

Diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para una vivienda de estudio como solución ante la inexistencia del servicio prestado en el barrio La Gaviota de la ciudad de Ibagué, Tolima.

Laura Victoria Huertas Botache

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Ibagué

2021

Diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para una vivienda de estudio como solución ante la inexistencia del servicio prestado en el barrio La Gaviota de la ciudad de Ibagué, Tolima.

Laura Victoria Huertas Botache

Trabajo para optar al título de Ingeniera Ambiental

Director:

Carlos Guillermo Mesa Mejía

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Ibagué

2021

Página de Aceptación

Carlos Guillermo Mesa Mejía

Director Trabajo de Grado

Jurado

Ibagué-2021

Dedicatoria

A mis sueños, y a mi lealtad para seguirlos.

Agradecimientos

A Dios, a mi familia, mi pareja, mis padres y hermanos. También a mi familia que me cuida desde el cielo y la universidad que me ha dado las herramientas necesarias para mi crecimiento profesional.

Resumen

Este trabajo aplicado propone el diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para una vivienda de estudio en el barrio la Gaviota de Ibagué-Tolima en busca de mejorar la fuente de abastecimiento inviable de la que actualmente se abastece la vivienda. Se busca suplir las necesidades esenciales para uso potable tales como, cocinar, beber, lavado de dientes, lavado de manos, afeitarse, y actividades domesticas como lavado de ropas, lavado de casa, riego de plantas y uso del inodoro.

Inicialmente se determinó la oferta y demanda del recurso, después se caracterizó el agua pluvial para luego, una vez realizados los cálculos correspondientes y haciendo uso del software SketchUp realizar el diseño del sistema. Finalmente se estimó los costos de su implementación evaluando la viabilidad de llevar a cabo el mismo. Se concluye que se requiere de inversión inicial de \$ 3'799.677. para lograr el abastecimiento del 82 % de las actividades realizadas en el hogar que demandan agua.

Palabras claves: Aprovechamiento, Agua, lluvia, diseño, costos.

Abstract

This applied work proposes the design of a rainwater harvesting system for a study house in the La Gaviota neighborhood of Ibagué-Tolima in search of improving the unviable supply source from which they currently feed. It seeks to meet the essential needs for potable use such as cooking, drinking, tooth washing, hand washing, shaving, and domestic activities such as washing clothes, washing the house, watering plants and use of the toilet.

Initially, the supply and demand of the resource was determined, then the rainwater was characterized and then, once the corresponding calculations had been made and using the SketchUp software, the design of the system was carried out and finally the costs of its implementation were estimated evaluating the feasibility of carry out the same. It is concluded that an initial investment of \$ 3'799.677. is required to supply 82% of the activities carried out at home that require water.

Keywords: Use, water, rain, desing, costs.

Tabla de contenido

Introducción	13
Problema.....	15
Descripción del Problema.....	15
Planteamiento del Problema	16
Sistematización del Problema.....	17
Justificación.....	18
Objetivos	23
Objetivo general	23
Objetivos específicos.....	23
Marco de Referencia	24
Marco Conceptual.....	24
Marco Teórico	29
Marco Normativo	31
Metodología	34
Tipo de investigación.....	34
Alcance de la investigación	34
Población Objetivo	34
Vivienda de estudio	36
Proceso Metodológico	37
Diagnóstico.....	38
Oferta de Agua Pluvial	38
Área y Caracterización de la cubierta.....	42
Demanda	46

Caracterización del agua lluvia.....	48
Cálculos para el diseño del sistema.....	51
Cálculo del caudal del diseño	51
Canaletas y Bajantes	53
Interceptor de primeras aguas.....	55
Tanque de almacenamiento	55
Bombas manuales comerciales.....	57
Tanque para el consumo diario.....	58
Filtración.....	58
Desinfección	59
Diseño del Sistema	60
Mantenimiento al sistema.....	¡Error! Marcador no definido.
Presupuesto para la realización del sistema	64
Conclusiones	66
Recomendaciones.....	67
Referencias Bibliográficas	68

Lista de tablas

Tabla 1. Leyes y decretos relacionados con el agua.	32
Tabla 2. Comportamiento promedio de las Estaciones Pluviométricas en la ciudad de Ibagué. ...	38
Tabla 3. Coeficientes de escorrentía.	44
Tabla 4. Abastecimiento de agua lluvia esperado en la vivienda de estudio.	45
Tabla 5. Consumo de agua aproximado en la vivienda.....	47
Tabla 6. Resultados del análisis de la muestra de laboratorio.....	49
Tabla 7. Dosificación para la cloración del agua.	50
Tabla 8. Periodo de retorno de áreas de Drenaje.....	53
Tabla 9. Dimensionamiento de desagüe de agua lluvias.....	53
Tabla 10. Calculo del Tanque de almacenamiento.	56
Tabla 11. Tabla comparativa de las diferentes bombas manuales comerciales.	57
Tabla 12. Cantidades de tubería, canaletas y bajantes a usar en la propuesta.....	63
Tabla 13. Presupuesto para la realización del sistema de agua lluvia.	65

Lista de figuras

Figura 1. Sistema de Captación de Agua Lluvia	28
Figura 2. Localización de la comuna 6.	35
Figura 3. Ubicación de la vivienda de estudio.	36
Figura 4. Proceso Metodológico.	38
Figura 5. Proyección de Precipitación para el 2022 en la ciudad de Ibagué.....	40
Figura 6. Alteraciones en las temporadas climáticas de Ibagué.....	40
Figura 7. Precipitación para el 2022 en la ciudad de Ibagué.....	42
Figura 8. Esquema de la vivienda de estudio.	44
Figura 9. Curvas IDF- Estación la esmeralda.	52
Figura 10. Canaleta elegida para el sistema de recolección de aguas lluvias.	54
Figura 11. Purificador de agua de 14 L.....	59
Figura 12. Diseño del sistema de recolección de agua lluvia, Vista 1.	61
Figura 13. Diseño de Recolección de agua lluvia, Vista 2.....	62

Lista de anexos

Anexo 1. Análisis de Muestra74

Introducción

Tres cuartas partes de la superficie del planeta tierra es agua, sin embargo, el 97,73% corresponde al agua salada la cual se encuentra en los océanos y mares, un 2,055% son aquellos casquetes polares y glaciares que mayormente se ubican en los polos del planeta, y finalmente 0,015% es esa agua dulce que se representa por medio de los ríos y arroyos de nuestro planeta (Cisneros, G. 2019).

Gracias al ciclo hidrológico del agua, esta se ha venido preservando en el planeta como base para el mantenimiento de sus ecosistemas y como pretexto para el nacimiento de la vida humana y otras más de 126.000 especies de peces, reptiles, moluscos, plantas, insectos y mamíferos que habitan en diferentes ríos, lagos y humedales de nuestro planeta (Garay, C. 2018).

Pese al pequeño porcentaje de agua dulce que nos abastece, ilógicamente los humanos venimos afectando directamente los ecosistemas, transformando la calidad del agua y usando de manera desproporcional la misma, lo cual no ha llevado a situaciones críticas severas el rededor del mundo. Según el Objetivo numero seis de los Objetivos de Desarrollo Sostenible expone que la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial para lo cual se han establecido diferentes metas que buscan garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (ONU, 2015).

Ante esta panorámica, y desde el ámbito de la Ingeniería Ambiental el presente trabajo busca proponer una alternativa de abastecimiento de agua lluvia para una vivienda que actualmente se sule a partir de la microcuenca la Tusa, una fuente de agua sin tratamiento previo ubicada en el barrio La Gaviota de la ciudad de Ibagué, Tolima.

Inicialmente, este trabajo investiga el volumen de agua lluvia ofertado en la ciudad por medio de diferentes bases de datos e información inicial los datos son filtrados, analizados y graficados buscando que sean de fácil entendimiento para el lector, se obtienen interesantes hallazgos sobre el cambio en el comportamiento de las precipitaciones en la ciudad, sus posibles causas y consecuencias.

Posteriormente se realizó una visita de campo al barrio La Gaviota de la ciudad de Ibagué con el ánimo de conocer la demanda de agua requerida en el hogar y las diferentes actividades en las que se requiere. Una vez contada con la oferta y demanda del recurso, se procedió a realizar una toma de agua lluvia la cual una vez analizada por el Laboratorio de Salud del Tolima arrojó presencia de Coliformes Totales y ausencia de cloro como parámetros inaceptables según lo establecido en la resolución 2115 del 2007.

Seguidamente y por medio de una nueva visita a la vivienda de estudio se realizó la toma de medidas, las cuales junto con la precipitación promedio mensual, las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias y el coeficiente de escorrentía permitieron el cálculo de las medidas adecuadas para la realización del sistema.

Una vez contado con las medidas apropiadas, haciendo uso del software SketchUp se realizó el diseño del sistema de recolección de aguas lluvias para la vivienda de estudio y finalmente su respectivo presupuesto.

Como Resultado final de esta propuesta, se concluyó que su implementación tiene un costo de \$3'799.677 como alternativa para uso potable, se espera que este sistema sirva como base para llevar a cabo posteriormente la implementación del mismo y que permita en otros escenarios, incentivar su realización adaptando los procedimientos realizados.

Problema

La disponibilidad de agua representa uno de los mayores retos globales de sostenibilidad, las inadecuadas prácticas de la gestión del agua junto con los problemas medioambientales han venido proporcionando un problema crítico a nivel mundial, la escasez del agua.

Descripción del Problema

Según el Estudio Nacional de Agua (Ideam, 2018), revela la situación crítica de la zona Magdalena-Cauca y Caribe dado a la alta presión que esta genera en la oferta de agua disponible de los recursos lenticos de agua. El estudio confirma que la intensificación de actividades agrícolas y ganaderas entre el 2014 y 2018 ha dado pie para que el Índice del Uso de Agua en condiciones hidrológicas promedio y extremos secos hayan aumentado la presión generada al día de hoy y por ende dificulten el desarrollo de la región de la mano del cuidado del recurso hídrico de la nación.

Este es el caso que actualmente se presenta en la ciudad de Ibagué, la cual, si bien no ha tenido desarrollo intenso en la actividades agrícolas y pecuarias, si ha venido incrementando su población lo cual ha llevado al índice de Uso de Agua a un nivel Muy Alto en años promedios y a nivel Muy Crítico en años secos (ENA, 2018).

Si bien es el rol de las entidades encargadas asegurar la prestación de los servicios públicos a tiempo, también le corresponde a la ciudadanía realizar un buen uso al servicio, pero lastimosamente ninguna de las dos partes está cumpliendo con su rol. La prestación del servicio de acueducto y alcantarillado en la ciudad de Ibagué, debido a la falta de gestión de las administraciones locales, regionales y presidenciales han sido el talón de Aquiles para que los inconvenientes en la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado se estén presentando desde hace más de 25 años (Ángel & Guerrero, 2017).

Planteamiento del Problema

En la actualidad, Acuagaviota es la empresa encargada de suministrar agua potable al barrio de estudio. En búsqueda de un mejor diagnóstico de la problemática el pasado 5 de febrero del 2021 se visitó el acueducto encargado de surtir la demanda de agua del lugar de estudio, allí Álvaro Montoya representante legal de la Junta Directiva Administradora Acueducto y Alcantarillado barrio la Gaviota afirmó que La microcuenca la Tusa no es una fuente viable para el abastecimiento de todos los habitantes del barrio la Gaviota por lo cual hoy día sus afiliados son conscientes de la problemática y por medio de diferentes documentos aceptan las intermitencias e irregularidades del servicio, adecuando a la par sus viviendas con diferentes tanques para el almacenamiento del agua (A. Montoya, comunicación personal, 2021).

Montoya expuso que suplir la demanda de 12072 suscriptores con tan solo 13,33 l/s es difícil en época de invierno (el servicio solo es prestado en los horarios respectivos), y prácticamente imposible en época de verano (A. Montoya, comunicación personal, 2021). Esta situación ha llevado a Acuagaviota en diferentes ocasiones a captar un volumen de agua no autorizado y a recibir, por ende, sanciones por parte de CORTOLIMA. Por tal motivo, el acueducto se ha visto en la obligación de cerrar completamente sus puertas a nuevos suscriptores y ha manifestado esta situación ante la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL en busca de soluciones ante este crítico panorama.

Concretamente, nuestra vivienda de estudio fue construida luego de cerrada las puertas del acueducto, así pues, a causa de la inexistencia de cobertura del servicio decidieron captar agua de manera fraudulenta de la microcuenca La Tusa con el fin de suplir sus necesidades domésticas, decisión que pone en riesgo la salud de todos en la vivienda debido a que según la Propuesta de meta de reducción de carga contaminante para el municipio de Ibagué, elaborado

por Cortolima el pasado 2018, más de 10 vertimientos se identificaron que afectan directamente las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de la microcuenca la Tusa.

Ante este complejo panorama, nos surge la siguiente pregunta base que permite el desarrollo del trabajo a presentar:

¿Existen sistemas alternativos independientes del acueducto que permitan suplir la demanda de agua en la vivienda de estudio ubicada en el barrio La Gaviota?

Sistematización del Problema

Con el fin de abordar la investigación paso a paso, se realizó un listado de sub preguntas ordenadas secuencialmente de manera que agrupen la información necesaria para contar con todo un acervo de datos y documentos que avalen lo realizado.

¿La oferta pluvial de la región tiene la capacidad de abastecer la demanda de agua presentada en la vivienda de estudio, si no es así, qué áreas del hogar puede llegar a abastecer?

¿En cuales áreas del hogar se puede llegar a hacer uso del agua lluvia a utilizar según su composición química?

¿Cuál sistema es el apropiado para realizar la Recolección de Agua lluvia?

¿Cuál será la inversión económica realizada para llevar a cabo el sistema propuesto?

Justificación

Preservar las cuencas hidrográficas saludables es de vital importancia para preservar la permanencia del ser humano en la tierra, ellas permiten almacenar, recolectar y filtrar el agua la cual finalmente brinda seguridad alimentaria, salud y bienestar a la vida que alberga el planeta tierra como lo indicó el último informe publicado por The Nature Conservancy Beyond the Source: The environmental, economic and community benefits of source water protection el pasado 2017.

Una de las razones más importantes que fundamentaron la realización de este documento es la brecha existente entre la riqueza hídrica con la que cuenta Colombia desdibujada por la baja accesibilidad a los colombianos. Soportado lo anterior bajo los siguientes enunciados.

Colombia ocupa el décimo séptimo lugar a nivel mundial en volumen de agua por unidad de superficie, la riqueza de sus páramos hace que esta nación se destaque en recursos hídricos, pues allí se albergan más de la mitad de los páramos del planeta, 37 ecosistemas que con solo ocupar el 0,05 % del territorio colombiano suministran el 70 % del recurso hídrico del país, agua que no solo representa del 44 % al 47 % de la nación, sino que además contribuye económicamente a su actividad pesquera y a la generación del 70 % de la energía de la nación (USAID, et al 2021).

