis características fisicoquímicas y microbiológicas.....	49
Tabla 12 Máxima capacidad en bajantes	52
Tabla 13 <i>Listados de teorías utilizadas en el diseño del tanque</i>	53
Tabla 14. Descripción de las variables de las ecuaciones utilizadas en la tabla 12	54
Tabla 15. Volumen hallado en los diferentes métodos	55
Tabla 16. <i>Resultados diámetros y presiones</i>	56
Tabla 17. Resultados de cálculo de potencia del sistema del bombeo.....	58
Tabla 18. Detalle de presupuesto vivienda de dos aguas	61
Tabla 19 Detalle de presupuesto de la vivienda de cuatro aguas.....	62
Tabla 20. Proyección de servicio de acueducto para vivienda de dos aguas	63
Tabla 21. <i>Proyección de gastos en acueducto vivienda de 4 aguas</i>	64

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia	22
Figura 2 Estaciones hidrometereológicas en la ciudad de Villavicencio.....	29
Figura 3 Distribución de curvas IDF para la estación meteorológica del aeropuerto Vanguardia.....	41
Figura 4 Distribución de curvas IDF para la estación meteorológica del a base aérea de Apiay	42
Figura 5 Área del tejado con limpieza previa	44
Figura 6 Almacenamiento de las muestras de agua	45
Figura 7 Filtro de sedimentos rotoplas.	59
Figura 8 Comportamiento histórico del salario mínimo vs el IPC	63

Lista de ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1 Ecuacion de Flamant	32
Ecuación 2 Caudal de diseño por el método racional	39
Ecuación 3 Ecuación de intensidad.....	39
Ecuación 4 Ecuación de IRCA.....	50
Ecuación 5 Ecuación de continuidad	50
Ecuación 6. Ecuación de Manning.....	51
Ecuación 7 Radio hidráulico para canales	51
Ecuación 8. Caudal en función de la ecuación de Manning y el radio hidráulico	51
Ecuación 9 Ecuación para determinar dosificación de hipoclorito.....	65

Resumen

El presente trabajo de investigación desarrolla el diseño y la evaluación de un sistema hidráulico para la recolección y aprovechamiento de aguas lluvias en viviendas unifamiliares del municipio de Villavicencio. Su objetivo principal es establecer una alternativa técnica y sostenible frente al sistema convencional de abastecimiento, optimizando el uso del recurso hídrico mediante captación, almacenamiento, tratamiento y distribución del agua pluvial.

Para ello, como primera parte del proyecto, se realizó un estudio hidrológico basado en información del IDEAM, analizando precipitaciones históricas y curvas IDF para determinar el caudal de diseño en dos tipos de cubiertas (a dos y cuatro aguas). Se efectuó también un análisis fisicoquímico y microbiológico del agua captada, verificando su calidad conforme a la Resolución 2115 de 2007 y al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2010). Con los resultados obtenidos se dimensionaron los componentes del sistema los cuales son: canales, bajantes, tanques de almacenamiento y red de distribución; así garantizando su funcionalidad hidráulica y la eficiencia del aprovechamiento pluvial.

El estudio evidencia que el uso de aguas lluvias es una alternativa viable desde los puntos de vista técnico y ambiental, capaz de suplir la demanda doméstica potable y contribuir al manejo sostenible del recurso hídrico urbano.

Palabras claves: Calidad del agua, precipitación, aprovechamiento de agua lluvia, captación de 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, precipitation, rainwater use, water collection..

Introducción

El crecimiento urbano de Villavicencio y la intermitencia en el suministro de agua potable exigen la implementación de estrategias de gestión hídrica que mitiguen la presión sobre las fuentes convencionales. En este contexto, el aprovechamiento de aguas lluvias se presenta como una alternativa sostenible, aplicable tanto a nivel institucional como residencial, que permite optimizar los recursos naturales mediante soluciones hidráulicas de bajo costo y alta eficiencia.

El desarrollo de esta investigación se fundamenta en principios de ingeniería civil, hidrología y saneamiento básico, orientados al diseño de sistemas eficientes de captación y tratamiento del agua pluvial. A partir del estudio de las características climatológicas del municipio, se establecieron las condiciones de diseño y los parámetros técnicos necesarios para dimensionar adecuadamente las estructuras hidráulicas involucradas.

El proyecto considera la precipitación como fuente principal de abastecimiento complementario a la problemática, aprovechando las cubiertas y superficies existentes en las edificaciones para su captación. El agua recolectada es conducida hacia tanques de almacenamiento, donde se somete a procesos de filtración y desinfección, garantizando su aptitud para usos domésticos no potables como el lavado, riego o descarga sanitaria.

Desde una perspectiva profesional en el área de ingeniería, este proyecto demuestra la importancia de aplicar metodologías de diseño hidráulico sustentadas en datos climáticos reales y normativas nacionales. Los resultados obtenidos reflejan el compromiso del ingeniero civil con la sostenibilidad y la innovación, promoviendo soluciones replicables que respondan a las necesidades básicas de los ciudadanos ante problemáticas tan grandes que se presentan en el municipio de Villavicencio – Meta

1. Planteamiento Del Problema

¿Cómo utilizar la precipitación mediante sistemas accesibles al público para disminuir los gastos de consumo en los sistemas convencionales y aprovechar los recursos que se presentan en nuestro entorno?

El acueducto actual “presenta deficiencias debido a falencias en la vieja infraestructura junto con las condiciones climáticas adversas afectan la calidad de vida de los habitantes” (Contreras López & Orjuela Bayona, 2023). por lo que es necesario la búsqueda de alternativas de solución a corto y mediano plazo que garanticen el suministro de agua a cada vivienda. En todo el mundo, 2.000 millones de personas (el 26% de la población) no disponen de agua potable y 3.600 millones (el 46%) carecen de acceso a un saneamiento gestionado de forma segura, según el informe, publicado por la UNESCO en nombre de ONU-Agua y dado a conocer en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua 2023, que se celebró en Nueva York; esta debe estar al alcance de toda la población, y en caso de no serlo es responsabilidad de las autoridades sociales y políticas garantizar este servicio; esta problemática debe ser considerada como prioridad para establecer políticas futuras y reglamentación al respecto. En la actualidad el mundo dispone de grandes cantidades de agua, sin embargo dicha disponibilidad no es de fácil acceso, además presenta agentes contaminantes, altos contenidos de sales y agentes químicos; pero no toda esta disponible para abastecer al ser humano es por esto que más del 40% de la población no tiene acceso a servicios de saneamiento básico (Unicef, 2019) la disponibilidad y el acceso al agua de buena calidad estas cifras son alarmantes, por lo tanto requieren una evaluación exhaustiva que requiere acciones.

Por la ubicación geográfica de Colombia en la zona del trópico, los índices de humedad elevan los eventos de lluvia durante el año ocasionando precipitaciones muy frecuentes, por lo que se puede inferir que los niveles de agua que se presentan en forma de precipitación son muy altos llegando a alcanzar precipitaciones en la zona de estudio de hasta 4480 mililitros año según los datos encontrados en el geoportal del IDEAM. En la actualidad Villavicencio presenta intermitencias en el abastecimiento de agua para la comunidad, esto se genera por que el acueducto de Villavicencio, cuya bocatoma se encuentra en la quebrada Honda corre por una de las márgenes del río Guatiquía y puede estar expuesto a los efectos de movimientos en masa, que afecta directamente el suministro y el correcto funcionamiento del acueducto (Ingeominas, 2003). Al

evaluar la situación actual de Villavicencio se considera la posibilidad de ofrecer alternativas que funcionen de manera paralela a las empresas de servicios existentes y además que brinden una reducción del coste de servicio, es posible implementar un sistema en el que se capte, almacene y se haga uso del agua disponible en forma de precipitación

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar el sistema hidráulico de la zona de captación, recolección y distribución de aguas lluvias que funcione de manera alterna al sistema de la empresa prestadora de servicios públicos teniendo en cuenta la precipitación de la zona donde se ubica la vivienda.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de las precipitaciones históricas, para determinar el caudal de diseño.
- Proponer las diferentes alternativas de diseño de los sistemas hidráulicos teniendo en cuenta factores como la forma y el tipo de cubierta.
- Plantear alternativas de aprovechamiento óptimo en las redes de agua potable de las viviendas unifamiliares.
- Estimar un sistema de captación y distribución de agua lluvia para las viviendas unifamiliares de uso residencial.

3. Justificación

En la actualidad la disponibilidad del suministro del agua para el uso doméstico es limitado, esto se debe por falta de sistemas de abastecimiento, ausencia de fuentes de captación en la zona y sistemas deficientes. La ciudad de Villavicencio tiene acceso a fuentes hídricas suficientes para abastecer a sus habitantes; de acuerdo al estudio realizado en las estaciones del aeropuerto Vanguardia y la estación de la Base de Apiay el municipio presenta una precipitación promedio mayor a 4000 mm/año, alcanzando las mayores precipitaciones en el mes de mayo y las menores en el mes de enero además de “tener una humedad que oscila entre 77% y 83%, siendo mayor en los meses de abril y noviembre y menor en julio y agosto” (Climate-data, s.f). Estas características climatológicas son responsables del crecimiento de las fuentes de abastecimiento y a su vez ocasionan fallas en el sistema, cuando se presentan niveles de precipitación en periodos de retorno cortos, es por esto que, se propone la implementación de prácticas alternativas como la captación de aguas lluvias para contrarrestar la inestabilidad en el servicio.

Una de las opciones de aprovechamiento del recurso hídrico es el uso de la precipitación, Colombia es considerado como el país con mayor índice de precipitación por metro cuadrado (Correa Avendaño, 2019) y según el banco mundial, el país presenta una precipitación promedio de 3240 mm al año, razón por la cual el agua lluvia es un potencial de recurso hídrico al que se le puede sacar provecho para lograr suplir necesidades que se presentan en la población.

El agua que se recibe en un hogar debe ser apta para el consumo humano, y quien debe garantizar este requerimiento es la entidad que se encarga del sistema de acueducto en la zona. El uso detallado de agua en los hogares da la posibilidad de inferir que no es necesario que el 100% del agua recibida en el hogar sea potable, esto se da por la distribución del gasto de agua en un hogar; “el 73% del agua que se utiliza en un hogar equivale a los gastos ocasionados por baño, ducha y lavado; mientras que un 19% del agua es utilizada en la cocina y un 8% restante en otros usos” (Aquaefundación, 2016)

Según el estado actual de intermitencia del servicio en los hogares, es posible implementar alternativas que provean agua a los hogares, teniendo en cuenta que los requisitos para el consumo humano no contemplan requisitos para uso doméstico tales como: agua para sanitarios, agua para lavado y riego de jardines; para este tipo de usos no es necesario que sea potable. Una de las soluciones es aprovechar el agua que se presenta en forma de precipitación en la ubicación

geográfica de la zona; este recurso servirá para suplir las necesidades que se pueden presentar por suministro y/o consumo. El acceso a dicho recurso está al alcance de cualquiera y es gratuito, además la implementación de este sistema puede influir positivamente a disminuir el caudal fluvial urbano, ayudando a la conservación de cauces por altos niveles de capitación.

Cerca del 91,44% de la población del municipio cuenta con servicio público domiciliario de agua (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2018). De este total, aproximadamente un 24% se suple por medio de acueductos comunitarios y el 76% restante lo cubre la empresa industrial y comercial del estado Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio EAAV E.S.P (Alcaldía del Municipio de Villavicencio, 2020). La cobertura de suministro de agua es alta, pero existen zonas donde no se cuenta con la red de servicio de la empresa de acueducto y alcantarillado, además, dichas zonas consideradas vulnerables no tienen la posibilidad de implementar un sistema tradicional por los altos costos debido a su capacidad socioeconómica.

4. Alcance

El presente proyecto de investigación tiene como alcance el diseño y evaluación técnica de un sistema hidráulico de captación, almacenamiento, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias aplicable a viviendas familiares ubicadas en la ciudad de Villavicencio, departamento del Meta.

El estudio se desarrolló considerando dos tipologías de cubiertas a dos aguas y a cuatro aguas con el fin de evaluar su comportamiento hidráulico y su capacidad de captación frente a las condiciones climatológicas locales. Para ello, se recopilaron y analizaron datos históricos de precipitación provenientes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), correspondientes a las estaciones del Aeropuerto Vanguardia y la Base Aérea de Apiay, con el propósito de determinar las curvas de intensidad duración frecuencia (IDF) y los caudales de diseño requeridos.

Es posible ofrecer una herramienta que funcione como guía para el presupuesto, abarcando los elementos de captación, tanques de almacenamiento, usos y redes de distribución del sistema. Esta herramienta se fundamenta en metodologías desarrolladas en estudios anteriores. Además, es importante destacar que cada diseño es único, variando según las características de la vivienda, el tipo de cubierta, el material utilizado y la calidad del agua captada.

En conclusión, el proyecto abarca desde el diagnóstico hidrológico hasta la formulación del diseño hidráulico completo del sistema de captación de aguas lluvias, incluyendo su validación técnica y económica. Si bien no contempla la implementación física, establece las bases metodológicas y los criterios de diseño necesarios para futuras ejecuciones, aportando una solución ingenieril sostenible, replicable y ajustada a las necesidades hídricas de Villavicencio.

