

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN LA VEREDA SANTA ROSA
DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO- META**

JORGE LEONARDO MARTÍNEZ MARÍN

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN LA VEREDA SANTA ROSA DEL
MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO- META**

JORGE LEONARDO MARTÍNEZ MARÍN

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Recursos Hídricos.

ASESOR: JORGE IVÁN PÉREZ ALVARINO

INGENIERO CIVIL

INGENIERO AMBIENTAL

MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN RECURSOS HÍDRICOS

BOGOTÁ D.C – 2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá D.C., noviembre de 2019.

Dedicatoria

Este trabajo lo quiero dedicar en primera instancia a Dios, pues ha sido él quien me ha dado la fortaleza necesaria en aquellos momentos en los que he desfallecido y he llegado a sentir que no tengo la fuerza suficiente para seguir adelante; por eso este logro ha sido posible gracias a él.

A mis hijos y esposa que son mi gran motivación, quienes me dan el apoyo moral fuerza necesaria todos los días para luchar en busca de mis objetivos y ser un ejemplo para ellos.

Agradecimientos

Principalmente le agradezco al Ingeniero Jorge Iván Pérez por su asesoría e interés por ayudarme en la realización de este proyecto, siempre dispuesto a resolver inquietudes y a colaborar en lo que hiciera falta con el fin de conseguir un buen trabajo. A cada uno de los profesores de la especialización que aportaron en su experiencia profesional y conocimiento.

A mis padres por su apoyo y confianza en mí, por la educación que me brindaron y a través de ella haberme enseñado que la formación académica es el mejor camino para lograr el crecimiento personal y alcanzar una mejor calidad de vida.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO	17
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1 Antecedentes del problema.....	20
1.2.2 Pregunta de investigación	23
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	23
1.4 OBJETIVOS	25
1.4.1 Objetivo general	25
1.4.2 Objetivos específicos	25
2 MARCOS DE REFERENCIA	26
2.1 MARCO CONCEPTUAL	26
2.2 MARCO TEÓRICO	30
2.2.1 Tipos de Cubiertas.....	37
2.2.1.1 Cubiertas inclinadas.....	37
2.2.1.2 Cubiertas multidireccional (varias aguas).....	38
2.2.1.3 Techos verdes para recolección y tratamiento de aguas lluvias	39
2.3 MARCO JURÍDICO.....	41
2.4 MARCO GEOGRÁFICO.....	43
2.5 MARCO DEMOGRÁFICO	48
2.6 ESTADO DEL ARTE	50
3 METODOLOGÍA.....	55
3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO	55
3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS	59
4 DESCRIPCIÓN DE ASPECTOS RELEVANTES PARA SELECCIÓN DEL SISTEMA EN LA ZONA DE ESTUDIO	60
4.1 CALIDAD DEL AGUA LLUVIA	60
4.2 HIDROLOGÍA DE LA ZONA	63
4.3 ARQUITECTURA DEL PROYECTO	64

4.4	COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA.....	65
5	DATOS BASE PARA LA EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN LA VEREDA SANTA ROSA	66
5.1	ÁREA APROVECHABLE.....	67
5.2	PRECIPITACIÓN DE LA ZONA.....	67
5.3	OFERTA, DEMANDA Y VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO.....	77
5.4	POTENCIAL DE AHORRO.....	79
6	DISPOSICIÓN FINAL DEL AGUA LLUVIA EN EL PROYECTO.....	80
6.1	RIEGO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS.....	84
6.2	USO DOMESTICO (NO POTABLE).....	94
7	CONCLUSIONES	99
8	RECOMENDACIONES.....	100
9	BIBLIOGRAFÍA	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS, (“CAPTACIÓN AGUA”, S.F).....	29
FIGURA 2 CICLO DEL AGUA LLUVIA PARA SU APROVECHAMIENTO, FUENTE: MARTÍNEZ Y RODRÍGUEZ, 2019.	32
FIGURA 3 SISTEMAS CON FILTROS DE AGUA, FUENTE: (“5 SISTEMAS PARA APROVECHAR EL AGUA LLUVIA, 2017).	33
FIGURA 4 TANQUES EXTERIORES MODULARES, FUENTE: (“5 SISTEMAS PARA APROVECHAR EL AGUA LLUVIA, 2017).	33
FIGURA 5 DEPÓSITO RAINDROP, FUENTE: (“5 SISTEMAS PARA APROVECHAR EL AGUA LLUVIA, 2017).	34
FIGURA 6 TANQUES ENTERRADOS MODULARES, FUENTE: (“5 SISTEMAS PARA APROVECHAR EL AGUA LLUVIA, 2017).	35
FIGURA 7 INSTALACIÓN DE TANQUES AQUACELL, FUENTE: (“5 SISTEMAS PARA APROVECHAR EL AGUA LLUVIA, 2017)	36
FIGURA 8 DEPÓSITOS DECORATIVO, FUENTE: (“5 SISTEMAS PARA APROVECHAR EL AGUA LLUVIA, 2017).	36
FIGURA 9 TECHO UN AGUA, FUENTE: ROBAYO Y MARTÍNEZ, 2016.	38
FIGURA 10 TECHO DOS AGUAS, FUENTE: ROBAYO Y MARTÍNEZ, 2016.	38
FIGURA 11 TECHO CUATRO AGUAS, FUENTE: ROBAYO Y MARTÍNEZ, 2016.	38
FIGURA 12 MODELO DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA EN FACHADAS DE MAMPOSTERÍA, VENTANERÍA Y FACHADAS ACRISTALADAS.	40
FIGURA 13 DEMANDA HÍDRICA SECTORIAL (MILLONES DE M ³ /AÑO), FUENTE: ENA 2018.	42
FIGURA 14 DEMANDA DE AGUA, HUELLA HÍDRICA AZUL Y FLUJOS DE RETORNO EN MILLONES DE M ³ . FUENTE: ENA, 2018.	43
FIGURA 15 PROYECCIÓN DE DEMANDA DE AGUA DE CULTIVOS TRANSITORIOS, CALENDARIO A Y B, 2016-2030, FUENTE: ENA, 2018.	44
FIGURA 16 ÍNDICE DE EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (IEUA), FUENTE: ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA, 2018.	45
FIGURA 17 ÍNDICE DE RURALIDAD, DDRS-DNP, 2016.	46
FIGURA 18 LOCALIZACIÓN SANTA ROSA EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, META, FUENTE: ALCALDÍA DE VILLAVICENCIO, S.F.	48
FIGURA 19 ÁREA DE CUBIERTA A UN TECHO DEL PROYECTO, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	67
FIGURA 20 PROMEDIO MENSUAL MULTIANUAL (1998-2018) DE LA ESTACIÓN LA LIBERTAD. FUENTE: PROPIA.	68
FIGURA 21 PRECIPITACIÓN TOTAL MES ENERO MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.	69
FIGURA 22 PRECIPITACIÓN TOTAL MES FEBRERO MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.	69
FIGURA 23 PRECIPITACIÓN TOTAL MES MARZO MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.	70
FIGURA 24 PRECIPITACIÓN TOTAL MES ABRIL MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.	70
FIGURA 25 PRECIPITACIÓN TOTAL MES MAYO MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.	71
FIGURA 26 PRECIPITACIÓN TOTAL MES JUNIO MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.	71

FIGURA 27 PRECIPITACIÓN TOTAL MES JULIO MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.	72
FIGURA 28 PRECIPITACIÓN TOTAL MES AGOSTO MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.....	72
FIGURA 29 PRECIPITACIÓN TOTAL MES SEPTIEMBRE MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.	73
FIGURA 30 PRECIPITACIÓN TOTAL MES OCTUBRE MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.....	73
FIGURA 31 PRECIPITACIÓN TOTAL MES NOVIEMBRE MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.....	74
FIGURA 32 PRECIPITACIÓN TOTAL MES NOVIEMBRE MULTIANUAL. FUENTE: PROPIA.....	74
FIGURA 33 POTENCIAL DE AHORRO DE AGUA POTABLE POR MES EN LA VEREDA SANTA ROSA, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	79
FIGURA 34 TIPOS DE APLICACIÓN, VARGAS, 2015.....	80
FIGURA 35 CANALETAS PARA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS POR CUBIERTA, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON IMAGEN SATELITAL DE GOOGLE EARTH.....	81
FIGURA 36 ESQUEMA CANAL AMAZONA, MANUAL TÉCNICO SISTEMAS CANALES Y BAJANTES (PAVCO), 2014.	82
FIGURA 37 POLÍGONOS DE CULTIVOS VEREDA SANTA ROSA 2019, FUENTE: PROPIA.	82
FIGURA 38 TOMA Y ALMACENAMIENTO DE LA MUESTRA, FUENTE: PROPIA.	83
FIGURA 39 ANÁLISIS pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, TDS, TEMPERATURA DE LAS AGUAS LLUVIAS VEREDA SANTA ROSA, FUENTE: PROPIA	83
FIGURA 40 PERIODOS DE RETORNO, FUENTE: RAS 0330 DE 2017.....	86
FIGURA 41 CURVAS IDF, FUENTE: IDEAM	87
FIGURA 42 DIMENSIONAMIENTO DE DESAGÜES PRINCIPALES DE CUBIERTA, RAMALES Y BAJANTES DE AGUAS LLUVIAS, FUENTE: NTC 1500 DE 2004.....	88
FIGURA 43 RED DE CONDUCCIÓN DE AGUAS CAPTADAS A CULTIVOS, FUENTE: PROPIA.....	88
FIGURA 44 CIMENTACIÓN DE TUBERÍAS PARA RASANTES EN AFIRMADO, 2019. NORMA TÉCNICA 035 EAAB	90
FIGURA 45 ANCHOS MÁXIMOS DE CIMENTACIÓN. FUENTE: NORMA TÉCNICA 035 EAAB	90
FIGURA 46 ZONAS DE CULTIVOS EN LA VEREDA SANTA ROSA, FUENTE: PROPIA.....	90
FIGURA 47 RIEGO SUPERFICIAL. A) RIEGO POR SURCOS B) RIEGO POR INUNDACIÓN	91
FIGURA 48 VALORACIÓN NOMINAL POR RUBROS DE LOS COSTOS DEL ARROZ RIEGO DESDE 2000 HASTA 2019 SEMESTRE 1 EN COLOMBIA COSTOS POR HECTÁREA EN PESOS COLOMBIANOS ZONA: LLANOS. FUENTE FEDEARROZ, 2019.....	92
FIGURA 49 ELEMENTOS DEL SISTEMA POR GRAVEDAD PARA VIVIENDAS DE UN PISO, SUÁREZ Y RODRÍGUEZ, 2014. ...	94
FIGURA 50 SISTEMA DE CAPTACIÓN PROPUESTO EN LA VEREDA SANTA ROSA PARA USO NO DOMÉSTICO, FUENTE: PROPIA, 2019.	95
FIGURA 51 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO BÁSICO DE AGUA POTABLE SUBSIDIABLE EN COLOMBIA, CRA 2015.....	96
FIGURA 52 RECIBO ACUEDUCTO VEREDA SANTA ROSA. FUENTE: PROPIA, 2019.....	96

FIGURA 53 TARIFAS DE SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN VILLAVICENCIO – META, 2019. FUENTE:

EAAV.97

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO, FUENTE: PROPIA	30
TABLA 2 INDICADORES POBLACIONALES 2016, FUENTE: PROYECCIÓN DANE 2005-2016 / CÁLCULOS: SIID 2016....	49
TABLA 3 FUENTES DE ABASTECIMIENTO, FUENTE: SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS 2015. SIID 2016....	49
TABLA 4 LISTADO ACUEDUCTOS ÁREA RURAL, FUENTE: EAAV, 2009	50
TABLA 5 RESULTADOS ANÁLISIS AGUA LLUVIA RECOLECTADA, FUENTE: CORREA, 2014.....	61
TABLA 6 COMPARACIÓN CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS ANTES Y DESPUÉS DEL FILTRO, FUENTE: ORTIZ Y VELANDIA, 2017	62
TABLA 7 COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA PARA DIFERENTES MATERIALES DE CUBIERTA, FUENTE: BOCANEGRA Y ALMANZÁ, 2015.....	65
TABLA 8 VALORES DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL EN LITROS POR METRO CUADRADO PARA LOS 20 AÑOS ANALIZADOS, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA DE ACUERDO CON LOS DATOS PLUVIOMÉTRICOS DE LA ESTACIÓN LA LIBERTA DE VILLAVICENCIO, META (1998-2018).....	68
TABLA 9 RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL, DEMANDA Y OFERTA MENSUAL, DEMANDA Y OFERTA ACUMULADA PARA LA VEREDA SANTA ROSA, VOLÚMENES DE ALMACENAMIENTO Y POTENCIAL DE AHORRO DE AGUA EN USO DOMÉSTICO, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	77
TABLA 10 RESULTADOS DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL, DEMANDA Y OFERTA MENSUAL, DEMANDA Y OFERTA ACUMULADA, VOLÚMENES DE ALMACENAMIENTO Y POTENCIAL DE AHORRO DE AGUA EN USO RIEGO CULTIVOS PARA LA VEREDA SANTA ROSA, FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	78
TABLA 11 REPORTE DE RESULTADO MICROBIOLÓGICOS, FUENTE: TECNO AMBIENTAL S.A.S	84
TABLA 12 DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS QUÍMICO, FUENTE: LABORATORIO AGROSAVIA	84
TABLA 13 CANTIDADES DE TUBERÍA PARA RED DE CONDUCCIÓN, FUENTE: PROPIA.	89
TABLA 14 PARÁMETROS DEL AGUA PARA USO EN AGRICULTURA, FUENTE: MORENO Y QUINTERO 2014.	89
TABLA 15 PRESUPUESTO PARA APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS PARA RIEGO PARA LA VEREDA SANTA ROSA, FUENTE: PROPIA, 2019	93
TABLA 16 DEMANDA EN USO NO POTABLE, FUENTE: GUERRA, 2019.	96
TABLA 17 PRESUPUESTO PARA APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS POR VIVIENDA, FUENTE: PROPIA, 2019	97

RESUMEN

Hoy en día, en diferentes lugares del mundo, el agua potable escasea considerablemente. Esta situación puede verse considerablemente intensificada por causa del aumento de la población, el Cambio Climático y al mal uso del recurso hídrico. Por ello se hace necesario la búsqueda de alternativas que aporten ambiental y económicamente para combatir las problemáticas provocadas por la escasez del recurso hídrico.

El objetivo principal de este proyecto es evaluar la viabilidad de la implementación de un sistema de recolección y utilización de las aguas lluvias en zona rural del municipio de Villavicencio-Departamento del Meta. Esto con el fin de aportar en el ahorro de agua potable en los diferentes usos domésticos: como: descargas de sanitarios, lavado de pisos, riego de jardines, riego de cultivos, entre otros, en zonas donde hay o podría llegar a haber baja disponibilidad de aguas superficiales, buena oferta de agua lluvia. Lo anterior aplicado en la vereda de Santa Rosa en el municipio de Villavicencio, Meta, como análisis de la viabilidad económica de la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia como referente para la aplicación, la evaluación del potencial de ahorro en el consumo de agua potable para la ejecución en futuros proyectos en los que las características hidrológicas, tipos de cubierta y disposición del agua recolectada coincidan o se asemejen con los descritos en el presente documento.

Las primeras condiciones que se deben evaluar en la etapa de estudio y eficiencia de la implementación del sistema de recolección y utilización de aguas lluvias en el sitio de estudio es la oferta pluviográfica, el tipo de arquitectura del proyecto, la disposición final del aprovechamiento y el factor beneficio costo.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo evidencia que la calidad del agua lluvia en zona rural son buenas y que su eficiencia y aporte en uso doméstico no potable y/o en riego de cultivos es considerable y que uno de las limitantes para su implementación es la inversión económica inicial.

ABSTRACT

Nowadays, in different parts of the world, drinking water is scarce. This situation can be verified severely intensified due to population increase, Climate Change and the misuse of water resources. That is why it is necessary to search for alternatives that contribute environmentally and economically to combat the problems caused by the scarcity of water resources.

The main objective of this project is to evaluate the viability of the implementation of a system for collecting and using rainwater in rural areas of the municipality of Villavicencio-Meta Department in order to contribute to the saving of drinking water in the different uses Domestic: as: sanitary discharges, floor washing, garden irrigation, crop irrigation, among others, in areas where there is low availability of surface water, good supply of rainwater. The above applied in the village of Santa Rosa as an analysis of the economic viability of its implementation as a reference for the application, the evaluation of the potential for saving in the consumption of drinking water for its execution in future projects in which the hydrological characteristics, cover types and disposition of collected water match or resemble those described in this document.

The first conditions that must be evaluated in the study stage and efficiency of the implementation of the rainwater collection and use system at the study site are the pluviographic offer, the type of project architecture, the final disposition of the use and the cost benefit factor.

The results obtained in this work show that the quality of rainwater in rural areas is good and that its efficiency and contribution in non-potable domestic use and / or in crop irrigation is considerable and that one of the limitations for its implementation is the initial economic investment.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios y través de la historia las civilizaciones han requerido el suministro del agua para subsistir considerando este recurso una necesidad universal y limitante para la existencia de la vida. Las actividades del ser humano que día a día destruyen las cuencas hidrográficas han causado escases de este importante recurso afectando grandes extensiones de tierra y por ende las poblaciones. Sin embargo, a través del tiempo el agua lluvia se ha convertido en una gran opción para contribuir en el suministro de agua potable en otras fuentes.

El aprovechamiento del agua lluvia representa una técnica viable para diferentes propósitos ya que a través de su adecuada recolección y utilización en diferentes usos puede llegar a contribuir significativamente en la calidad de vida de comunidades donde se sufre o se puede llegar a sufrir la ausencia o falta de continuidad del suministro de agua potable en diferentes usos sin embargo en la actualidad su implementación no demuestra una gran acogida.