Los paramos colombianos suministran 6 veces más agua que el promedio mundial de estos ecosistemas, con un caudal de 58 l/km² y haciendo partícipe al páramo más grande del mundo (páramo de Sumapaz) no es de extrañar que ríos como el Amazonas, Río Caquetá, Río Putumayo y el Rio Apaporis que atraviesan Colombia estén catalogados como algunos de los más largos del mundo (USAID, et al 2021).

De esta manera aclaramos que, si bien Colombia posee actualmente riqueza hídrica tanto en agua lluvia como en aguas superficiales y glaciares, la accesibilidad a ella con la que cuentan

los colombianos no es muy favorable, principalmente debido a que la disponibilidad per cápita varía a lo largo del país, por ejemplo, en la parte alta de la cuenca del río Magdalena cada habitante al año cuenta con una disponibilidad de 3.000 m³, y la disponibilidad para la zona hidrológica de la Guajira es cercana a 11.000 m³ /hab año, sin embargo, los niveles de prestación del servicio de abastecimiento de agua potable en La Guajira son más precarios y menos eficientes, dando como resultado un servicio deficiente (Domínguez, 2017).

Gran parte de los Ibaguerenses conoce las deficiencias que presenta usualmente servicio de acueducto y alcantarillado de Ibagué en época de invierno, paradójicamente los ciudadanos siempre se ven restringidos al acceso del agua en las temporadas de lluvia, situación que se presenta debido al precario sistema de acueducto en la ciudad. Dicha situación en particular incentivó el desarrollo del presente trabajo, la inactividad del sistema de acueducto en época de lluvia nos brinda una amplia posibilidad ante la solución de la situación presentada.

Considerar que solo tenemos una fuente hídrica confiable, nos ha llevado minimizar el abanico de soluciones que se presenta cuando los inconvenientes de la fuente hídrica empiezan a aparecer. Dichos inconvenientes presentados, por medio de una gestión adecuada y sistemas de abastecimiento eficaces permitirá dar pie a una solución, como lo es contar con diferentes alternativas para el abastecimiento del agua en los hogares. Para este caso de estudio se propone la oferta de agua lluvia, pero también puede llegar a ser viable en otras regiones los sistemas desalinizadores de agua marina, el agua subterránea, o el tratamiento de aguas residuales entre otras.

Cabe resaltar además que Colombia hace parte de una de las tres zonas del mundo que presentan remanentes de masas de hielo sin embargo, lastimosamente los efectos que ha traído consigo el cambio climático han sido evidentes en sus glaciares, para el año 1889 se describieron 13 montañas nevadas, poco más de un siglo después en el 2017 el reporte fue de 6 glaciares en

este orden de ideas, Colombia ha perdido el 92% de su área glacial, en 128 años pasó de un 374 km² de área glacial a un 37 km² perdiendo anualmente entre un 3 % y 5 % de su área (USAID, et al 2021).

Con base a lo anterior, inevitablemente una crisis por el agua se avecina permitiendo que la utilidad de este documento tome mayor importancia a medida que la crisis por el recurso aumente y parte de la población Ibaguereña necesite cada vez más una solución urgente. Cabe resaltar que también es importante un cambio radical de perspectiva por parte de los ciudadanos los cuales indudablemente también han sido causa en el desperdicio de agua, si bien el pago por la prestación del servicio ha sido por años la forma de retribución de recurso, cada día crecen más niños considerando la idea de un mundo mágico en donde el agua nace de los grifos de su vivienda y los desechos desaparecen una vez salen de casa.

Con una población indiferente debido a la ignorancia y desvinculación con el medio ambiente la racionalización de la civilización humana toma un papel importante ante la preservación de nuestra especie, sin la cooperación del cuidado del agua probablemente ningún sistema será suficiente para saciar completamente las necesidades desbocadas de la población, lo cual inevitablemente llevaría a la extinción de nuestra especie humana.

En este orden de ideas, uno de los principales criterios a trabajar a la hora de hablar el ahorro de agua es la mentalidad del cuidado del recurso en los hogares ibaguereños.

Erradicar con el desperdicio del agua es un trabajo difícil en esta época de consumo desmesurado, de acuerdo con el último informe suministrado por el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, pacto por la equidad, en donde establece que el 40 % del agua potable es desperdiciada en Colombia. Esto demuestra como la misma riqueza del recurso ha llevado a que actualmente no se le preste un uso adecuado a la misma y este se convierta en una de las principales problemáticas para la nación.

En adición a ello, uno de los beneficios que despliegan de la aplicación del presente trabajo a mayor escala es el desarrollo de ciudad. Ciertamente el crecimiento económico va de la mano de una buena prestación de servicios públicos, tanto las fábricas como los hogares requieren del agua en sus actividades, lamentablemente el desarrollo en las ciudades se viene dando acosta del deterioro ambiental acelerado, según USAID, et al 2021 las actividades agropecuarias y de ganadería extensiva han transformado el 16% del área de páramos de la nación. Junto al cambio climático, el ciclo del agua consecuentemente ha presentado transformaciones negativas en ríos, quebradas, lagunas, estaques, entre otras, perjudicando no solo a al desarrollo del país sino también a todo un ecosistema el cual de manera estrecha arriesga también la biodiversidad característica de la nación. Así pues, buscar un crecimiento sostenible implica un crecimiento activo en la protección de fuentes hídricas.

En otras palabras, la limitación del recurso hídrico en la ciudad puede llegar a limitar el crecimiento económico de la misma, un cambio en el uso del agua es fundamental para permitir que las industrias logren continuar creciendo y el desarrollo sostenible pueda reafirmarse en Ibagué.

La propuesta además se encuentra justificada en el ámbito de derechos humanos, según La Asamblea General de las Naciones Unidas, en el 2015 reconoció de manera explícita el Derecho Humano al Abastecimiento de Agua y al Saneamiento, afirmando así, que todas las personas tienen derecho a disponer de forma continua al agua aceptable, salubre, accesible, asequible para el uso personal y doméstico, apoyar e incentivar los recursos a los que tenemos derecho desde que nacemos también hace parte del desarrollo del presente trabajo.

Al mismo tiempo, ante la pandemia de la COVID-19 los retos son aún más descomunales, cumplir con las recomendaciones de los médicos y las autoridades se vuelve un reto imposible

cuando el agua y el jabón son los instrumentos vitales para evitar el contagio del coronavirus según los informes revelados por la Organización Mundial de la Salud, 2020.

Teniendo en cuenta el último Boletín de vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano publicado en 2020, el índice de riesgo de calidad de agua en Ibagué es de 41,2 % catalogando el agua como no apta para el consumo humano, debido a su probabilidad alta de que un agente o sustancia produzca o genere una alteración a la salud como consecuencia de una exposición al mismo (Instituto Nacional de Salud, 2020). Con la presente propuesta se busca eliminar dicho riesgo por medio del análisis de la muestra de agua lluvia y su posterior propuesta del tratamiento según los resultados encontrados en el agua.

Finalmente, el presente documento busca funcionar como guía de apoyo para posibles interesados de la ciudad de Ibagué, del barrio la Gaviota, o de los demás departamentos del país que cuenten con la misma problemática, que cuenten con un estudio previo de la disponibilidad de agua lluvia de la zona de estudio y el desarrollo de sistemas ingenieriles para la adecuada eficiencia del sistema.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema alternativo de recolección y aprovechamiento de agua lluvia para una vivienda en el barrio la Gaviota de Ibagué, Tolima, con el fin de aportar una solución ante el consumo de agua cruda por los habitantes.

Objetivos específicos

Diagnosticar la oferta hídrica del agua pluvial y la demanda de agua de uso doméstico para la vivienda de estudio.

Analizar la composición fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia en el municipio de Ibagué.

Diseñar un sistema alternativo de aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa para uso potable y no potable.

Estimar los costos económicos y su viabilidad para la implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para una vivienda ubicada en el barrio La Gaviota de Ibagué.

Marco de Referencia

Marco Conceptual

Sistema de suministro de agua para consumo humano: El decreto 1575 del 2007 en su apartado definiciones indica que son aquellas estructuras, equipos materiales, procesos, operaciones y recurso humano usado para los procesos necesarios que requiera el agua para ser potable, tales como la captación, aducción, pretratamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y distribución del agua.

Fuente de abastecimiento: Cuerpo de agua ya sea superficial o subterráneo utilizado para el aprovisionamiento de una población específica que requiera de su servicio (Decreto 1575 del 2007).

Precipitación: También llamada lluvia es aquel fenómeno meteorológico que indica la caída de agua en partículas líquidas o sólidas las cuales originan en las nubes y por medio de la gravedad dichas partículas logran atravesar la atmósfera y llegar al suelo, su cantidad esta dado por el volumen de agua lluvia que llegan al suelo a través en una determinada superficie en un tiempo límite (IDEAM, 2019).

Lluvia con cielo despejado: “Fenómeno de lluvia fina que cae de un cielo aparentemente claro, en el que las nubes se han disipado o han derivado” (IDEAM, 2019, p. 172).

Lluvia de barro: “Lluvia con partículas de arena o polvo que pueden tener su origen en regiones muy distantes” (IDEAM, 2019, p. 172).

Lluvia fuerte: “Lluvia con una tasa de acumulación que rebasa un determinado valor; por ejemplo, 7,6 mm h⁻¹” (IDEAM, 2019, p. 172).

Lluvia neta de la tormenta: “Parte de la lluvia, durante una tormenta, que llega a un cauce como flujo directo en superficie” (IDEAM, 2019, p. 172).

Lluvias equinocciales: “Lluvias que caen con regularidad en muchas regiones ecuatoriales durante los equinoccios o poco después” (IDEAM, 2019, p. 172).

Llovizna: “Precipitación bastante uniforme compuesta exclusivamente de finas gotas de agua (de diámetro inferior a 0,5 mm), muy próximas unas de otras, que cae de una nube” (IDEAM, 2019, p. 172).

Cambio Climático: Alteraciones desde inicio del siglo XX en patrones del clima que definen climas locales, regionales y globales (USAID, et al 2021).

Desarrollo Sostenible: Desarrollo que busca brindar un desarrollo a la población respetando los límites planetarios y los recursos necesarios para las generaciones futuras (USAID, et al 2021).

Estación pluviométrica: “Es una estación meteorológica dotada de un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas” (IDEAM, 2019, p. 1).

Escorrentía: “Este parámetro hace referencia a la cantidad de lluvia que debe de precipitar para que se produzca escorrentía superficial o flujo Hortoniano” (Camarasa, et al 2018, p. 133).

Calidad del agua: Según el decreto 1575 del 2007 la calidad del agua hace referencia a la comparación de características físicas, químicas y microbiológicas halladas en determinada muestra de agua con relación a las normas que regulan la materia.

Agua potable o agua para consumo humano: Agua que, por cumplir con las características físicas, químicas y microbiológicas, del decreto 1575 del 2007 y demás normas que regulan la materia es apta para el consumo humano, utilizándola directamente sobre la higiene personal y/o la preparación de alimentos (Decreto 1575 del 2007).

Agua cruda: Es aquella agua natural que, por no haber sido sometida a ningún proceso de tratamiento para su potabilización, le es concedido este título (Decreto 1575 del 2007).

Agua para uso doméstico: Según el Reglamento del sector de agua potable y saneamiento básico RAS toda aquella agua que reúna los requisitos de calidad que la hacen apta para diferentes usos en el hogar es agua para uso doméstico (RAS, 2017).

Laboratorio de análisis de agua para consumo humano: El decreto 1575 del 2007 lo define como la instalación pública o privada encargada de realizar los procedimientos de análisis en lo correspondiente a las características físicas, químicas y microbiológicas las cuales deben cumplir con requisitos previstos para poder catalogarla como agua para consumo humano.

Mapa de riesgo de calidad de agua: Según el decreto 1575 del 2007 es:

“Instrumento que define las acciones de inspección, vigilancia y control del riesgo asociado a las condiciones de calidad de las cuencas abastecedoras de sistemas de suministro de agua para consumo humano, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de las fuentes superficiales o subterráneas de una determinada región, que puedan generar riesgos graves a la salud humana si no son adecuadamente tratadas, independientemente de si provienen de una contaminación por eventos naturales o antrópicos”

Riesgo: Es aquella probabilidad de adquirir alguna alteración en la salud a causa de la exposición a un agente o sustancia (Decreto 1575 del 2007).

Sustancias potencialmente tóxicas: Hace referencia a aquellas sustancias de origen natural o sintético usadas en actividades domésticas, producción de bienes o servicios y plaguicidas que pueden estar presentes en el agua para consumo humano, las cuales pueden llegar a ocasionar efectos nocivos a organismos con los cuales entran en contacto (Decreto 1575 del 2007).

Operación: Son las diferentes acciones que permiten mantener un sistema en funcionamiento (RAS, 2017).

Componentes de un sistema de captación de aguas lluvias

Captación de agua lluvias: Hace referencia a las técnicas simples o complejas utilizadas para aumentar la cantidad de agua lluvia que se almacena en el suelo o estructuras construidas, permitiendo el aprovechamiento del agua lluvia independientemente del uso que se le otorgue (FAO, 2014).

Área de captación: Es aquella superficie por la cual se recolecta el agua pluvial, la cual se propone usar a los tejados con unas pendientes no menores al 5% para permitir que el agua se escurra en dirección a los sistemas de conducción (FAO, 2014).

Canaleta: Elemento encargado de conducir el agua lluvia recolectada en el área de captación a las bajantes y así ingresar al área de recolección de aguas lluvias (AQUA España, 2016).

Bajante: Componente de la tubería principal de conducción, ubicado de manera vertical, el cual busca realizar el desagüe de aguas lluvias, residuales, o de un sistema de ventilación el cual se extiende a través de uno o más pisos.