5. Marco de Referencia

5.1 Marco Normativo

La legislación colombiana presenta control y parámetros en el ahorro de agua, calidad, usos y construcción de infraestructuras para el transporte de fluidos. Se pueden evidenciar normas tales como:

Tabla 1. Normativa

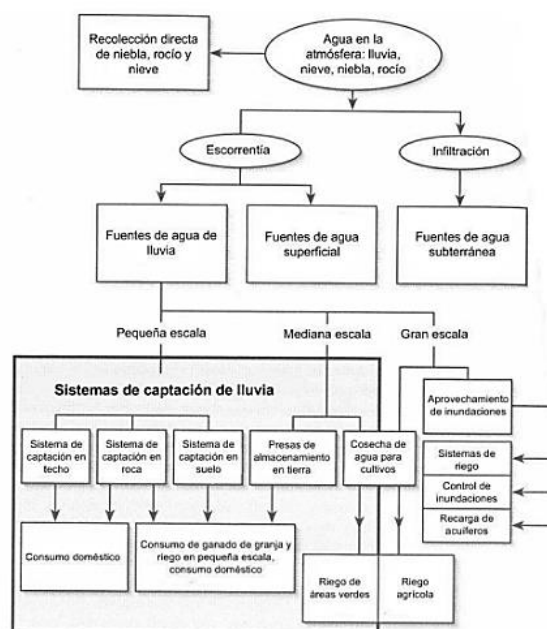
NORMATIVA	DESCRIPCIÓN	ENTIDAD
Ley 373 de 1997	Establece el programa para el uso eficiente y el ahorro del agua; en su artículo 1 exige “Programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Todo plan ambiental regional y municipal debe incorporar obligatoriamente un programa para el uso eficiente y ahorro del agua.” Que va de la mano con su artículo 2 “contenido del programa de uso eficiente y ahorro del agua” que nos invita al uso de aguas lluvias	Ministerio de ambiente
Resolución 2115 del 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Especifica en su capítulo II las características físicas y químicas aceptables del agua para el consumo humano	Ministerio de protección social, de ambiente, vivienda y desarrollo territorial
Resolución 330 de 2017	Se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), en el artículo 135 describe los pasos para determinar el caudal de diseño y plantea los diferentes periodos de diseño que se pueden utilizar	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En el capítulo III “de los usos especiales” sección II indica que “El dueño, poseedor o tenedor de un predio puede servirse de las aguas lluvias que caigan o se recojan en éste y mientras por él discurran. Podrá, en consecuencia, construir dentro de su propiedad las obras adecuadas para almacenarlas y conservarlas, siempre que con ellas no cause perjuicios a terceros.”	Ministerio de ambiente

5.2 Marco Conceptual

La recolección y aprovechamiento de aguas lluvias es una estrategia sostenible en zonas en la que se presenta altos niveles de precipitación, esta nos permite la gestión eficiente del recurso hídrico y el aprovechamiento en diferentes usos que se pueden presentar en una vivienda familiar. Para lograr un adecuado aprovechamiento se utilizan diferentes métodos; uno de los más conocidos es el método SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos); existen gran variedad de técnicas relacionadas con sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Dichas técnicas se pueden clasificar con base en sus diferentes fuentes, tipo de escorrentía, técnicas de manipulación, tipo de almacenamiento y a los diferentes usos que se le da al recurso (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2000).

En la Figura 1 se muestra una clasificación general del aprovechamiento de la lluvia propuesta por Gould y Nissen-Pettersen en 1999

Figura 1 Clasificación general de los sistemas de captación de lluvia



Nota. Adaptado de: Gould y Nissen-Petersen, 1999

Para profundizar en algunos conceptos que son importantes en el ámbito de

aprovechamiento de aguas lluvias es importante definir conceptos tales como:

En Colombia la entidad pública encargada de la medición de la precipitación es el IDEAM, esta también es la encargada de obtener la información meteorológica, esto es posible por medio de las diferentes estaciones de medición que esta tiene en los diferentes puntos del territorio nacional

Características del agua potable: El agua en su estado natural contiene diversas sustancias químicas, microorganismos y otros componentes físicos, algunos de los cuales pueden ser dañinos para la salud además de causar características desagradables al gusto humano. Según el uso proyectado, el agua debe someterse a un tratamiento específico para cumplir con los estándares de calidad establecidos; en Colombia se establece los parámetros de la características del agua en la resolución 2115 de 2007 derogada por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial mientras que a nivel mundial lo rige la OMS (Organización Mundial de la Salud), esta clasifica los estándares en varias categorías: propiedades físicas, como olor, sabor, color y turbidez; propiedades químicas, que indican las concentraciones máximas y mínimas de compuestos químicos disueltos que pueden ser perjudiciales para los seres humanos; y propiedades microbiológicas, que analizan los patógenos y microorganismos que pueden causar enfermedades y representar un riesgo para la salud.

5.3 Marco Teórico

5.3.1 *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. (De la casa & Ovando,2015).

5.3.2 *Captación del agua de lluvia*

La función principal de captación de aguas lluvias es conducir, recolectar y almacenar agua siendo tomada en superficies como techos, suelos, estructuras metálicas, estructuras a guadua. La

principal función de la captación de aguas lluvias es almacenar para canalizar, filtrarla, tratarla de forma eficiente y segura.

Se presentan diferentes métodos de captación de agua lluvias, el más eficiente es el método SCALL, ya que usa una tecnología mediante la impermeabilización de cubiertas construidas usualmente techos con el fin de almacenar agua para finalizar dándole un uso adecuado bien sea para consumo humano, producción agrícola (Duran Escamilla et al., 2010).

En Villavicencio el proyecto de implementar el diseño de sistemas de captación de aguas lluvias es de suma importancia ya que es una ciudad con alto índice de precipitación y añadiendo que presenta un poco suministro de agua en la ciudad

5.3.3 Caudal de aguas lluvias

El caudal de agua lluvia corresponde a la cantidad de agua que fluye sobre una superficie, canal o tubería como resultado de una precipitación, controlada en función del tiempo. Para su estimación se emplea el método racional, apoyado en las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

El caudal se expresa como volumen por unidad de tiempo, generalmente en metros cúbicos por segundo (m^3/s), y su cálculo depende de la intensidad y duración de la precipitación, así como del área de captación. La determinación del caudal se realiza mediante la selección de la curva IDF correspondiente a la zona de estudio; en ausencia de datos recientes, estos deben obtenerse a partir de registros pluviométricos locales y contrastarse con eventos extremos máximos reportados por el IDEAM en Colombia.

5.3.4 Conducción.

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 esorrentía superficial producida por la precipitación.

5.3.5 *Interceptor con sistemas de primer lavado.*

Este sistema garantiza la separación de las primeras aguas sucias que hacen contacto con la superficie así nos aseguramos de que no baje contaminada y no se almacene (Acosta Martínez & Peláez Marín, 2016). Para el diseño del dispositivo debemos tener en cuenta el área total del techo para garantizar un lavado completo dicha área.

5.3.6 *Almacenamiento.*

El almacenamiento se puede dar bien sea sobre la rasante, subterráneamente o tanques elevados bien sea el tipo de almacenamiento utilizado se debe garantizar cierta capacidad de almacenamiento para temporadas de sequía, algunos requerimientos pedidos son:

- El material debe ser impermeable y sin fugas para evitar pérdidas por evaporación o goteo.
- Si el almacenamiento se encuentra en la intemperie debe contar con tapa para evitar posibles hojas o contaminantes del agua.
- Se debe dejar un canal de acceso con medidas de una persona promedio para la realización de lavado y desinfección de tanques.
- Si el tanque es subterráneo debe contar con sistema de bomba para la repartición y puesta en servicio.

5.3.7 *Malla de recolección*

La malla es un elemento metálico muy importante en el momento de recolección ya que se encarga de filtrar, tamizar diferentes fluidos para la retención de las partículas, el tamaño de las partículas se define que tan grande son los huecos de las rejillas metálicas (Quima, 2020).

5.3.8 *Curvas IDF.*

Las curvas IDF son siglas que representan intensidad, duración y tiempo ya que se utilizan regularmente en cuencas pequeñas. Hay que aclarar que es un método usado en la Republica Colombiana donde por medio de ecuaciones y datos de las precipitaciones podemos calcular las

curvas.

5.3.9 Canaletas

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

5.3.10 Aguas lluvias

Estas aguas provienen de las precipitaciones pluviales donde puede ser aprovechada en gran manera para consumo humano, estas aguas se presentan con mayor frecuencia en zonas con alta humedad y pueden ser utilizadas en barrios o ciudades de bajos recursos. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio de Colombia, 2017)

5.3.11 Escorrentía superficial

Este es un componente que trata del flujo del agua al tocar la superficie de la tierra.

La escorrentía antes de ser dirigida por algún canal o tubería se denomina no puntual. La velocidad de desplazamiento del fluido en contacto con el terreno natural depende de las características de la superficie en la que se desplace, en la naturaleza se encuentran medios naturales como canales con diferentes niveles de vegetación y medios artificiales como canales construidos por el hombre

5.3.12 Hidrología

Es la ciencia que estudia el agua, tierra en su movimiento en todas las zonas, monitoria los ciclos hidrológicos y sus cuencas.

La hidrología abarca muchos campos incluyendo la ingeniería civil, ingeniería ambiental y para Colombia está el instituto de hidrología.

5.3.13 *Análisis hidrológico*

Se entiende por análisis hidrológico la evaluación cualitativa y cuantitativa 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 (Arumi et al., s.f).

5.3.14 *Consumo Neto*

El consumo o dotación neta es la cantidad de agua usada efectivamente en cada una de las actividades que se realizan en una comunidad (Lopez Cualla, 2003). En Colombia según la resolución 0330 capitulo 1, articulo 43. Dotación neta máxima se establece que:

Tabla 2. *Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida*

MSNM DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN (L/HAB*DÍA)	NETA	MÁXIMA
> 2000 m s. n. m.	120		
1000 - 2000 m s. n. m.	130		
< 1000 m s. n. m.	140		

Nota. Adaptado de: Resolución 0330 de 2017

5.3.15 *Agua atmosférica*

El agua atmosférica representa cerca del 0.0009% del agua total del planeta y se presenta como vapor, nubes y cristales de hielo. Aunque su proporción es mínima, desempeña un papel fundamental en la regulación climática, el ciclo hidrológico, la química atmosférica y el desarrollo de la vida. Su forma predominante es el vapor de agua, percibido como humedad, presente en toda la atmósfera, incluso en regiones desérticas (Open MS, 2012).

La concentración de vapor de agua es variable y alcanza en promedio el 1% de la mezcla del aire, lo que lo convierte en el tercer gas más abundante. El aire seco está compuesto principalmente por nitrógeno, oxígeno y argón, además de trazas de gases de efecto invernadero y aerosoles, concentrándose el agua líquida y sólida en los primeros dos kilómetros de la atmósfera (Martínez Arroyo, 2007).

6. Metodología

Para realizar este proyecto se plantean tres diferentes fases que nos permiten dar cumplimiento a las expectativas de este. Evaluando las diferentes fases desde el punto de importancia es necesario aclarar que la fase de recolección de información y el cálculo de los caudales de diseño son las que representan mayor importancia ya que de estas depende la eficiencia del diseño de la red de distribución

6.1 Fase 1: Selección de Las Viviendas Según el Tipo y Material de la Cubierta

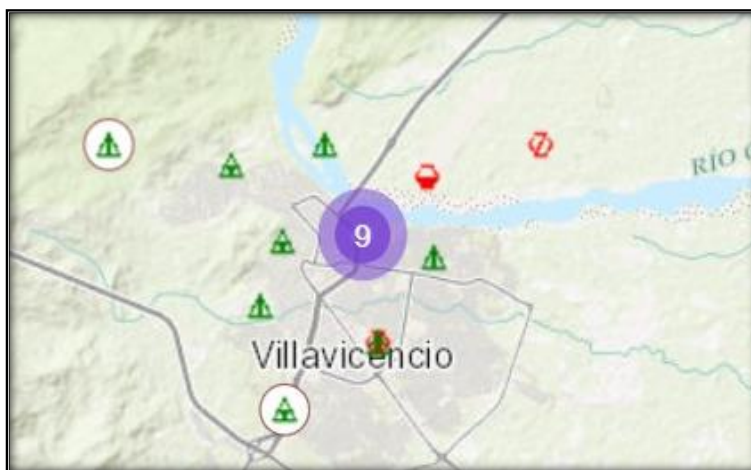
Para la selección de las viviendas que se utilizaron para en el estudio fue necesario plantear parámetros que nos ayudan a buscar diferentes alternativas de estudio tales como: número de integrantes en la vivienda, ubicación en la ciudad, tipo, forma y área de cubierta y estado de la cubierta. En las visitas se realiza inspección visual de la cubierta, también se toma las diferentes medidas de la distribución interna de las casas y las características del desagüe de aguas pluviales

6.2 Fase 2: Recolección de Información histórica de Datos Hidrológicos

Para la recolección de información fue necesario acudir a fuentes oficiales confiables que permitan generar certeza y seguridad con la información encontrada. La información hidrológica se extrajo mediante la plataforma de datos abiertos en el geo portal del IDEAM, puntualmente la de las estaciones del aeropuerto Vanguardia y la estación de la base aérea de Apiay

6.2.1 Búsqueda de información meteorológica

Para este paso fue necesario realizar una búsqueda en el portal del IDEAM para adquirir la información de la precipitación de las diferentes estaciones de la ciudad de Villavicencio.

Figura 2 Estaciones hidrometeorológicas en la ciudad de Villavicencio

Nota: Adoptado del portal del IDEAM

Una vez establecidas las viviendas en las que se realizará el diseño de captación de agua lluvia se procede a la búsqueda de información hidrológica en la plataforma del IDEAM; se establece valores como la precipitación media mensual, número de días de lluvia y precipitaciones máximas en periodos de 24 horas, se obtuvo la información de la precipitación mensual de las diferentes estaciones en la ciudad de Villavicencio de los últimos 20 años y estos datos fueron utilizados en el diseño del tanque de almacenamiento ya que estos toman en cuenta las precipitaciones de los meses en que se presentan gran variedad de precipitaciones y los meses que son relativamente secos. Para el estudio se trabajó con las estaciones meteorológicas del aeropuerto Vanguardia para casa de dos aguas ubicada en el barrio dos mil alto y la estación de la base de Apiay para la casa a 4 aguas ubicada en la vereda nombrada anteriormente

6.3 Fase 3: Análisis de la Información Recolectada Para Generar el Caudal de Diseño y Las Curvas IDF

Con la información obtenida se pudo calcular las precipitaciones promedio anuales y mensuales, lo que resulta útil al momento de conocer los cambios en el clima y cómo estas afectan el suministro de agua en el área de estudio. Además, estos datos se aplicaron en el diseño del tanque de almacenamiento más exactamente en la metodología de Azevedo 2007. Este tanque es una solución que garantiza agua disponible siempre y cuando se tenga un suministro, también se

utilizó la información hidrológica para realizar el cálculo del caudal de diseño; este cálculo es crucial para dimensionar correctamente las infraestructuras hidráulicas, más exactamente el tamaño de las canaletas y las bajantes; el buen uso de este cálculo nos ayuda a evitar problemas como inundaciones durante fuertes lluvias.