Los sistemas de recolección de aguas lluvias no tienen grandes variaciones entre sí; la mayoría de estos cuentan con los siguientes componentes: captación, distribución y almacenamiento. Lo que hace la diferencia es el uso para el que se requiere cada sistema pues dependiendo de esto se debe tener en cuenta algunas variables adicionales, como por ejemplo que el medio de captación a usar sean canaletas en las fachadas o techos, si su distribución es por gravedad o bombeo, si se requiere almacenamiento, si es necesario algún tipo de tratamiento; para así poder diseñar el mejor sistema y que se ajuste a la necesidad de la comunidad para el mejoramiento de su calidad de vida.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la viabilidad económica de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias ya que este recurso por ahora es gratuito, además los sistemas de captación son de fácil instalación y mantenimiento, ayudan a disminuir el consumo de agua potable de las redes públicas reduciendo los pagos de facturas a las empresas de servicios públicos prestadoras del servicio, no requiere energía para este caso de estudio; aportan a la generación de empleo de mano de obra y compra de materiales locales. Si bien su inversión inicial en costos es un poco alta dependiendo de la complejidad del sistema y su disposición final esta inversión se ve

retribuida en el ahorro de consumo de las redes públicas y su mantenimiento no es constante sino periódico en la limpieza de las canaletas y tanques de almacenamiento. Además del factor económico la contribución del agua lluvia es importante en actividades a mayor y menor escala en donde la demanda de agua es bastante como lo es para este caso el riego de cultivos evitando el uso de las fuentes hídricas.

La zona de estudio de este proyecto es la vereda Santa Rosa de la ciudad de Villavicencio la cual se encuentra a 21km de la cabecera municipal en la cual evaluara la viabilidad de la implementación del sistema de captación de aguas lluvias por medio de cubiertas para uso potencial en casas como descarga de inodoros, lavados de zonas verdes y duras, lavamanos, lavado de vehículos entre otros, y para el riego de cultivos de la zona.

Para el análisis de la eficiencia de la implementación del sistema en la zona de estudio se evaluó un periodo de 10 años de precipitación de la estación climatológica La Libertad con el fin de conocer la oferta de agua mensual y su aporte frente a la demanda en los escenarios posibles. Para elegir que disposición se le iba a dar al agua captada se tomó una muestra de agua lluvia para realizar en laboratorio un análisis físico – químico básico. Con los datos obtenidos se consultó si las características analizadas se encuentran dentro de los parámetros mínimos para el uso doméstico y de riego. Apoyado en información secundaria como lo son; ENA 2018, Resoluciones 0330 y 0844 del Reglamento Técnico para el Sector de agua Potable y Saneamiento Básico, NTC 1500, entre otros se realizó el presupuesto para los dos escenarios posibles y el análisis beneficio – costo de estas.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 Línea De Investigación

Dentro de las líneas de investigación de la Universidad Católica de Colombia el presente trabajo se ajusta a la línea de investigación “Gestión y Tecnología para la sustentabilidad de las comunidades” ya que el presente trabajo se encuentra orientado a evaluar la viabilidad de la implementación de un sistema de recolección y utilización de las aguas lluvias aportando al buen uso del agua potable y la preservación de los recursos hídricos; de esta manera se contribuye a la recarga de las fuentes hídricas en una zona rural del municipio de Villavicencio-Meta, la cual presenta déficit del suministro de agua. Dentro de la línea de investigación mencionada abarca temas de saneamiento de comunidades en temas de agua y el Cambio climático, con este trabajo de grado se busca evaluar la implementación de nuevas tecnologías que orienten a la gestión sostenible que garanticen la disponibilidad del agua en términos de cantidad y calidad, su distribución equitativa para los usuarios, el control y seguimiento a través de medidas de manejo que orienten al uso eficiente del recurso hídrico en zonas donde escasee el recurso o por el factor climático pueda llegar a suceder.

Para este caso de estudio se busca evaluar la viabilidad de un sistema de recolección y utilización de las aguas lluvias en la vereda de Santa Rosa de la ciudad de Villavicencio, revisando las características mínimas que se requieren para el desarrollo de estos proyectos como lo son: pluviosidad y forma de captación de las aguas; por lo tanto se contribuirá al establecimiento de alternativas estratégicas que permiten un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos sin afectar otro tipo de recursos ni ecosistemas. Se busca evaluar la viabilidad de este sistema para uso no potable, evaluando su potencial de ahorro, probabilidad de implementación, entre otras; la evaluación de este sistema está orientado al uso doméstico en sistemas de riego.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el mundo se enfrenta a una escasez de agua, la cual se ha originado por el mal uso de los recursos hídricos, la falta de estrategias y alternativas para aprovecharlos y el Cambio Climático. El mal manejo de los recursos hídricos se constituye en una problemática que debe tener más acogida no solo por las entidades gubernamentales sino también por la población; de acuerdo con lo planteado por 2030 Water Resources Group (2030 WRG), quienes en un informe publicado en el 2009 (citado en ONU, 2015) manifiestan: “Se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual”. Por tal motivo, el presente trabajo busca evaluar los sistemas de recolección y utilización de las aguas lluvias más sobresalientes como alternativa de solución a dicha problemática. Para el caso de la ciudad de Villavicencio, ubicada en el Departamento del Meta, pese a ser un Municipio con bastantes afluentes hídricos los habitantes en los últimos años se han visto afectados en el racionamiento y escases del suministro de aguas; debido a los daños originados por factores de la naturaleza en las redes principales de distribución y abastecimiento, por ello evaluar la implementación de sistemas de utilización de aguas lluvias es un buen inicio para posteriores estudios.

Con el paso del tiempo el ser humano en la búsqueda del cambio y el poder ha descuidado y afectado los afluentes existentes por diversos factores que ponen en riesgo la sostenibilidad del recurso para garantizar el abastecimiento de las poblaciones. Sumada a estas acciones de los seres humanos, los factores naturales generan cambios en la disponibilidad de los recursos hídricos. El cambio climático y la variabilidad natural en la distribución y la presencia del agua son las fuerzas naturales que dificultan el desarrollo sostenible. Algunos de los principales factores que afectan al recurso hídrico son (Naciones Unidas, 2015): El crecimiento de la población, en especial en regiones con escasez de agua, los grandes cambios demográficos a medida que la población se desplaza de entornos rurales a urbanos, mayores demandas de seguridad alimentaria y de bienestar socioeconómico, aumento de la competencia entre usuarios y usos, contaminación de origen industrial, municipal y agrícola, etc.

Según evaluaciones realizadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el año 2018 en relación con los municipios susceptibles a

desabastecimiento la cifra paso de 318 municipios, según el ENA 2014, a priorizarse 391 municipios susceptibles a desabastecimiento en el territorio Nacional, distribuidos en 24 departamentos, de los cuales, tienen afectación en al menos el 50% de sus municipios: La Guajira, Magdalena, Cesar, Tolima, Bolívar, Quindío, Santander, San Andrés y Providencia y Valle del Cauca.

Por otra parte, en el ámbito ambiental con frecuencia gran parte de Municipios y Ciudades Colombianas se ven afectadas por la problemática de inundaciones en las vías. Esta problemática se debe a diversos factores, entre los cuales se encuentra el mal manejo de los residuos ordinarios que pueden conllevar a la saturación de los drenajes de alcantarillado; sobre todo en los casos de alcantarillados combinados que tienen entrada de aguas lluvia y las descargas de aguas negras en a los cauces. Esta situación pone de manifiesto una de las ventajas que otorgan los sistemas de captación de aguas lluvias, pues estos permiten controlar la saturación de los drenajes, evitando de esta manera afectaciones a la comunidad.

Las metodologías utilizadas para la captación y almacenamiento del agua lluvia, son el resultado de un análisis que considera las necesidades (demanda de agua, control de afectaciones ambientales tales como sobreutilización de recursos hídricos e inundaciones), los recursos disponibles (dinero para invertir y materiales de construcción), las condiciones ambientales (contaminación del agua, disponibilidad de agua subterránea y superficial, precipitación y temperatura), las prácticas culturales y la legislación vigente de cada región. La implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para abastecimiento de viviendas se ha desarrollado con éxito en países como México, en el aeropuerto Changi se usa para descarga de inodoros, en Brasil se capta el agua lluvia y es almacenada en pocetas, y en Islas Vírgenes es obligatorio por ley el aprovechamiento de las aguas lluvias; por su parte en Colombia no se ha efectuado de manera significativa y de iniciativa propia en los proyectos residenciales. En algunos casos se ha implementado por iniciativa particular de ciertas empresas, como es el caso de Alkosto, las cuales han implementado estos sistemas como parte de su Responsabilidad Social Empresarial con la consecución de un desarrollo sostenible; en otros casos la implementación se ha debido a la necesidad cuando no existe una red de acueducto, el suministro es deficiente, la calidad del agua es muy baja o los costos del agua potable son muy altos. Estas últimas condiciones son las

predominantes en varios municipios de Colombia y pueden llegar a darse a largo o mediano plazo en la mayoría de los municipios del País. (Ballen, Galarza y Ortiz, 2006)

1.2.1 Antecedentes del problema

Desde sus comienzos el hombre aprovecha el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte, por ello el valle de los ríos es el lugar escogido para establecer las primeras civilizaciones, allí el hombre aprende a domesticar los cultivos y con ello encuentra la primera aplicación al agua lluvia; pero no depende directamente de ella para su supervivencia debido a la presencia permanente del agua superficial. Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente y algunos pueblos debieron ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta comenzó el desarrollo de formas de captación de aguas lluvias, como alternativa para el riego de cultivos y el consumo doméstico. (Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, 2006).

Existen diferentes formas de captación de agua de lluvia que se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente. Con base en la distribución de las estructuras de captación de agua de lluvia en el mundo y el continuo uso de estas obras en la historia, se puede decir que las técnicas de captación de agua de lluvia cumplen un papel importante en la producción agrícola y en satisfacer las necesidades domésticas, con un uso intensivo en las regiones áridas o semiáridas del planeta. (Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, 2006).

Los Sistemas de Captación de Aguas Lluvia no es una práctica del pasado, hoy en día debido a las múltiples problemáticas originadas por la sobrepoblación, el mal uso de los recursos naturales y la escasez de los mismos, el uso de estrategias como la captación de agua lluvia han sido adoptadas con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico; por tal motivo diversas organizaciones y entidades a nivel mundial han promovido e incentivado la generación, difusión y multiplicación de estas buenas prácticas. Muestra de lo anterior es el “Decenio Internacional para la Acción "El agua, fuente de vida" 2005-2015” propuesto por la Organización de las Naciones Unidas (ONU),

a través de su mecanismo de coordinación entre agencias ONU-Agua. El objetivo principal de este Decenio fue promover los esfuerzos y reforzar la cooperación de todos los niveles, de manera que se favorezca el cumplimiento de los compromisos internacionales adquiridos en materia de agua y saneamiento para 2015; los cuales se encuentran enmarcados en la Declaración del Milenio, el Plan de Ejecución de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Johannesburgo y la Agenda 21. El principal desafío de este Decenio estaba dirigido a focalizar la atención hacia políticas y actividades proactivas que permitan garantizar a largo plazo una gestión sostenible de los recursos hídricos, en términos tanto de calidad como de cantidad, y que incluyan medidas de mejora del saneamiento. (“Sobre el Decenio Internacional para la Acción ‘El Agua, fuente de vida’ 2005-2015,” n.d.)

Como parte de este Decenio ONU – Agua ha reconocido diferentes experiencias exitosas que han desarrollado e implementado las mejores prácticas para el aprovechamiento y buen uso del recurso hídrico, entre estas experiencias resaltan las siguientes que han desarrollado sistemas de captación de agua lluvia:

En el 2011 el proyecto Isla Urbana fue uno de los finalistas del programa; esta experiencia desarrollada por el Instituto Regional de Recursos Renovables de México, permite garantizar la seguridad del aprovisionamiento de agua en zonas urbanas mediante la captación del agua lluvia como parte integral de los sistemas de gestión del agua.

En el 2012 el tercer finalista del programa fue “Bhagirath Krishhak Abhiyan, Conservación del Agua para la Seguridad Alimentaria”, desarrollado en el distrito Dewas en el altiplano de Malwa en la provincia de Madhya Pradesh en la India; una población gravemente afectada por la escasez de agua y la cual cuenta con una precipitación media anual de 900 mm (40 días de lluvia al año) lo que supone menos de la media nacional. A través de este proyecto la administración del distrito puso especial empeño en la construcción de estructuras de captación de agua de lluvia que fueran costo-efectivas y que se gestionaran localmente; pues consideraron la recolección del agua lluvia como posiblemente la única solución para superar los problemas de agua de la zona. Para el año 2012 el distrito de Dewas contaba con más de seis mil estanques.

Para el 2015 uno de los finalistas del programa fue el proyecto “Gestión de recursos hídricos para la adaptación al cambio climático mediante acción comunitaria en el Desierto Thar, India”. Este proyecto demostró los beneficios de un modelo integrado y eficiente en costes para activar la acción comunitaria sobre múltiples componentes de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), y alcanzar impactos visibles, sostenibles y replicables en la disponibilidad hídrica, saneamiento, salud y regeneración ambiental a nivel de aldea. Uno de los principales logros de este proyecto fue desarrollar una matriz completa de estructuras de recolección de agua de lluvia tradicionales (talabs, nadis and tankas) para crear un “sistema de gestión del agua resiliente al cambio climático y guiado por la comunidad”, mediante enfoques participativos, conocimiento tradicional y contribuciones financieras de la comunidad Potaliya. Este proyecto favoreció la protección y aumento de zonas y estructuras de captación de agua como los agors (captaciones), orans (bosques sagrados) y gauchars (praderas), que son repositorios de biodiversidad, y de esta manera se mejoró la eficiencia de las estructuras de captación incluso en periodos de lluvias mínimas, permitiendo así la adaptación frente al cambio climático.

Para el caso de Colombia se caracteriza por tener una gran riqueza hídrica, por esta razón la mayoría de las poblaciones se abastecen de fuentes superficiales de agua (embalses, ríos, lagos y quebradas). La facilidad de acceder al recurso ha dejado de lado el desarrollo de tecnologías alternativas para el suministro de agua, entre ellas el aprovechamiento de agua lluvia. Existen algunos casos de comunidades con problemas de abastecimiento de agua potable en las que se ha tenido que utilizar los sistemas para el aprovechamiento de agua lluvia, la mayoría de ellos son poco tecnificados lo cual ocasiona una baja calidad en el agua y baja eficiencia de los sistemas. Este es el caso de la comunidad de la Bocana en Buenaventura, algunos asentamientos de la isla de San Andrés, la vereda Casuarito del municipio de Puerto Carreño (Vichada), el Barrio el Ponzón de Cartagena, el asentamiento subnormal de Altos de Menga en la ciudad de Cali, entre otros. (Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, 2006).

1.2.2 Pregunta de investigación

¿Cuál es la inversión requerida y el beneficio económico de la aplicación de un sistema de recolección y utilización de las aguas lluvias en la vereda de Santa Rosa de la ciudad de Villavicencio-Departamento del Meta??

1.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se enfoca en consultar los diferentes sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias empleados en proyectos existentes para elegir el más viable para la zona de estudio, analizando las características necesarias en cuanto a arquitectura, pluviosidad de la zona, oferta y demanda en uso doméstico y de riego. Evaluando la viabilidad económica de la implementación del sistema de recolección de aguas lluvias individual por vivienda y grupal para riego a partir del presupuesto generado para estas disposiciones y la comparación beneficio – costo.

Ante la problemática de suministro del recurso hídrico y el aumento de la población mundial en donde las fuentes por el mal uso o por capacidad no es suficiente el abastecimiento en las comunidades durante toda la época del año además de esto debido la extensión de las zonas urbanas y rurales sin previa planificación no cuentan con un punto de captación constante debido a los cambios climáticos, por ello surge la necesidad de implementar sistemas para la utilización de las aguas lluvias que aporten a suplir o complementar el servicio en uso no potable para este caso y a su vez minimizar el consumo de las redes públicas.

Con el desarrollo de estudios como el presente se busca impulsar políticas a nivel regional que promuevan e incentiven la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en diferentes usos obteniendo beneficio económico y ambiental. Su utilización puede ir desde consumo humano hasta actividades que no requieran agua potable, es una buena opción para solucionar puntualmente en zonas en donde no cuentan con el servicio ya sea por falta de fuentes hídricas, por contaminación o por inversión económica en la construcción de acueducto y plantas de tratamiento.

Las formas más eficientes de captación de aguas lluvias son por medio de cubiertas, fachadas y zonas impermeables como pavimentos. Para la zona de estudio de este proyecto la arquitectura de las viviendas se presta para realizar la captación por medio de cubiertas a un agua, se descarta captar por medio de zonas impermeable como pavimento debido a que actualmente las vías se encuentran en afirmado. Por ello el sistema a evaluar es por medio de cubiertas, canaletas y bajantes como reservorios en tanques de almacenamiento con disposición en uso doméstico no potable como; lavado de zonas verdes, duras, descarga de sanitarios, lavamanos y lavada de vehículos. Por otra parte, en el sitio de proyecto se genera un segundo escenario posible de aprovechamiento para uso de riego de cultivos. Lo anterior con el fin de evaluar la viabilidad económica en su implementación como las generadas en proyectos similares como los almacenes: Alkosto de Venecia (Bogotá) y Villavicencio en donde su abastecimiento total del año es por medio de la captación de sus cubiertas y posterior tratamiento.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Objetivo general: Evaluar la viabilidad económica de un sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias en la vereda de Santa Rosa del municipio de Villavicencio.

1.4.2 Objetivos específicos

- Describir los sistemas más relevantes de aprovechamiento de aguas lluvias aplicables en zonas rurales del municipio de Villavicencio-Meta.
- Evaluación de los sistemas más relevantes y elección del más apto para su aplicación en la vereda Santa Rosa
- Presentar un ejemplo práctico de la implementación del sistema de aprovechamiento de las aguas lluvias en la zona de estudio.
- Estimar el potencial de ahorro de agua potable al implementar un sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias en la vereda Santa Rosa de Villavicencio- Meta.
- Realizar un análisis costo beneficio al implementar un sistema de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias en la vereda Santa Rosa de Villavicencio- Meta.