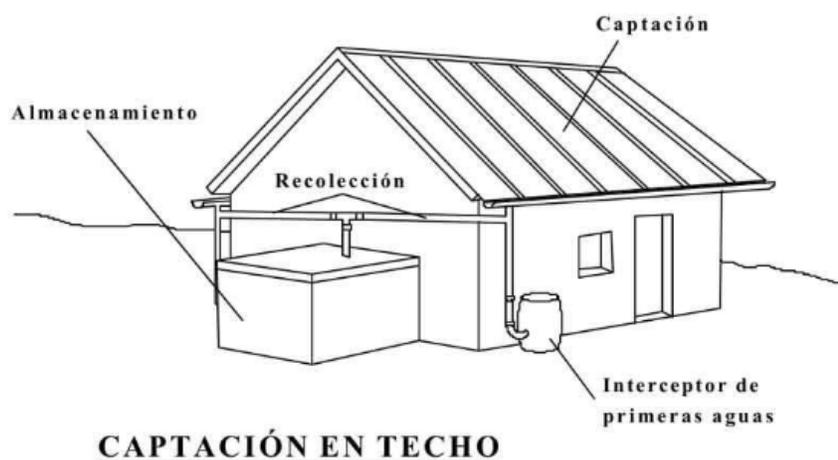
Tanque interceptor: Elemento encargado de la recolección de las primeras aguas lluvias encargadas de la limpieza del techo, permitiendo que el agua a almacenar se preserve en condiciones limpias (Niño y Castro, 2016).

Sistema de desagüe: La Norma Técnica Colombiana 15000 lo define como el conjunto de elementos previstos, pensados para drenar aguas servidas y/o aguas lluvias de una edificación (NTC, 2004).

Soportes: La Norma Técnica Colombiana 15000 expone los soportes como aquellos dispositivos que tienen como función apoyar y asegurar según se necesite tuberías, aparatos y equipos (NTC, 2004).

Tanques de Almacenamiento: También llamados Dispositivos de acumulación o Recipientes de acumulación de agua pluvial (AQUA España, 2016, p.6). El dimensionamiento de este tanque debe realizarse teniendo en cuenta la pluviosidad y demanda de la zona, sumado a ello el tanque debe contar con su respectiva tapa o escotilla la cual al igual que un mantenimiento apropiado le permitirá al agua conservarse en óptimas condiciones (Cuervo, P. 2020).

Figura 1. Sistema de Captación de Agua lluvia



Fuente: Cuervo, P. 2020.

Filtración: Hace referencia a la remoción de partículas suspendidas y coloidales que se encuentran en determinada cantidad de agua, el procedimiento se da gracias al traspaso del agua por un medio poroso (RAS, 2017).

Filtración lenta: Es aquel tratamiento que se le da al agua por medio de una filtración a baja velocidad la cual busca fomentar diferentes procesos físicos y biológicos los cuales permiten reducir la turbiedad y destruir los microorganismos patógenos (RAS, 2017).

Desinfección: Hace referencia a los procesos físicos o químicos que llevan a cabo la inactivación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua (RAS, 2017).

Dosificación: “Acción mediante la cual se suministra una sustancia química al agua” (RAS, 2017).

Cloración: El Reglamento del sector de agua potable y saneamiento básico RAS lo define como la aplicación de cloro o compuestos de cloro, al agua clarificada y filtrada para desinfección. La cloración es uno de los métodos más utilizados para la desinfección del agua, comercialmente se conoce como hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio o cloro gaseoso, siendo el más vendido el inicial dado a su bajo costo (Cuervo, P. 2020).

Turbiedad: Aquella propiedad óptica del agua basada en la medida de la luz reflejada por las partículas en suspensión (RAS, 2017).

Válvula de cheque: Válvula anti-retorno o válvulas de retención de charnela, cuenta con un disco abisagrado (o charnela) que se abre por completo con la presión en la tubería y se cierra cuando se interrumpe la presión y empieza la circulación inversa (RAS, 2017).

Marco Teórico

A través de la historia han existido diferentes mecanismos para la captación y reutilización de aguas lluvias, el continuo uso de estos sistemas han permitido el avance en la producción agrícola y en la satisfacción de necesidades domésticas principalmente en las regiones áridas y semiáridas del planeta (Martínez, 2019).

Los sistemas de abastecimiento de agua lluvia para el abastecimiento de viviendas han sido exitosos en naciones como México y Brasil, en otros lugares como el aeropuerto de Changai han usado este recurso para la descarga de sus inodoros, incluso en las Islas Vírgenes de Estados

Unidos legalmente está establecido el aprovechamiento de aguas lluvias para sus habitantes (Martínez, 2019).

Dado el panorama actual de recursos hídricos a nivel global, diversas organizaciones han motivado a nivel global la generación de buenas prácticas, como lo realizó la organización de las naciones unidas con el Decenio Internacional para la Acción llamado "El Agua Fuente de Vida 2005-2015" en él se resaltaron proyectos concernientes al uso y recolección de aguas lluvias como lo fue el proyecto "Gestión de Recursos Hídricos para la adaptación al cambio climático mediante la acción comunitaria en el desierto de Thar, India" entre los principales logros del proyectos se destacó la proyección y el aumento de zonas y estructuras de captación de agua lluvia permitiendo la adaptación frente al cambio climático (Martínez, 2019).

Colombia por iniciativa propia aún no ha efectuado proyectos residenciales que cuenten con la captación y uso de aguas lluvias, la implementación de los sistemas en el país solo se ha visto reflejada en dos casos; por interés particular, como lo es el caso de Alkosto, empresa que ha implemento el sistema como parte de su responsabilidad social empresarial en aras a un desarrollo sostenible, o debido al deficiente, o inexistente servicio de acueducto, siendo este segundo caso el más predominante en los municipios de Colombia. Sumado a ello, en las diferentes comunidades en donde se lleva a cabo la ausencia ingenieril ocasiona una mala eficiencia en los sistemas de recolección de agua lluvia, situación que se puede apreciar en la comunidad Bocana de Buenaventura, en una zona de San Andrés, en Puerto Carreño Vichada, en el barrio el Ponzón en Cartagena y en los altos de Mengua en la ciudad de Cali, entre otros (Ballen et al, 2006, citado por Martínez, 2019).

Es por ello que debido al deficiente servicio de acueducto prestado en la ciudad de Ibagué y a la disponibilidad de agua pluvial que se presenta en la ciudad, la recolección de aguas lluvias ha sido motivo de estudio por parte de diferentes investigadores tolimenses. Este es el caso de la

investigación llamada Evaluación de la calidad de agua lluvia para el aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, el cual partió del estudio de ocho estaciones de muestreo de agua lluvia las cuales fueron caracterizadas en el laboratorio. El trabajo arrojó como resultado que exceptuando el pH y la turbiedad la composición fisicoquímica del agua lluvia se encuentra dentro de los rangos exigidos por la norma para el agua potable, permitiéndonos de esta manera el aprovechamiento del agua lluvia con fines de suplir las necesidades esenciales en sanitarios y aseo doméstico de la ciudad de Ibagué, Tolima (Ospina, O., Ramírez, H, 2012).

Marco Normativo

El Derecho fundamental al agua se encuentra establecido en la sentencia T/704 de 2011 citada por Ángel & Guerrero en el 2017:

El agua se considera como un derecho fundamental y, se define, de acuerdo con lo establecido por el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, como “el derecho de todos de disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal o doméstico”. El agua se erige como una necesidad básica, al ser un elemento indisoluble para la existencia del ser humano. El agua en el ordenamiento jurídico colombiano tiene una doble connotación pues se erige como un derecho fundamental y como un servicio público. En tal sentido, todas las personas deben poder acceder al servicio de acueducto en condiciones de cantidad y calidad suficiente y al Estado le corresponde organizar, dirigir, reglamentar y garantizar su prestación de conformidad con los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad...

...La obligación de cumplir está encaminada a que el Estado realice acciones positivas con el fin de facilitar, proporcionar y promover la plena efectividad del derecho por medio de medidas legislativas, administrativas, presupuestarias y judiciales, que posibiliten a los

individuos y comunidades el disfrute del derecho al agua potable e impone al Estado que adopte medidas positivas que permitan y ayuden a los particulares y las comunidades a ejercer el derecho al agua, tome medidas para que se difunda información adecuada sobre el uso higiénico del agua, la protección de las fuentes de agua y los métodos para reducir los desperdicios de agua y garantice el acceso a una cantidad suficiente salubre, aceptable y accesible para el uso personal y doméstico de agua, en los casos en que los particulares o los grupos no están en condiciones, por razones ajenas a su voluntad, de ejercer por sí mismos ese derecho con ayuda de los medios a su disposición.

En adición, existen diferentes referentes legales en cuanto a normatividad para la administración, planificación y uso del recurso hídrico de nuestro país. Diferentes decretos, leyes y resoluciones buscan regular el buen uso de la misma, sin embargo, en lo referente a la recolección de aguas lluvias es muy poca la información que se encuentra relacionada. La siguiente tabla resume la normatividad a tener en cuenta.

Tabla 1. *Leyes y decretos relacionados con el agua.*

Norma	Restrictor
Ley 373 de 1997	Establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Ley 142 de 1994	Establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
Resolución 330 del 2017	Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
NTC. 1500 del 2004	Norma Técnica Colombiana. Código colombiano fontanería.
Decreto 1541 de 1978	Reglamentación general sobre conservación y protección de las aguas no marítimas.
Decreto 2811 de 1974	Dicta disposiciones generales que regulan el aprovechamiento de las aguas no marítimas en todos sus estados.

Decreto 1575 del 2007	Dicta la protección y control de calidad de agua.
Decreto 3930 del 2010	Hace referencia a los usos del agua y residuos líquidos
Resolución 2115 del 2007	Dicta la vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.
Resolución CRA 493 del 2010	Promueve el uso eficiente del agua y desincentiva el consumo excesivo de la misma.
Decreto 115 del 2004	Reglamenta la utilización de aguas en la nación.
Proyecto de Acuerdo 084 del 2010.	Dicta a las empresas públicas de la capital del país el suministro a todos los usuarios cantidades mínimas básicas e indispensables de agua potable.

Elaboración propia.

Metodología

Tipo de investigación

La presente investigación tendrá un alcance Descriptivo, Exploratorio y Propositivo la cual permitirá aportar una solución ante la inexistencia del servicio prestado en la vivienda de estudio por Acuagaviota.

El presente trabajo aplicado es el resultado de una investigación de campo la cual por medio de recopilación de información de tipo primaria y secundaria busca conocer la situación actual y contextualizar el lugar de estudio para luego realizar el diseño de un sistema alternativo de recolección y aprovechamiento de agua lluvia junto con su respectivo análisis económico.

Alcance de la investigación

La presente propuesta de investigación para realizar el sistema de agua lluvia permitirá conocer una nueva alternativa de abastecimiento de agua potable para la vivienda de estudio y pobladores de la zona. Además, este trabajo busca ser de utilidad para aquella población que por diferentes razones no cuenta con acceso al agua potable, ya sea para llevar a cabo en el barrio de estudio o en otra ciudad, los pasos a realizar en el presente trabajo podrán ser extrapolados para la implementación para otro caso de estudio.

Población Objetivo

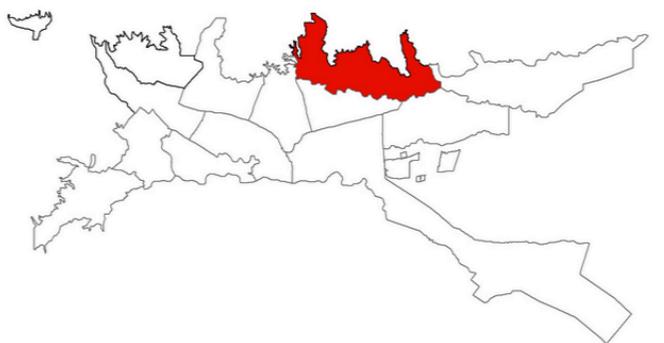
La vivienda de estudio sobre la cual se realiza el presente trabajo se encuentra ubicada en la ciudad de Ibagué, conocida como capital musical de Colombia, esta ciudad se encuentra ubicada en un punto céntrico del país. Situada a 1285 msnm esta ciudad se encuentra sobre la cordillera central de los Andes limitando al norte con los municipios de Anzoátegui y Alvarado,

al oriente con Piedras y Coello, al sur con San Luis y Rovira y al occidente con Cajamarca y del departamento de Quindío (PDM, 2020).

Representando el 6,16 % del territorio Tolimense, Ibagué se caracteriza por contar con un clima entre los 18 y 30 ° C, sumado a ello la riqueza ambiental con la que actualmente cuenta proviene entre otras causas a su ubicación estratégica (PDM, 2020), según La Resolución N° 148 del 30 de abril de 1974 Ibagué cuenta con 5.553 Hectáreas pertenecientes al Parque Natural los Nevados, con un porcentaje de 18,12 % seguido de Murillo y Anzoátegui esta ciudad cuenta con la mayor área del parque dentro del territorio Tolimense.

En la actualidad Ibagué se encuentra dividido por 13 comunas, específicamente la vivienda de estudio se encuentra ubicada en el barrio la Gaviota, el cual a su vez hace parte de la comuna 6 según el último Plan de Ordenamiento Territorial de Ibagué.

Figura 2. *Localización de la comuna 6.*



Fuente: CIMPP, 2020.

Teniendo en cuenta el más reciente Plan de Desarrollo de la comuna 6 publicado en noviembre del 2012, se contextualizó mejor el territorio en que se encuentra ubicada la vivienda

de estudio. El documento expone aspectos importantes para la elaboración del trabajo como los siguientes:

La comuna 6 tiene una temperatura anual de 25 °C y una precipitación bimodal, es decir es decir con dos periodos de lluvias. El primero comprende los meses de marzo, abril, mayo y junio y el segundo en septiembre, octubre y noviembre. Los periodos secos van comprendidos de diciembre a febrero y de junio a agosto.

Vivienda de estudio

La vivienda de estudio se encuentra en el barrio la Gaviota de la ciudad de Ibagué, sus coordenadas son 4° 27'10.52" N 75° 10' 45.55" O, en la figura 3, se muestra su ubicación.

Figura 3. *Ubicación de la vivienda de estudio.*



Fuente: Google Earth.