6.4 Fase 4: Análisis Cuantitativo de Las Características Del Agua Lluvia en Cada Uno de Los Tipos de Cubierta

Para realizar un análisis de la calidad del agua que se puede recolectar en los diferentes tipos de viviendas en Villavicencio, se realizó la toma de muestras en la casa que tenía como material de su cubierta tejas de tipo Eternit y también se realizó recolección de muestra de agua de la casa de 4 aguas que tenía como material de su techo acero galvanizado con capa de pintura protectora de tipo anticorrosivo. Se lleva a estudio en laboratorio y se evidencia partículas en la muestra recolectada en la cubierta de Eternit, por lo que se procedió a realizar un lavado de la cubierta y se procedió a tomar una nueva muestra para comparar la calidad del agua antes y después del lavado de la cubierta

6.5 Fase 5. Diseño de Las Estructuras Que Integran el Sistema de Recolección de Aguas Pluviales, Incluyendo la Captación, Almacenamiento, Tratamiento, Purificación y Distribución.

El diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias este compuesto por varios elementos claves, cada uno cumplen con una función y tienen un papel crucial en el funcionamiento del sistema. El correcto diseño de los elementos que conforman el sistema garantiza que este funcione de manera eficiente y constante, es por esto que es de vital importancia que este se realice de la manera adecuada con el fin de garantizar la calidad en el sistema. Para el diseño del sistema se dividió el diseño de los diferentes componentes que son: canal, bajante, filtración, tanque, bomba y red de distribución

6.5.1 Canal

Para el dimensionamiento de la canal utilizada en el direccionamiento del fluido desde la superficie impermeable hacia las tuberías que van en dirección al tanque de almacenamiento se realizó a partir de la ecuación de la continuidad $Q = V * A$ en donde se halla la velocidad a partir de la ecuación de Manning y se procede al cálculo del área de la canal requerida para el buen funcionamiento del sistema de captación y desagüe de las aguas lluvias

6.5.2 Bajante

Para determinar el diámetro de la bajante se realizó mediante la tabla 5.1 máxima capacidad en bajantes del libro instalaciones de redes hidrosanitarias y de gas para edificaciones de Rafael Pérez Carmona

6.5.3 Filtración

El proceso de filtración es uno de los pasos más cruciales en la potabilización del agua, ya que nos permite separar los sólidos y algunos microorganismos del líquido. En el aprovechamiento de aguas lluvias, este proceso se lleva a cabo inmediatamente después de la captación. Se realiza una filtración primaria, que ayuda a eliminar las partículas más grandes, como hojas y plumas, seguida de una segunda filtración, que se encarga de separar las partículas más pequeñas presentes en el agua.

6.5.4 Tanque de almacenamiento subterráneo

En el diseño del tanque de almacenamiento subterráneo se utilizó diferentes teorías literarias que están basadas en la precipitación existente, la cual hace alusión al suministro de agua en el sistema. No se utilizó la teoría utilizada en el diseño de tanques de almacenamiento con suministro constante o mediante bombas ya que los nombrados anteriormente se diseñan considerando un suministro en tiempo completo mientras que el tanque para almacenamiento de aguas lluvias el suministro se da en función de las precipitaciones presentadas en la zona de

captación. En el dimensionamiento del tanque se utilizó la teoría de Driggs 2009, Azevedo 2007, Práctico Inglés 2009, Práctico Alemán 2002, Aqua España, De Sequía 2009 y Decreto Mcpal 293-2006; las cuales se basan principalmente en la precipitación que puede ser captada durante diferentes intervalos de tiempo

6.5.5 *Tanque elevado*

El tanque elevado no se incluye en el diseño ya que este se encuentra en el diseño existente de las viviendas. Generalmente las viviendas unifamiliares cuentan con un tanque de polietileno con una capacidad máxima de 500 litros el cual es suficiente para almacenar el agua necesaria para que los usuarios tengan un servicio fluido las 24 horas; siempre y cuando se tenga un suministro permanente

6.5.6 *Red de distribución*

El cálculo de la red de distribución se llevó a cabo considerando las pérdidas por fricción generadas en el sistema debido a los diferentes accesorios que la componen. Estas pérdidas se determinaron utilizando la ecuación de Flamant:

Ecuación 1 Ecuacion de Flamant

$$j = \frac{4C * V^{1.75}}{D^{1.25}} \quad (1)$$

Donde C es el coeficiente de fricción del material,

(V) Velocidad en el punto del sistema

(D) Diámetro en metros (m)

Esta fórmula está adaptada para tuberías de diámetros pequeños y para materiales como acero, cobre, hierro galvanizado y PVC. Las pérdidas se calculan en función de las unidades que alimentan la red principal en ese tramo, las cuales se determinan multiplicando las unidades asignadas a cada elemento del sistema por el coeficiente de simultaneidad

7. Resultados

7.1 Selección de Las Viviendas

7.1.1 Descripción de vivienda de estudio

Se realizó visita a las dos viviendas, con el fin de identificar características tanto de las cubiertas como de la distribución de estas, para poder conocer el número de personas que habitan y un detalle del estado de las viviendas. Para realizar las visitas a las diferentes casas el factor principal de selección fue el tipo de techo que tenía cada vivienda, este factor es importante ya que nos permite plantear diseños que se adaptan a sus diferentes estructuras., también se realizó la visita técnica a la casa con caída a cuatro aguas y cubierta en acero galvanizado ubicada en la vereda Apiay, esta visita se realiza con el propósito de conocer el área, distribución, tipo de techos, pendientes de techos y características de las casas. La información recolectada fue utilizada para realizar los diferentes diseños de los elementos que componen un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias

7.1.1.1. Casa con cubierta a dos aguas. Se realizó visita técnica a la vivienda con cubierta de dos aguas y techo en material de Eternit; esta se ubicada en el barrio El Dos Mil Alto de Villavicencio y es propiedad de la señora Rosa desde hace más de 40 años. El terreno tiene una superficie total de 140 m². La edificación principal está compuesta por dos habitaciones, sala, cocina, zona de lavado y un patio posterior con un área aproximada de 45 m². Adicionalmente, el predio incluye un aparta-estudio con un área construida de 25 m².

Actualmente, residen tres personas en la vivienda principal y una en el aparta-estudio. La cubierta del inmueble presenta un deterioro significativo y una acumulación considerable de suciedad, lo que representa una condición inicial importante para los estudios proyectados. Con el objetivo de obtener datos comparativos, se realizó la limpieza de una teja completa, permitiendo así la toma de muestras tanto en superficie limpia como sucia. La selección de esta vivienda con cubierta a dos aguas respondió a criterios técnicos tales como su ubicación dentro de una zona con uso de suelo residencial, conforme a lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), y su proximidad a una de las estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo y diseño de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

7.1.1.2. Casa a cuatro aguas. La vivienda objeto de estudio se encuentra ubicada en la vereda Apiay del municipio de Villavicencio, dentro del conjunto residencial Brisas del Ocoa. El inmueble está implantado sobre un lote de terreno con un área total de 310 m², de los cuales 200,88 m² corresponden a área construida.

La distribución arquitectónica de la edificación comprende: dos habitaciones secundarias, una habitación principal con baño privado, sala, cocina, zona de lavado, y un andén perimetral que recorre el contorno de la vivienda. La cubierta del inmueble es de tipo cuatro aguas, lo que permite una adecuada recolección pluvial y representa una condición favorable para el estudio hidrológico a realizar.

Actualmente, la vivienda es habitada por el señor Darío Álvarez y su esposa, la señora Nidia Zambrano, dedicada a labores del hogar quienes nos proporcionaron el espacio y el tiempo para llevar a cabo un estudio de captación de aguas lluvias, se realizó una visita técnica al sitio en un día con condiciones climáticas nubladas, lo cual permitió la toma de muestras representativas de agua de escorrentía sobre la cubierta. Dichas muestras fueron posteriormente remitidas al laboratorio Tecno Ambiental S.A.S., entidad certificada por el IDEAM, ubicada en la ciudad de Villavicencio, departamento del Meta.

La selección de esta vivienda como punto de muestreo se basó en el cumplimiento de los siguientes criterios técnicos:

- Proximidad a una estación meteorológica de medición de precipitaciones (estación de base aérea Apiay).
- Presencia de una cubierta a cuatro aguas, adecuada para la recolección eficiente de aguas lluvias.
- Acceso logístico favorable para el desarrollo de actividades de campo.

Cabe resaltar que este tipo de viviendas con cubiertas a cuatro aguas no es común en el área urbana de Villavicencio, lo que refuerza el valor del estudio en zonas rurales como la vereda Apiay.

7.2 Información Histórica de Datos Hidrológicos

La recolección de los datos meteorológicos históricos se realizó mediante la plataforma oficial de datos, consulta y descarga de información del IDEAM. Se ubicó las estaciones más cercanas a las viviendas seleccionadas para posteriormente descargar la precipitación mensual de

los últimos 22 años. Una vez ubicados geográficamente los puntos de las viviendas se determinó que las estaciones más cercanas a estas fueron la del aeropuerto Vanguardia para la vivienda de dos aguas y la de la Base Aérea Apiay para la vivienda de 4 aguas.

7.2.1 Estación de aeropuerto Vanguardia

Estación ubicada en los predios que pertenecen al aeropuerto Vanguardia y georreferenciada en la latitud 4.162° y longitud -73.617583° , esta se encuentra a una altitud de 420 msnm y tiene una categoría de sinóptica principal, funciona desde noviembre de 1924 y actualmente está en funcionamiento.

La estación meteorológica es esencial en el funcionamiento del aeropuerto, ya que permite tomar decisiones basadas en datos como: la velocidad del viento, nubosidad, brillo solar, precipitaciones, radiación solar y temperatura. La información descargada se le realizó un análisis de datos que nos permitió determinar la precipitación media mensual en función de los últimos 22 años; en la estación del aeropuerto Vanguardia se determinó los siguientes datos:

Tabla 3. *Precipitación media mensual de 22 años del Aeropuerto Vanguardia*

P media mensual de los últimos 22 años	
Mes	Precipitación (mm)
Enero	73,8
Febrero	85,1
Marzo	249,2
Abril	524,8
Mayo	655,6
Junio	557,8
Julio	480,7
Agosto	386,4
Septiembre	353,4
Octubre	446,8
Noviembre	420,2
Diciembre	216,0

Esta estación contaba con la información completa de la precipitación mensual de los últimos 22 años lo que nos permitió hallar una precipitación media de los diferentes meses del año y se evidencio que los meses que se encuentran entre marzo y noviembre son los que presentan

mayor cantidad de lluvia y de diciembre a febrero son los meses en los que se presentan menor cantidad de precipitaciones. La abundancia de información nos permitió determinar la precipitación total anual, la precipitación media mensual en función de la precipitación anual y los meses en los que se presentó mayor cantidad y menor cantidad de lluvias en cada año

Tabla 4. *Información meteorológica Aeropuerto Vanguardia*

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)	MES DE MENOR LLUVIA	MES DE MAYOR LLUVIA
2003	4403,3	366,9	Enero	Junio
2004	4837,8	403,2	Enero	Mayo
2005	5171,7	431,0	Enero	Mayo
2006	4704,3	392,0	Febrero	Mayo
2007	4242,6	353,6	Febrero	Mayo
2008	4423,7	368,6	Febrero	Junio
2009	4328,2	360,7	Diciembre	Junio
2010	5029,1	419,1	Enero	Julio
2011	4634,6	386,2	Enero	Mayo
2012	4634,3	386,2	Enero	Julio
2013	4219,7	351,6	Enero	Mayo
2014	4167,4	347,3	Enero	Abril
2015	3780,7	315,1	Febrero	Junio
2016	4914,2	409,5	Enero	Abril
2017	4301,4	358,5	Enero	Mayo
2018	4073,6	339,5	Febrero	Junio
2019	4112,6	342,7	Febrero	Mayo
2020	4145,1	345,4	Febrero	Julio
2021	4313,1	359,4	Diciembre	Mayo
2022	4950,4	412,5	Enero	Mayo
2023	4843,5	403,6	Febrero	Junio
2024	3141,3	261,8	Enero	Mayo
Meses que más se repiten			Enero	Mayo

Esta información nos muestra que el mes en el que se presenta menor cantidad de lluvias es enero; según el historial 12 de los 22 años de estudio su mes más seco fue enero por lo que se evidencia que durante estos 31 días el sistema de captación no cumplirá con su objetivo ya que generalmente no se presenta un suministro (lluvias). También se encontró que el mes en el que se presenta abundancia de precipitaciones fue mayo; en 11 de los 22 años es el mes con mayor cantidad de lluvias. Se evidencio que los meses con mayor precipitación durante el año son abril,

mayo, junio y julio estos presentan precipitaciones mayores a 480 mm por lo que por metro cuadrado se puede captar más de 480 litros; también estos meses son los que presentan mayor interrupción del servicio de acueducto ya que este presenta fallas en sus diferentes elementos que los componen; ya sean por taludes, taponamientos de bocatomas, rupturas de tuberías o daños por avalanchas

7.2.2 Estación de base aérea Apiay

La estación está ubicada en los terrenos de la base de la Fuerza Aeroespacial de Colombia, en la vereda Apiay, en la zona rural de Villavicencio. Geográficamente, se encuentra en la latitud 4.077° y longitud -73.559°, a una altitud de 420 metros sobre el nivel del mar. Esta estación, clasificada como sinóptica secundaria según el DANE, funcionó desde octubre de 1972 hasta febrero de 2019. A pesar de su importancia, la estación presenta carencias significativas de información en varios meses. Esta información meteorológica es crucial para el adecuado funcionamiento del aeropuerto militar de Apiay. Sin embargo, se han observado graves deficiencias en su operación, lo que ha llevado a que deje de funcionar desde 2019. Debido a la escasez de datos, se presentaron dificultades en el análisis, aunque se logró obtener los siguientes datos:

Tabla 5. *Precipitación media mensual en la estación base aérea Apiay*

Mes	Precipitación (mm)
Enero	34,7
Febrero	79,0
Marzo	182,1
Abril	427,6
Mayo	395,6
Junio	445,8
Julio	342,0
Agosto	267,1
Septiembre	253,9
Octubre	330,4
Noviembre	282,6
Diciembre	100,0

Se determino la precipitación media mensual con los datos desde el año 2003 hasta el año 2016 y se evidenció que la cantidad de lluvias es inferior a las de la estación del aeropuerto

Vanguardia; el mes más seco es el mes de enero y el más lluvioso es el mes de junio. El mes en el que el sistema tiene menor oferta de agua es el mes de enero, es decir es el mes en el que el sistema no será funcional para el servicio que fue diseñado

Tabla 6. *Información meteorológica estación base aérea Apiay*

AÑO	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)	MES DE MENOR LLUVIA	MES DE MAYOR LLUVIA
2003	3310,7	275,89	Enero	Abril
2004	3420,9	285,08	Enero	Junio
2007	2964,5	247,04	Febrero	Junio
2008	2857,5	238,13	Enero	Junio
2009	3163,6	263,63	Febrero	Junio
2014	3005,1	273,19	Diciembre	Abril
2015	2603,1	236,65	Febrero	Julio

Según el historial de las lluvias de los años que fue posible encontrar información se evidencio que a diferencia de la estación aeropuerto Vanguardia el mes de mayor precipitación no es mayo sino es junio y los de menor cantidad de lluvias lo comparten enero y febrero. Las precipitaciones medias mensual halladas en función de la precipitación anual, indican que la cantidad de agua disponible por metro cuadrado durante un mes en todos los años es superior a 200 litros por metro cuadrado, aunque es importante aclarar que los meses de enero y febrero no alcanza estos valores ya que la precipitación media mensual se halla a partir de la precipitación anual; el promedio aumenta ya que los meses de mayor lluvia como mayo, junio y julio aportan la mayor cantidad de milímetros a la precipitación anual

7.2.3 Caudal de diseño y curvas idf

El caudal de diseño en el diseño de estructuras, redes y elementos hidráulicos hace referencia al caudal máximo que se puede obtener en un determinado tiempo de funcionamiento de la estructura, este tiempo también es llamado periodo de retorno. La obtención de la cantidad de fluido que se puede presentar en una unidad de tiempo nos ayuda a dimensionar correctamente las estructuras que estén involucradas o son las encargadas de transportar el fluido de manera segura hasta llegar a zonas aptas y seguras

7.2.4 Cálculo del caudal de diseño

El caudal de diseño es un elemento fundamental en el diseño de la zona de captación del sistema, ya que es el factor que nos permite calcular los diámetros necesarios de las bajantes que transportan el fluido desde la canal hasta el tanque de almacenamiento. Para determinar este caudal, se seleccionó el método racional, el cual es adecuado para pequeñas áreas y se utiliza comúnmente en la construcción de obras de drenaje. Los resultados obtenidos son aceptables en áreas con alta impermeabilidad, como es el caso de los techos.

Ecuación 2 Caudal de diseño por el método racional

$$Q = 0.278 * C * I * A \quad (2)$$

Donde Q pertenece al caudal de diseño, C al coeficiente de escorrentía según tabla (para un techo eficiente 0.95), I a la intensidad de la lluvia en un tiempo de concentración de 15 minutos y A al área de la cubierta

Para el cálculo del caudal de diseño de las dos estaciones seleccionadas fue necesario acudir a bibliografía técnica realizada por el ingeniero Santiago Ardila el cual plantea las curvas IDF de las estaciones del noroccidente del Meta ya que la información brindada en el geo portal del IDEAM no cuenta con las curvas IDF de las diferentes estaciones

Para el determinar el caudal de diseño se empieza calculando la intensidad mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Ecuación de intensidad

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} \quad (3)$$

Donde:

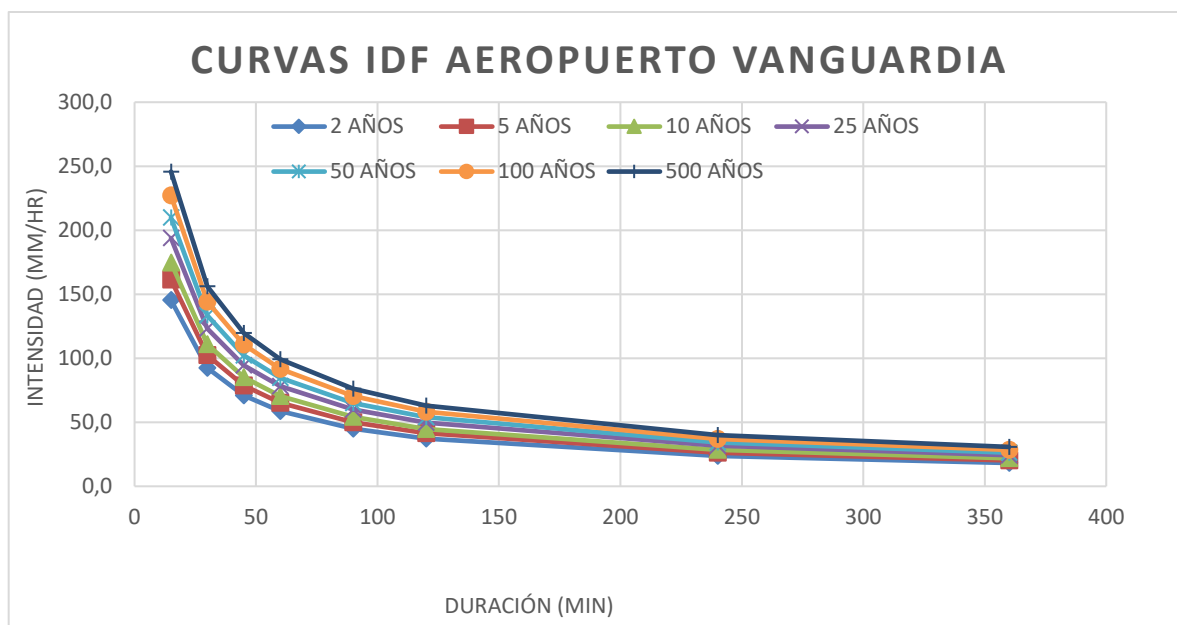
I: intensidad media medida en mm/h, T es el tiempo de retorno en años. Para el diseño de sistemas hidráulicos se toma un periodo de diseño de 50 años, t: es la duración de la precipitación en minutos y a, b y c son constantes determinadas por el autor las cuales se determinan por correlación lineal múltiples. Con los constantes a, b y c se procede a realizar el cálculo de las intensidades para los diferentes periodos de retorno

7.2.4.1. Cálculo caudal de diseño para casa de dos aguas, estación aeropuerto Vanguardia. En el cálculo de la tabla de intensidades para la vivienda situada en el barrio Dos Mil Alto, se determinó que, según el estudio del ingeniero Santiago Ardila, los parámetros a, b y c son 789.516, 0.114 y 0.654, respectivamente. Estos valores corresponden a la estación del Aeropuerto Vanguardia de Villavicencio y nos permitieron hallar la siguiente tabla de intensidades

Tabla 7 *Intensidades de estación del IDEAM aeropuerto Vanguardia*

INTENSIDAD PARA LA ESTACION VANGUARDIA							
t (min)	2	5	10	25	50	100	500
15	145,383	161,391	174,662	193,893	209,836	227,090	272,822
30	92,393	102,567	111,000	123,222	133,354	144,319	173,383
45	70,872	78,676	85,145	94,520	102,292	110,703	132,997
60	58,717	65,183	70,542	78,310	84,749	91,717	110,188
90	45,041	50,000	54,111	60,069	65,008	70,354	84,522
120	37,316	41,425	44,831	49,767	53,859	58,288	70,026
240	23,715	26,326	28,491	31,628	34,228	37,043	44,503
360	18,191	20,194	21,854	24,261	26,256	28,414	34,137

Una vez que se ha obtenido la tabla de intensidades, es posible trazar las curvas de intensidad, duración y frecuencia (curvas IDF). Estas curvas nos permiten analizar el comportamiento de la cantidad de precipitación en función de un periodo de retorno y la duración de la lluvia. Se puede evidenciar que los intervalos que representan mayor complejidad en los diferentes diseños son los que se presentan en intervalos de 15 a 30 minutos ya que se presentan mayor intensidad es decir mayor cantidad de lluvias por lo que son los que evidencian mayores dificultades en el desarrollo de la ingeniería

Figura 3 Distribución de curvas IDF para la estación meteorológica del aeropuerto Vanguardia

La obtención de las curvas IDF revela que la mayor intensidad de lluvia se presenta en los intervalos de tiempo más cortos. Esto indica que la mayoría de las precipitaciones ocurren en periodos que oscilan entre 15 minutos y una hora. Para finalizar con el cálculo del caudal de diseño se tomó un tiempo de concentración de 15 minutos y un periodo de retorno de 50 años, el cual nos permite obtener una intensidad de 209,836 mm

Partiendo de la ecuación 1 se tiene los siguientes valores:

C: 0.95 para techos

I= 209.836 mm

A= $5,3582 \times 10^{-5} \text{ km}^2$

Se reemplaza en la ecuación 2, así:

$$Q = 0.278 * 0.95 * 209.836 * 5.385 \times 10^{-5}$$

$$Q = 2.969 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2.969 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Se obtiene que el caudal de diseño por caída para la casa de dos aguas que tiene unas dimensiones de 7m de largo por 7.34 m de ancho es de 2.969 L/s

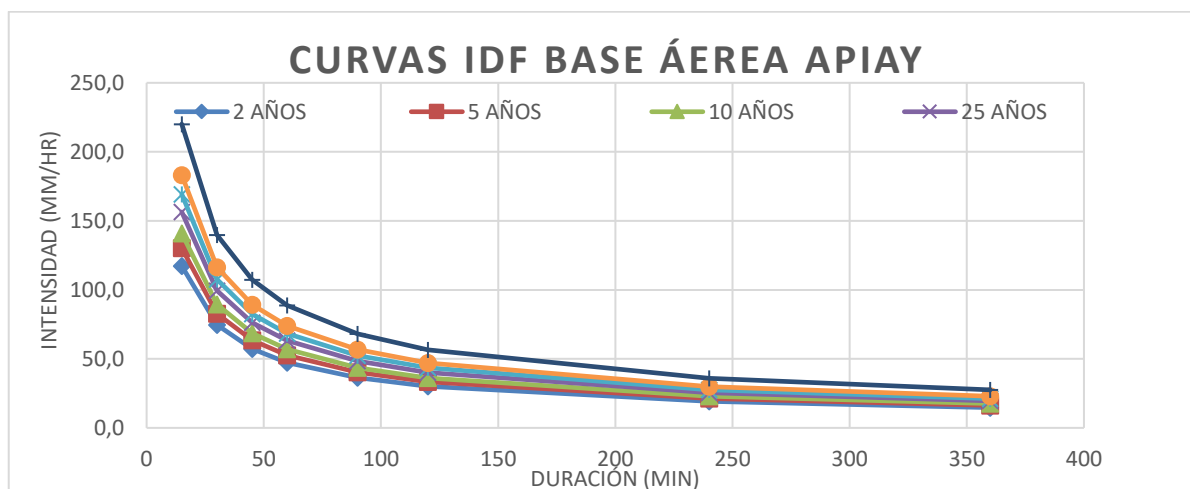
7.2.4.2. Cálculo caudal de diseño para casa de dos aguas, estación aeropuerto Vanguardia. En el cálculo de la tabla de intensidades para la vivienda situada en la vereda de Apiay, se determinó que, según el estudio del ingeniero Santiago Ardila, los parámetros a, b y c son 636.893, 0.114 y 0.654, respectivamente. Estos valores corresponden a la estación base de la fuerza aeroespacial de Colombia ubicada en la vereda Apiay de la ciudad de Villavicencio y nos permitieron hallar la siguiente tabla de intensidades

Tabla 8 *Tabla curva IDF estación Base aérea Apiay*

INTENSIDAD BASE ÁEREA APIAY							
t (min)	2	5	10	25	50	100	500
15	117,279	130,192	140,897	156,411	169,272	183,190	220,082
30	74,533	82,739	89,542	99,402	107,575	116,420	139,866
45	57,172	63,467	68,686	76,248	82,518	89,303	107,287
60	47,367	52,582	56,906	63,171	68,366	73,987	88,887
90	36,334	40,334	43,651	48,457	52,441	56,753	68,183
120	30,102	33,417	36,164	40,146	43,447	47,020	56,489
240	19,130	21,237	22,983	25,514	27,612	29,882	35,900
360	14,674	16,290	17,630	19,571	21,180	22,922	27,538

Una vez que se ha obtenido la tabla de intensidades, es posible trazar las curvas de intensidad, duración y frecuencia (curvas IDF). Estas curvas nos permiten analizar el comportamiento de la cantidad de precipitación en función de un periodo de retorno y la duración de la lluvia.