2 MARCOS DE REFERENCIA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

La recolección de aguas lluvia y su posterior almacenamiento no es una práctica nueva, su sistema consta especialmente de captación, distribución y almacenamiento. Pero dependiendo del uso final para el cual ha sido implementado y de la complejidad de la zona de interés es necesario adicionar otros componentes tales como interceptor de las primeras aguas, sistema de distribución por gravedad o bombeo y tratamiento de agua para el consumo humano si es que así se requiere.

Lo anterior para disminuir el uso del agua para otras aplicaciones no potables, minimizando los volúmenes de lluvia que entra en los drenajes pluviales o combinados evitando su sedimentación y colmatación que genera inundaciones y las descargas de aguas negras reduciendo la utilización de energía y químicos en sus tratamientos disminuyendo el riesgo de que los cuerpos de agua que son receptores finales de la esorrentía o del agua tratada en las plantas se contaminen con estos vertimientos.

En cuanto al aporte ambiental ayuda en la conservación de las reservas de aguas como ríos, lagos, humedales fomentando una cultura del buen uso del agua por otra parte el factor económico es significativo pues su reutilización reduce los costos en el pago por el uso de agua potabilizada de las redes públicas, sin embargo, no hay incentivos económicos por parte del gobierno por la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias.

Por otra parte, las inundaciones en Colombia que ha dejado daños de hasta 11,2 billones de pesos entre el 2010-2011 a causa del fenómeno de la "La Niña" (Contreras, 2016) como consecuencia de varios factores, entre ellos el cambio climático, cuya consecuencia es la intensificación de las precipitaciones, las fallas humanas en infraestructuras hidráulicas y la falta de cobertura de servicio de alcantarillado pluvial a nivel nacional urbano y rural por lo que es importante la implementación de nuevos sistemas de recolección y aprovechamiento de las aguas lluvias. El cambio climático plantea amenazas a gran

escala a recursos naturales que son fundamentales para la producción agrícola. Dañar y agotar los recursos naturales perjudica los procesos ecológicos naturales de los que dependen los territorios sanos y productivos. Se prevé que el cambio climático reduzca de forma destacable los recursos renovables de agua superficial y agua freática, y que lo haga con especial intensidad en la mayoría de las regiones subtropicales secas. Según las previsiones, por cada grado que aumente la temperatura de la superficie del planeta, aproximadamente el 7 % de la población mundial estará expuesta a una reducción mínima del 20 % de los recursos hídricos renovables. En la actualidad, la agricultura representa aproximadamente el 70 % de las retiradas de agua mundiales. Con los efectos del cambio climático, es probable que numerosas regiones se enfrenten a una escasez sustancial de agua. (La Estrategia de la FAO sobre el cambio climático, 2017).

En Colombia el programa Nacional de Adaptación de Cambio Climático de sector agropecuario (PNACC-Ag) se centra en el ajuste y la actualización de la Estrategia de Adaptación del sector agropecuario a fenómenos climáticos, la articulación entre los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP), así como dar aportes al plan como herramienta del país para dar cumplimiento a los compromisos en el marco del acuerdo de París y del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Se espera que, hasta finales del año 2018, el país cuente con una herramienta que le permita adelantar acciones de adaptación al cambio climático, mejorar las capacidades de toma de decisiones basadas en evidencias e incorporar enfoques diferenciales como el reconocimiento de las necesidades propias de los territorios y la perspectiva de género. (FAO, PNUD y MinAgricultura lanzan Alianza para actualización de estrategia Nacional de Adaptación de Cambio Climático de sector agropecuario, 2018)

Recursos hídricos: son todas las aguas que existen en nuestro planeta y que se encuentran disponibles para que los seres humanos o animales los utilicen para llevar a cabo una determinada acción.

Pluviosidad: Cantidad de lluvia que cae en un lugar y un período de tiempo determinado.

Potencial de ahorro: de agua potable: volumen de agua lluvia posible recolectada frente a la demanda existente en un determinado tiempo.

Demanda hídrica: cantidades de agua previstas para su distribución a los usuarios en períodos de tiempo determinados para usos específicos y a un precio dado.

Sistema de utilización de aguas lluvias: procedimiento de aprovechamiento de aguas lluvias, en el cual se empleará el agua de la precipitación conducida por canales o tuberías hacia un almacenamiento, para luego ser utilizada en uno o varios usos

Área de captación: Es la superficie destinada para la recolección del agua lluvia. La mayoría de los sistemas utilizan la captación en los techos, los cuales deben tener adecuada pendiente (no inferior al 5%) y superficie, que faciliten el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección. Los materiales empleados para los techos pueden ser las tejas de arcilla, madera, paja, cemento, entre otros. (Palacio, 2010).

Sistema de recolección y conducción: Es el conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado. Las canaletas se deben instalar con una pendiente no muy grande que permitan la conducción hasta los bajantes. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. (Palacio, 2010).

Interceptor: Es el dispositivo dirigido a captar las primeras aguas lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo. Se debe tener en cuenta que el agua recolectada temporalmente por el interceptor también puede utilizarse para el riego de plantas o jardines. (Palacio, 2010).

Almacenamiento: Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de 2m de altura para minimizar las sobre-presiones.
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.

Red de Distribución de Agua Lluvia: Esta red debe ir independiente a la red de acueducto, y debe llegar a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia el agua potable

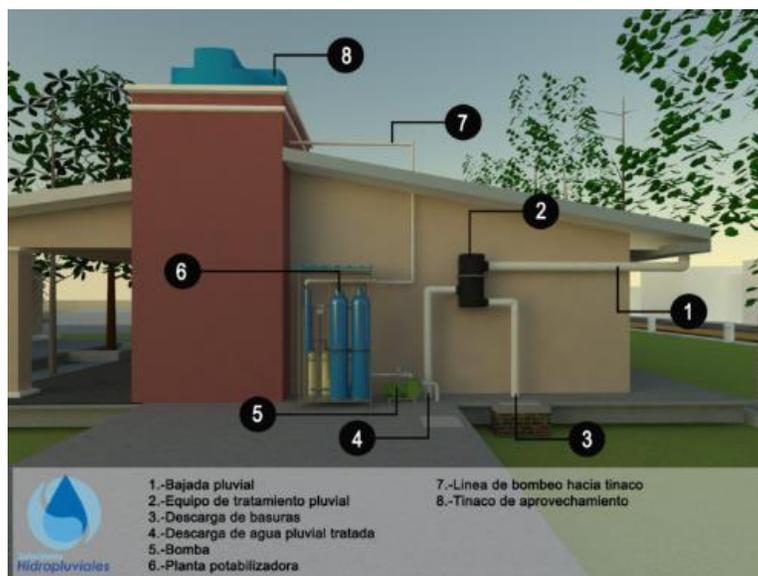


Figura 1 Sistema de captación de agua pluvial en techos, (“Captación agua”, s.f).

2.2 MARCO TEÓRICO

Los sistemas para el aprovechamiento de aguas lluvias más eficientes, son utilizadas para emplear el agua de la precipitación que cae sobre las cubiertas, en la gran mayoría de los casos es conducida por canaletas y tuberías hacia un tanque de almacenamiento, para posteriormente ser utilizada en diferentes usos, ya sea para riego, lavado, en sanitarios y orinales o incluso para el consumo humano, para esto último es necesario complementarse con procesos de tratamiento para el mejoramiento de la calidad del agua. (“Captación agua”, s.f). Este no es el único método para captación de aguas lluvias también existen sistemas aplicados para aguas de escorrentía superficial en vías para la cual funciona igual al mencionado anteriormente su única diferencia son los elementos de captación ya que se puede dar por medio de sumideros, colectores u otros.

La ubicación de los depósitos es importante, ya que deben estar lo más alejados posible de los potenciales focos de contaminación, como son letrinas, pozos sépticos, criaderos de animales, depósitos de basuras y de las raíces de árboles cercanos.

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la aplicación de sistemas de aprovechamiento, Fuente: Propia

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Algunos sistemas no requieren de energía para operar	Dependiendo de la complejidad del proyecto requiere de sistemas de bombeo y tratamiento
El agua lluvia es gratis, los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.	El costo inicial de inversión es alto variable al sistema a implementar.
La calidad físico química del agua lluvia es alta	Turbiedad, alcalinidad, sólidos en suspensión mayor a las permitidas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La construcción es fácil pues se puede utilizar materiales de la zona, además implica bajas frecuencias de mantenimiento	Los proyectos no cuentan dentro de sus diseños con la implementación de sistemas de aprovechamiento.
La recolección y utilización del agua lluvia reduce los costos pagados a las empresas prestadoras del servicio debido a la disminución de los consumos de agua potable y alcantarillado.	La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.
Es ideal para la irrigación de los jardines y cultivos	Sus redes de distribución deben ser independizadas de aquellas que conducen agua potable
Reduce el caudal del alcantarillado pluvial, evitando así el ingreso de altos volúmenes a los sistemas de tratamiento de aguas residuales.	Falta de normatividad que incentive la aplicación de estos sistemas en nuevos proyectos.



Figura 2 Ciclo del agua lluvia para su aprovechamiento, Fuente: Martínez y Rodríguez, 2019.

Para recolectar de manera eficaz el agua de lluvia, es necesario que la cubierta existente cuente con una red de recogida de agua. En cubiertas planas esto funciona a la perfección, pero en tejados más tradicionales, a una o varias aguas, es posible que no se cuente con una red de canalones y bajantes para la recogida del agua de lluvia. Si bien esta no es la única manera de recoger agua de lluvia, seguramente sea una de las más efectivas y la que se tiene más a mano. A continuación, se relaciona los sistemas más empleados en el mundo para la recolección de aguas lluvias:



Figura 3 Sistemas con Filtros de agua, Fuente: (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).

Para aprovechar el agua lluvia recogida por la cubierta en cada una de las viviendas a instalar este tipo de sistema es recomendable los filtros, ya que esto permitirá usarla no solo para regar, sino también para limpiar, y además ayudan al mantenimiento del almacenamiento y a evitar que le entre suciedad. El tipo de filtro que se instalen será determinante para el uso que se le dé al agua acumulada, en la Figura 3 se evidencia un filtro sencillo que evita la entrada de hojas al depósito existen otros más completos y avanzados que incluso purifican el agua hasta hacerla óptima para el consumo humano. (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).



Figura 4 Tanques exteriores modulares, Fuente: (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).

Este tipo de depósitos exteriores son, por lo general, muy fáciles de instalar, no requieren de ningún tipo de obra, tan solo una buena base donde apoyarlos, y suelen ir equipados con grifos y varias tomas de agua para conectar mangueras o sistemas de riego. Por ser modulares, se pueden unir varios depósitos para conseguir un volumen mayor de acumulación. (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017)



Figura 5 Depósito Raindrop, Fuente: (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).

Si el punto de captación es estéticamente importante y tampoco se requiere un volumen de acumulación tan grande, entonces se puede recurrir a Raindrop. Este depósito, diseñado por el estudio Bas van der Veer, se conecta directamente a la bajante de pluviales, siempre que tengan un diámetro de entre 50 y 80 mm, y dispone de una capacidad de almacenamiento de 75 litros. Es una buena opción para las zonas más visibles como jardines o si no se dispone de espacio suficiente para los depósitos exteriores. (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017)

Rainwater Harvesting Tank

By leaving the top of the tank open to infiltration excess water within the soil profile can be captured for reuse.

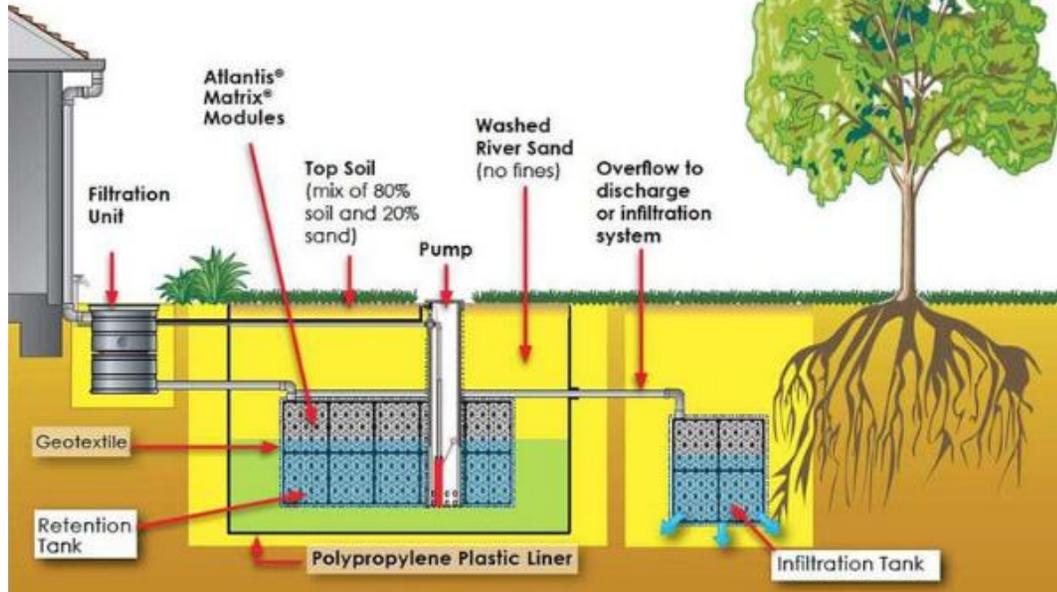


Figura 6 Tanques enterrados modulares, Fuente: (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).

Mientras que los anteriores depósitos de acumulación estaban principalmente diseñados para situarse en el exterior. Los depósitos enterrados permiten soluciones más sofisticadas. Un ejemplo son los tanques Aquacell que son cajones en material de polipropileno encajados entre sí para formar depósitos de agua (Ver Figura 7). Este sistema no solo recoge el agua de lluvia de las bajantes pluviales de la cubierta sino también recogen el agua filtrada a través del terreno, con lo que tiene una eficiencia mucho mayor. (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).

Los módulos de plástico forman una estructura resistente pero hueca en un 95%, permitiendo acumular alrededor de 200 litros por cada módulo, aunque el tamaño de cada módulo y su capacidad varía dentro de los diferentes modelos que se encuentran en el mercado. Estos sistemas son sin duda una de las mejores soluciones cuando se desea reutilizar el agua de lluvia ya que no son molestos visualmente, no ocupan espacio en la superficie y permiten acumular grandes

volúmenes de agua. Constituyen una especie de pozo artificial y suelen requerir, entre otros sistemas, de una bomba para la impulsión del agua, la cual se destinará en los diferentes propósitos según el tipo de filtro que se instale. En la Figura 7 se puede observar la instalación de los módulos de anques Aquacell. (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).



Figura 7 Instalación de tanques Aquacell, Fuente: (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017)



Figura 8 Depósitos decorativo, Fuente: (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).

Otra opción de solución con sistemas de recolección de aguas lluvias son los depósitos decorativos. Estos ya no son solo depósitos, sino que también permiten, en la mayoría de los casos, cultivar plantas, teniendo un aspecto de macetero grande o de jarrón decorativo de grandes dimensiones. Su capacidad de acumulación es buena ya que los hay pueden superar los 600 litros. (“5 sistemas para aprovechar el agua lluvia, 2017).

2.2.1 Tipos de Cubiertas

2.2.1.1 Cubiertas inclinadas

Las cubiertas inclinadas son aquellas estructuras que cuentan con una pendiente pronunciada. Estas pueden tener orientaciones en una o más direcciones para desaguar el agua pluvial, de igual manera los materiales de esta pueden variar dependiendo los diseños o las especificaciones. (Robayo y Martínez, 2016).

- Cubierta mono-direccional (un agua). Estas se caracterizan por su pendiente y orientación, van en un solo sentido. Es decir que el flujo del agua va en una sola dirección como se observa en la
- Figura 9, en donde la inclinación de la cubierta está en un único sentido. Usualmente este tipo de cubiertas maneja pendientes moderadas, aunque esto depende del diseño estructural o arquitectónico. (Robayo y Martínez, 2016)

Está cubierta puede emplear materiales como asbesto cemento, teja de barro, plásticas, entre otros. En la mayoría de las ocasiones se complementa con una canaleta con la cual se dirige o conduce el agua a un extremo donde se hace descender el flujo hasta el nivel del suelo para ser desaguado. (Robayo y Martínez, 2016)

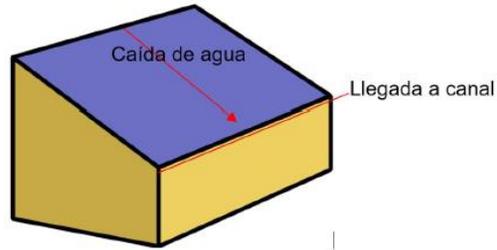


Figura 9 Techo un agua, Fuente: Robayo y Martínez, 2016.

2.2.1.2 Cubiertas multidireccional (varias aguas)

Está cubierta se caracteriza especialmente por tener una orientación en diferentes sentidos. El flujo de agua sobre ella tiene diferentes direcciones. Se pueden presentar dos o más direcciones como se observa en las Figura 10 y Figura 11. (Robayo y Martínez, 2016)

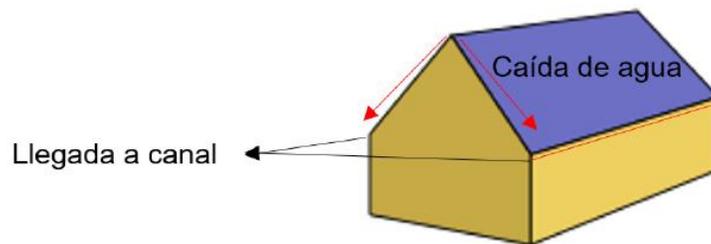


Figura 10 Techo dos aguas, Fuente: Robayo y Martínez, 2016.