Proceso Metodológico

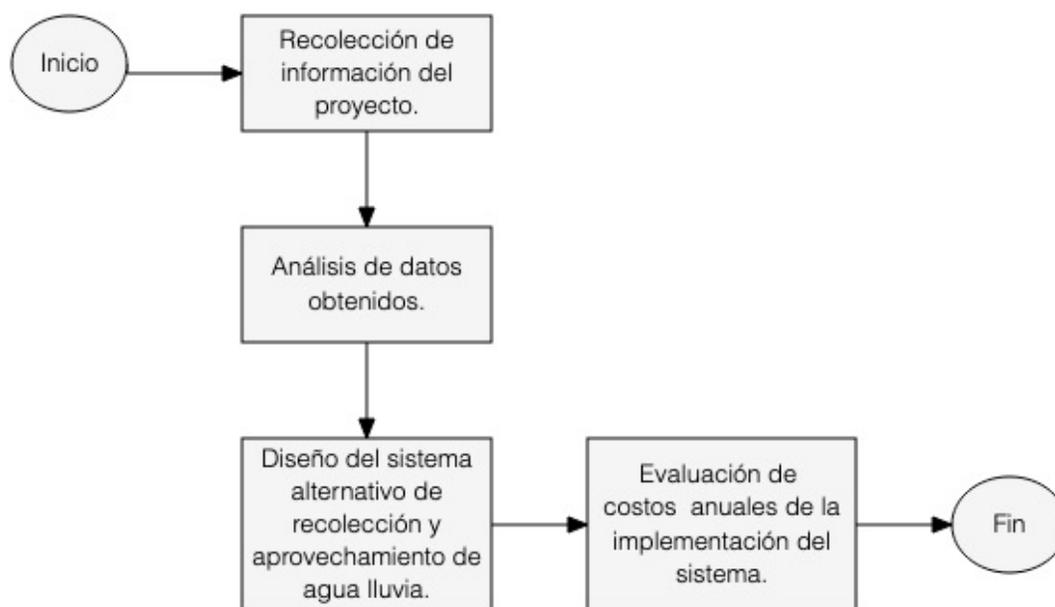
La propuesta se desarrolla gracias a la articulación de cuatro fases que se realizan de manera consecutiva y estrechamente relacionadas con los objetivos específicos enunciados anteriormente.

La primera fase de Recolección de información del proyecto se llevará a cabo por medio de instrumentos como leyes, decretos, informes (datos de las precipitaciones del lugar), una visita a campo en donde se entrevistarán a los habitantes de la vivienda y muestreo de pruebas de laboratorio de agua lluvia.

La segunda fase se Analizan los datos obtenidos anteriormente y se evalúa si la calidad de agua lluvia recolectada es viable para uso doméstico. Además, según la calidad de agua obtenida se determina para que usos es viable y en qué meses se llevará a cabo el abastecimiento.

Para la tercera fase del trabajo, se realizan los cálculos respectivos para el posterior diseño del sistema alternativo de recolección y aprovechamiento de agua lluvia haciendo uso del programa SketchUp.

Finalmente, en la cuarta fase del trabajo se estimarán los costos de la implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para una vivienda ubicada en el barrio La Gaviota de Ibagué.

Figura 4. Proceso Metodológico.

Elaboración propia.

Diagnóstico

Oferta de Agua Pluvial

Al igual que otras ciudades del mundo, la capital musical ha sido afectada por el cambio climático, la temperatura promedio en la ciudad ha venido incrementando, causando una transformación en la climatología de la misma. Sin embargo, si bien los cambios de temperatura se han venido presentado en la ciudad, exceptuando el fenómeno del niño y la niña, las temporadas de lluvia se mantienen de manera bimodal en la ciudad.

Tabla 2. Comportamiento promedio de las Estaciones Pluviométricas en la ciudad de Ibagué.

Año	Precipitación mes a mes (mm)											
	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2011	101,10	195,77	236,73	404,00	192,23	144,93	77,77	96,10	92,63	220,83	397,97	250,20
2012	214,47	134,20	144,33	315,83	232,93	23,30	29,90	46,13	45,10	231,43	125,77	278,90
2013	82,35	221,35	140,27	188,80	207,97	104,07	77,70	77,40	148,13	101,27	237,97	235,83

2014	167,63	88,00	137,50	274,37	161,63	157,20	14,90	77,83	162,50	181,50	108,33	218,37
2015	224,50	124,83	196,60	189,73	74,63	62,70	28,70	25,63	75,93	214,13	252,73	5,47
2016	58,03	179,53	238,47	180,23	222,65	95,70	193,75	82,05	47,20	294,85	142,80	119,60
2017	106,00	77,57	412,60	234,43	249,43	129,70	39,93	144,77	144,77	197,13	339,67	189,73
2018	185,83	141,17	195,00	304,90	399,00	129,20	136,83	48,50	144,97	273,17	202,27	62,97
2019	112,50	141,07	266,70	327,97	378,83	73,27	114,20	0,35	121,13	260,97	246,63	195,77
2020	28,77	121,20	184,23	187,65	105,15	162,60	170,35	208,25	112,35	131,80	295,40	332,90
2021	162,55	167,13	222,70	299,60	236,50	259,60	47,57					

Elaboración propia a partir de DHIME del IDEAM (2021).

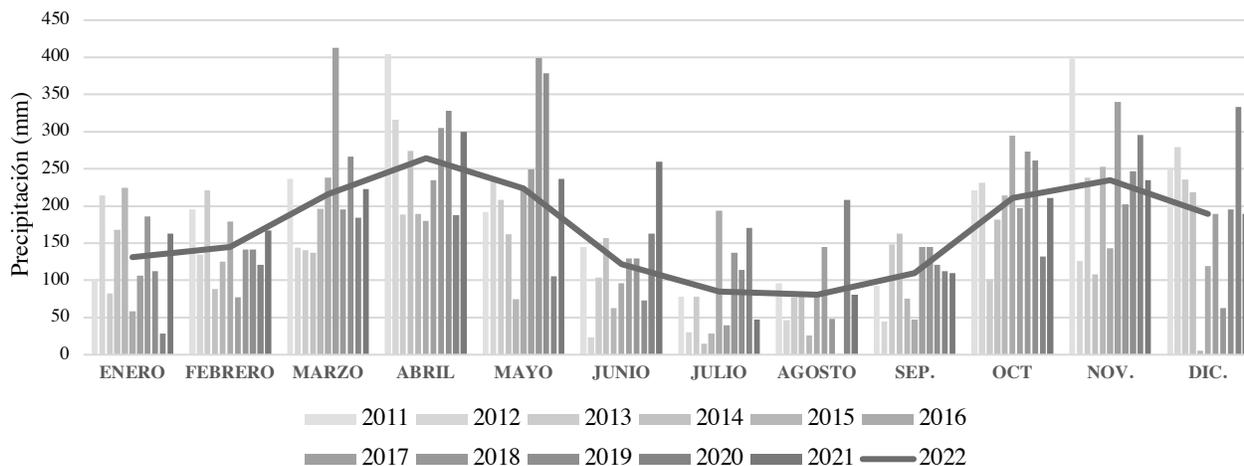
Gracias a la base de datos perteneciente al Sistema de Información para la Gestión de datos Hidrológicos y Meteorológicos DHIME del IDEAM, se realizó la tabla 2. Comportamiento promedio de las Estaciones Pluviométricas en la ciudad de Ibagué. La información contenida en ella es el resultado de la sumatoria promedio correspondiente al resultado mensual promediado por las tres estaciones pluviométricas activas en la ciudad las cuales son Interlaken, Cruz Roja y Aeropuerto Perales.

Pese a las afirmaciones expuestas en el reciente Plan de Desarrollo de la comuna 6 publicado en noviembre del 2012 en donde se expuso la existencia de dos periodos de lluvias en la ciudad comprendidas por los meses de marzo a junio y de septiembre a noviembre divididos por dos temporadas secas las cuales van comprendidas de diciembre a febrero y de junio a agosto, se reconoció gracias a los datos analizados y la Figura 3 realizadas diferencias marcadas en el comportamiento de las temporadas de lluvia y sequía en la ciudad.

Para el 2022 según los datos obtenidos de la Tabla 2 y los cálculos realizados para la determinación de la precipitación esperada para los meses restantes del año 2021 y para el año 2022 (Figura 3), se observa que las temporadas de lluvia para el año 2022 se verán distanciadas por cuatro meses en el paso de la primer temporada de lluvia a la segunda, y de dos meses en el

transcurso de la segunda temporada a la primera. Buscando evidenciar mas claramente las alteraciones en las temporadas climatológicas de la ciudad se realizó la Figura 5.

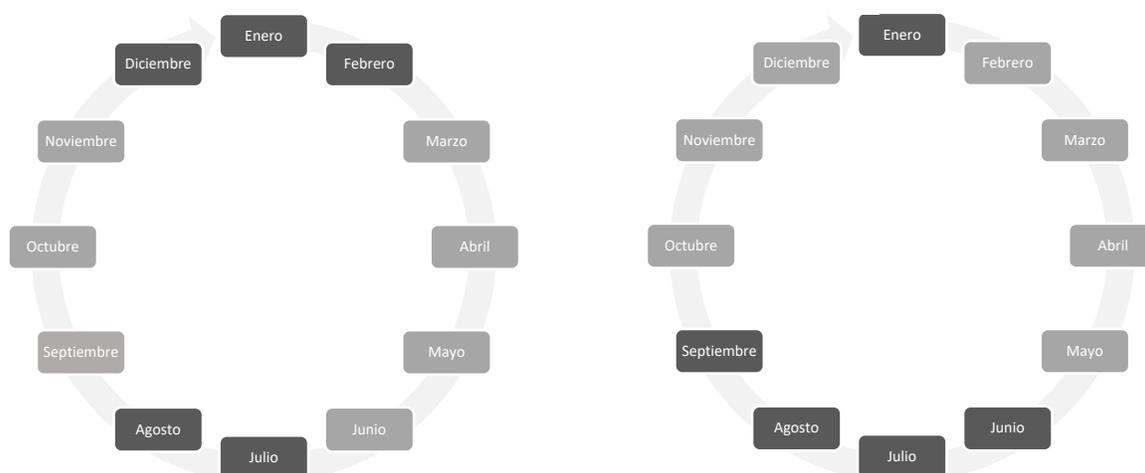
Figura 5. *Proyección de Precipitación para el 2022 en la ciudad de Ibagué.*



Elaboración Propia a partir de DHIME del IDEAM (2021).

El movimiento en el ciclo climático en Ibagué entre otras cosas, ha provocado evidentemente que la ciudad se haya tornado cada vez en una tierra más cálida, olvidando sus raíces como clima de seda e impactando evidentemente en cambios ambientales para la ciudad.

Figura 6. *Alteraciones en las temporadas climáticas de Ibagué.*

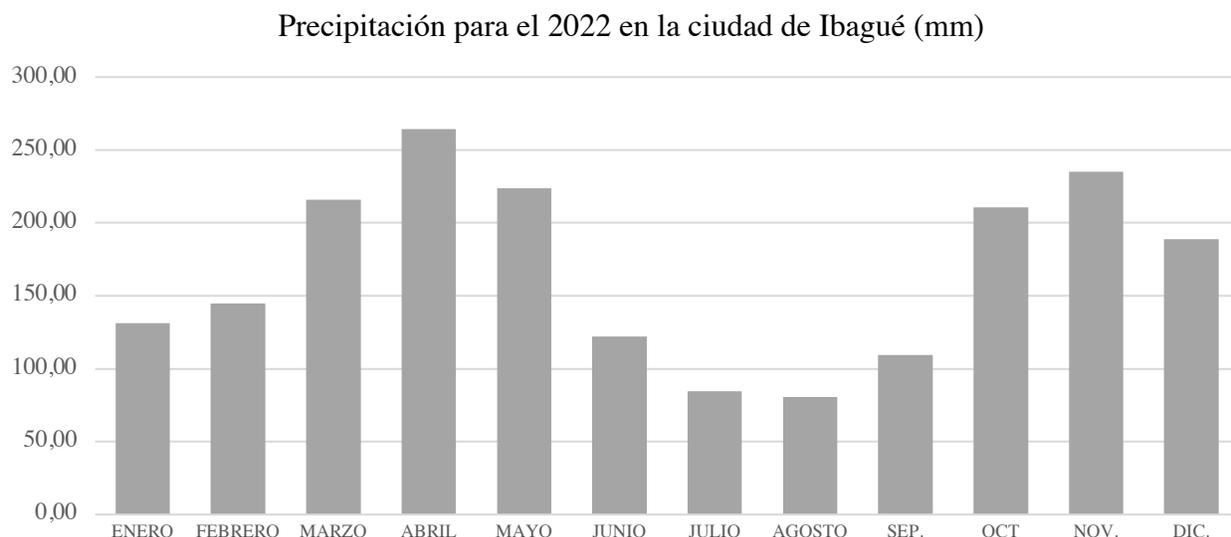


Elaboración Propia.

La Figura 6. Expone de color claro meses lluviosos y de color oscuro meses cálidos, al lado izquierdo se encuentran las temporadas climáticas presentadas en la ciudad para el año 2012 según lo reportado por la Alcaldía de Ibagué en el Plan de Desarrollo de la comuna 6 y al lado derecho se exponen los periodos climatológicos proyectados para 10 años después. Se reconoce inmediatamente como cada vez la climatología en la ciudad ha presentado importantes transformaciones, como lo es para los meses de septiembre y junio los cuales solían ser hace 10 años de lluvia pero ahora se han convertido en meses secos, cabe resaltar que lo anterior no hace referencia a la desaparición de meses de lluvia, en la figura se logra apreciar cómo se han logrado mantener pese al cambio climático siete meses de lluvia y cinco meses secos, sin embargo, lo que si se demuestra es el cambio en su distribución. A través de diez años el ciclo climatológico ha venido buscando consolidarse en dos periodos bien definidos, uno de sequía y otro de lluvia.

Dicha situación representa graves problemas para la ciudad dado que son estas temporadas largas de lluvia y de sequía las que han pie a sequias extremas o a las inundaciones.

En vista de la situación presentada para el 2022, se propone para el aprovechamiento de las temporadas realizar el sistema en la temporada corta de sequía ubicada en enero para contar con el aprovechamiento de aguas lluvias de febrero a mayo. En la Figura 7 se proyecta exactamente los datos en milímetros del agua lluvia esperada para cada mes para el año 2022, dichos valores son el resultado del promedio de la precipitación registrada mes a mes por las estaciones Interlaken, Cruz Roja y Aeropuerto Perales a partir de enero del 2011.

Figura 7. *Precipitación para el 2022 en la ciudad de Ibagué.**Precipitación para el 2022 en la ciudad de Ibagué (mm).*

mm agua lluvia esperados para el año 2022											
Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
131,25	144,71	215,92	264,32	223,72	122,02	84,69	80,70	109,47	210,71	234,95	188,97

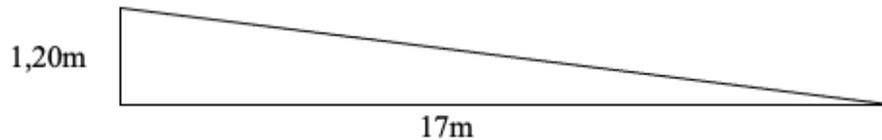
Elaboración Propia a partir de DHIME del IDEAM (2021).

De esta manera, con una oferta de agua lluvia para el 2022, se procede a realizar los cálculos pertinentes en base a las dimensiones de la vivienda de estudio para establecer el área de captación a trabajar, y obtener así el total de oferta de agua lluvia para la vivienda de estudio.