Figura 4 *Distribución de curvas IDF para la estación meteorológica del a base aérea de Apiay*



La obtención de las curvas IDF revela que la mayor intensidad de lluvia se presenta en los intervalos de tiempo más cortos. Esto indica que la mayoría de las precipitaciones ocurren en periodos que oscilan entre 15 minutos y una hora. Para finalizar con el cálculo del caudal de diseño se tomó un tiempo de concentración de 15 minutos y un periodo de retorno de 50 años, el cual nos permite obtener una intensidad de 169.272 mm

Partiendo de la ecuación 1 se tiene los siguientes valores:

C: 0.95 para techos

I= 169.272 mm

A= $6.957 \times 10^{-5} \text{ km}^2$

Se reemplaza en la ecuación 2 así:

$$Q = 0.278 * 0.95 * 169.272 * 6.957 \times 10^{-5}$$

$$Q = 3.11 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 3.110 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Se obtiene que el caudal de diseño para la casa 4 aguas para la porción de la cubierta de mayor área es de 3.110 L/s. Se presenta un caudal de diseño mayor al de la casa de dos aguas debido a que el área de captación es mayor en la casa de 4 aguas y también se evidencia que la intensidad en la base aérea es menor a la presentada en el aeropuerto Vanguardia, pero el factor que resulta prescindible en la captación es el área de captación

7.3 Análisis cuantitativo de las características del agua lluvia

Para el estudio de las muestras fue necesario realizar la búsqueda de un laboratorio acreditado por la entidad del IDEAM, y se llegó al laboratorio TECNOAMBIENTAL ubicado en la Calle 40 No. 25 – 91 Barrio el Emporio – Villavicencio. Para llevar a cabo el análisis de las características físicas y microbiológicas del agua disponible para este proyecto, se optó por comparar la calidad del agua recolectada en techos de material Eternit en dos situaciones diferentes; con el techo de manera natural (sin alteración de su estado natural) y al techo después de realizarle un lavado.

Para llevar a cabo esta comparación, fue necesario realizar un lavado de una sección del techo que nos permitiera obtener una muestra de agua que se desplazaba sobre la superficie limpia. El lavado se efectuó utilizando agua a presión mediante una hidro lavadora, aplicada sobre una

superficie previamente humedecida. Gracias a la fuerza del agua en contacto con el techo, se logró eliminar toda la capa de musgo y suciedad que puede acumularse debido a la humedad en los techos de Eternit. El lavado se realizó en un área equivalente al ancho de una teja, desde la cumbrera de la vivienda hasta la caída del agua del techo. Se optó por esta área específica para cumplir con el objetivo de captar agua de un tejado limpio, lo que también ayuda a la reducción de los costos de la investigación.

Figura 5 *Área del tejado con limpieza previa*



Una vez realizado el lavado del área del techo en la que se iba a realizar la captación del agua se dejó preparado todos los elementos necesarios para la obtención de la muestra tales como: una nevera portátil, recipientes desinfectados y preparados para almacenar el fluido y hielo disponible para mantener la muestra refrigerada

Al momento de captar el agua para las dos muestras se encontró barreras en el procedimiento ya que dependíamos de una precipitación que nos permitiera recolectar mínimo 5 litros de agua por cada caso, los cuales debían ser captados directamente desde el tejado con los recipientes brindados por el laboratorio; este fue un obstáculo ya que solo fue posible realizar la captación adecuada de las muestras durante un periodo de lluvia de aproximadamente de 40 minutos. Para generar garantía en los resultados fue necesario conservar las muestras en neveras de poliestireno expandido con hielo las cuales servían para dar refrigeración y así conservar las características físicas y microbiológicas sin generar alteraciones.

Figura 6 Almacenamiento de las muestras de agua

Las muestras fueron tomadas en la vivienda con cubierta de caída de dos aguas, ubicada en la calle 25A # 19-74 del barrio Dos Mil Alto. La recolección de las muestras se realizó el 24 de julio de 2025, alrededor de las 5 de la tarde. Debido al horario de servicio de TECNOAMBIENTAL, no fue posible llevar las muestras al laboratorio de inmediato. Siguiendo las recomendaciones de la entidad, y dado que las muestras estarían expuestas durante más de dos horas sin ser trasladadas al laboratorio, fue necesario conservarlas mediante refrigeración.

Para realizar el chequeo de la calidad del agua se realizó un estudio llamado prueba básica junto al estudio de sólidos totales y análisis microbiológico. Para la evaluación de las alternativas de comparación nombradas anteriormente, se analizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos:

7.3.1 Resultados de estudio de muestra de agua del techo sin previo lavado

El estudio de la calidad del agua presente en los techados de la vivienda a la que se le realizara el diseño es importante porque nos permite plantear los lineamientos desde el proceso de captación, filtración y almacenamiento.

En los resultados de la muestra tomada se evidencio que parámetros como la alcalinidad, calcio, color aparente, hierro total, potencial de hidrogeno, turbidez, escherichia coli y coliformes totales están dentro de los parámetros establecidos en la resolución 2115 de 2007, es decir que

cumplen con los valores exigidos por la norma y se evidencia que el fluido se puede exponer a tratamientos básicos para lograr convertirlo en agua potable mientras que los valores de cloruros, conductividad, dureza total, magnesio, nitratos, nitritos y sulfatos se encuentran muy por debajo de los valores máximos exigidos por la norma pero estos parámetros no son obligatorios dentro de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua.

Los parámetros que tienen mayor impacto en la calidad del agua en este caso son la cantidad de sólidos totales, la turbidez y la presencia de microorganismos en el agua. En cuanto a los sólidos totales, se presenta un valor de 29.2 mg/L, lo que indica que el 0.029% del fluido corresponde a materia sólida. Considerando un volumen de 5 m³, que es el del tanque de almacenamiento, se encuentran 136 g de sólidos. Esta cantidad podría ser reducida mediante el sistema de filtración propuesto. Si se lleva a cabo la extracción de los sólidos totales, se observará una disminución en la turbidez del agua, lo que indicará un alejamiento positivo del valor máximo permitido por la normativa vigente. Este proceso no solo mejorará la turbidez del agua, sino que también contribuirá a su calidad en general, asegurando que cumpla con los criterios establecidos por la resolución 2115 de 2007. La reducción de la turbidez es un indicador positivo en la efectividad de los métodos de tratamiento que se aplicaran, lo que permitirá garantizar un suministro de agua más seguro y saludable. En el estudio realizado, se registró una turbidez de 1.6 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), un nivel que se considera aceptable y que sugiere una mejor calidad del agua. Además, se verificó la ausencia de colonias de coliformes totales y *Escherichia coli*, lo que es un indicador favorable para la potabilidad del agua analizada. La muestra de agua analizada, proveniente de la captación de agua lluvia en los techos, no cumplió con los valores establecidos de cloro residual, esto se debe a la ausencia de tratamiento por medio de cloro es decir es normal que se presenten estos valores. Se encontró valores inferiores a 0.1 mgCl₂/L lo que indica que está fuera de 0.3 – 2 según lo indica la norma

Estos resultados son apositivos, ya que demuestran que el agua cumple con la mayoría de los parámetros requeridos para el consumo humano. A continuación, se presentan los resultados detallados del análisis de la muestra realizados en el laboratorio TECNOAMBIENTAL de la ciudad de Villavicencio

Tabla 9. *Resultados de laboratorio de la muestra con el techo sucio*

CARACTERISTICA	UNIDADES	VALOR MAXIMO ACEPTABLE	RESULTADO
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO			
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	200	21,78
Calcio	mg Ca/L	60	5,63
Cloro residual libre	mg Cl ₂ /L	0,3-2	<0,1
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	250	<2
Color aparente	UPC	15	8
Conductividad	μS/cm	1000	<84
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	300	15,67
Hierro total	mg Fe/L	0,3	0,25
Magnesio	mg Mg/L	36	<1,2
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /L	10	<4,40
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ /L	0,1	<0,07
PH		6,5-9	7,29
Sólidos totales	mg/L	N.E	29,2
Sulfatos	mg SO ₄ /L	250	<5
Turbidez	NTU	2	1,8
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
Coliformes totales	NMP/100mL	0	<1
Escherichia coli	NMP/100mL	0	<1
TOTAL			

7.3.2 Resultados de estudio de muestra de agua del techo con previo lavado

Para el estudio de la muestra con una limpieza adecuada del techo fue necesario realizar el lavado de una parte del techo para posteriormente realizar la toma de la muestra de agua.

Al analizar los resultados, se observó que la calidad del agua captada mejora de manera significativa. Parámetros como la alcalinidad y el pH experimentaron un ligero incremento, lo que sugiere que un aumento en la alcalinidad facilita la estabilización del pH. Este fenómeno se produce cuando los valores se encuentran dentro de los límites establecidos por la resolución 2115 de 2017. Si la alcalinidad disminuye demasiado, se vuelve más complicado estabilizar el pH, mientras que, si alcanza niveles elevados, puede provocar turbidez en el agua.

Los niveles de calcio disminuyen debido a que los elementos que podrían generar este mineral fueron eliminados mediante el lavado. Asimismo, la dureza tiende a reducirse, ya que los niveles de minerales disueltos, como el calcio y el magnesio, disminuyen en la muestra tras la

limpieza del tejado.

Los parámetros más significativos en la muestra de agua del tejado limpio se reflejan en la cantidad de sólidos totales, que pasa de 29.2 mg/L en el tejado sucio a 27.2 mg/L en el tejado limpio. Esto implica que, en el caso de captar 5 m³ de agua, se reduciría la cantidad de sólidos de 146 g a 136 g, lo que representa una disminución del 6.85% en los sólidos totales en el tanque de almacenamiento.

La disminución de los sólidos totales en el agua también conlleva una reducción en la turbidez de la muestra, dado que estos dos parámetros tienen una correlación directamente proporcional. El único parámetro que no cumple en ninguna de las dos muestras son los niveles de cloro, ya que el fluido captado es agua cruda. Para asegurar que este parámetro se encuentre dentro de los límites establecidos por la normativa, es necesario implementar un sistema de filtración y desinfección del agua. A continuación, se presenta informe detallado de los resultados brindados por el laboratorio de la muestra de agua extraída del techo limpio

Tabla 10. Resultados de laboratorio de la muestra con el techo limpio

CARACTERISTICA	UNIDADES	VALOR MAXIMO ACEPTABLE	RESULTADO
ANÁLISIS FISICOQUIMICO			
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	200	22,64
Calcio	mg Ca/L	60	4,44
Cloro residual libre	mg Cl ₂ /L	0,3-2	<0,1
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	250	<2
Color aparente	UPC	15	9
Conductividad	μS/cm	1000	<84
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	300	11,18
Hierro total	mg Fe/L	0,3	0,25
Magnesio	mg Mg/L	36	<1,2
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /L	10	<4,40
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ /L	0,1	<0,07
PH		6,5-9	7,34
Solidos totales	mg/L	N.E	27,2
Sulfatos	mg SO ₄ /L	250	<5
Turbidez	NTU	2	1,6
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
Coliformes totales	NMP/100mL	0	<1
Escherichia coli	NMP/100mL	0	<1
TOTAL			

Para determinar la calidad del agua es conveniente realizar una medición aritmética técnica de los resultados presentados en las dos diferentes muestras, esto es posible realizarlo mediante el cálculo del índice de riesgos de la calidad del agua (IRCA). El valor del IRCA es cero puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas y cien puntos para el puntaje de riesgo más alto cuando no cumple ninguno de los parámetros (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio de Colombia, 2017).

$$IRCA (\%) = \frac{S \text{ puntajes de riesgos asignados no aceptables}}{S \text{ puntajes de riesgos asignados totales}} \quad (4)$$

Para determinar el IRCA, es fundamental identificar las características que cumple y aquellas que no. A continuación, se presenta un resumen de los puntajes asignados, así como una descripción de las características que alcanzan los puntajes máximos aceptables.

Tabla 11. *Análisis características fisicoquímicas y microbiológicas*

CARACTERISTICA	UNIDADES	VALOR MAXIMO ACEPTABLE	RESULTADO	PUNTAJE DE RIESGO	CUMPLE	NO CUMPLE
ANÁLISIS FISICOQUIMICO						
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	200	21,78	1	X	
Calcio	mg Ca/L	60	5,63	1	X	
Cloro residual libre	mg Cl ₂ /L	0,3-2	<0,1	15		X
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	250	<2	1	X	
Color aparente	UPC	15	8	6	X	
Conductividad	μS/cm	1000	<84	3	X	
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	300	15,67	1	X	
Hierro total	mg Fe/L	0,3	0,25	1,5	X	
Magnesio	mg Mg/L	36	<1,2	1	X	
Nitratos	mg NO ₃ ⁻ /L	10	<4,40	1	X	
Nitritos	mg NO ₂ /L	0,1	<0,07	3	X	
PH		6,5-9	7,29	1,5	X	
Solidos totales	mg/L	N.E	29,2			
Sulfatos	mg SO ₄ /L	250	<5	1	X	
Turbidez	NTU	2	1,8	15	X	
ANÁLISIS MICROBIOLOGICO						
Coliformes totales	NMP/100mL	0	<1	15	X	
Escherichia coli	NMP/100mL	0	<1	25	X	
TOTAL				92		

En el caso de las dos muestras de agua la única característica que no cumple con los valores máximos aceptables según la resolución 2115 de 2017 es el de cloro residual libre, por lo que el valor del IRCA es el mismo para las dos muestras de agua

Ecuación 4 Ecuación de IRCA

$$IRCA(\%) = \left\{ \frac{15}{1 + 1 + 15 + 1 + 6 + 3 + 1 + 1.5 + 1 + 1 + 3 + 1.5 + 1 + 15 + 15 + 25} \right\} \\ * 100$$

$$IRCA(\%) = \left\{ \frac{15}{92} \right\} * 100 = 16.3\%$$

Según el artículo 15 de la resolución 2115 de 2017. Clasificación del nivel riesgo, las muestras tienen un nivel de riesgo medio y como medida es necesario informar a la persona prestadora, COVE, alcalde y gobernador. En el caso del proyecto se recomienda implementar medidas para lograr extraer los sólidos totales y mantener los niveles de cloro dentro de los valores establecidos por la norma

7.4 Diseño de elementos de captacion de aguas lluvias

7.4.1 Canal

La canal de recolección de aguas lluvias es uno de los elementos más importantes ya que su función principal es trasladar el agua recolectada por la precipitación de la zona de estudio, a la línea de conducción de tubos PVC que redirigen al tanque subterráneo de almacenamiento.