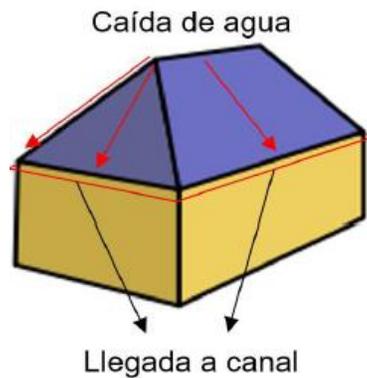


Figura 11 Techo cuatro aguas, Fuente: Robayo y Martínez, 2016.

2.2.1.3 *Techos verdes para recolección y tratamiento de aguas lluvias*

De acuerdo con la guía de techos verdes en Bogotá del año 2011, un techo verde es un sistema constructivo que permite mantener de manera sostenible un paisaje vegetal sobre la cubierta de un inmueble mediante la integración del inmueble, las plantas escogidas, el medio de crecimiento y aspectos ambientales del entorno. (Ortiz y Zapata, 2016)

Este tipo de cubiertas pueden ser de dos clases: cubiertas intensivas, donde el desarrollo de la vegetación se realiza en un estrato de espesor superior a los 15 cm y cubiertas extensivas donde las plantas se desarrollan en un estrato que no supera los 15 cm y requieren de un mantenimiento mínimo, sin embargo, de acuerdo a la tecnología empleada existen 5 tipos de sistemas de techos verdes. (Sistema de tipo multicapa monolítico, tipo multicapa elevado, tipo receptáculo, tipo monocapa y aeropónicos). (Ortiz y Zapata, 2016)

Adicionalmente a la recolección por medio de cubiertas hay un sistema más complejo que está destinado en la implementación de construcciones a lo alto como lo son; edificios multifamiliares, comerciales y empresariales. Está compuesto por un sistema de anclaje que soporta una canaleta de conducción, y una rejilla que capta el agua de las fachadas que también funciona como filtro. El elemento se dispone en sentido horizontal en cada nivel de la edificación, se plantea esta ubicación para tener un aprovechamiento del 100% del agua que cae en la superficie de la fachada y se desliza hacia la parte inferior de la misma, el prototipo puede tener cualquier extensión en sentido horizontal ya que está compuesto por módulos que se acoplan para formar un solo elemento, en sentido vertical no excede la altura máxima de la estructura de entrepiso. Este sistema está considerado a la adaptabilidad en fachadas de mampostería y cerramientos acristalados como se ilustra en la Figura 12. (Gálvez, s.f).

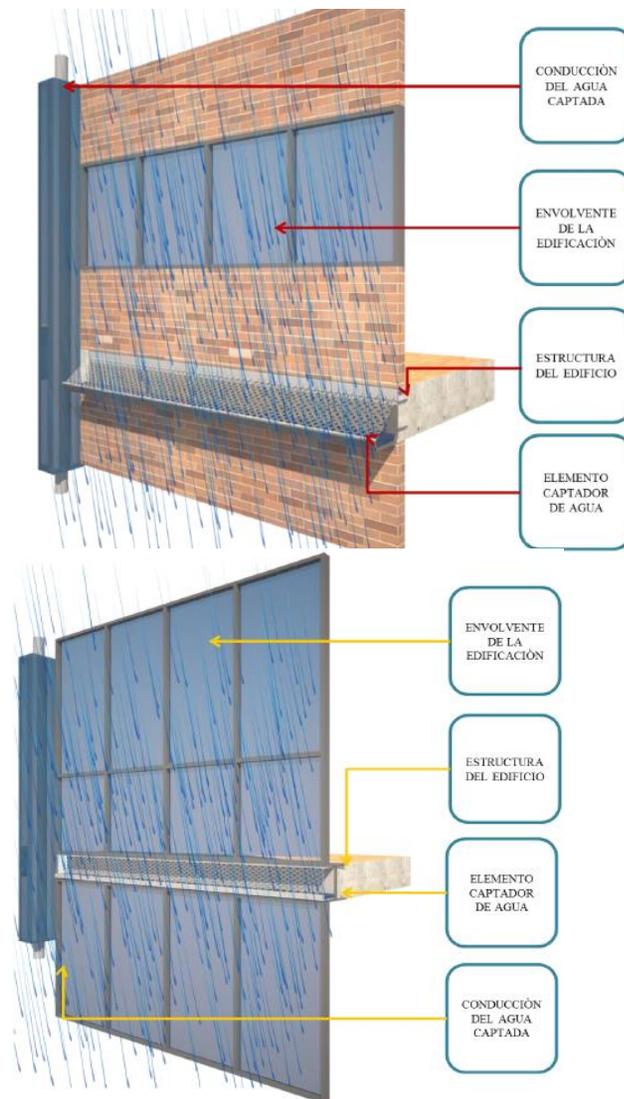


Figura 12 Modelo de captación de agua lluvia en fachadas de mampostería, ventanería y fachadas acristaladas.

Los sistemas de recolección de agua de lluvia pueden ser diseñados e implementados a diferentes escalas, de acuerdo con el proyecto, esto va desde un sistema artesanal utilizado para una casa de orden rural hasta grandes proyectos como urbanizaciones, grandes centros comerciales, etc. (Reyes y Rubio, 2014).

2.3 MARCO JURÍDICO

Actualmente Colombia no cuenta con una normatividad que especifique puntualmente la aplicación de sistemas de recolección y utilización de las aguas lluvia, sin embargo su uso es una práctica que se ha venido involucrando en diferentes proyectos a nivel nacional pues de acuerdo con la Ley 373 de 1997, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), que menciona en su artículo N° 5, Reúso obligatorio del agua - las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socioeconómico y las normas de calidad ambiental; teniendo en cuenta lo anterior se pueden establecer términos de referencia para que los proyectos implementen técnicas de apoyo mediante el PUEAA planeando así la adecuada administración del agua en un ámbito de cambio y conciencia ambiental.

Debido a que el país apunta a un cambio de conciencia por el cuidado del medio ambiente y por ende del recurso hídrico, hoy en día se han propuesto políticas dentro de la gestión de un cambio como por ejemplo el Proyecto de Ley 48 de 2017 Senado, el cual pretende implementar e incentivar el establecimiento de sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y energía solar en las edificaciones nuevas y preexistentes en el territorio nacional, lo anterior con el propósito de cuidar el recurso hídrico, mejorar la eficiencia energética y contribuir a la preservación del Medio Ambiente. Así, en todas las nuevas edificaciones, instalaciones, equipamientos, viviendas y obras públicas que se construyan en el perímetro urbano será obligatorio contar con un sistema que permita efectuar la recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y con un sistema de captación y aprovechamiento de energía solar, con el fin de ser aplicados en los inmuebles. En el caso de las edificaciones preexistentes a la entrada en vigencia de la norma, se establece que el Gobierno Nacional determinará incentivos que permitan la adopción de la medida anteriormente mencionada.

En el reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) en la resolución 0330 del 8 de junio de 2017 adopta parámetros de diseño de redes de alcantarillado

pluvial y sanitario, pero no toca el tema del aprovechamiento de aguas lluvias en cambio en la resolución 0844 RAS rural del 8 de noviembre de 2018 dentro de la sección 3 soluciones alternativas colectivas de agua para consumo humano y doméstico y para la subsistencia de la familia rural en el artículo 34 cita la captación de agua atmosférica y de aguas lluvias a través de techos o de superficies deben contar con aspectos técnicos y de manejo como; los componentes que debe tener un sistema (captación, recolección tratamiento, almacenamiento y distribución), el dimensionamiento y diseño se debe considerar la pluviometría de la zona y su distribución espacio – temporal, los materiales de la superficie de recolección no deben aportar contaminantes al agua, en el diseño además de los componentes del sistema deben tenerse en cuenta los métodos de limpieza de las superficies de recolección y control de contaminantes y deben estar separadas con otros sistemas de suministros de agua.

La demanda hídrica sectorial del país se distribuye en los sectores económicos como se muestra a continuación (Figura 13); los sectores con mayor participación son agrícola con el 43,1 %, energía con el 24,3 % y pecuario con el 8,2 %, concentrando el 76 % de la demanda hídrica nacional. Los flujos de retorno, calculados como la diferencia entre el volumen usado y el que no retorna. Dichos flujos de retorno se distribuyen entre pérdidas, vertimientos y descargas por generación de energía del sector eléctrico (Figura 14). (ENA, 2018)

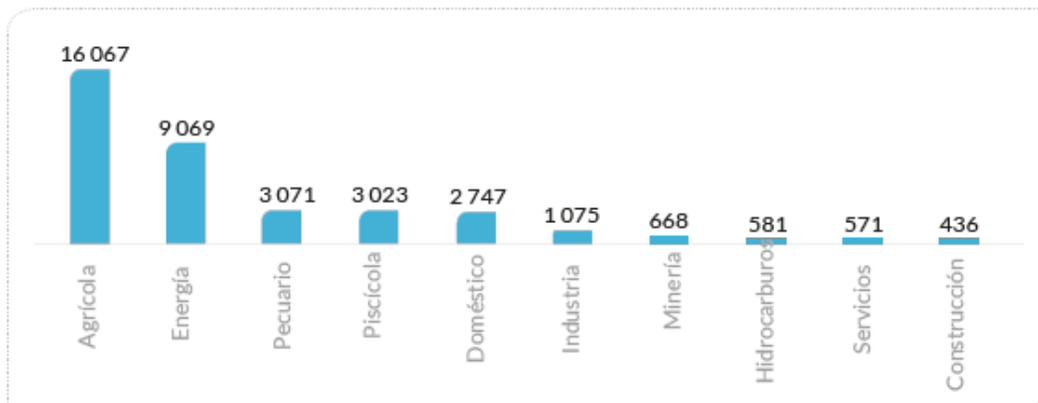


Figura 13 Demanda hídrica sectorial (millones de m³/año), Fuente: ENA 2018.

Sectores	Demanda hídrica	Huella hídrica azul	Flujos de retorno	Pérdidas	Vertimientos	Descargas
▶ Agrícola	16 066,9	8 327,7	7 739,2	7 732,9		
▶ Energía	9 069,45	453,3	59 400,0			59 400
▶ Pecuario	3 071,4	1 013,1	2 058,3	891,0	1 167,3	
▶ Piscícola	3 023,2	27,4	2 913,4			
▶ Doméstico	2 747,2	285,0	2 462,3	852,6	1 609,7	
▶ Industria	1 074,6	125,0	949,7	39,5	910,2	
▶ Minería	668,2	180,1	488,1			
▶ Hidrocarburos	581,3	6,1	575,1			
▶ Servicios	570,9	43,1	527,8	129,3	398,4	
▶ Construcción	435,8	143,8	292,0			

Figura 14 Demanda de agua, huella hídrica azul y flujos de retorno en millones de m³.

Fuente: ENA, 2018.

2.4 MARCO GEOGRÁFICO

A pesar de que Colombia es un país rico en recursos naturales (agua, suelo, fauna y flora), ocupando el puesto 24 entre 203 países y que aún no se ha catalogado con graves problemas ambientales por las Agencias Internacionales, sí se ven presionados, a un ritmo más frecuente, los recursos naturales, debido al aumento de las actividades antropogénicas que ponen en peligro la sostenibilidad de los ecosistemas. Y dichas actividades se ven acentuadas por el deseo de crecimiento que existe en los países en desarrollo. (IDEAM, 2010).

Con respecto al recurso hídrico como tal, la presión existente sobre él se enfoca principalmente en la demanda actual y la calidad de este, factores que aumentan con el crecimiento poblacional, impidiendo que haya una alta disponibilidad del agua en las fuentes de extracción (superficiales, en la mayoría de los casos) y lo que genera conflictos entre las mismas poblaciones por el recurso. Estos conflictos se ven acentuados especialmente entre las zonas rurales y las grandes ciudades, ya que de acuerdo con los informes presentados por el Conpes Social, hasta 2003, sólo el 66% del sector rural (comparado con el 97.4% en las zonas urbanas) contaba con abastecimiento de agua

potable, lo cual traslada el conflicto hacia las cabeceras municipales, donde la presión sobre el recurso aumenta, debido a la alta demanda sobre las fuentes locales y/o vecinas. (IDEAM, 2010).

El agua puede ser usada para la satisfacción directa de las necesidades humanas, como parte de un proceso productivo o demandada por los ecosistemas para su sostenimiento. Contribuye a la elaboración de bienes finales cuando en el proceso productivo es combinado con otros bienes intermedios. En tal sentido, cumple una función como materia prima o como insumo; en la Figura 15 evidencia que el cultivo de arroz es el de mayor consumo durante todo el año.

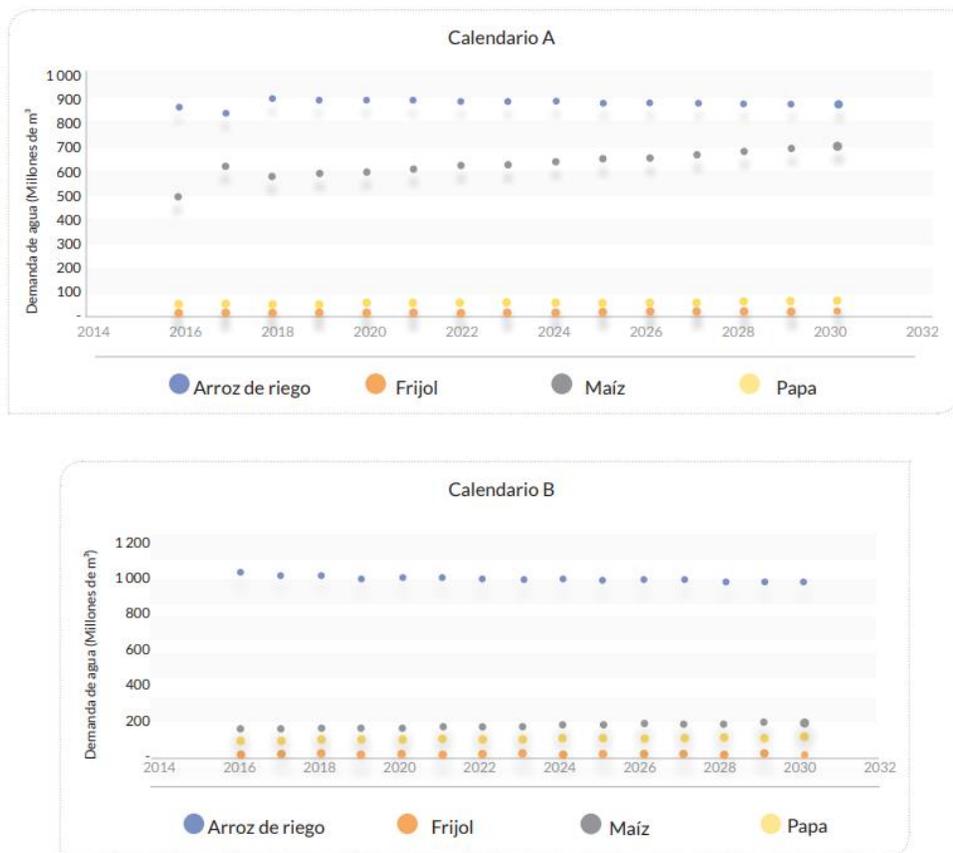


Figura 15 Proyección de demanda de agua de cultivos transitorios, calendario A y B, 2016-2030, Fuente: ENA, 2018

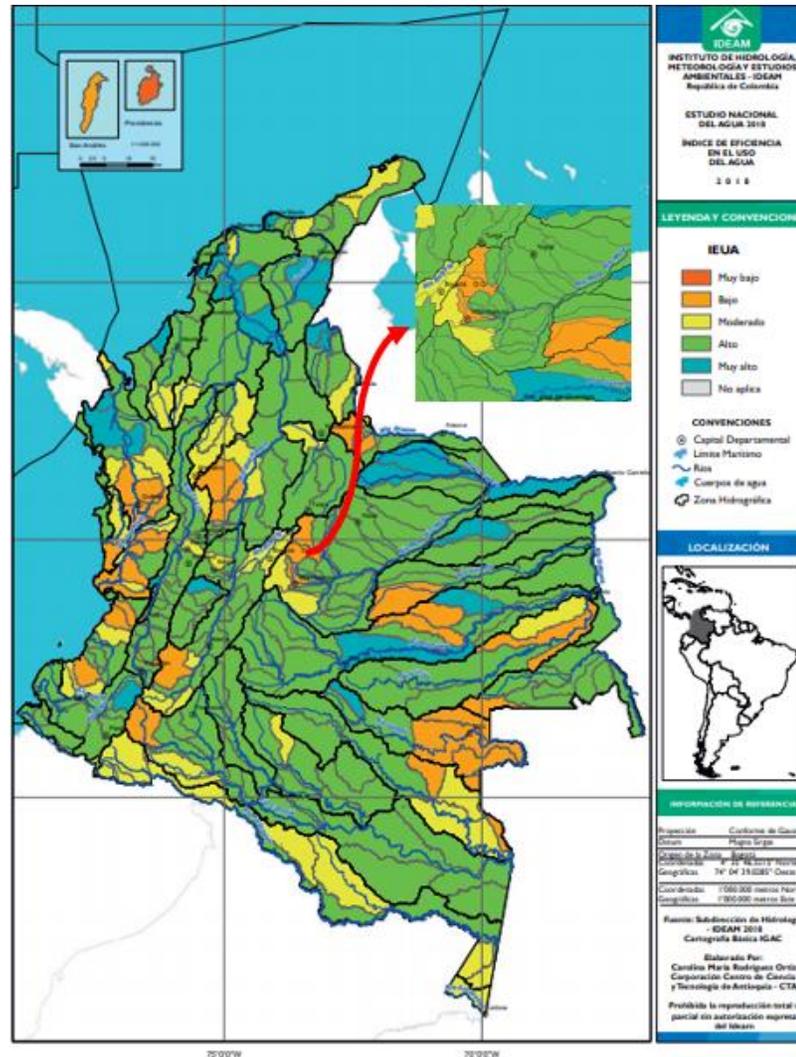


Figura 16 Índice de eficiencia en el uso del agua (IEUA), Fuente: Estudio Nacional del Agua, 2018.