Área y Caracterización de la cubierta

Se propone como área de captación de agua lluvia, el tejado de la vivienda de estudio, para realizar el cálculo del área, debido a que es un tejado de un agua se utilizará el Teorema de Pitágoras multiplicando seguidamente el resultado de la hipotenusa por el ancho de la vivienda para hallar el área real del tejado.

Los datos obtenidos del tejado de la vivienda son:



Teorema de Pitágoras

$$h^2 = a^2 + b^2$$

Donde:

h= Largo real del tejado

a= 1,20 m

b= 17 m

$$h = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$h = \sqrt{1,20m^2 + 17m^2}$$

$$h = 17,04m$$

Entonces tenemos que el área sería el resultado de multiplicar el largo real del tejado por el ancho de la vivienda el cual es 5m.

$$area = 17,04m * 5m$$

$$area = 85,21 m^2$$

Para el cálculo de la pendiente del tejado se despejará la función trigonométrica Seno:

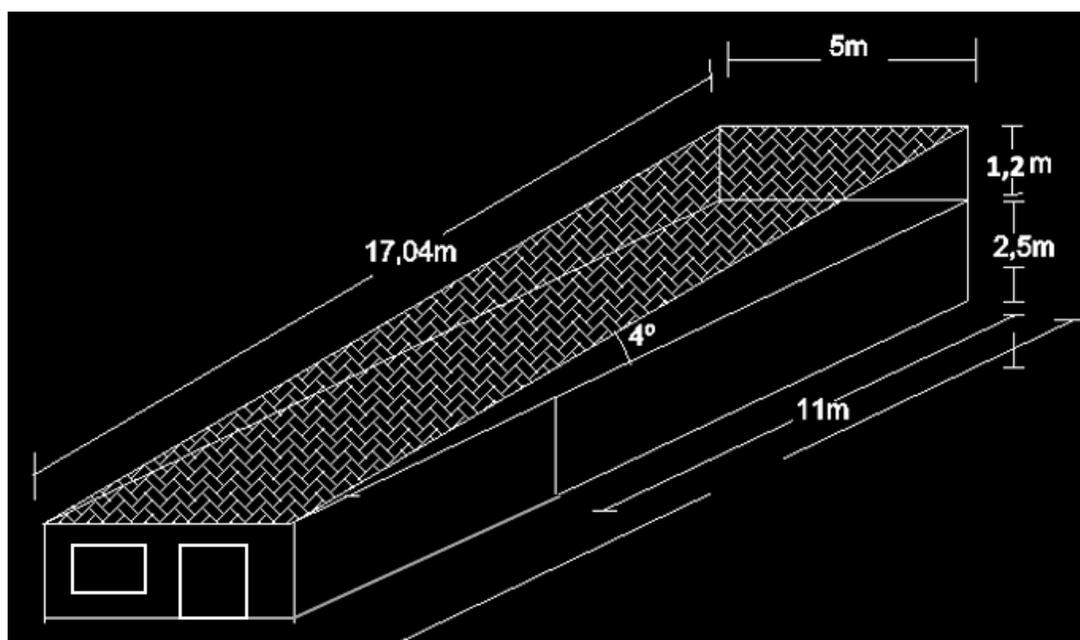
$$\sin \beta = \frac{1,20}{17,04}$$

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{1,20}{17,04} \right)$$

$$\beta = 4,04^\circ$$

Con los datos calculados y para facilitar la comprensión de la vivienda, se realizó el siguiente esquema :

Figura 8. Esquema de la vivienda de estudio.



Elaboración propia.

En lo que respecta al coeficiente de escorrentía, Benavides y Arévalo (2017) indican la variabilidad de este aspecto que se presenta dado a los distintos tipos de tejados existentes en las viviendas (Tabla 3), de ellos se destacan el techo y las tejas de cemento debido a su durabilidad y bajo costo.

Tabla 3. Coeficientes de escorrentía.

Material	Coeficiente
Plancha metálica	0.90
Tejas de arcilla	0.8-0.9
Madera	0.8-0.9
Paja	0.6-0.7
Cemento	0.7-0.8

Fuente: Benavides y Arévalo (2017).

Para la realización del trabajo se utilizará un coeficiente de escorrentía de 0.9 dado que las tejas con las que cuenta la vivienda de estudio son tejas de zinc. Posteriormente se calculará el abastecimiento de aguas lluvias tomando el dato promedio mensual de precipitación de la Figura 5 y como área de captación 85,21 m².

Benavides y Arévalo (2017) exponen la ecuación:

$$A_i = \frac{P_{pi} * Ce * Ac}{1000}$$

Donde

A_i: Abastecimiento de aguas lluvias

P_{pi}: Precipitación promedio mensual.

Ce: Coeficiente de escorrentía.

Ac: Área de captación.

Una vez reemplazado los datos, se obtiene el abastecimiento de aguas lluvias para cada mes, en la tabla 4 se encuentra especificado de manera particular y acumulada para el transcurso del año 2022.

Tabla 4. *Abastecimiento de agua lluvia esperado en la vivienda de estudio.*

Mes	Abastecimiento			
	Parcial (m ³)	Parcial (L)	Acumulado (m ³)	Acumulado (L)
Enero	10,07	10070	10,07	10070
Feb.	11,10	11100	21,17	21170
Mar.	16,56	16560	37,73	37730
Abr.	20,27	20270	58	58000
May.	17,16	17160	75,16	75160
Jun.	9,36	9360	84,52	84520
Jul.	6,49	6490	91,01	91010
Ago.	6,19	6190	97,2	97200
Sep.	8,40	8400	105,6	105600

Oct.	16,16	16160	121,76	121760
Nov.	18,02	18020	139,78	139780
Dic.	14,49	14490	154,27	154270

Elaboración propia.

Demanda

Para conocer la demanda de agua presentada en la vivienda de estudio se procedió a consultar en documentos existentes el gasto promedio del recurso hídricos en los hogares colombianos, seguidamente se realizó una visita al hogar para conocer de manera más cercana el uso del agua en el hogar. En el hogar se encontró que debido a que la vivienda fue construida posteriormente al momento en que el acueducto comunal había cerrado las puertas a nuevos suscriptores, el suministro de agua en la vivienda actualmente se da de manera informal por medio de tuberías que transportan agua desde la quebrada la Tusa a la vivienda. Así pues, para conocer la demanda partiremos de fuentes primarias aproximando así el consumo de agua por persona.

Se parte de la información suministrada por el título B del Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento Básico (2017), el cual establece a la hora de realizar un sistema de abastecimiento de agua potable de baja complejidad una dotación neta por suscriptor de 10.8 m³/sus. por mes en clima templado-frío teniendo en cuenta que el reglamento define clima cálido a aquellas zonas que se encuentran debajo de los 1000 msnm.

Tomando como referente el acuerdo 084 del 2010 dictado por el concejo de Bogotá, en donde se establece el consumo aproximado de agua potable por habitante al día y contando con la información de la visita al hogar se estableció la siguiente tabla en donde se aproxima la demanda de agua en la vivienda de estudio.

Tabla 5. Consumo de agua aproximado en la vivienda.

Consumo de agua aproximado (Litros)				
Actividad	Consumo/ Actividad	Frecuencia	Persona/mes	Seis Personas/30 días
Lavar la ropa	100	5 veces al mes*	500	3000
Limpiar la casa	40	1 vez x semana	160	160
Limpiar la loza	100	2 vez x día	6000	36000
Cocinar	8	3 veces x día	720	4320
Bañarse	200	1 vez x día	12000	36000
Lavarse los dientes	1,5	3 veces x día	135	810
Lavarse las manos	1,5	5 veces x día	225	1350
Afeitarse	3	Día por medio	45	90
Descarga de cisterna	5	4 veces x día	600	3600
Riego de plantas	10	Día por medio	150	150
Beber	1,5	1 vez x día	45	270
Total			20580	85750

Elaboración propia a partir de Acuerdo 084 del 2010.

Nota.

* Teniendo en cuenta que la familia comenta que hace uso de la lavadora una vez al día se aproxima que una persona haría uso de la lavadora cinco veces al mes, usando esta en su carga máxima.

Cabe resaltar que, al momento de multiplicar el valor del consumo aproximado por persona al mes, no se incrementó el consumo en actividades como Limpiar la casa y riego de plantas domésticas, debido a que estas son independientes al número de personas que habitan la misma. Del mismo modo, la actividad de afeitarse solo se fue multiplicada dos veces debido a que en la vivienda habitan dos caballeros.

En este orden de ideas y teniendo presente que habitan en el hogar seis personas de las cuales 4 son adultos (dos de ellos hombres) y 2 son niños, tendríamos un total de 92950 L de

agua demandados por toda la familia en un mes, lo cual equivale a 516,3 L de agua por persona al día, cabe resaltar que este resultado es una aproximación a los datos reales.

Las indicaciones del uso de agua dadas por la Organización Mundial de la Salud indica un rango de 20 a 40 L diarios por persona, como lo citó Pacheco, G. en pasado 2020 en su radicación del proyecto en el cual se establece el mínimo vital de agua potable y se dictan otras disposiciones. El rango propuesto por la OMS se encuentra desproporcionado a los 516,3 L de agua usados por persona en el hogar de estudio, cabe resaltar que una de las posibles causas de ello es la pandemia. Para nadie es un secreto que el uso del agua aumentó en los hogares luego de la propagación del virus, actualmente el lavado de manos constante, la limpieza profunda del hogar y la limpieza de los alimentos son algunos de los hábitos en los que la familia se ha enfocado para evitar el contagio del Covid 19.

Caracterización del agua lluvia

Conocida la demanda de agua en el hogar y oferta de agua lluvia en la ciudad, se procede a desarrollar el segundo objetivo específico analizando la composición fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia de la ciudad de Ibagué. Una vez realizada la toma y analizada por el Laboratorio de Salud Pública del Tolima (Anexo A. Análisis de muestra), se conoció la calidad de agua lluvia de la ciudad, la cual mostró existencia de coliformes fecales en la muestra, y evidentemente la inexistencia de cloro residual en el agua, convirtiéndola en inviable para el consumo humano según la resolución 2115 del 2007.

Tabla 6. Resultados del análisis de la muestra de laboratorio.

Reporte de resultados				
Parámetro	Unidades	Resultado	Limite normativo	Cumplimiento Según Res. 2115 del 2007
Fisicoquímicos				
Color aparente	UPC	1,64	<15	Aceptable
Olor	-	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor	-	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	UNT	1,96	<2	Aceptable
pH	-	7,05	6.5-9.0	Aceptable
Conductividad	umhos/cm	12,5	<1000	Aceptable
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	3,23	<200	Aceptable
Fosfatos	mg/l	0.06	<0.5	Aceptable
Hierro total	mg/l	0,02	<0.3	Aceptable
Cloro Residual	mg/l	0	0.3-2.0	Inaceptable
Cloruros	mg/l	0,98	<250	Aceptable
Nitratos	mg/l	0,6	<10	Aceptable
Nitritos	mg/l	0,02	<0.1	Aceptable
Microbiológicos				
Escherichia Coli	-	Ausencia	Ausencia	Aceptable
Coliformes Totales	-	Presencia	Ausencia	Inaceptable

Fuente: Informe de resultados del Laboratorio Salud Pública del Tolima.

Analizando la información obtenida, podemos concluir que la alta contaminación de los ríos conlleva a que el proceso evaporación de los mismos no sea suficiente para la eliminación de Coliformes totales arrojando como resultado del análisis presencia de los mismos en la muestra de agua lluvia analizada por el laboratorio antes mencionado. La presencia de Coliformes totales en el agua lluvia de la ciudad de Ibagué se ha venido documentando desde el 2014. Ospina, O., & Ramírez, H. En su documento del 2014, evaluaron ocho muestras analizadas de agua lluvia en diferentes sitios de la ciudad las cuales arrojaron presencia de coliformes totales, ratificándose con el presente documento que luego de siete años el agua lluvia de la ciudad de Ibagué continua presentando Coliformes Totales, la cual la convierte en inviable para el consumo humano sin una respectiva desinfección.

Respecto al cloro residual, evidentemente al ser un análisis de un agua cruda sin tratamiento previo la existencia de cloro residual en la misma va a ser nula, como demostraron los resultados.

Así pues, se procedió a realizar el caculo del Índice de Riesgo de Calidad de Agua Teniendo en cuenta los puntajes de riesgo asignados y la ecuación consignada en la resolución mencionada anteriormente se conoció que la prueba de agua lluvia de la ciudad de Ibagué cuenta con IRCA de 32,97 %, indicando un nivel de riesgo medio al consumo humano.

En este orden de ideas, para permitir el uso del agua lluvia para uso potable se propone la implementación de la cloración al final del proceso. Añadirlo al agua permitirá desinfectar la misma eliminando los coliformes totales y añadir el respectivo cloro residual que exige la norma. La Tabla 7 expone las cantidades necesarias para una completa desinfección según la Organización Panamericana de la Salud Organización Mundial de la Salud, 2006, p. 6., citado a su vez por Cuervo, P. 2020.

Tabla 7. *Dosificación para la cloración del agua.*

Volumen de agua a desinfectar	Cantidad de hipoclorito sódico a agregar tiempo normal	Cantidad de hipoclorito sódico a agregar en emergencia
1 L	½ gota	1 gota
2 L	1 gota	1 ½ gota
1 galón	1 ½ gota	4 gotas
5 L	2 gotas	4 gotas
10 L	4 gotas	8 gotas
20 L (5 galones)	8 gotas	16 gotas
100 L (25 galones)	40 gotas (2ml)	4 ml (½ tapita)
200 L (50 galones)	4 ml (½ tapita)	9 ml (1 tapita)
1000 L (250 galones)	20 ml (2 ½ tapita)	40 ml (5 tapita)

Nota: para dosificar se debe utilizar tapitas plásticas de doble litro.

Fuente: OMS, 2006., citado por Cuervo, P. 2020.

Contando con la información consignada en la tabla 8 cabe anotar que las soluciones recomendadas para la desinfección del agua de consumo humano deben tener idealmente una concentración de 5.25%, estar libres de sustancias aromatizantes, colorantes y otros aditivos que son tóxicos para los seres humanos, además una vez agregado el hipoclorito sódico (cloro líquido) debe tenerse la precaución de mezclarlo bien y dejar reposar durante 30 minutos antes de su consumo (OMS, 2006., citado por Cuervo, P. 2020).

Cabe anotar que según el Reglamento Técnico del Sector de agua potable y Saneamiento básico del 2017 establece como requisito para el tratamiento del agua además de llevar a cabo la desinfección, el proceso de filtración. El reglamento expone tres opciones como soluciones individuales para el abastecimiento de agua, tales como; filtración lenta, filtro de cerámica o vela cerámica a nivel casero, siendo estos dos últimos instalados en la cocina para ser alimentado con agua lluvia del tanque de consumo diario (RAS, 2017).