Para hallar las dimensiones de la canal se realizaron los cálculos con la ecuación de Manning que se muestra a continuación:

Ecuación 5 Ecuación de continuidad

$$Q = V \cdot A \quad (5)$$

Ecuación 6. Ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{n} \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Donde: Rh es el radio hidráulico y S es la pendiente presente en la canal

Ecuación 7 Radio hidráulico para canales

$$Rh = \frac{B * h}{B * 2 * h} \quad (7)$$

El radio hidráulico representa la relación entre el área de la canal sobre el perímetro mojado de la canal. Para obtener la ecuación final se reemplaza la ecuación 9 en la ecuación 8 y enseguida se reemplaza la ecuación 8 resultante en la ecuación 7 donde se obtiene la siguiente formula:

Ecuación 8. Caudal en función de la ecuación de Manning y el radio hidráulico

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{B * h}{B * 2h} \right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * B * h \quad (8)$$

Una vez obtenida la ecuación mediante el método de sustitución, esta sirvió como base para determinar las dimensiones óptimas del canal. Se procedió a reemplazar distintos valores para la variable h con el fin de encontrar las dimensiones que satisficieran las condiciones del diseño. Como resultado, se determinó que el valor adecuado para el ancho (B) y la altura (h) del canal es de 10 cm.

En conclusión, los diseños propuestos para la vivienda de cubierta a dos aguas y la de cuatro aguas resultaron técnicamente viables. Ambos permiten la implementación de canales con dimensiones convencionales de 10 × 10 cm, ampliamente utilizados en viviendas residenciales en Colombia. Esta elección asegura el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normatividad vigente, específicamente en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), expedido por el ministerio de vivienda.

7.4.2 Bajante

En el diseño de sistemas de drenaje pluvial para cubiertas, es común ubicar las bajantes en los extremos del canalón o canal, especialmente en cubiertas de tipo a dos aguas y a cuatro aguas, con el fin de garantizar el cumplimiento de la pendiente mínima requerida para el escurrimiento

eficiente del agua hacia los puntos de descarga.

Para el cálculo del diámetro de las tuberías de bajante, se ha utilizado la Tabla 5.1 del libro "Instalaciones de redes hidrosanitarias y de gas para edificaciones", del autor Rafael Pérez Carmona (Carmona, 2010). Esta tabla permite seleccionar el diámetro adecuado en función del caudal de diseño, que en este caso es de 3 L/s, correspondiente a la contribución conjunta de las dos viviendas de estudio.

De acuerdo con el RAS - Título D, numeral 3.3.4.1, se debe garantizar que las bajantes pluviales estén diseñadas para evacuar adecuadamente el caudal de diseño asociado a eventos de precipitación, teniendo en cuenta el área de aporte, la intensidad de la lluvia, y el coeficiente de escorrentía. Asimismo, el reglamento establece que:

Las bajantes deberán estar localizadas de manera que permitan el desalojo eficiente del agua sin provocar acumulaciones sobre la cubierta y sin afectar negativamente las estructuras o áreas contiguas (MINVIVIENDA, s.f.).

Por lo tanto, la ubicación en los extremos de la canal, junto con la pendiente adecuada y el diámetro calculado conforme al caudal proyectado, asegura el cumplimiento de los criterios hidráulicos y constructivos exigidos por la normativa nacional.

Tabla 12 *Máxima capacidad en bajantes*

Ø"	CAUDAL EN LITROS POR SEGUNDO		
	r=1/4	r=7/24	r=1/3
2	1.1	1.4	1.8
3	3.2	4.2	5.2
4	7	9.1	11.3
6	20.7	26.7	33.4
8	44.5	57.6	71.9
Ø"	CAUDAL EN LITROS POR SEGUNDO		
	r=1/4	r=7/24	r=1/3
10	80.8	104	130.4
12	131	169.8	212

Nota. Adaptado de: Libro Instalaciones de redes hidrosanitarias y de gas para edificaciones

Con base en la tabla previamente presentada, se determina que el diámetro óptimo para el sistema de recolección pluvial es de 3 pulgadas. Esta selección se fundamenta en la relación de áreas de 1/4 y en la aplicación del diseño tanto para viviendas con techumbre a dos aguas como a cuatro aguas.

El valor elegido es técnicamente aceptable, ya que corresponde a uno de los diámetros más comunes y recomendados en instalaciones hidráulicas para edificaciones residenciales. Además, el caudal estimado de captación por vivienda es de aproximadamente 3 litros por segundo, valor que se aproxima adecuadamente a los rangos establecidos en la normativa y literatura técnica, garantizando así un desempeño eficiente del sistema.

7.4.3 Diseño y dimensionamiento del tanque de almacenamiento de aguas lluvias

Para el diseño del tanque de almacenamiento se consideraron diversas variables fundamentales, tales como: la ubicación del proyecto, el caudal de diseño y el predimensionamiento inicial. A estos factores se sumaron las precipitaciones características de la zona de estudio, considerando tanto cubiertas a dos aguas como a cuatro aguas, con el fin de estimar los volúmenes necesarios de almacenamiento, tomando en cuenta que el área de captación está conformada por los techos y canaletas.

El dimensionamiento del tanque se llevó a cabo mediante la aplicación de diversos métodos reconocidos en la literatura técnica, con el objetivo de identificar el más adecuado para el diseño del sistema de recolección de aguas lluvias propuesto. Las fórmulas utilizadas, junto con sus respectivas referencias, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13 Listados de teorías utilizadas en el diseño del tanque

No	Método	Formula	Observación
1	Azevedo 2007	$V = (1000) * T * A * P * 0.042$	Global
2	Práctico Inglés 2009	$V = (0.050 * P * A)/1000$	Global
3	Práctico Alemán 2002	$V = 0,060 * \min(vall, D)$	Global
4	De Sequía 2009	$V = (\frac{N * Nd}{1000})$	Global
5	Decreto Municipal 293-2006	$V = (\frac{0.25 * Nh * Cd * dr}{1000})$	Global
6	Aqua España	$V = (\frac{Dd * Fd * Ps}{1000})$	Global (método español)
7	Driggs 2009	$V = (\frac{A * H}{1000})$	

La nomenclatura de las variables utilizadas en las ecuaciones anteriores se encuentra detallada en la siguiente tabla

Tabla 14. Descripción de las variables de las ecuaciones utilizadas en la tabla 12

DATOS		
Variable	Descripción	Valor
P	Precipitación media anual	4591,00
A	Area de captación	102,76
T	Cantidad de meses con poca lluvia o secos	1,00
C	coeficiente de escorrentía	0,95
η	factor de eficiencia del sistema de captación	0,85
Vall	Volumen de agua aprovechable	380,96
Nu	Número de usuarios	4,00
Na	Cantidad de días de un año	365,00
Dot	Dotación (Lppd)	140,00
D	Demanda anual de agua no potable	204,40
N	Cantidad de días consecutivos sin lluvia	10,00
Dd	Demanda diaria de agua [L/d]	560,00
Nh	Cantidad de unidades habitacionales	2,00
Nd	Cantidad de días en el tiempo t	30,00
Dt	Demanda de agua en un tiempo t dado [m3]	16,80
Qt	Volumen de agua de lluvia disponible en un tiempo t (m ³)	448,18
Conf	Confianza del sistema	0,95
Fd	Factor de dimensionado, representa la perdida de volumen útil por sedimentos	0,10
Ps	Período máximo entre dos episodios de lluvia significativos	10,00
Dat	Demanda de agua acumulada en un tiempo t [m3] (1 mes)	5944,40
Pt	Precipitación media en el periodo t [mm]	575,00
dr	Días de reserva de agua	15,00
Kp	coeficiente de perdidas	0,80
Hp	Lamina media anual	4591,00
A	Area superficie colectora para Driggs 2009	55,65
H	Lamina máxima en una hora periodo de retorno de 10 años	86,81

Estos métodos fueron seleccionados por su pertinencia y aplicabilidad a los objetivos del presente proyecto. Se consideró conveniente realizar una comparación entre los distintos enfoques metodológicos, dado que cada uno plantea una forma diferente de estimar el volumen óptimo del tanque.

Los resultados obtenidos mediante cada método se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 15. *Volumen hallado en los diferentes métodos*

MÉTODO	VOLUMEN (m ³)
Driggs 2009	4,83
Azevedo 2007	19,81
Práctico Inglés 2009	23,59
MÉTODO	VOLUMEN (m ³)
Práctico Alemán 2002	10,60
Aqua España	0,56
De Sequía 2009	5,60
Decreto Mcpal 293-2006	4,20
Volumen del tanque	5 m ³
Nota. Adaptado de: Elaboración propia	

Tras analizar los resultados anteriores, se concluye que el método de Driggs (2009) es el más apropiado para los requerimientos del presente proyecto. Este proporciona un volumen coherente con las condiciones hidráulicas consideradas, además de ser compatible con el caudal de diseño propuesto.

Con base en los valores calculados, se define un volumen de almacenamiento de **5 m³**, tanto para viviendas con cubiertas a dos aguas como a cuatro aguas. Los caudales de diseño considerados fueron:

Casa a dos aguas: $Q = 2,96 \text{ L/s}$

Casa a cuatro aguas: $Q = 3.110 \text{ L/s}$

Dado que los caudales son comparables, el uso de un mismo volumen de tanque para ambos casos es técnicamente viable. Este diseño garantiza un funcionamiento adecuado del sistema sin riesgos de sobrellenado o subutilización del volumen útil del tanque.

7.4.4 Cálculo de diámetros y presiones en la red de distribución

El dimensionamiento de los diámetros de las tuberías y la determinación de las presiones en cada punto de consumo se realizó utilizando el método propuesto por **Rafael Pérez Carmona** (2010). En este proceso se consideraron las pérdidas de carga por fricción, las pérdidas localizadas por accesorios, y la cantidad de elementos instalados en cada tramo.

La distribución de la red fue diseñada bajo criterios de razonamiento ingenieril, tomando como referencia la experiencia y fundamentos técnicos adquiridos en la **Universidad Santo Tomás de Aquino – Sede Villavicencio**. Se procuró minimizar los cruces de muros existentes y se optimizó la disposición de las tuberías considerando los puntos más críticos en términos de presión, con el fin de garantizar un funcionamiento hidráulico eficiente.

A continuación, se presenta la tabla de resultados obtenidos para cada tramo de la red distribución en el diseño de la Casa con cubierta a Dos Aguas:

Tabla 16. Resultados diámetros y presiones

TRAMO	UNIDAD	Q	V	h _v	C	J	Φ	LONGITUD DE TUBERIA EN				J	PRESION
								HOR	VER	AC	TOT		
	un	l/s	m/s	m.c.a	fricción	m/m	pulg	IZ	T	CS	AL		
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
1-2	2	0,13	1,03	0,05	0,0001	0,069	1/2"	1,4	1,2	1,160	3,760	0,368	2,618
2-3	4	0,25	0,88	0,2	0,0001	0,045	1/2"	4,7	1	1,360	7,060	0,318	4,136
3-4	6	0,32	1,12	0,06	0,0001	0,069	3/4"	3	0	1,100	4,100	0,283	4,479
4-5	6	0,32	1,12	0,06	0,0001	0,069	3/4"	3,85	0	1,020	4,870	0,336	4,875
5-6	5	0,25	1,97	0,2	0,0001	0,308	1/2"	0,5	0	0,480	0,980	0,302	5,377
6-TANQUE	3	0,19	1,5	0,11	0,0001	0,191	1/2"	0,2	7,31	2,050	9,56	1,827	0,000

Como se observa en la tabla, se identifican claramente las unidades conectadas a cada tramo, así como las pérdidas totales y presiones resultantes. Esta información fue esencial para detectar el **punto más crítico del sistema**, permitiendo ajustar el diseño en función de las condiciones reales de operación, especialmente al estar integrando el sistema propuesto con la red existente de la vivienda.

Se garantizó el funcionamiento por gravedad, cumpliendo con los requisitos mínimos establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS (Minvivienda, s.f.), asegurando que el tanque elevado se ubicara a una altura mínima de 2 metros por encima de la cota más alta de la cubierta. Esto permite mantener presiones adecuadas en todos los puntos de consumo, conforme a los estándares técnicos establecidos.

7.4.4.1.1. Análisis del Sistema de Distribución de Agua de Lluvia por Tramos.

Tramo 1–2: Ducha

En este primer tramo se encuentra ubicada la ducha, considerada el punto más crítico del sistema debido a su alta exigencia en términos de presión. Se empleó una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, de acuerdo con los cálculos hidráulicos realizados en la fase de diseño. Como resultado, se obtuvo una presión en el punto de salida de **2,618 m.c.a.** (metros de columna de agua), valor suficiente para satisfacer las condiciones mínimas de funcionamiento de esta unidad sanitaria.

Tramo 2–3: Lavadero

Este tramo conecta la ducha con el lavadero. La longitud horizontal efectiva es de **4,7 metros**, y se mantuvo el diámetro de la tubería en $\frac{1}{2}$ **pulgada**, dado que los parámetros hidráulicos continuaban siendo adecuados. La presión resultante en este tramo fue de **4,1361 m.c.a.**, cumpliendo con los requerimientos funcionales del lavadero.

Tramo 3–4: Transición a Mayor Caudal

En el tramo comprendido entre los puntos 3 y 4 se observa un incremento en el caudal, alcanzando los **0,32 L/s**. La longitud horizontal efectiva es de **3 metros**. Con el fin de asegurar un adecuado suministro de presión a las unidades aguas abajo, se realizó una ampliación del diámetro de la tubería a $\frac{3}{4}$ **de pulgada**. Esta modificación permitió obtener una presión de **4,4790 m.c.a.**, mejorando la eficiencia del sistema en este segmento.

Tramo 4–5: Unidades Comunes con Apartamento

Este tramo incluye la conexión del sistema a diversas unidades del apartamento (lavadero, lavadora y lavaplatos), las cuales comparten red de acueducto, alcantarillado, gas y electricidad con la vivienda principal. La longitud horizontal efectiva es de 3,85 metros, y se mantuvo el diámetro de la tubería en $\frac{3}{4}$ de pulgada, dado que el caudal se conserva en 0,32 L/s. La presión obtenida fue de 4,8751 m.c.a., valor dentro de los márgenes operativos establecidos.