En la figura Figura 16 se observa que la ciudad de Villavicencio se encuentra en una zona de baja rango de calificación del IEUA lo que quiere decir que eentre el 99 % y el 90 % del agua extraída está asociada a usos que posteriormente retornan a la fuente, susceptible parcialmente de medidas de reusó y recirculación, y pérdidas del sistema. Un aumento en la eficiencia en este volumen de agua tiende a reducir la demanda hídrica (extracción). (ENA, 2018)

Según el panorama catastral de Colombia 2014, del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, indica que el área geográfica del país es de 114 millones de hectáreas, mientras que el área catastral es de

101, 6 millones de hectáreas de las cuales el 99,6 % es decir 101,2 millones de hectáreas están conformado por áreas rurales. (IGAC, 2014). Lo anterior se puede ilustra más claramente en la

Figura 17 en donde se observa que las zonas definidas como menos rurales en todo el territorio Nacional es poco prevaleciendo la clasificación de más rural.

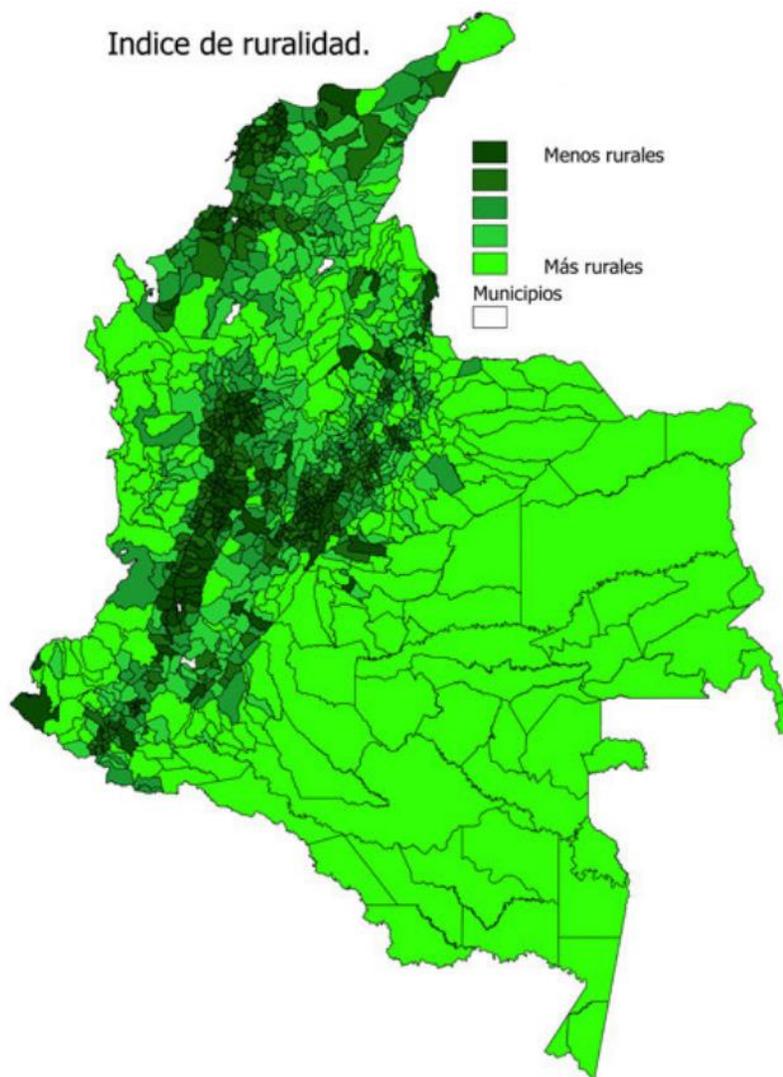


Figura 17 Índice de ruralidad, DDRS-DNP, 2016.

A nivel poblacional, el mundo puede dividirse en dos categorías: aquellos países que cuentan con más población urbana que rural y aquellos que no. Colombia está entre los primeros, habitualmente un buen predictor de prosperidad. Sin embargo, Colombia sigue siendo un país muy rural. Más del 30% de su población reside lejos de las grandes ciudades, en el campo, y es dependiente en su mayoría de economías relacionadas con el sector primario. Los municipios rurales ocupan la gran mayoría de la superficie del país.

Villavicencio está ubicada geográficamente a 4°08'33" N – 73°37'46" O a 467 m.s.n.m con una densidad de 332,80 km², está situada en el Piedemonte de la Cordillera Oriental, al noroccidente del departamento del Meta, en la margen izquierda del río Guatiquía y cuenta con una población urbana de 407.977 habitantes en 2010. El clima de Villavicencio es cálido – muy húmedo, su promedio de lluvia total anual es de 4383 mm. Durante el año, presenta una temporada seca y una temporada de lluvias. La temporada seca se extiende de diciembre a marzo. En estos meses llueve entre 10 y 14 día al mes. De abril a noviembre se presenta la temporada de mayores lluvias; la frecuencia de días lluviosos en estos meses es de 22 a 26. La temperatura promedio es de 25.5 °C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 28 y 32°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 20 y 22 °C. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos de principios de año, la insolación es ligeramente mayor a 5 horas/día. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 67 y 83 %, siendo mayor en los meses de junio y julio y menor en el primer trimestre del año. (IDEAM, 2012).

La zona de estudio para la implementación del sistema de recolección de aguas lluvias es la vereda Santa Rosa con latitud 4° 1'58.45"N y Longitud 73°28'38.07"W, ubicada a 19km de la cabecera municipal de Villavicencio del Departamento del Meta localizada dentro del corregimiento número 7, cuenta con aproximadamente 80 viviendas de tipo residencial y una población aproximada de 320 habitantes. En cuanto a los servicios públicos cuentan con sistema de energía, alcantarillado y su abastecimiento actual de agua es por medio de un pozo profundo construido alrededor de 20 años con sistema de tratamiento y posterior bombeo a tanque elevado para su

distribución por gravedad. Sus vías principales del centro poblado se encuentran en afirmado y en cuanto a la topografía del sitio es plana con diferencia de alturas no mayores a 3m.

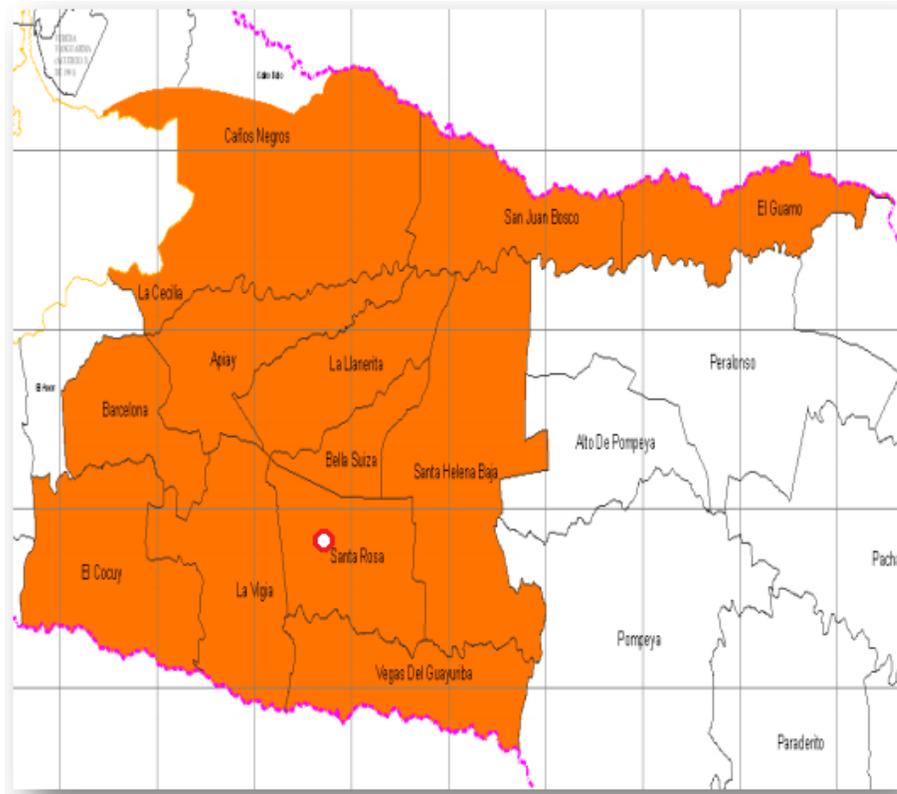


Figura 18 Localización Santa Rosa en el Municipio de Villavicencio, Meta, fuente: Alcaldía de Villavicencio, s.f.

2.5 MARCO DEMOGRÁFICO

La ciudad de Villavicencio cuenta con una población de 452.472 habitantes de los cuales según la proyección del DANE de los cuales según datos de la Alcaldía en el 2010 la población urbana era de 407.977 es decir que en áreas rurales municipales la población es de 44.495 habitantes. (Alcaldía de Villavicencio, 2017).

Tabla 2 Indicadores poblacionales 2016, Fuente: Proyección DANE 2005-2016 /

Cálculos: SIID 2016

Total Población por Municipio	495.227
Densidad Poblacional	372,91
Población Total Urbano	471.383
% Población Urbano Municipal	95,19
% Población Urbano Departamental	48,11
Población Total Rural	23.844
% Población Rural Municipal	4,81
% Población Rural Departamental	2,43
Total Población Masculina por Municipio	240.326
Total Población Femenina por Municipio	254.901
E SEX RATIO	94,28
Tasa de Masculinidad TMAS	48,53

Las fuentes de abastecimiento de agua del municipio de Villavicencio son siete (7), de las cuales la más grande respecto al caudal es Quebrada Honda con 900 litros por segundo de suministro de agua, le siguen las fuentes de puente Abadía y Bavaria con 900 l/s cada una, seis funcionan por Gravedad. Pese a esto el área urbana actualmente sufre por el abastecimiento del recurso debido a que la red principal del sistema ha sufrido daños por los deslizamientos y avalanchas además las fuentes cercanas disminuyen considerablemente sus caudales. (Alcaldía de Villavicencio, 2017).

Tabla 3 Fuentes de Abastecimiento, Fuente: Superintendencia de servicios Públicos 2015.

SIID 2016.

Fuentes de Abastecimiento	Tipo	Vigencia	Caudal Concesionado	Funcionamiento
Quebrada Honda	Superficial	13/04/2016	1.600	Gravedad
Río "Guatiquía Puente Abadía	Superficial	9/09/2016	900	Bombeo
Río "Guatiquía" Bavaria	Superficial	9/05/2017	900	Gravedad
Caño "Maizaro"	Superficial	24/03/2016	100	Gravedad
Caño "Buque"	Superficial	29/04/016	100	Gravedad
Caño Blanco	Superficial	14/05/2017	43	Gravedad
Caño Grande	Superficial	2/12/2028	90	Gravedad

En cuanto a los servicios públicos la empresa prestadora del servicio en Villavicencio reporta 108.913 usuarios con una cobertura del 83.2%. La calidad del agua es del 0.29% al cierre del año

anterior lo que significa que es Apta para el consumo humano. Lo que significa que aún hay un restante del 16.8% que se abastece del suministro de forma independiente como se puede observar en la Tabla 4. (Alcaldía de Villavicencio, 2017).

Tabla 4 Listado Acueductos Área rural, Fuente: EAAV, 2009

LISTADO DE ACUEDUCTOS AREA RURAL	
MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO AÑO 2000	
NOMBRE	CAPTACION
VEREDA VANGUARDIA	CAÑO POZO AZUL
VEREDA VANGUARDIA ALTA	CAÑO AGUAS CLARAS
VEREDA BUENAVISTA	CAÑO PARRADO
VEREDA SERVITA	CAÑO DIAMANTE
VEREDA LA POYATA	CAÑO SAN RAFAEL
VEREDA LAS MERCEDES	CAÑO DULCE
LA CONCEPCION	CANDELARIA
SANTA MARIA LA BAJA	CANDELARIA
VEREDA LOMA LINDA	CALICHE
VEREDA LA CUMBRE	CAÑOPARAISO
VEREDA BARCELONA	POZO EXCAVADO
RINCON DE POMPEYA	POZO
EL VARI	MANANTIALES
VEREDA COLOMBIA	POZO
VEREDA SANTA ROSA	POZO
VEREDA BRISAS DEL GUAYURIBA	CAÑO EL MIRADOR

2.6 ESTADO DEL ARTE

El tema de los sistemas de reutilización de agua lluvia no es un tema nuevo, la escasez de su implementación por parte de los constructores y sobre todo de los profesionales que los diseñan se debe a la falta de una normatividad o parámetros de diseños que impulse a la consideración del aprovechamiento de las aguas lluvias en las redes hidrosanitarias, sistemas de riego o redes contra incendios; pues se sabe que Colombia es un país con alta pluviosidad, sin embargo, esta condición no ha sabido aprovecharse. Para citar un ejemplo claro, durante el 2014 se otorgaron licencias de construcción a cerca de 4.800.000 m² para edificaciones de diversas destinaciones en el Departamento de Antioquia solo el 1% de esta área es aprovechada para sistemas de captación de aguas lluvias (CAMACOL, 2014). Sin embargo, en Colombia y en el mundo existen algunos proyectos que han implementado estos sistemas con el fin de economizar gastos en el consumo de las redes públicas, solucionar problemas de sanidad en comunidades con aguas no aptas por el

consumo o por la escasez de esta (Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, 2006):

- El almacén Alkosto Venecia (Bogotá), donde se aprovechan 6.000 m² de cubierta para captar alrededor de 4.820 m³ de agua lluvia al año, con lo cual se satisface el 75% de la demanda actual de agua potable de la edificación.
- El almacén Alkosto de Villavicencio, esta edificación tiene una cubierta de 1.061 m² con la cual se capta el agua lluvia para ser almacenada en un tanque de 150 m³, posteriormente el agua es tratada por medio de los procesos de floculación, filtrado y cloración realizados en una planta de tratamiento, el sistema proporciona agua potable para todas las necesidades del almacén durante todo el año.
- El edificio de Postgrados de Ciencias Humanas de la sede Bogotá de la Universidad Nacional, cuenta con un sistema en el cual en su cubierta protegida con grava se capta agua lluvia que es llevada a un tanque subterráneo, desde el que se bombea agua para la descarga de los inodoros, y alimentar las fuentes y los espejos de agua.

Ante los problemas de abastecimiento que sufren las grandes ciudades cada vez más pobladas y las zonas rurales sin acceso a servicios, se está viendo el aprovechamiento del agua de lluvia como una solución. Aprovechar el agua de lluvia permite tener líquido de calidad para diferentes usos no potables como limpieza, procesos industriales, sanitarios, riego y recargar las reservas subterráneas. También al detener y retener el escurrimiento pluvial, se evita que se saturen drenajes y que aumenten el flujo de agua en zonas urbanas, mitigando los efectos de inundaciones. Algunos casos para resaltar a nivel mundial de Sistemas de Captación de Aguas Lluvia son (León, et al, 2016, p. 143-145):

- **Europa:** En Alemania, en la ciudad de Berlín se encuentra el conjunto residencial Daimler Chrysler Potsdamer Platz, constituido por 19 edificios; esta construcción cuenta con 32.000 m² de área de recolección de aguas lluvia en techos y una capacidad de almacenamiento de 3.500 m³ para descarga, riego, y alimentar un estanque artificial. En esta misma ciudad se

ubica el proyecto Belss-Luedecke-Strasse Building State diseñado con un área de 7.000 m² de áreas de cubiertas para la recolección del agua y con otro sistema en los escurrimientos de las calles, los espacios de parqueaderos y las vías peatonales del conjunto que aportan otros 4.200 m² de área disponible; el agua recolectada se almacena en una cisterna de 160 m³ y después de un tratamiento de varios pasos, se utiliza para descargas y riegos (Ballén et al., 2006, citado por León, et al, 2016, p. 143).

- **Asia:** En Singapur, el 86 % de los edificios de apartamentos cuentan con techos especialmente diseñados para la captación de aguas lluvias que son almacenadas en cisternas separadas. En Tokio en la zona de Ronjinson sobre la vía pública se encuentra instalada una estructura que recolecta agua, la transporta a un pozo subterráneo y por medio de una bomba manual es utilizada para riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, para combatir eventuales incendios y en situaciones de emergencia (Ballén et al., 2006, citado por León, et al, 2016, p. 144). Por otra parte, en China el proyecto “Siglo 121” permitió abastecer un terreno de cultivo que beneficia a 1,2 millones personas y 1,18 millones de cabezas de ganado en la meseta de Loess de Geansu mediante un campo de recolección de agua y dos de almacenamiento (León, et al, 2016, p. 144).
- **África:** En África la escasez de fuentes hídricas apropiadas en lo referente a calidad y seguridad, sumado a la falta de recursos económicos, tecnología inapropiada y altos niveles de pobreza, han dado lugar a una situación crítica de abastecimiento de agua potable; por tal motivo, el aprovechamiento de agua lluvia se ha establecido en una alternativa en países como Botswana, Togo, Malí, Malawi, Namibia, Zimbabue, entre otros.
- **América:** En Norteamérica los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias son empleados por cerca de medio millón de personas para uso doméstico, propósitos agrícolas comerciales e industriales; por lo cual, en este país existen 50 empresas establecidas especializadas en diseño de sistemas de aprovechamiento y su instalación.

En Toronto (Canadá) se encuentra el Healthy House, una estructura de 158 m² que a través del uso de agua lluvia es autosuficiente en su abastecimiento de agua potable. Para tal fin cuenta con una estructura autosuficiente conformada por techos de recolección, canales y tanque de almacenamiento; el tratamiento del agua se realiza con cal para reducir la acidez y suministrarle un sabor fresco; un sistema de filtro de arena fina y carbón activado para remover las impurezas; y un sistema de desinfección mediante radiación ultravioleta.