Cálculos para el diseño del sistema

Cálculo del caudal del diseño

El caudal del diseño del sistema de recolección de agua lluvia se obtendrá por método racional, la expresión para el cálculo del mismo es:

$$Q = 2,78 * C * I * A$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

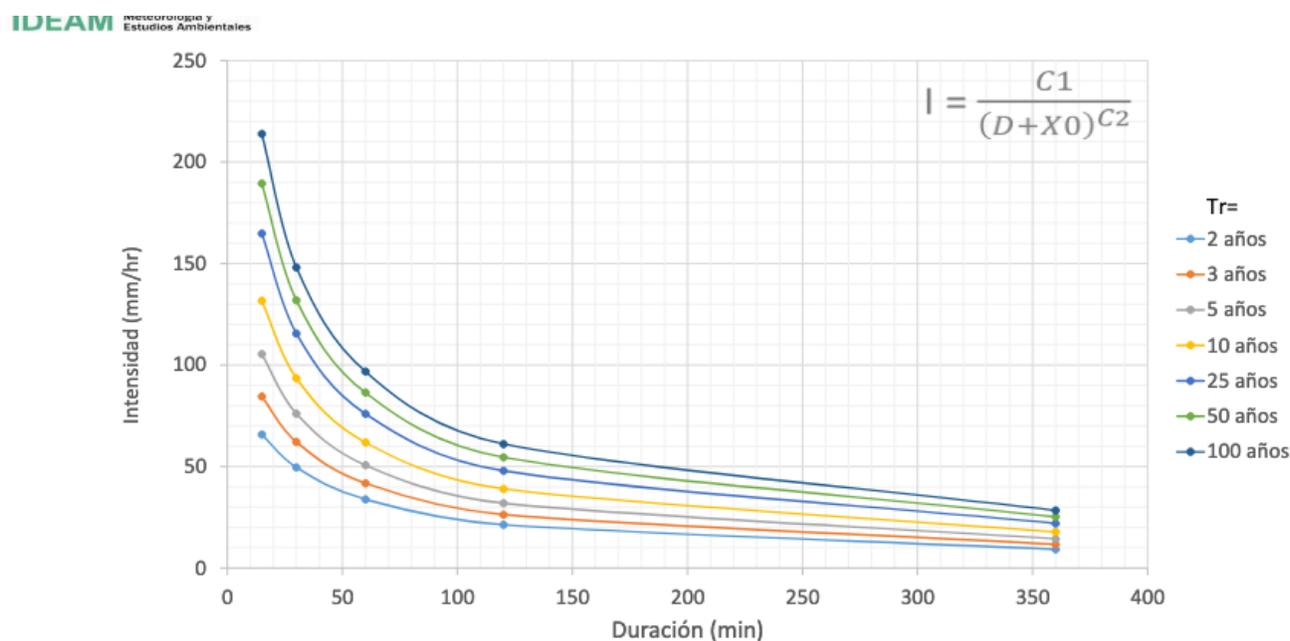
C: Coeficiente de escorrentía (0,9)

I: Intensidad de lluvia de diseño (mm/L)

A: área de la cubierta (Ha)

Para obtener la intensidad de lluvia de diseño, se procedió a consultar la base de datos suministrados por el IDEAM tomando como referencia la estación La esmeralda en Ibagué. Se tomo como referencia la gráfica Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias en la estación (Figura 9).

Figura 9. Curvas IDF- Estación la esmeralda.



TR (años)	C1	X0	C2
2	1452.266	23.031	0.850
3	1381.375	17.206	0.805
5	1428.052	13.713	0.776
10	1551.893	11.197	0.755
25	1749.253	9.344	0.740
50	1909.260	8.448	0.732
100	2074.282	7.788	0.727

D (min)	I _{TR=2}	I _{TR=3}	I _{TR=5}	I _{TR=10}	I _{TR=25}	I _{TR=50}	I _{TR=100}
15	66.0	84.8	105.8	132.2	165.5	190.2	214.7
30	49.1	61.3	74.9	92.0	113.6	129.6	145.5
60	34.0	42.1	51.1	62.5	76.8	87.4	98.0
120	22.0	27.4	33.5	41.1	50.8	57.9	65.0
360	8.6	10.6	12.8	15.5	19.0	21.6	24.2

Fuente: IDEAM, 2021.

Analizada la información se procede a utilizar el resultado de las lluvias de 15 minutos de duración debido a que el mayor volumen de las precipitaciones se encuentra en este corto periodo de tiempo. Para conocer el dato de periodo de retorno se revisó el Reglamento Técnico del Sector de agua potable y Saneamiento básico del 2017 en donde se encuentra establecido según las características de drenaje, el periodo de retorno (Tabla 8). Para el caso estudio, debido a que es una zona residencial menor a dos hectáreas, se utilizará un TR o periodo de retorno de 3 años.

Tabla 8. *Periodo de retorno de áreas de Drenaje.*

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

Fuente: RAS 0330, 2017

Reemplazando los datos se tiene que la intensidad de lluvia de diseño será 84,4 mm/h, debido a que este último dato está expresado con unidades diferentes, así pues, el factor de conversión será L*s/Ha como 2,78.

$$Q = 2,78 * 0,9 * 84,4 \frac{mm}{h} * 0,008521 ha$$

$$Q = 1,80 l/s$$

Canaletas y Bajantes

Respecto a las bajantes, la Norma Técnica Colombiana Código Colombiano de Fontanería 1500 de 2004 asigna para un caudal máximo de 4,2 L/s una tubería de diámetro nominal de 75mm lo cual equivale a 3" (Tabla 9).

Tabla 9. *Dimensionamiento de desagüe de agua lluvias.*

Diámetro nominal (mm)	Caudal máximo (l/s)	Áreas máximas permitidas proyectadas horizontalmente en m ² para diferentes intensidades de lluvia					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100mm/h	125 mm/h	150 mm/h
75	4,2	600	300	200	150	120	100

100	9,1	1286	643	429	321	257	214
125	16,5	2334	1117	778	583	467	389
150	26,8	3790	1895	1263	948	758	632
200	57,6	8175	4088	2725	2044	1635	1363

Fuente: NTC 1500 del 2004.

En lo que respecta al tamaño de las canaletas Ruiz, Z et al (2018) en su documento determina la dimensión de las canaletas en relación a la cubierta, exponiendo la utilización de 0,8 cm² de canaleta por cada m² de cubierta, requiriendo para el diseño una canaleta con capacidad mínima de 68,168 cm².

Al revisar las canaletas comerciales, se encontró en el documento Manual Sistemas de Canales y Bajantes Pavco, el canal Raingo es el más apropiado para utilizar en la propuesta debido a que cuenta con una capacidad de 30m² (Figura 10).

Figura 10. Canaleta elegida para el sistema de recolección de aguas lluvias.

Canal Raingo PAVCO

La Canal Raingo está diseñada para acoplarse con las Bajantes PAVCO

Tramos de 3 mt - Extremos Lisos.

Capacidad Canal PAVCO Raingo

La capacidad de la Canal PAVCO Raingo es de 30 mt² de cubierta por cada bajante.



Canal Raingo

Referencia	Peso kg
2900117	2.061

Fuente: Pavco, 2017.

En la figura 10 y 11 Diseño del sistema de recolección de agua lluvia puede apreciarse claramente la red de conducción y en la tabla 11 las longitudes de cada tramo.

Interceptor de primeras aguas

El interceptor es elemento encargado de coleccionar las primeras aguas lluvias, dicho elemento deberá estar conectado a las canaletas y deberá contar con una válvula de flotador la cual se encargará de controlar la disponibilidad del tanque, cuando se complete el llenado, la válvula se encargará de desviar el agua siguiente al tanque de almacenamiento (Benavides y Arévalo,2017), y posteriormente se realizará su almacenamiento. En este orden de ideas, se debe extraer 85 L correspondientes al lavado del tejado (1 litro/m² de tejado). Para ello, se propone la implementación de un tanque recolector de primeras aguas de 100 L acompañado de una válvula flotante que indicará el nivel de agua requerido, y así desviar el agua directamente a los tanques de almacenamiento del sistema.

Tanque de almacenamiento

Teniendo en cuenta la cantidad de personas que habitan la vivienda de estudio y la oferta que se presenta, se propone la implementación del sistema para uso potable, dado principalmente al volumen utilizado para actividades como cocinar, beber, lavado de dientes, lavado de manos, afeitarse, lavado de ropas, lavado de casa, riego de plantas y el uso de la cisterna.

Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento también llamado tanque principal, se desarrollo la tabla X en donde se relaciona la demanda- oferta del recurso mes a mes, de la siguiente manera.

Tabla 10. *Calculo del Tanque de almacenamiento.*

Mes	Días	Precipitación (mm)	Demanda (m ³ /mes)	Oferta (m ³ /mes)	Volumen de Almacenamiento (m ³)
Enero	31	131,25	14,11	10,07	-4,04
Febrero	28	144,71	13,04	11,10	-1,94
Marzo	31	215,92	14,11	16,56	2,45
Abril	30	264,32	13,75	20,27	8,97
Mayo	31	223,72	14,11	17,16	12,02
Junio	30	122,02	13,75	9,36	7,63
Julio	31	84,69	14,11	6,49	0,01
Agosto	31	80,70	14,11	6,19	-7,91
Septiembre	30	109,47	13,75	8,40	-5,35
Octubre	31	210,71	14,11	16,16	2,05
Noviembre	30	234,95	13,75	18,02	6,32
Diciembre	31	188,97	14,11	14,49	6,7

Elaboración Propia.

En este orden de ideas, el tanque deberá contar con un volumen de 12,02 m³ para lograr abastecer el 82 % de las actividades realizadas en la vivienda de estudio. Cabe resaltar que debido a ser el primer año del sistema, el mismo no cuenta con reservas de agua así pues, durante los meses de enero, febrero, agosto y septiembre no se podrá satisfacer las necesidades propuestas de manera completa, sin embargo se espera que para el segundo año de funcionamiento teniendo en cuenta las reservas de agua del año inmediatamente anterior este inconveniente logre ser subsanado.

Debido a que el agua almacenada pretende ser para uso potable y uso no potable, se propone realizar un tanque de almacenamiento en mampostería el cual cuente con las siguientes medidas para alcanzar el volumen deseado.

$$A = Base * Ancho * Alto$$

$$A = 4m * 3m * 1m$$

$$A = 12 m^3$$

Cabe resaltar que como sugiere el RAS 2000, Este tanque de almacenamiento de agua debe contar con las siguientes características:

-El tanque debe contar con su respectiva tapa la cual debe permanecer cerrado evitando la contaminación y solo puede ser abierto para realizar labores de limpieza por una persona capacitada y en lo posible con ayuda de un asistente.

- Por precaución dado que el agua va a permanecer almacenada por un tiempo, si se desea usar para el consumo humano debe ser tratada con filtro y desinfectada antes de su consumo.

Bombas manuales comerciales

Se propone el uso de una bomba manual comercial buscando elevar el agua del tanque de almacenamiento al tanque de consumo diario, debido a que este requiere estar a mínimo 2 m encima del dispensador de agua (Ras, 2000), en la tabla 11, se evalúan las ventajas y desventajas de diferentes tipos de bombas manuales comerciales.

Tabla 11. *Tabla comparativa de las diferentes bombas manuales comerciales.*

Tipo de Bomba	Ventajas	Desventajas
Bomba - VidaXL	Resistente a la intemperie. Capacidad de extraer agua a 8 metros de profundidad.	Bomba fija. Debido a que esta construida en hierro es mucho más pesada. Más costosa
Bomba - WILTEC	Fácilmente de trasladar. Altura de extracción de 4 metros. Ideal para extraer grandes volúmenes de agua (usada en piscinas)	No resistente a la intemperie. Debido a que cuenta con una carcasa de plástico, es más vulnerable y por ende debe tratarse con mucho más cuidado.
Bomba - Relaxdays	Resistente a la intemperie. Fácil de usar e instalar.	Instalación fija. Extrae agua en pequeñas cantidades.

Elaboración propia.

Con un caudal de 20l/min, se eligió usar para nuestra propuesta la bomba WILTEC, pequeña, ligera y muy funcional es la mejor propuesta que se adecua a los intereses del sistema, si

bien las otras dos opciones son de un mejor material, no se adecuan a las necesidades del sistema, la bomba VidaXL por su costo y la bomba Relaxdays extrae agua en pequeñas cantidades.

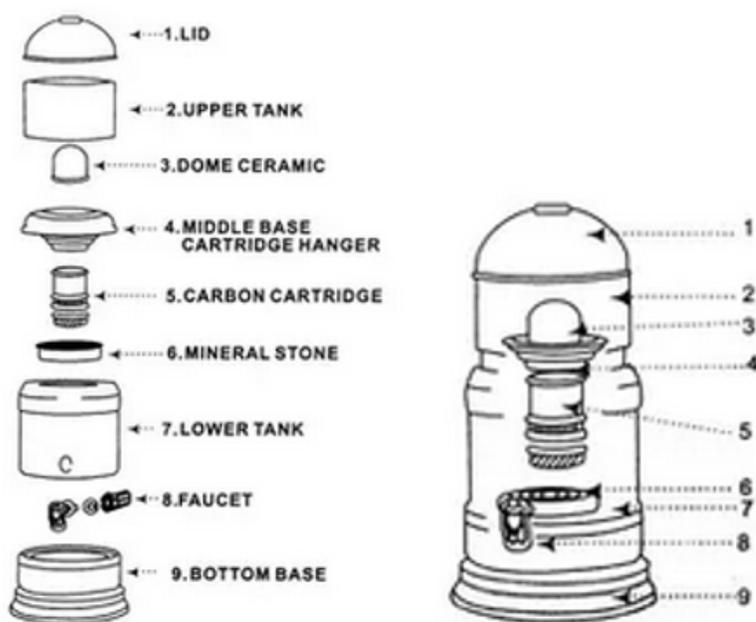
Tanque para el consumo diario

Debido a que este elemento está destinado para almacenar el volumen de agua destinada para el consumo diario del hogar, se realizó la suma de las actividades diarias domesticas tales como, cocinar, beber, afeitarse, lavado de dientes, lavado de manos, lavado de ropa, lavado de casa, riego de plantas y descarga de cisterna para lo cual la vivienda requiere aproximadamente 455 L/día, sin embargo debido a que esta medida no se encuentra estandarizada se propone la utilización de un tanque de 500 L. Como sugiere el Ras 2000, este tanque debe situarse a mínimo 2 m encima del dispensador (grifo). Se propone ubicarlo sobre una estructura de mampostería en la parte trasera de la vivienda, como se muestra en la figura 12 y 13.