Tramo 5–6: Suministro Interno del Apartamento

Este tramo suministra agua al baño del apartamento, incluyendo ducha y lavamanos. Debido a que es la primera línea de alimentación desde el tanque elevado, y considerando su proximidad (**0,5 metros**) a la bajante de este, se empleó tubería de $\frac{1}{2}$ **pulgada**. La presión final registrada en este punto del sistema fue de **5,3769 m.c.a.**, representando la presión máxima alcanzada en la red de distribución.

Tramo 6 – Tanque Elevado

El tramo final corresponde a la tubería vertical que conecta el sistema con el tanque elevado. De acuerdo con la normativa vigente, se asegura una altura mínima de **1,5 metros** sobre la cumbre de la cubierta para garantizar el funcionamiento del sistema por gravedad, incluso en el punto más crítico de la red. Esta configuración cumple con las exigencias técnicas para una presión adecuada y continua.

7.4.5 Cálculo y Diseño del Sistema de Bombeo

El diseño del sistema de bombeo se realizó tomando como referencia la metodología expuesta por Carmona (2010) en su obra Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas para Edificaciones. Se consideraron los siguientes factores: altura total de impulsión, altura de succión dinámica, pérdidas por accesorios, pérdidas por temperatura, pérdidas por vacío imperfecto de la bomba y presiones barométricas. Los resultados del cálculo son los siguientes:

Tabla 17. Resultados de cálculo de potencia del sistema del bombeo

Altura de impulsión (m)	Altura de succión (m)	Cálculo de potencia (Hp)
12,82	3,34	0,017

Con base en estos valores, y como medida preventiva ante posibles variaciones de presión y caudal, se optó por emplear una altura total de diseño de **20 metros**, a fin de garantizar un funcionamiento eficiente bien sea para una vivienda con cubierta a dos aguas o a cuatro aguas. Como solución, se seleccionó una **electrobomba marca Evans de 1 HP**, capaz de alcanzar una altura de impulsión de hasta 24 metros. Esta bomba es ideal para aplicaciones con tanques de almacenamiento tipo cisterna. La cotización se realizó con el proveedor Universal Tornillos y Herramientas, garantizando así calidad del equipo y un adecuado respaldo comercial.

7.4.6 Filtración

Para el diseño del sistema de filtración, se propone dos secciones de filtración; primero un mecanismo que retiene las primeras aguas, las cuales transportan la mayor parte de los sedimentos presentes. Estas aguas son dirigidas a un elemento cilíndrico que se encuentra cerrado en su extremo, lo que permite retener tanto el fluido como sus partículas. A través de un sistema de

rebose, el líquido es canalizado hacia la caja de filtración y, posteriormente, al tanque subterráneo. Se contempla la instalación de dos filtros Rotoplas dispuestos en serie dentro de la caja de inspección, garantizando así la filtración de partículas de tamaño igual o superior a 50 micras.

Figura 7 *Filtro de sedimentos rotoplas.*



Nota. Adaptado de: Ficha técnica filtro Rotoplas

Se escoge este filtro de captación de sólidos al realizar un análisis del volumen de sólidos totales existentes en la muestra de agua más crítica del estudio la cual nos indica la presencia una carga de 29.2 miligramos de sólidos por litro es decir que al lograr el llenado total del tanque de almacenamiento de 5m³ se retendrán 146 gramos de sólidos totales de los cuales un gran porcentaje se almacena en el sistema de captación de las primeras aguas y el porcentaje restante con diámetro igual o mayor a 50 micras será retenido por el filtro de sedimentos Rotoplas. La razón principal para escoger este tipo de filtración se da por la pequeña carga de sólidos existente en el agua captada.

Para garantizar una filtración más eficiente se propone la instalación de dos filtros en serie con el objetivo de lograr una doble filtración que mejore la calidad del fluido; dado que el primer filtro en la línea captará la mayoría de las partículas mientras el segundo será de respaldo en caso de deficiencias en la filtración del primer elemento. Es necesario realizar un lavado mensual de este filtro. El reemplazo del cartucho del primer filtro se llevará a cabo cada tres meses, mientras que el segundo filtro, al retener una menor cantidad de partículas, se lavará según la percepción de suciedad del usuario. Asimismo, el cambio del cartucho del segundo filtro también se realizará cada tres meses, de acuerdo con lo indicado por el fabricante.

7.5 Presupuesto

El análisis del presupuesto es el factor principal en el desarrollo del aprovechamiento de las aguas lluvias en casas residenciales ya que este nos permite establecer los límites financieros de los gastos necesarios para el desarrollo del proyecto. Se realizó el presupuesto del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias teniendo en cuenta los ítems de actividades previas, instalación de redes y accesorios sanitarios, ubicación de puntos hidráulicos, instalación de bajantes y canales, disposición de electrobombas y construcción del tanque subterráneo

7.5.1 Presupuesto casa de dos aguas

En el presupuesto de la vivienda de dos aguas, se consideraron desde los procesos de medición de las características de la vivienda hasta la instalación de los puntos de abastecimiento en las distintas áreas de la vivienda. Se realiza el análisis cuantitativo de los gastos que se generan en un sistema de abastecimiento de agua como son la captación, la aducción, el almacenamiento y la red de distribución interna del sistema en la vivienda. En el cálculo del presupuesto de los costos totales teniendo en cuenta todas las actividades sin tener en cuenta las redes existentes se encontró un costo total de \$10.707.110 m/cte, asumiendo administración del 28%, imprevistos del 1% y utilidad del 5%. Los AIU se aplican el porcentaje respecto al valor neto de la obra, es decir que en el valor total de la obra no representa el porcentaje descrito anteriormente del total del sistema

El gasto más representativo es el del tanque de almacenamiento subterráneo ya que este representa el 31% del valor total del diseño, este elemento es de alto costo comparándolo con los demás elementos del sistema ya que este compuesto por excavación, amarre de acero, fundición de concreto de 21 Mpa impermeabilizado, armado de tapa, revoque de muros, instalación de flotadores y adaptación paralela del sistema de filtración. En caso de que la vivienda cuente con el tanque subterráneo solo es necesario realizar la caja de inspección necesaria para ubicar el sistema de filtración, esta se ubica en la parte posterior a la entrada de agua del tanque subterráneo; allí se ubican los dos filtros Rotoplas que realizarán la extracción de las partículas de sedimentos presentes en el agua.

Para realizar un óptimo sistema de distribución del agua esta se debe almacenar en un tanque elevado que nos permite cumplir con los metros columna de agua en el punto más crítico de la vivienda, en este caso el punto de mayor atención es la ducha más lejana a la línea de

abastecimiento que baja del tanque elevado. En el sistema este elemento representa el 8% del valor del sistema, esto equivale a \$818.389 m/cte., en este se incluye el tanque en polietileno más los accesorios necesarios para la instalación además del flotador.

En la distribución del fluido en los diferentes puntos sanitarios de la vivienda se diseña una red que suministra a las diferentes zonas de la vivienda que representa el 7% total del presupuesto total equivalente a \$790.800 m cte . en el presupuesto de esa etapa no se incluye las llaves en las que se entrega el fluido al usuario. Los diferentes puntos hidráulicos tienen un valor de \$762.416 m/cte equivalentes a 14 puntos y representan el 7.12% del valor del sistema

Como ultimo gasto en el diseño del sistema se plantea una electrobomba de 1 hp, esta nos permite cumplir con la potencia necesaria en succión e impulsión, esta bomba supera bastante los parámetros nombrados anteriormente, pero se escoge debido a que técnicamente es la bomba de menor potencia que cumple con los requisitos

A continuación, se presenta el desglose general de las diferentes etapas con su valor y porcentaje

Tabla 18. *Detalle de presupuesto vivienda de dos aguas*

ELEMENTO	VALOR	PORCENTAJE
Actividades previas	\$103.571	0.97%
Bajantes y canales	\$1.259.379	11.76%
Tanque subterráneo	\$3.298.915	30.81%
Sistema de bombeo	\$956.889	8.94%
Tanque elevado	\$818.389	7.64%
Red de distribución	\$790.823	7.39%
Puntos hidráulicos	\$762.416	7.12%
AIU	\$2.716.730	25.37%
TOTAL	\$10.707.150	100%

7.6.2 Presupuesto casa de cuatro aguas

En el cálculo del presupuesto de la vivienda de 4 aguas, se encontró un incremento en el presupuesto ya que esta aumenta los metros de canales necesarias para direccionar el fluido hacia el tanque subterráneo, también se presenta una reducción de los puntos hidráulicos por lo que se presenta diferencias en este ítem respecto a la vivienda de dos aguas.

Los gastos tienen el mismo comportamiento en el sistema, sigue siendo el tanque subterráneo el ítem de mayor costo y los demás ítems se mantienen en valores cercanos a la

vivienda de dos aguas. A continuación, se detalla los gastos en la siguiente tabla:

Tabla 19 *Detalle de presupuesto de la vivienda de cuatro aguas*

ELEMENTO	VALOR	PORCENTAJE
Actividades previas	\$103.571	0.72%
Bajantes y canales	\$2.502.728	17.39%
Tanque subterráneo	\$3.575.742	24.85%
Sistema de bombeo	\$956.889	6.65%
Tanque elevado	\$857.095	5.96%
Red de distribución	\$2.198.994	15.28%
Puntos hidráulicos	\$544.583	3.78%
Administración, imprevistos y utilidades	\$3.651.465	25.37%
TOTAL	\$14.391.100	100%

La vivienda de 4 aguas presenta incremento en el valor de la de distribución ya que los puntos hidráulicos están distribuidos en diferentes puntos de la vivienda mientras que en la vivienda de dos aguas se concentran en un costado de esta. Para mayor visualización se puede dirigir al anexo1 y anexo 2

7.7 Periodo de recuperación

El periodo de recuperación se refiere al tiempo en el que se va a librar el dinero de la inversión total en el diseño de sistema de aprovechamiento. Es importante establecer este concepto ya que nos permite establecer si el proyecto es viable técnicamente para su desarrollo.

Se realizó la proyección del índice de precios al consumidor (IPC) teniendo en cuenta los datos que se encuentran en el DANE desde el año 1993, esto se realiza porque los servicios públicos presentan un incremento anual basado en el aumento del IPC del año inmediatamente anterior.

Una vez realizado el análisis de los datos, se encontró que en promedio el IPC aumentaría un 8.23% cada año por lo que el valor del metro cubico y cargo fijo se proyecta con este incremento anual

Figura 8 Comportamiento histórico del salario mínimo vs el IPC

7.7.1 Periodo de recuperación para casa de dos aguas

La vivienda con cubierta de dos aguas presenta un consumo promedio de 9.71 m^3 por mes y el valor del precio del metro cúbico en el año 2025 para el estrato 3 es de \$2920.14 y el cargo fijo es de \$7627.65, una vez establecidas las bases para realizar la proyección se encontró que el periodo de recuperación se da en 13 años 6 meses si y solo si se presenta suficiente recurso todos los meses del año. Como las condiciones presentes en la vivienda no brindan recursos todos los meses del año es necesario excluir los meses en que las lluvias no son suficientes para el suministro del fluido; según la información de precipitación histórica disponible en el IDEAM se encuentra que los meses de enero y febrero las lluvias no aportan el fluido suficiente para abastecer a la vivienda, debido a esto cada año aporta 10 meses óptimos para el abastecimiento de agua. Los datos nombrados anteriormente se pueden visualizar en el anexo 8. Son necesarios 162 meses con lluvias que aporten un volumen mayor a 9.71 m^3 por lo que en tiempo calendario el periodo de recuperación se presenta en 16 años y dos meses.

Tabla 20. Proyección de servicio de acueducto para vivienda de dos aguas

PROYECCIÓN DE GASTOS DE ACUEDUCTO SEGÚN INCREMENTO DE IPC					
AÑO	PRECIO UNITARIO (\$)	CARGO FIJO (\$)	GASTO MENSUAL (\$)	GASTO ANUAL (\$)	GASTO ACUMULADO (\$)
2026	3.160,43	8.255,31	38.956,64	467.479,68	467.479,68
2027	3.420,49	8.934,62	42.162,28	505.947,42	973.427,10

PROYECCIÓN DE GASTOS DE ACUEDUCTO SEGÚN INCREMENTO DE IPC					
AÑO	PRECIO UNITARIO (\$)	CARGO FIJO (\$)	GASTO MENSUAL (\$)	GASTO ANUAL (\$)	GASTO ACUMULADO (\$)
2028	3.701,96	9.669,83	45.631,71	547.580,56	1.521.007,66
2029	4.006,58	10.465,53	49.386,63	592.639,60	2.113.647,26
2030	4.336,28	11.326,71	53.450,54	641.406,43	2.755.053,69
2031	4.693,10	12.258,76	57.848,85	694.186,16	3.449.239,86
2032	5.079,28	13.267,50	62.609,08	751.309,01	4.200.548,86
2033	5.497,24	14.359,25	67.761,03	813.132,35	5.013.681,21
2034	5.949,60	15.540,84	73.336,91	880.042,97	5.893.724,18
2035	6.439,17	16.819,66	79.371,63	952.459,51	6.846.183,69
2036	6.969,04	18.203,71	85.902,92	1.030.835,02	7.877.018,72
2037	7.542,50	19.701,64	92.971,65	1.115.659,86	8.992.678,58
2038	8.163,15	21.322,84	100.622,06	1.207.464,72	10.200.143,30
2039	8.834,88	23.077,45	108.902,00	1.306.823,97	11.506.967,27

7.7.2 Periodo de recuperación para casa de cuatro aguas

La vivienda con cubierta a cuatro aguas, clasificada bajo el estrato 2 en el recibo de acueducto de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio, presenta un consumo promedio de 21.71 m³ por mes. El precio por metro cúbico es de \$2,507.01, además de un cargo fijo de \$7,861.06.

El periodo de retorno se establece en 140 meses. Es importante considerar que, durante los meses de diciembre, enero y febrero, el suministro de agua no supera el consumo promedio de 21.71 m³, lo que resulta insuficiente para abastecer la vivienda. Según la información de precipitación histórica presentada en el Anexo 7, el mes de diciembre contribuye con el 93% del agua necesaria para cubrir los 30 días del mes. Esto implica que, anualmente, se proporciona 9.8 meses óptimos de abastecimiento para la vivienda. Por lo tanto, el periodo de retorno se extiende a 14 años y 2 meses calendario.