Otros casos puntuales sobre aprovechamiento de agua lluvia son (Montero, J. S., 2016):

- El Aeropuerto Changi (Singapur) implementó un sistema para captar el agua de lluvia que escurre por las pistas, las áreas verdes y los techos; el agua recolectada es almacenada en depósitos y finalmente se utiliza para las reservas antiincendios y para los inodoros. Este sistema ha permitido reducir en un 28-33% el consumo de agua proveniente del acueducto y ha generado un ahorro aproximado de 390,000 dólares.
- En Singapur y Tailandia es común la Recolección en edificios altos del agua que escurre por los techos, una vez recolectada el agua es dirigida a tanques de almacenamiento de donde se extrae para su utilización en la descarga de sanitarios. La calidad del agua es aceptable en cuanto a color, turbidez y contenido bacteriológico; por lo cual es aceptable para este uso y no para consumo potable.
- En Reino Unido se encuentra “Milenio Verde”, un conjunto de edificios de apartamentos de 6 y 7 pisos, el cual cuenta con un sistema de captación de agua lluvia compuesto por 5 tanques de almacenamiento con capacidad para 18 días; están instalados en casas de 4 habitaciones cuyas áreas de techo son de 153m², este sistema distribuye aproximadamente 95m³/año, bombeando 3500 litros. Sumado a otras tecnologías este sistema permite reducir el consumo a 50m² por año (50.000 litros).
- En México se han desarrollado proyectos de aprovechamiento de agua lluvia en diversas zonas, uno de los más destacados es “Isla Urbana” situado en la Delegación de Tlalpan. Este proyecto pretende volver la ciudad de México en una ciudad sustentable captando y aprovechando la lluvia a gran escala; para ello, emplea la instalación de sistemas de

captación de agua lluvia en zonas de bajos recursos reduciendo el gasto económico de muchas familias y han creado una cultura de cuidado y reutilización del agua.

- El noroeste de Brasil posee un clima semiárido y presenta una pluviosidad desde 200 a 1000 mm; por estas condiciones, las comunidades indígenas recolectan el agua lluvia en pozos excavados a mano en rocas. Pese a que esta estrategia es muy útil, no es suficiente para satisfacer completamente la demanda de la región. El gobierno de Brasil en conjunto con una ONG inició un proyecto de construcción de un millón de tanques, de concreto prefabricado y reforzado con mallas de alambre; para aprovechamiento del agua lluvia beneficiando a 5 millones de personas.

3 METODOLOGÍA

3.1 FASES DEL TRABAJO DE GRADO

1. Consulta de los diferentes sistemas de aprovechamiento del agua lluvia

Se realizó la consulta por los diferentes medios de los sistemas existentes aplicados a nivel nacional e internacional en el aprovechamiento de aguas lluvias en diferentes proyectos y disposición final del agua captada, apoyándose en documentos técnicos que contienen procesos experimentados en la aplicación de sistemas de captación de lluvias como lo son; Guía de diseño para captación de agua lluvia elaborado por el CEPIS, Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos elaborado PNUMA, trabajos de grado, seminarios entre otros.

2. Elección de Sistema de recolección de agua lluvia para el proyecto

Una vez realizada la consulta del estado del arte del aprovechamiento de aguas lluvias se revisó los sistemas existentes más sobre salientes para elegir el más apto para la evaluación de la implementación en la vereda de Santa Rosa de la ciudad de Villavicencio, Meta.

3. Características mínimas de la zona del proyecto

Con el fin de evaluar la viabilidad del sistema y conocer la eficiencia del mismo, en esta fase se observaron dos aspectos claves para la implementación del sistema como lo son; la pluviosidad de la zona con datos históricos de precipitación mínima de 10 años para estimar la oferta con la que se cuenta y el tipo de arquitectura del proyecto para estimar el área total de aprovechamiento en cubiertas para la captación.

4. Recopilación y análisis de datos históricos de precipitación de la zona de estudio

Compilación de información histórica de 20 años de precipitación de la estación pluviográfica representativa de la zona que para este caso es La Libertad. En este punto se solicitó la información de precipitación acumulada diaria al IDEAM y una vez obtenida se procedió a organizarla por año desde 1998 al 2018.7

5. Toma de muestra de agua lluvia de la Zona de interés

La captación de la muestra fue tomada minutos después de la primera lluvia con el fin de que el agua recogida en un balde no fuera alterada y de que la cubierta se limpiara de los sedimentos presentes en la superficie, posterior a esto la muestra fue depositada en los frascos suministrados por el laboratorio. Este proceso fue registrado fotográficamente el cual se encuentra en el desarrollo del documento. Los parámetros analizados en el laboratorio fueron los siguientes; DBO, SST, pH, Sodio, Conductividad y Salinidad para conocer su calidad y evaluar si los resultados se encuentran dentro de los valores permisibles para el uso doméstico y de riego.

6. Parámetros de cálculos

Determinación de la aplicación en la zona de estudio para la evaluación de eficiencia y cobertura total del servicio frente a la demanda de consumo en los dos usos elegidos para ello se procedió a realizar los cálculos de oferta acumulada, demanda acumulada y potencial de ahorro.

Demanda de agua en el mes: La demanda de agua se puede estimar de diferentes maneras, una de ellas, como la plantea el CEPIS y es la siguiente: a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de las personas a ser beneficiadas en cada uno de los meses. (Castañeda, 2010)

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Donde:

Di: demanda mensual (m³)

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/persona/día)

Demanda acumulada: Se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + D$$

D_{ai}: demanda acumulada al mes "i" (m³).

D_{a(i-1)}: demanda acumulada al mes anterior "i - 1" (m³).

D_i: demanda del mes "i" (m³)

Oferta de agua en el mes: Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}$$

Donde:

A_i: oferta de agua en el mes "i" (m³)

P_{pi}: precipitación promedio mensual (L/m²)

C_e: coeficiente de escorrentía

A_c: área de captación (m²)

Oferta acumulada: Se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$A_{ai} = A_{a(i-1)} + A'_i$$

A_{ai}: oferta acumulada al mes "i" (m³).

$Aa(i - 1)$: oferta acumulada al mes anterior “ $i - 1$ ” (m^3).

A^i : oferta del mes “ i ” teniendo en cuenta las pérdidas (m^3)

Potencial de ahorro de agua potable: se determina de acuerdo con el volumen de agua lluvia posible de ser recolectada y la demanda existente, en un mes, como se expresa en la siguiente ecuación: (Ghisi, Lapolli y Martini).

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD}$$

Donde:

PPWS: Potencial de Ahorro de Agua Potable (por sus siglas en inglés) (%)

VR ó *Ai*: Volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado (m^3/mes)

PWD ó *Di*: Demanda mensual de agua potable (m^3/mes).

7. Cantidades y presupuesto

Establecida la disposición final del agua lluvia para uso doméstico se propuso un sistema individual de captación como reservorio para descarga de inodoros, lavado de zonas comunes entre otros en este escenario se tuvo en cuenta la conducción de las aguas por medio de canaletas prefabricadas de la empresa Pavco tipo Amazonas con sus respectivos accesorios para ser almacenada en tanques tipo botella. Para el uso de riego de cultivo de arroz de uno de los predios de la vereda su captación es igual a la descrita anteriormente, adicional a esto se planteó una red de conducción de diámetro determinado calculado el caudal generado por escorrentía por medio del método racional en donde fue necesario conocer el coeficiente de aprovechamiento del material de la cubierta, área total de captación y la intensidad de la lluvia la cual fue calculada por medio de las curvas IDF para

un tiempo de retorno específico. La cual abarca el centro poblado de Santa Rosa para llevarla hasta el sistema de riego actual del predio en evaluación.

8. **Costo y Beneficio:** generado el presupuesto de la implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en uso doméstico y de riego se evaluó en ambos ámbitos los beneficios económicos, la retribución en tiempo de la inversión inicial y el aporte del sistema al ahorro de uso de agua de las fuentes hídricas. Teniendo en cuenta las tarifas de consumo actuales de la empresa de servicios públicos de Villavicencio y de los gastos generados por la Federación de Arroceros para el rubro de riego.

3.2 INSTRUMENTOS O HERRAMIENTAS UTILIZADAS

1. Hojas de Cálculo Excel
2. AutoCAD, GIS
3. Base de datos de precipitación. (IDEAM)

4 DESCRIPCIÓN DE ASPECTOS RELEVANTES PARA SELECCIÓN DEL SISTEMA EN LA ZONA DE ESTUDIO

Para la elección del método más apto de acuerdo a la zona a evaluar la viabilidad de aplicación del sistema de recolección y reutilización de las aguas lluvias se debe tener en cuenta varios aspectos importantes para que su ejecución sea eficiente y el aporte abarque la demanda de consumo están las siguientes; la calidad de agua es importante verificar las características físico-químicas de la misma con el fin de asegurar que su utilización en los diferentes usos no afecte a los usuarios; hidrología de la zona este factor es esencial para conocer la oferta que se puede generar con las aguas lluvias para ello se requiere de información de precipitación de una estación representativa del proyecto con un periodo mínimo de 10 años; demanda de agua por la población en uso no potable de las viviendas a estudiar con el fin de conocer el potencial de aporte del sistema en el ahorro de las redes públicas; identificación de la arquitectura del proyecto tipo de cubierta y material del techo para identificar el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección.

4.1 Calidad del agua lluvia

Para el desarrollo de este trabajo se tomó una muestra de agua lluvia en la zona de estudio, para su posterior análisis sobre los siguientes parámetros DBO, sólidos suspendidos totales, pH, sodio, conductividad, PTF y salinidad; adicionalmente se tomó como guía la información del proyecto: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACION Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS COMO ALTERNATIVA DE AHORRO DE AGUA POTABLE EN LA UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA, SEDE BOSQUE POPULAR, BLOQUE P Y CAFETERIA en donde se tomaron muestras arrojando los siguientes resultados:

Tabla 5 Resultados Análisis Agua Lluvia Recolectada, Fuente: Correa, 2014

Características	Análisis	Resultado	Unidad
Químicas	Dureza Total	90	mg/L
	Alcalinidad Total	300	mg/L
	pH	6.9	
Físicas	Turbiedad	2.91	UNT
	Temperatura	16.8	°C

De acuerdo con Correa (2014), teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis realizados al agua lluvia y los valores máximos aceptables para cada parámetro que determina la Resolución 2115 de 22 de junio de 2007 se concluye que:

- En cuanto a la Dureza Total del agua el resultado fue de 90 mg/L y según la norma el valor máximo permisible es de 300 mg/L, por lo que se determina que si cumple con los estándares permitidos.
- El resultado obtenido en la Alcalinidad fue de 300 mg/L, lo cual indica que este no cumple con la normatividad establecida ya que el valor máximo permisible para la Alcalinidad según la resolución 2115 es de 200 mg/L.
- Para el potencial de hidrogeno pH del agua la norma indica que deber estar comprendido entre 6,5 y 9,0 lo cual muestra que el pH del agua lluvia recolectada está acorde a los parámetros establecidos ya que este es de 6.9.

- En cuanto a la turbiedad esta indica que la muestra de agua utilizada no alcanza a cumplir con la norma ya que esta es de 2.91 UNT y la norma indica que el valor máximo aceptable es de 2.

En otro estudio para la reutilización de aguas lluvias en la Universidad Católica de Colombia con el fin de conocer el tipo de agua a recolectar se genera una comparación entre el agua lluvia, se realizan las mediciones de estas características físicas y químicas a través de un análisis de muestras tomadas, antes de entrar al modelo y a la salida del modelo, las características medidas son las siguientes: Determinación del pH, Turbiedad, Color aparente, Sólidos en suspensión, Olor y Sabor, Oxígeno y Conductividad.

Tabla 6 Comparación características físicas y químicas antes y después del filtro, Fuente: Ortiz y Velandia, 2017

Características Físicas	Agua potable	Agua pluvial captada antes del filtro	Agua pluvial captada después del filtro
	Valor Máximo Aceptable		
Color aparente	15	12	10
Olor y Sabor	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	2	7,47	7,81
pH	6.5 a 9.0	5,33	5,57
Sólidos en suspensión	100	116	111
Oxígeno	3 ml/lt.	2,7	2,7
Conductividad	250	217	208

El filtro utilizado en el monitoreo está compuesto de varias capas, la primera capa de 15 cm de espesor en grava con un diámetro no mayor a ½”, seguida una capa de 10 cm de espesor en arena de 36 Ottawa y final meten una capa de 10 cm de espesor en antracita, entre cada una de las capas se instaló Geotextil NT1600.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la comparación (véase la Tabla.13), se aprecia que, realizada una filtración se da una mejora a las características físicas del agua recolectada, sabiendo también que en la zona donde se encuentra el modelo se presentan precipitaciones las cuales traen consigo contaminantes del aire. Es decir que el uso de esta agua, es para la descarga de inodoros y servicios generales como el aseo de las instalaciones sin presentar ningún inconveniente.

Debido a lo anterior se hace la salvedad que para la implementación de los sistemas de reutilización de aguas lluvias para los diferentes usos se debe realizar monitoreo y estudio de la calidad de las mismas con el fin de garantizar que estas cumplan con los parámetros exigidos evitando así afectaciones para la disposición en riegos a diferentes cultivos.

4.2 HIDROLOGÍA DE LA ZONA

De acuerdo con Reyes y Rubio (2014) la viabilidad técnica y económica del proyecto dependerá de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se le dé al recurso agua; por tal motivo, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La producción de agua que se presenta en la zona donde se construye el proyecto, así mismo se debe conocer el comportamiento hidrográfico en los diferentes meses del año; pues existen zonas donde las diferencias entre las épocas secas y las de lluvia son muy marcadas, por ende, la importancia de contar con información pluviométrica mensual de 10 a 15 años de los cuales se deben trabajar con los promedios mensuales del periodo con el que se trabaje.
- Los aportes de caudal en el área de captación se pueden conocer con los datos de la estación pluviométrica más cercana. Sin embargo, se debe tener en cuenta también que el tanque de almacenamiento actúa como tanque de compensación para que su volumen amortigüe el pico de caudales altos, almacenando agua para luego ser utilizada en los diferentes servicios dentro de las viviendas.
- Colombia es un país privilegiado en este aspecto, ya que el gran potencial hidrológico del país hace que en muchas zonas se tenga una oferta hídrica adecuada en

términos de cantidad, calidad y regularidad de las precipitaciones, lo que permite la viabilidad de múltiples proyectos que contemplan el aprovechamiento de aguas lluvias.

4.3 Arquitectura del Proyecto

Los sistemas para el aprovechamiento de aguas lluvias, se utilizan para emplear el agua de la precipitación que cae sobre la cubierta, la cual en casi todos los casos es conducida por canales y tuberías hacia un tanque de almacenamiento, para luego ser utilizada en uno o varios usos, ya sea para riego, lavado, en sanitarios y orinales o incluso para el consumo humano, que se complementan con procesos de tratamiento (primario o secundario) para el mejoramiento de la calidad del agua. (Reyes y Rubio, 2014).

Un sistema básico de captación de agua está compuesto por los procesos de captación, recolección-conducción y almacenamiento los cuales deben estar complementados con un sistema de drenaje de excesos, que permita verter el agua cuando no es posible utilizar porque la demanda es menor a la precipitación sobre la construcción. (Reyes y Rubio, 2014).

Tal como muestran Reyes y Rubio (2014) en los sistemas sencillos, el agua es llevada a los puntos bajos de la Edificación para ser almacenada o aprovechada directamente. Mientras los sistemas más complejos están diseñados para captar, tratar, almacenar y distribuir el agua para ser aprovechada en la mayoría de las necesidades de los habitantes de la edificación, para ello el sistema cuenta con un interceptor de las primeras aguas que elimina el agua del lavado de la cubierta, filtros y procesos de desinfección también para mejorar la calidad del agua, sistemas de bombeo que distribuyen el agua a los diferentes puntos hidráulicos. En este sentido, uno de los componentes más importantes del sistema es el relacionado con el tanque de almacenamiento de aguas lluvias, que cumple varias funciones, entre ellas:

- Almacenar el agua que se produce en periodos de lluvia para proveer una reserva de agua que minimice interrupciones por irregularidades en las épocas de lluvia.

- Homogeneizar el líquido almacenado para posteriormente ser tratada ya sea para su uso en consumo humano o para labores de limpieza, lavado, en sanitarios y orinales que no requieren agua potabilizada.
- Atenuar el pico de descarga de aguas lluvias al alcantarillado pluvial de las vías en lluvias de gran intensidad.

4.4 Coeficiente de Aprovechamiento de Agua Lluvia

Este coeficiente se utiliza para representar el volumen aprovechable de agua lluvia después de las diferentes pérdidas que pueden tener lugar en la superficie de captación por absorción y/o evaporación, Los valores de escorrentía según el material de la superficie de la cubierta se puede obtener de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7 Coeficiente de aprovechamiento de agua lluvia para diferentes materiales de cubierta,

Fuente: Bocanegra y Almanzá, 2015

Material del tejado	Coeficiente	
	Mínimo	Máximo
Metal	0.9	0.95
Grava	0.9	0.95
Asfalto	0.9	0.95
Fibra de vidrio	0.9	0.95
Plástico	0.9	0.95
Inclinado con teja cerámica	0.75	0.95
Inclinado con teja esmaltada	0.9	0.95
Tejas cerámicas	0.8	0.9
Tejas corrugadas de metal	0.7	0.9
Teja de asbesto cemento	0.8	0.9

5 DATOS BASE PARA LA EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN LA VEREDA SANTA ROSA

Si bien la vereda de Santa Rosa cuenta con acueducto propio de agua potable, se busca incorporar el sistema de aprovechamiento de las aguas lluvias con fines domésticos (sanitarios, lavado de zonas comunes y riego de jardines) para evaluar el aprovechamiento de estas aguas y el ahorro en el consumo del suministro potable. Analizando los costos que el sistema genera en su incorporación, la viabilidad económica del mismo y el periodo de recuperación de la inversión. Además, la vereda se ha visto frecuentada con mayor volumen de turistas en épocas vacacionales y aumento de construcción de viviendas por personal oriunda de otros municipios, por lo que es importante buscar posibles alternativas que aporten en la conservación del recurso.