Filtración

Debido a que en Reglamento del sector de agua potable y saneamiento básico especifica la indispensable filtración del agua antes de su consumo, así pues, se propone para la vivienda de estudio la utilización del Filtro Purificador de agua de 14 L el cual cuenta con una capa de carbón activado encargada de eliminar solidos suspendidos, malos olores y sustancias orgánicas e inorgánicas del agua, arena sílica la cual remueve sedimentos que puedan encontrarse en el agua, esferas mineralizadas encargadas de proveer los minerales necesarios al agua para mantener el pH necesario, y una doble capa de filtro cerámica micro porosa con un tamaño de los poros de filtración es de 0.2 micras la cual se encarga de retener los sedimentos restantes contenidos en el agua. Los elementos del filtro se encuentran representados en la Figura 11.

Figura 11. Purificador de agua de 14 L.



Fuente: <https://cutt.ly/NRAA6gI>

Si bien los resultados del análisis del agua lluvia realizado demuestran la inexistencia de muchos patógenos, la vivienda no se encuentra exenta ante alguna anomalía que pueda llegar a presentarse en los componentes del agua lluvia, para esos y para el cumplimiento de la normatividad colombiana se propone la implementación de este proceso.

Desinfección

Teniendo en cuenta que el volumen diario de agua para uso potable en el hogar es de aproximadamente 325 L realizando la debida relación con la Tabla 8 (dosificación para cloración del agua) se concluye que se requiere suministrar diariamente al tanque de consumo diario 8,13ml de cloro líquido en tiempo normal y 16,25 ml en tiempo de emergencia, el cual se propone medir haciendo uso de una jeringa que permita medir las cantidades lo más exactamente posible. De esta manera, máximo en el mes se requiere 504 ml de hipoclorito de sodio en

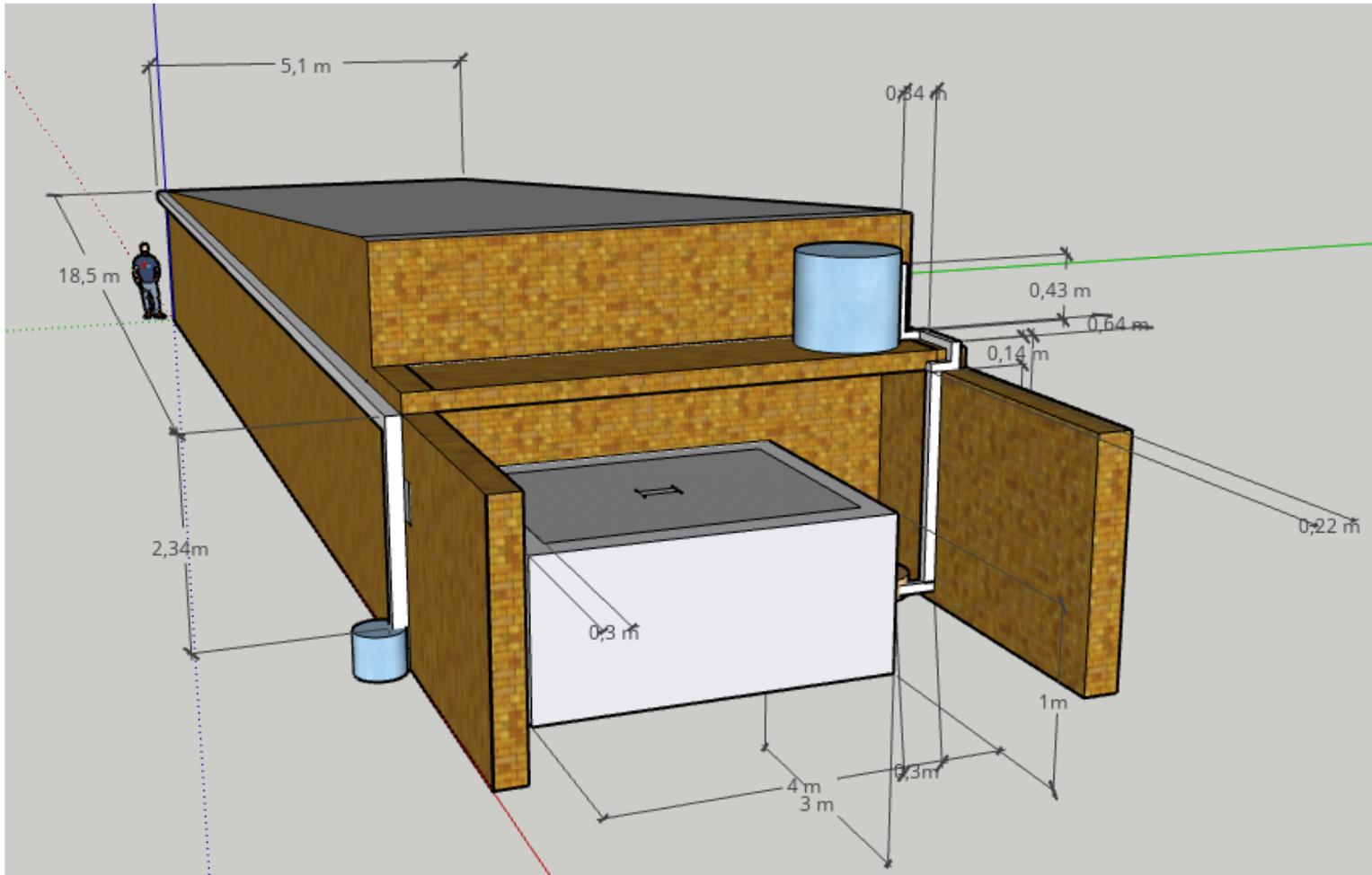
concentración de 5.25%. Debido a que este volumen no es comercializado en el mercado se propone la compra de 3,8 L por \$ 7000, lo cual sería suficiente para 8 meses. Cabe resaltar que lo anterior se calculó suponiendo que en cada mes se realizó un uso de emergencia, en caso de realizar un uso normal el tiempo de uso del cloro líquido se extenderá a 15 meses.

Se debe tener en cuenta que el tiempo de contacto mínimo para que la desinfección sea realizada exitosamente es de 30 minutos. Además se debe evitar agitar el cloro antes de usarlo y se debe procurar guardar en un lugar fresco y oscuro (OMS, 2006., citado por Cuervo, P. 2020).

Diseño del Sistema

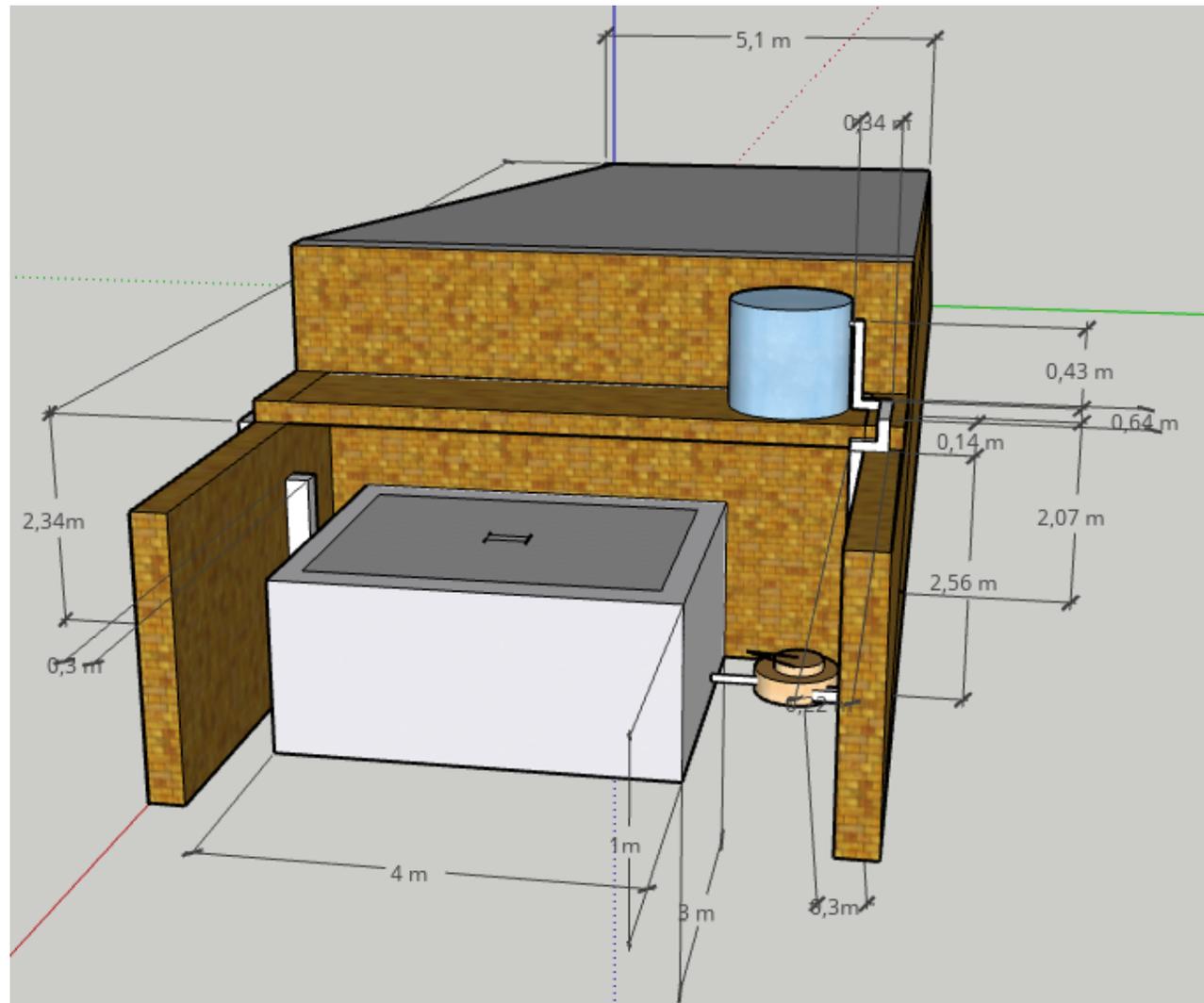
En las siguientes figuras se presenta el diseño del sistema realizado gracias al programa SketchUp, seguidamente en la Tabla 12 se exponen las medidas correspondientes a cada tramo del sistema. En él se puede apreciar los elementos mencionados anteriormente, cabe resaltar que el tanque de almacenamiento que se puede apreciar en la parte alta busca satisfacer las necesidades de uso potable para en la vivienda. Para actividades como el uso de la cisterna del baño, lavado de casa y riego de plantas se propone la utilización del agua del tanque principal de almacenamiento de agua lluvia., con ello se evitará el uso de hipoclorito de sodio y el proceso de filtración para actividades que no requiere una alta calidad de agua.

Figura 12. *Diseño del sistema de recolección de agua lluvia, Vista 1.*



Elaboración Propia.

Figura 13. *Diseño de Recolección de agua lluvia, Vista 2.*



Elaboración Propia.

Tabla 12. *Cantidades de tubería, canaletas y bajantes a usar en la propuesta.*

N.	Tramo	Longitud (m)	Descripción
1	Canaleta	5,10	Canaleta principal ubicada en la parte frontal de la vivienda.
2	Canaleta	18,5	Canaleta secundaria ubicada en la parte lateral de la vivienda.
3	Bajante	2,34	Tubería encargada de transportar las primeras aguas al tanque interceptor
4	Tubería	0,30	Tubería encargada de transportar el agua al tanque de almacenamiento
5	Bajante	2,56	Tubería encargada de transportar el agua al tanque de consumo diario
6	Tubería	0,22	Tubería encargada de transportar el agua al tanque de consumo diario
7	Tubería	0,14	Tubería encargada de transportar el agua al tanque de consumo diario
8	Tubería	0,64	Tubería encargada de transportar el agua al tanque de consumo diario
9	Tubería	0,34	Tubería encargada de transportar el agua al tanque de consumo diario
10	Tubería	0,43	Tubería encargada de transportar el agua al tanque de consumo diario
11	Tubería	2,07	Tubería encargada de transportar el agua del tanque de consumo diario a dentro de la vivienda.
		23,6 m	Total canaleta
		4,9 m	Total Bajante
		4,142 m	Total Tubería

Elaboración propia.

Mantenimiento al sistema

Para permitir una extensa durabilidad del sistema y un eficiente funcionamiento se propone llevar a cabo las siguientes medidas teniendo en cuenta el artículo 10, del decreto 1575 del 2007:

- Antes del inicio de la temporada de lluvia se recomienda realizar mantenimiento al sistema para permitir una mayor eficiencia en la época de lluvia. Con ayuda de una escalera, balde, cepillo y escoba se debe realizar la limpieza del techo, canaletas, salida de

bajante y tanque de almacenamiento a la par, se debe eliminar insectos o pequeños animales que puedan estar anidando en el sistema.

- Para evitar vectores se debe limpiar el área adyacente a los tanques de almacenamiento, eliminando la maleza o desechos que puedan llegar a convertirse en habidad de animales e insectos.
- De manera semestral se deberá realizar limpieza a los tanques de almacenamiento, inicialmente se debe asegurarse de vaciarlos de agua y posteriormente con ayuda de una escalera y un ayudante se debe ingresar con cuidado y limpiar la superficie interior con agua clorada.
- En caso de presentarse fugas de agua en el sistema, se deberá realizar reparaciones y si es necesario realizar cambio de accesorios.

Se debe tener en cuenta que la persona encargada del mantenimiento debe contar con los elementos básicos de protección y seguridad tales como Tapabocas, guantes y protectores visuales.

Presupuesto para la realización del sistema

Finalmente realizado el diseño del sistema, se procede a realizar el presupuesto del mismo teniendo en cuenta las cantidades de tubería canaletas y bajantes especificadas en la Tabla 11. Los precios unitarios fueron tomados de los establecidos por las empresas Easy Colombia y Homecenter, dicho presupuesto puede variar en relación con el año en que se realice, el maestro de obra y el proveedor de materiales.

Tabla 13. Presupuesto para la realización del sistema de agua lluvia.

Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario *	Valor Total * (COP)
Adecuaciones estructurales (muros laterales, terraza y tanque de almacenamiento)					
	Cemento	Saco de 50 kg	8	\$ 25.000	\$ 200.000
	Arena	Saco de 40 kg	10	\$ 7.900	\$ 79.000
	Ladrillos	Und	754	\$ 700	\$ 527.800
	Grava	Saco de 40 kg	8	\$ 7.990	\$ 63.920
	Alquiler de andamios	Día	2	\$ 25.000	\$ 50.000
	Piso cerámico	m2	32,52	\$ 30.900	\$ 1'004.868
<i>Total, Adecuaciones estructurales</i>					\$ 1'925.588
Red de conducción de agua lluvia					
	Canal Raingo Pavco	3 m	8	\$ 52.900	\$ 423.200
	Bajantes Pavco	3 m	2	\$ 82.300	\$ 164.600
	Unión canaletas	Und	7	\$ 8.100	\$ 56.700
	Tubería 3"	6 m	1	\$ 84.900	\$ 84.900
	Codo de 90 de 3"	Und	8	\$ 1.826	\$ 14.608
	Unión de canal a bajante	Und	1	\$ 8.500	\$ 8.500
	Unión esquina de can.	Und	1	\$ 10.700	\$ 10.700
	Tapa de canaleta	Und	1	\$ 4.900	\$ 4.900
	Soporte de bajantes	Und	2	\$ 2.600	\$ 5.200
	Abrazadera de tub.	6 Und	1	\$ 13.900	\$ 13.900
	Soporte de canaletas	Und	12	\$ 2.500	\$ 30.000
<i>Total, Red de conducción de agua lluvia</i>					\$ 817.208
Tanques de Almacenamiento requeridos					
	Tanque interceptor	Und	1	\$ 65.000	\$ 65.000
	Tanque para consumo diario	Und	1	\$ 150.000	\$ 150.000
<i>Total, Tanques de Almacenamiento requeridos</i>					\$ 215.000
Otros					
	Bomba manual Wiltec	Und	1	\$ 129.891	\$ 129.891
	Hipoclorito de sodio	3,8 L	1	\$ 7.000	\$ 7.000
	Tornillos inoxidables	Caja de 100	1	\$ 10.000	\$ 10.000
	Válvula anti retorno	Und	1	\$ 26,000	\$ 26,000
	Filtro Purificador de agua de 14 L	Und	1	\$ 88,990	\$ 88,990
	Transporte de material	-	-	\$ 80.000	\$ 80.000
	Mano de obra	-	-	\$ 500.000	\$ 500.000
<i>Total, Otros</i>					\$ 841.881
TOTAL					\$ 3'799.677

Elaboración propia.

Nota.

* Los valores corresponden a precio colombiano para el año 2021.

Conclusiones

De esta manera el presente trabajo demuestra como el aprovechamiento de aguas lluvias es una alternativa viable para el abastecimiento de agua potable en la vivienda de estudio del barrio la Gaviota, mejorando su calidad de vida de los habitantes y permitiendo la disponibilidad del recurso en épocas de sequía.

Para la elaboración del sistema se requiere de datos importantes del ciclo hidrológico tales como, precipitación, Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia y escorrentía, así como los datos más cercanos a la demanda de agua en aquellas actividades que requieran de la misma. Del mismo modo, la implementación de los cálculos a la hora del diseño del sistema fueron un recurso útil y de valiosa importancia para garantizar un buen funcionamiento en el sistema.

Si bien el sistema no permite el abastecimiento del 100% de las actividades del hogar a causa del número de personas que habitan la misma, el área de captación y la oferta de agua lluvia, se identificó que en un año se alcanzaría una recolección de 154,3 m³, lo cual abastecería el 12 % del agua consumida en la vivienda, con una inversión inicial de \$ 3'799.677.

Con las precipitaciones pronosticadas para el año 2022, el sistema logra abastecer el 82% de las actividades realizadas en el hogar que demandan agua durante casi todos los meses, excluyendo enero, febrero, agosto y septiembre.

La diversificación en el abastecimiento de un recurso brinda más oportunidades al beneficiario de recolectar almacenar y sobrepasar épocas en donde el mismo sea escaso, panorama que se puede llegar a extrapolar a diferentes problemáticas.

Recomendaciones

Se debe tener en cuenta que el cuidado del agua debe persistir en los hábitos de la comunidad, ya que sin él ningún sistema será suficiente para satisfacer las incontroladas necesidades humanas. Principalmente se debe tener cuidado a la hora de bañarse debido a que está es la actividad que más agua demanda a causa de su alto caudal y su tiempo de duración. Además, se debe ser consistente en el cerrado del grifo en actividades como lavado de loza, lavado de manos y de dientes.

En caso de llevarse a cabo el sistema se recomienda monitorear de manera periódica con pruebas de laboratorio fisicoquímicas y microbiológicas la calidad de agua lluvia que esta siendo utilizada para consumo diario, evaluando que estas cumplan con los parámetros establecidos en la Resolución 2115 del 2007.

Del mismo modo, se recomienda promover y fomentar la implementación de estas nuevas alternativas desde los entes administrativos buscando apuntar a un desarrollo sostenible en la comunidad.

Referencias Bibliográficas

Angel & Guerrero, (2017). Análisis preliminar de la problemática en el sistema de recolección y distribución de agua en Ibagué. Recuperado el 27 de mayo de 2021 de <http://repository.cesa.edu.co/handle/10726/1779>

Benavides y Arévalo (2017). Sistema alternativo de recolección y aprovechamiento de agua lluvia, para una vivienda de interés social en el barrio La victoria de la localidad de San Cristóbal. Recuperado el 27 de mayo de 2021 de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14536/2/sistema%20alternativo%20de%20recoleccion%20de%20aguas%20lluvias%20en%20san%20cris.pdf>

Camarasa-Belmonte, et al. (2018). Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea. Recuperado el 27 de mayo del 2021 de <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2714>

CIMPP, (2017). Anuario estadístico municipal Ibagué 2016-2017. Recuperado el 10 de febrero de <https://www.ibague.gov.co/portal/admin/archivos/publicaciones/2018/19792-DOC-20180220.pdf>

Cisneros, G. (2019). Modelo de flujo del agua subterránea del acuífero laguna de hormigas, chihuahua, México. Recuperado el 27 de mayo del 2021 de <http://repositorio.uach.mx/277/>

Consejo Municipal Ibagué (2020). Plan de Desarrollo Municipal Ibagué Vibra 2020-2023. Recuperado el 27 de mayo de 2021 de

<https://ibague.gov.co/portal/admin/archivos/publicaciones/2020/30729-PLA-20200701191920.pdf>

CORTOLIMA, (2018). Propuesta de meta de reducción de carga contaminante para el municipio de Ibagué. Recuperado el 27 de mayo de 2021 de <http://ovirtual.cortolima.gov.co/docs/acrds/2018/2018a1325.pdf>

Decreto 1541. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia Santa Fe de Bogotá, D. C., a 26 de julio de 1978.

Decreto 2811. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia Santa Fe de Bogotá, D. C., a 18 de diciembre de 1974.

Díaz, K., (2019). El Oro Azul y su Gestión de Pérdidas en Colombia, MODULO ARQUITECTURA CUC, vol. 23, no. 1, pp. 9-22, 2019. Recuperado el 27 de mayo de 2021, de <http://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.01>

Domínguez, E. (2017). Las contraindicaciones de la abundancia de agua en Colombia. [sostenibilidad.semana.com]. Artículo Semana Sostenible. Recuperado el 10 de febrero de 2021, de <https://sostenibilidad.semana.com/opinion/articulo/las-contradicciones-de-la-abundancia-de-agua-en-colombia/38783>

Garay, C.C. (2018). Las especies de agua dulce disminuyen un 83% desde 1970, la mayor extinción de vertebrados a nivel mundial. [nationalgeographic.es]. Artículo National

Geographic. Recuperado el 10 de febrero de 2021, de
<https://www.nationalgeographic.es/animales/2018/11/las-especies-de-agua-dulce-disminuyen-un-83-desde-1970-la-mayor-extincion-de>

IDEAM, (2019). Glosario Meteorológico. Bogotá, D. C., agosto del 2019. Recuperado el 10 de febrero de
<http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>

IDEAM, (2010). Tomo II, 2da Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Bogotá, D. C., junio del 2010. Recuperado el 10 de febrero de 2021, de
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021658/2Comunicacion/IDEAMTOMOII Preliminares.pdf>

IDEAM, (2019). Definiciones del Catálogo Nacional de Estaciones. Recuperado el 27 de mayo de 2021 de
<http://www.ideam.gov.co/documents/10182/557765/Definiciones+CNE.pdf/25e1cca5-ee47-4eaf-86c0-c4f5192a9937>

Instituto Nacional de Salud, (2020). Boletín de vigilancia de la calidad del agua para el consumo humano. Recuperado el 10 de febrero de 2021, de
<https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/boletin-vigilancia-calidad-del-agua-octubre-2020.pdf>

Ley 373. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Republica de Colombia Santa Fe de Bogotá, D. C., a 6 de junio de 1997.

Ley 142. Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia Santa Fe de Bogotá, D. C., a 11 de julio de 1994.

NTC 1500 del 2004. Código colombiano de fontanería, Bogotá, D. C., a 23 de agosto de 2017.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015). Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

OMS, (2020). Indicaciones para la higiene de manos. [who.int]. Sitio web mundial de la OMS. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de https://www.who.int/gpsc/tools/Five_moments/es/

ONU, (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. [un.org]. Sitio web mundial de los ODS. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Ospina, J. (2020). Agua y COVID-19 en América Latina: La falta de acceso al agua potable aumenta el riesgo de contagio. [dw.com]. Artículo DW. Recuperado el 10 de febrero de

2021, de <https://www.dw.com/es/agua-y-covid-19-en-am%C3%A9rica-latina-la-falta-de-acceso-al-agua-potable-aumenta-el-riesgo-de-contagio/a-53932548>

Ospina, O., & Ramírez, H, (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia. Recuperado el 10 de noviembre de 2021 de: <file:///Users/victoria/Downloads/812-Article%20Text-1854-1-10-20150408.pdf>

Pacheco, G (2020). Radicación Proyecto de Ley No. de 2020 “Por el cual se establece el mínimo vital de agua potable y se dictan otras disposiciones”. Recuperado el 10 de septiembre de 2021 de <https://cutt.ly/QRSaBv5>

Pavco, (2017). Manual Técnico sistemas canales y bajantes. Recuperado el 27 de mayo del 2021 de: <https://pavcowavin.com.co/download/13>

Resolución 330 del 2017. Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. Republica de Colombia, a 08 de junio del 2017.

Ruiz, Z., et al (2018). Diseño de sistema para el aprovechamiento de agua lluvia y ahorro de agua potable en el colegio la nueva esperanza del municipio de la Calera – Cundinamarca. Recuperado el 27 de mayo del 2021 de <https://cutt.ly/kRSa1x2>

UNESCO, (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

USAID et al, (2021). Contemplar, comprender, y conservar: Manual ilustrado para guías de turismo de naturaleza en Colombia. Recuperado el 27 de mayo de 2021 de https://guianaturaleza.colombia.travel/pdf/USAID_Procolombia_Manual-para-guias.pdf

Anexo 1. Análisis de Muestra.

B99:21 16:46

Análisis físico-químico de aguas acueductos

	GOBERNACIÓN DEL TOLIMA SECRETARÍA DE SALUD LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA	Código: LSP-FOR-IV-096
	INFORME DE RESULTADO DE ENSAYO FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS ACUEDUCTO	Versión: 03
		Vigencia desde: 22/03/2018

RADICADO No: 1328

SOLICITANTE: LAURA VICTORIA HUERTAS
BATACHE

AGUA: No Tratada (Urbano)

MUNICIPIO: IBAGUÉ

FECHA DE TOMA: 2021-08-26

DIRECCIÓN DE SOLICITANTE: CALLE 13 # 7 - 82

PUNTO DE TOMA: AGUA LLUVIA CALLE 13 # 7-82

EPSA:

INFORME No: 7963

ENSAYO FÍSICOQUÍMICO

FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO : 2021-08-26

	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Res. 2115/2007	METODO DE ENSAYO	Especial	RESULTADO	VALOR ADMISIBLE Res. 2115/2007	METODO DE ENSAYO
pH	7.05	6.5 - 8.0	Potenciométrico	Fluoruro (mg / L)	N.D.	< 1	Ion Específico
Color (UPC)	1.64	<= 15	Espectrofotométrico	Alcalinidad (mg CaCO3/L)			
Turbiedad (UNT)	1.96	<= 2	Turidimétrica	Total	3.23	<= 200	Volumétrico
Conductividad (umhos/cm)	12.5	<= 1000	Conductimétrico	A la fenofaleína	N.D.		Volumétrico
Olor	Aceptable	Aceptable	Organoléptico	Hidroxidos	N.D.		Volumétrico
Sabor	Aceptable	Aceptable	Organoléptico	CaCO3	N.D.	<= 200	Volumétrico
Cloro Residual Libre (mg/L)	N.D.	0.3 - 2.0	Espectrofotométrico	Ca(HCO3)2	3.23		Volumétrico
DUREZA (mg CaCO3/L)				NO METALES (mg/L)			
Total	N.D.	<= 300	Volumétrico	Cloruros	0.98	< 250	Volumétrico
Calcica	N.D.	124	Volumétrico	Nitratos	0.60	< 10	Espectrofotométrico
Calcio	N.D.	<60	Volumétrico	Nitritos	0.02	< 0.1	Espectrofotométrico
Magnesio	N.D.	<38	Volumétrico	Sulfatos	N.D.	< 250	Espectrofotométrico
METALES (mg/L)				Fosfatos	0.06	< 0.5	Espectrofotométrico
Hierro Total	0.02	< 0.3	Espectrofotométrico				
Cobre	N.A.	< 1.0	Espectrofotométrico				
Aluminio	N.A.	< 0.2	Espectrofotométrico				

N.D: No Detectado N.A: No Aplica * Valor reportado por el Técnico de Saneamiento

OBSERVACIONES:

IRCA = 32,97%

CONCEPTO: No cumple la resolución 2115/2007 por parámetros físico-químicos fuera de rango (Cloro Residual Libre)

ENSAYO MICROBIOLÓGICO

FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO : 2021-08-26

MUESTRA	PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADO
AGUA LLUVIA CALLE 13 # 7-82	Coliformes Totales (100 ml)	SUSTRATO DEFINIDO	PRESENCIA
	Escherichia Coli (100 ml)	SUSTRATO DEFINIDO	AUSENCIA

Observaciones:

AGUA LLUVIA La muestra no cumple con la normatividad vigente: Resolución 2115 de 2007. Coliformes totales: Ausencia, Escherichia coli: Ausencia, para aguas de consumo humano

Código Analista Físicoquímico: LSP 3451

Código Analista Microbiológico: LSP 1301


 COORDINADOR LSP
FIN DEL INFORME

El resultado emitido corresponde únicamente al obtenido al ensayo de la muestra allegada para estudio, identificada como se especifica en el contenedor de la misma y la solicitud de servicio respectiva. No está permitido reproducir parcialmente o totalmente el informe de resultados sin la aprobación escrita del líder técnico

CARRERA 2a A CALLES 33 Y 34 IBAGUE-TOLIMA
TELEFONO: (098) 2856644