Tabla 21. Proyección de gastos en acueducto vivienda de 4 aguas

PROYECCIÓN PRECIO METRO CUBICO SEGÚN INCREMENTO DE IPC					
AÑO	PRECIO UNITARIO (\$)	CARGO FIJO (\$)	GASTO MENSUAL (\$)	GASTO ANUAL (\$)	GASTO ACUMULADO (\$)
2026	2.713,31	8.507,93	67.425,42	809.105,04	809.105,04
2027	2.936,58	9.208,02	72.973,69	875.684,27	1.684.789,30

PROYECCIÓN PRECIO METRO CUBICO SEGÚN INCREMENTO DE IPC					
AÑO	PRECIO UNITARIO (\$)	CARGO FIJO (\$)	GASTO MENSUAL (\$)	GASTO ANUAL (\$)	GASTO ACUMULADO (\$)
2028	3.178,22	9.965,73	78.978,51	947.742,14	2.632.531,44
2029	3.439,75	10.785,78	85.477,46	1.025.729,47	3.658.260,91
2030	3.722,80	11.673,32	92.511,18	1.110.134,18	4.768.395,09
2031	4.029,14	12.633,89	100.123,70	1.201.484,35	5.969.879,43
2032	4.360,68	13.673,50	108.362,62	1.300.351,49	7.270.230,92
2033	4.719,51	14.798,66	117.279,51	1.407.354,16	8.677.585,09
2034	5.107,87	16.016,40	126.930,15	1.523.161,82	10.200.746,91
2035	5.528,18	17.334,35	137.374,92	1.648.499,00	11.849.245,90
2036	5.983,08	18.760,75	148.679,15	1.784.149,86	13.633.395,76
2037	6.475,42	20.304,52	160.913,59	1.930.963,09	15.564.358,85
2038	7.008,26	21.975,33	174.154,77	2.089.857,22	17.654.216,07

7.8 desinfección

Se plantea una desinfección administrada mediante un dosificador de boya flotante que permite administrar la cantidad de cloro necesario para tratar la capacidad máxima del tanque de almacenamiento subterráneo. Se escoge este método debido a que el suministro de agua está sujeto a los días de lluvia presente en la zona, es decir, el suministro no es constante, por lo que la administración automática mediante goteo no es apta porque esta se realiza en función al caudal que ingresa constantemente al sistema.

Para determinar la cantidad de hipoclorito se procede a realizar el cálculo mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 9 Ecuación para determinar dosificación de hipoclorito

$$P = \frac{C * V}{10(\%Cl)} \quad (9)$$

Donde C corresponde a la concentración aplicada (mg/L), V al volumen del agua a tratar y %Cl al porcentaje de concentración de hipoclorito que se aplicara.

Teniendo en cuenta que el volumen del tanque subterráneo es el mismo para las dos viviendas el resultado de la dosificación también es el mismo para cada vivienda, las diferencias viviendas se dan en el intervalo de la aplicación, ya que la administración de hipoclorito va en función al consumo

$$P = \frac{2mg/l * 5m^3}{10 * (70)}$$

$$P = 0.0143Kg = 14.3gr$$

Para tratar los 5 metros cúbicos de capacidad del tanque subterráneo se requiere 14,3gr, los cuales serán aplicados en una boya flotante que administrara el desinfectante mediante contacto directo con el agua, este elemento permite que el hipoclorito se desintegre y disperse de manera homogénea en toda el agua existente en el subterráneo.

La aplicación del hipoclorito granulado será realizada por una persona que habite en la vivienda, esta almacenará la cantidad necesaria en la boya y posteriormente se arrojará sobre la lámina de agua del tanque subterráneo. Es importante realizar la dosificación indicada para el diseño ya que esta es la garantía de un buen tratamiento del agua

7.8.1 Frecuencia de aplicación de desinfectante en casa de dos aguas

Para la aplicación del desinfectante, se parte un consumo promedio de 9.71 m³, lo que equivale a 1.94 tanques al mes. Por lo tanto, se procede a realizar la dosificación mensual para dos tanques. Esta cantidad no altera los niveles máximos de cloro, ya que durante el traslado hacia el tanque elevado y a través de las redes de distribución se producen pérdidas de cloro residual libre.

Para asegurar una distribución más equilibrada del cloro a lo largo del mes, se aplicará el desinfectante cada 15 días. En cada aplicación, se utilizarán 14.3 gramos, repitiendo este proceso nuevamente cada 15 días.

7.8.2 Frecuencia de aplicación de desinfectante en casa de cuatro aguas

La vivienda con cubierta de 4 aguas presenta un consumo promedio de 21.71 m³ lo que equivale a 4.35 tanques durante el mes por lo que la cantidad de hipoclorito requerido durante el mes es de 62.4 gramos. Se recomienda realizar dos aplicaciones durante el mes para que haya uniformidad en la distribución de la cantidad de hipoclorito en el agua, esto nos indica la administración de 31.2 gramos cada 15 días y con esa periodicidad se mantiene la administración de desinfectante

Conclusiones

El desarrollo del proyecto permitió comprobar que la captación y aprovechamiento de aguas lluvias constituye una alternativa técnica viable, sostenible y funcional para viviendas unifamiliares en la ciudad de Villavicencio, especialmente en zonas con déficit o intermitencia del servicio de acueducto. El diseño del sistema permite funcionar de manera alterna al sistema de abastecimiento del acueducto y ayuda a reducir el consumo en el sistema público.

Los diseños planteados para cubiertas a dos y cuatro aguas evidenciaron que el área de captación y la intensidad de lluvia son variables determinantes en el caudal obtenido, siendo la vivienda de cuatro aguas la más eficiente para la captación por sus dimensiones de la cubierta. Así mismo, el estudio demostró que las metodologías de cálculo empleadas (método racional, teorías de dimensionamiento de tanques y pérdidas de fricción en red) son aplicables en los dos tipos de viviendas unifamiliares escogidas bien sea dentro del casco urbano o rural, contando con diferentes condiciones arquitectónicas de cubiertas.

Desde el punto de vista de la calidad del agua, los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos permitieron establecer que el agua lluvia captada requiere filtración y desinfección antes de ser utilizada. No obstante, los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos que permiten su uso doméstico no potable, confirmando que, con el tratamiento adecuado, es posible reducir el consumo de agua potable en actividades como lavado general, riego y descarga sanitaria, aportando eficiencia y ahorro dentro del hogar.

El análisis del periodo de recuperación económica permitió evidenciar que la implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias representa una inversión sostenible a mediano plazo, cuyos beneficios superan progresivamente los costos iniciales de instalación. De acuerdo con las proyecciones realizadas considerando el incremento histórico del IPC, se determinó que el retorno de la inversión se logra en aproximadamente 16 años y 2 meses para viviendas de cubierta a dos aguas y 14 años y 2 meses para vivienda de cuatro aguas, tiempos que resultan razonables y competitivos frente a la vida útil estimada de los componentes hidráulicos del sistema. Estos resultados validan la viabilidad técnica y económica del proyecto, reafirmando su potencial como alternativa real de ahorro y gestión eficiente del recurso hídrico en zonas residenciales de Villavicencio.

Desde el punto de vista operativo, el proceso de desinfección mediante hipoclorito de sodio

demuestra ser una solución práctica, segura y de bajo costo para el tratamiento del agua captada. El método de dosificación con boya flotante garantiza una adecuada dispersión del cloro en el tanque de almacenamiento, logrando mantener concentraciones efectivas de desinfección sin generar impactos negativos en la calidad del agua. Este procedimiento se ajusta a las recomendaciones del RAS 2010 y a la Resolución 2115 de 2007, lo que refuerza la pertinencia técnica y normativa del diseño.

En el componente educativo e ingenieril, el proyecto fortaleció la apropiación de conceptos técnicos y el uso de herramientas de diseño hidráulico basadas en datos reales, orientadas a la sostenibilidad del recurso hídrico. Este ejercicio evidencia el papel del ingeniero civil generando soluciones de primer nivel y realizando aportes al medio ambiente, contribuyendo al uso responsable del agua y a la mitigación de problemáticas urbanas asociadas a su manejo.

Finalmente, se concluye que el sistema propuesto es replicable en diferentes sectores del municipio y del país, constituyéndose en una alternativa complementaria a los sistemas convencionales de suministro. Su correcta implementación disminuye costos familiares, reduce la presión sobre fuentes de abastecimiento y promueve una cultura de aprovechamiento del recurso hídrico acorde con los principios de desarrollo sostenible.

Recomendaciones

Realizar limpieza preventiva y/o correctiva del estado de las canales con el fin de buscar obstrucciones en las salidas o elementos que obstaculicen el óptimo desplazamiento del fluido en el canal, también es necesarios realizar una inspección visual en las bajantes que nos permite establecer posibles grietas o perdidas del agua captada; estas medidas son recomendadas realizarlas cada tres meses calendario o cada mes si el usuario lo considera por la cercanía de factores externos tales como cercanía a arboles o exceso en corrientes de vientos que puedan trasladar elementos solidos a los techos

Para los filtros ubicados en las cajas de inspección de fácil acceso se recomienda realizar un lavado con una frecuencia mensual, esto con el fin de realizar un limpieza y extracción de las partículas atrapadas en las cortinas internas del mismo, además se recomienda realizar el cambio de los cartuchos cada 6 meses o según consideración del usuario basados en una inspección visual que permite establecer el desgaste del elemento

Realizar limpieza del sistema de captación de las primeras aguas el cual permite realizar las tareas del desarenador en un sistema de acueducto, es importante realizar un vaciado con un intervalo de tiempo mínimo de tres meses

Aplicación de hipoclorito. Aplicar la dosis recomendada de los titulo 9.8.1 y 9.8.2 para viviendas de dos y cuatro aguas respectivamente; dividir esa dosificación mensual en dos aplicaciones así mismo será aplicada cada 15 días.

Referencias Bibliográficas

- Acosta Martínez, J. D., & Peláez Marín, R. (2016). Diseño de tanques automatizados para la reserva de aguas lluvias. *[Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio Institucional*. <https://hdl.handle.net/11059/6949>
- Alcaldia del Municipio de Villavicencio. (2020). *Plan de desarrollo Villavicencio "Cambia contigo" 2020-2023*. Planeación Villavicencio;: <http://historico.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/ProgramadeGobierno/Plan%20de%20Desarrollo%20Villavicencio%20Cambia%20Contigo%202020%20-%202023.pdf>
- Aquae Fundación. (2016). *¿Cómo se usa el agua en el hogar?* <https://www.fundacionaquae.org/como-utilizamos-el-agua-en-nuestras-casas/>
- Arumi, J. L., Jara, J., & Salgado, L. (s.f). *Análisis hidrológico*. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/f8ca80eb-c907-44c2-a4a8-7a4a307d83d3/content#:~:text=Se%20entiende%20por%20an%C3%A1lisis%20hidrol%C3%B3gico,determinar%20los%20recursos%20h%C3%ADdricos%20disponibles.>
- Avila-Rojas, J. D., & Villanueva-Montealegre, M. A. (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 Institucional*. <https://hdl.handle.net/10983/24923>
- Carvajal Restrepo, E. (17 de octubre| de 2017). La razón por la que Colombia es el país más lluvioso del mundo. *Diario El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/medio-ambiente/pais-del-mundo-donde-mas-llueve-XD7511550>
- Climate-data. (s.f). *Clima Villavicencio (Colombia)*. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/meta/villavicencio-5327/>
- Contreras López, B. C., & Orjuela Bayona, J. F. (2023). Diagnóstico de la prestación del servicio de acueducto en el sector del Barzal de la ciudad de Villavicencio, Meta. *[Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional*. <http://hdl.handle.net/11349/38441>
- Correa Assmus, G. (2022). Disponibilidad, acceso y calidad del agua: una reflexión socioambiental para Colombia. *Revista de la Universidad de La Salle*, 1(87), 151-166. <https://doi.org/10.19052/ruls.vol1.iss87.8>

- Correa Avendaño, G. (2019). Importancia de incluir las aguas lluvias como abastecimiento de redes hidrosanitarias, en las normas y documentos de estudio y diseño del país. *[Ensayo académico, Instituto Universitario Colegio Mayor de Antioquia]*. Repositorio Institucional. https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/10/315_gustavo_correaaguas_lluvia.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Duran Escamilla, P., Herrera Monroy, L., & Guido Aldana, P. (2010). Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA10). <http://www.conama10.vsf.es/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>
- Ingeominas. (2003). *Zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masas del municipio de Villavicencio*. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B2/11003010002668/documento/Nativos/convenio%20012/otros/fase%202%20vol%201.pdf>
- Lopez Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Escuela colombiana de ingeniería.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (22 de junio de 2017). Resolución 2115 de 2007. *Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio de Colombia. (8 de junio de 2017). Resolución No.330 de 2017. *Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia experiencias en América Latina*. <https://www.fao.org/4/ai128s/ai128s00.pdf>
- Quima. (2020). *¿Cuál es la Función de las Mallas para Filtros?*

<https://quima.com/blogs/blog/mallas-para-filtros-en-linea-e-hidraulicos>

Unicef. (18 de Junio de 2019). *1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso a agua potable.*

<https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/1-de-cada-3-personas-en-el-mundo-no-tiene-acceso-a-agua-potable>

Anexos

Anexo 1 Plano vivienda de dos aguas

Anexo 2 Plano vivienda de 4 aguas

Anexo 3 Resultados muestra de agua con techo sucio

Anexo 4 Resultados de muestra de agua con techo limpio

Anexo 5 Presupuesto de vivienda de dos aguas

Anexo 6 Presupuesto de vivienda de 4 aguas

Anexo 7 Precipitación y análisis estación base aérea Apiay

Anexo 8 Precipitación y análisis estación aeropuerto vanguardia

Anexo 9 Diseño de elementos y consumos

Anexo 10 Consumo y periodo de recuperación vivienda dos aguas

Anexo 11 Consumo y periodo de recuperación vivienda cuatro aguas