Revisados los posibles sistemas más sobresalientes y ejecutados en los diferentes proyectos en el mundo, por temas de costos y según las necesidades de las zonas rurales que para este trabajo es en la vereda de Santa Rosa dentro de los sistemas presentes el más viable y fácil de implementación para la recolección y utilización de aguas lluvias es por medio de cubiertas, conducción, almacenamiento en tanque y posterior su distribución final a las viviendas. Descartando los sistemas de captación por cubiertas y filtros, tanques exteriores, dispositivos decorativos debido a que estos no son suficientes para satisfacer la oferta de consumo de aguas de una comunidad residencial grupal; los tanques enterrados si bien son una buen opción por temas de espacio, capacidad y recolección tanto de las aguas lluvias como las subterráneas sus costos son elevados debido a los materiales empleados como módulos Aquacell, Geotextiles, plástico de polipropileno entre otros, además al gran movimiento de tierras. El sistema de fachadas en mampostería y cristales no aplica para la zona de estudio de este presente trabajo por estar más enfocado a las grandes construcciones horizontales.

5.1 ÁREA APROVECHABLE

Las cubiertas encontradas en la zona de estudio son tejas corrugadas metálicas y tejas en asbesto cemento con un área promedio de 90m² como se observa en la Figura 19 y su índice de aprovechamiento mínimo y máximo de las aguas lluvias que para este caso será de 0.8 según la Tabla 7.

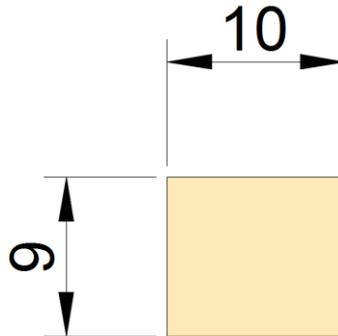


Figura 19 Área de Cubierta a un techo del proyecto, Fuente: Elaboración Propia.

5.2 PRECIPITACIÓN DE LA ZONA

La estación más cercana al proyecto se encuentra ubicada a 2.81 km la cual está localizada Latitud: 04°03' - Longitud: 73°23' Oeste con una elevación de 336 m.s.n.m, llamada la Libertad. Se evaluó un periodo consecutivo de 20 años desde 1998 al 2018 (ver anexos) con los acumulados mensuales de precipitación cuyo valor total es de 245.9mm. El tiempo mínimo recomendable para monitorio de precipitación es de 10 años y tener una tendencia del clima.

Tabla 8 Valores de precipitación promedio mensual en litros por metro cuadrado para los 20 años analizados, Fuente: Elaboración propia de acuerdo con los datos pluviométricos de la estación La Liberta de Villavicencio, Meta (1998-2018)

Mes	Ppi (mm)
MAYO	444,9
JUNIO	390,4
JULIO	315,1
AGOSTO	240,3
SEPTIEMBRE	237,6
OCTUBRE	312,1
NOVIEMBRE	234,3
DICIEMBRE	113,4
ENERO	33,61
FEBRERO	70,7
MARZO	185,3
ABRIL	373,1

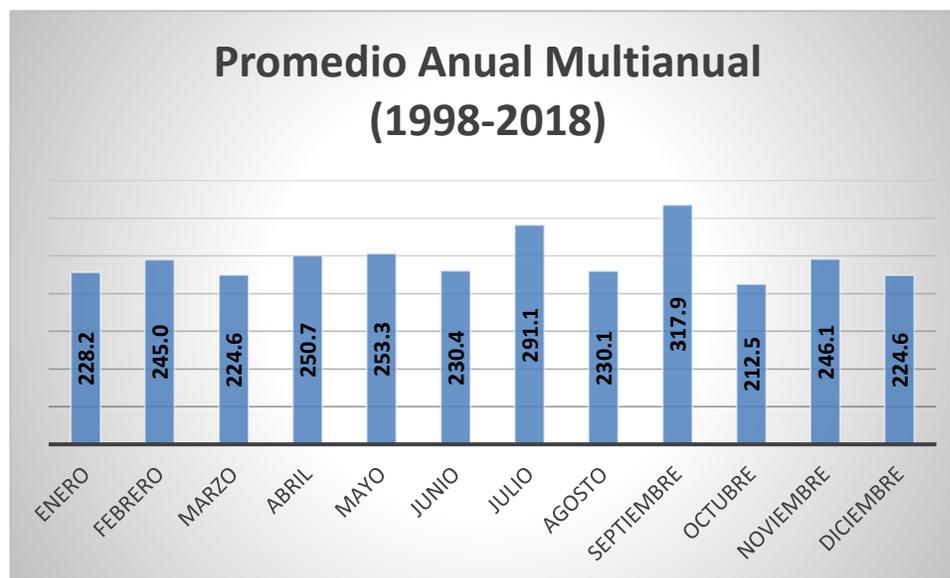


Figura 20 Promedio Mensual multianual (1998-2018) de La estación La Libertad. Fuente: Propia.

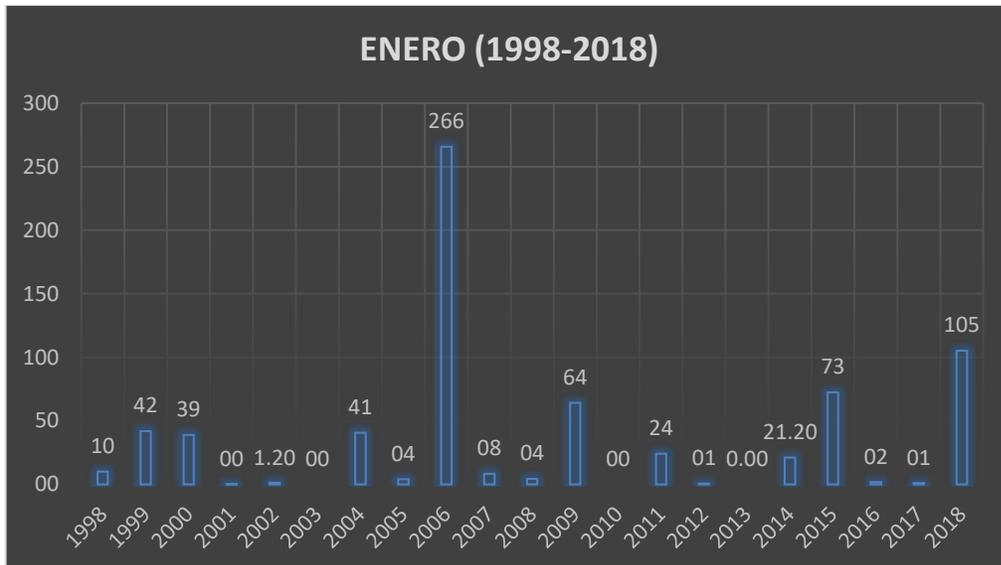


Figura 21 Precipitación Total mes Enero multianual. Fuente: Propia.

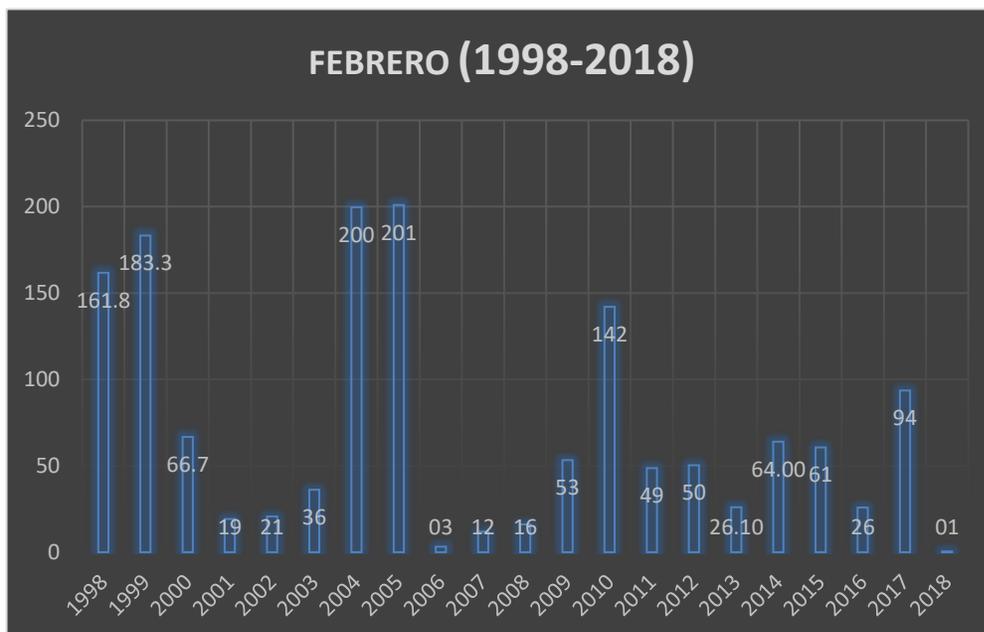


Figura 22 Precipitación Total mes Febrero multianual. Fuente: Propia.

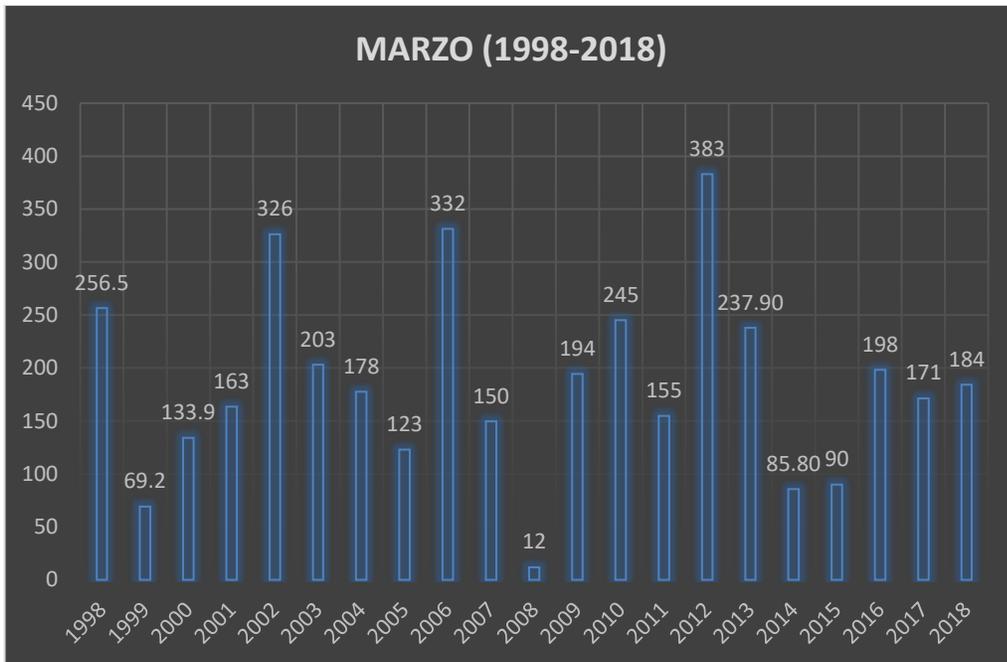


Figura 23 Precipitación Total mes Marzo multianual. Fuente: Propia.

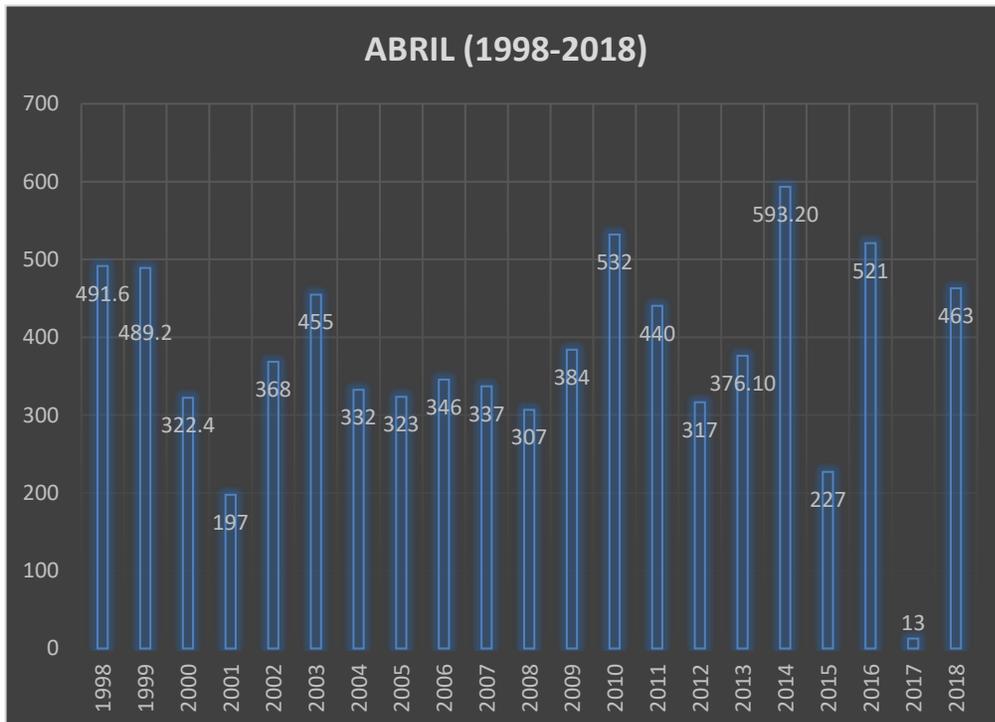


Figura 24 Precipitación Total mes Abril multianual. Fuente: Propia.

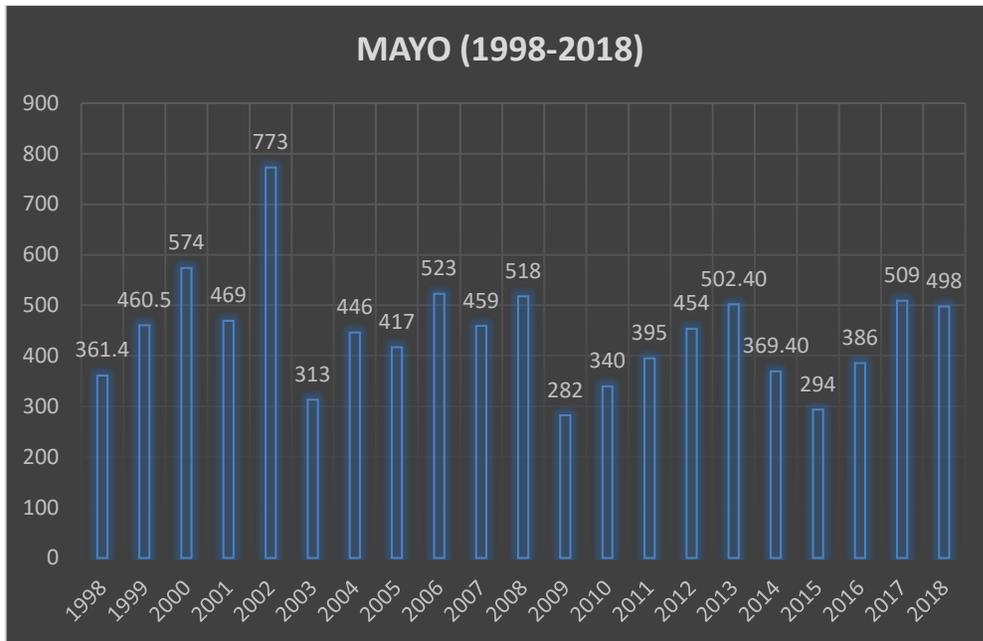


Figura 25 Precipitación Total mes Mayo multianual. Fuente: Propia.

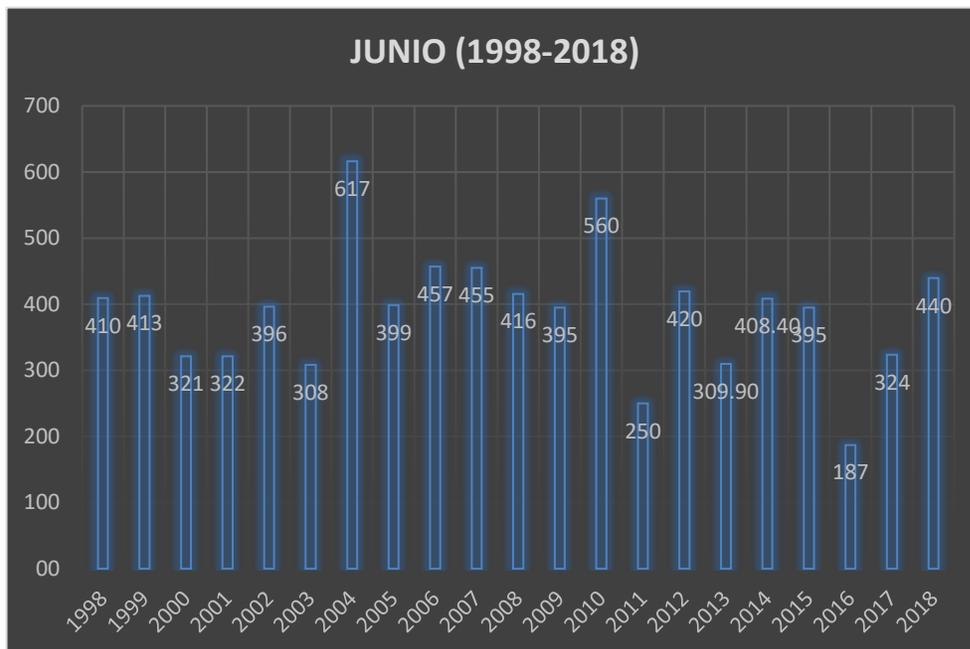


Figura 26 Precipitación Total mes Junio multianual. Fuente: Propia.

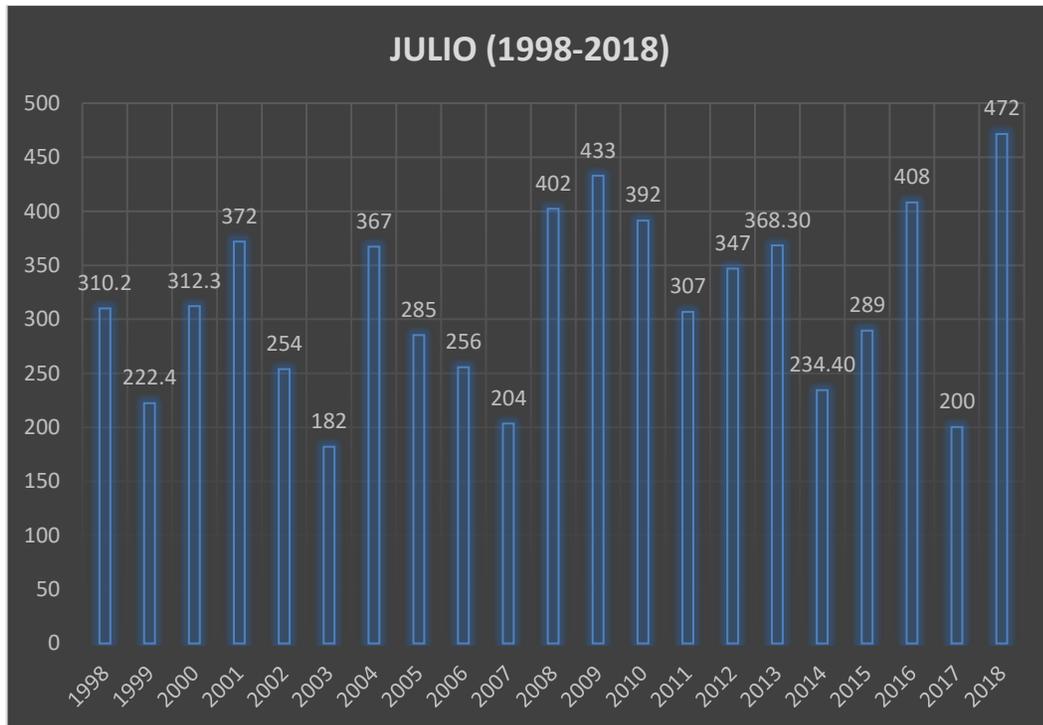


Figura 27 Precipitación Total mes Julio multianual. Fuente: Propia.

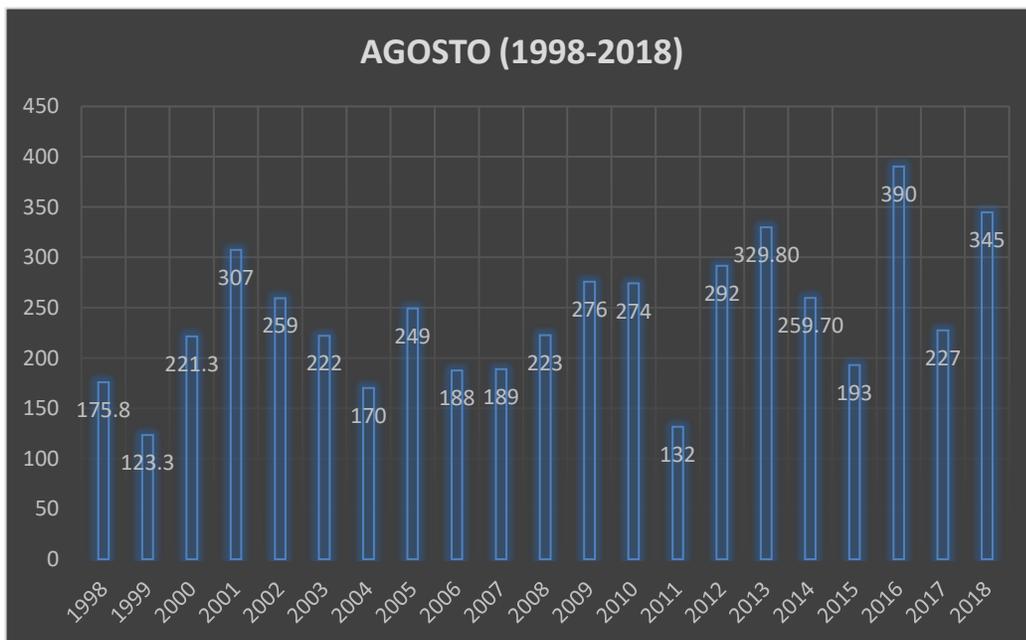


Figura 28 Precipitación Total mes Agosto multianual. Fuente: Propia.

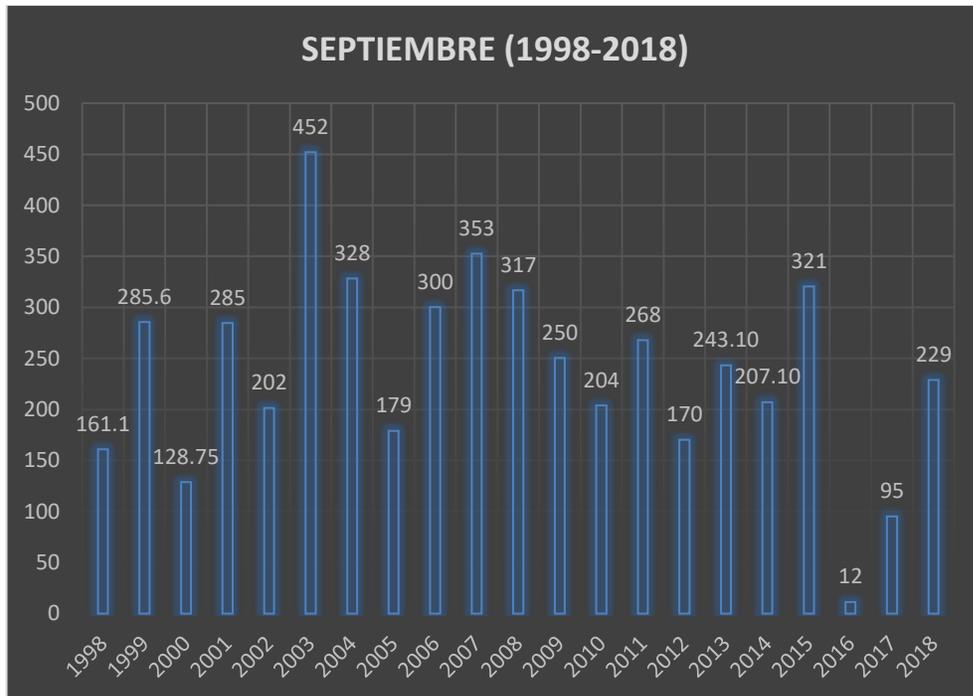


Figura 29 Precipitación Total mes Septiembre multianual. Fuente: Propia.

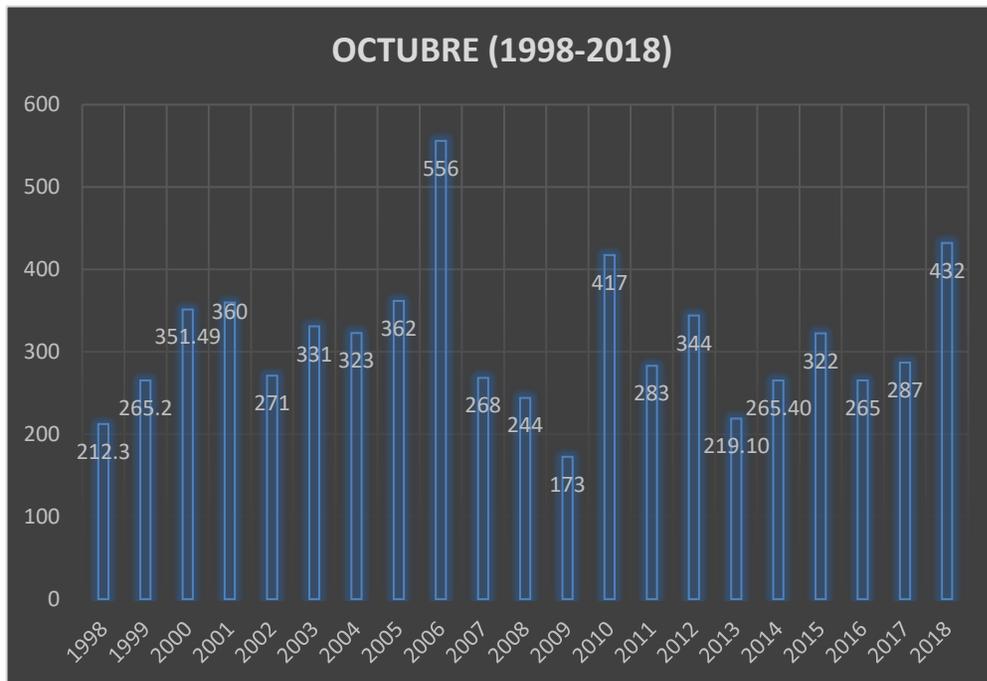


Figura 30 Precipitación Total mes Octubre multianual. Fuente: Propia.

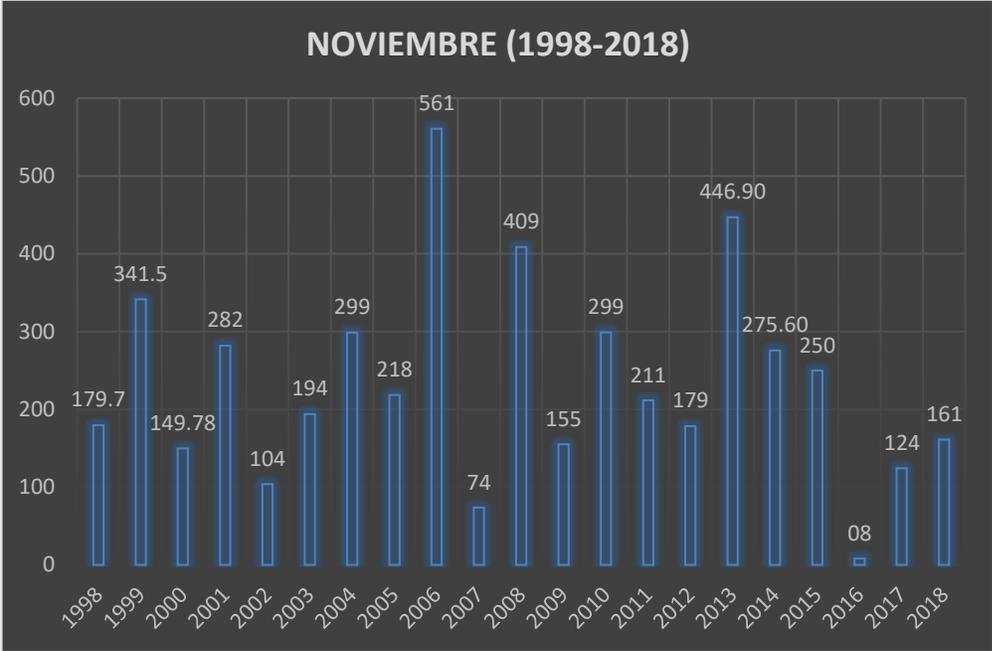


Figura 31 Precipitación Total mes Noviembre multianual. Fuente: Propia.

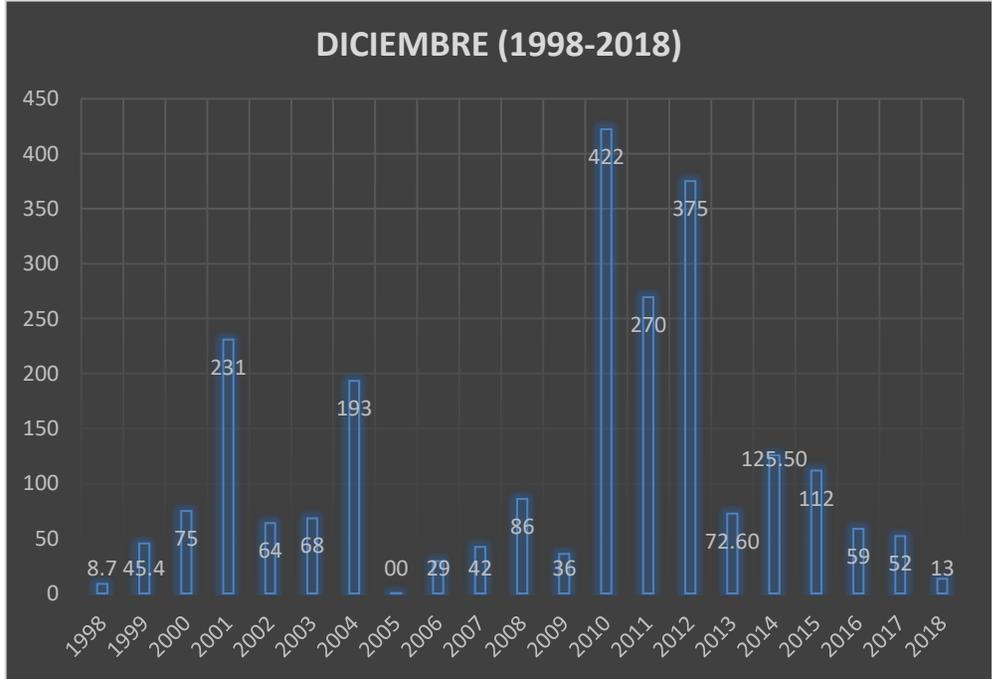


Figura 32 Precipitación Total mes Diciembre multianual. Fuente: Propia.

De la Figura 21 a la Figura 32 Se presenta el comportamiento registrado de precipitación a lo largo de la serie del año 1998 a 2018 de la estación seleccionada para el estudio del presente proyecto, en la cual se observa una precipitación importante durante todo el año con algunas excepciones en los meses de Enero y Diciembre en donde hay presencia de periodos secos o bajas precipitaciones. El comportamiento de la lluvia según los datos históricos de la serie evaluada de la estación La Libertad ha venido aumentando en los últimos años en la gran mayoría de los meses sin embargo, en los meses de Febrero y Diciembre para el 2018 la precipitación presentada ha disminuido con respecto a la del año anterior.

Uno de los métodos para determinar las sequías meteorológicas es el Índice de Anomalía de Precipitación, que relaciona de forma porcentual el valor de la precipitación total anual contra la precipitación promedio multianual. Hay anomalía de precipitación cuando los valores del índice se alejan del 100%; los valores anormalmente bajos, que se encuentran por debajo del 60% (IDEAM, 2003), se clasifican como deficiencia.

El Índice de Anomalías de Precipitación se determina por medio de la siguiente relación:

$$I = \frac{PA}{PT} * 100$$

Donde:

I: Índice de Anomalías de Precipitación

PA: Total de precipitación durante el año de análisis

PT: Precipitación total anual promedio multianual

Las anomalías deficitarias de precipitación se presentan si el índice “I” se encuentra dentro de los siguientes rangos: Deficiencia Ligera: 61 – 90% Deficiencia Moderada: 31 – 60% Deficiencia Severa: ≤ 30 %.

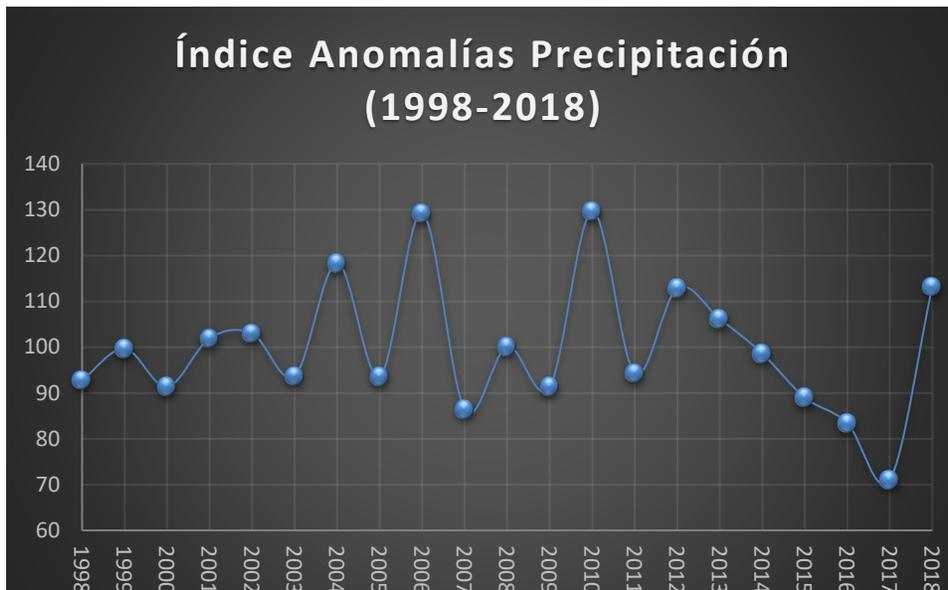


Figura 33 Índice Anomalías Precipitación, Estación La Libertad. Fuente: Propia.

Este indicador muestra las áreas que se ven afectadas por sequías agrícolas o eventos de este tipo que hayan castigado otros sectores de la economía; La muestra del porcentaje para la zona de estudio la Vereda Santa Rosa su precipitación anual tubo una deficiencia baja con un valor mínimo presentado en el año 2017 con el 71.08% (Ver Figura 33) lo que posibilita estimar indirectamente no solamente analizar este fenómeno frente aspectos como perdidas económicas, disminución de la calidad de vida de la población afectada sino que también para intereses del presente trabajo tener un balance general durante el periodo de tiempo analizado del comportamiento de la precipitación presentada a lo largo de los años.

5.3 OFERTA Y DEMANDA

La oferta de agua lluvia se calculó teniendo como base un área de captación de 90m² por vivienda de las 100 que se encuentran en el centro poblado de la vereda, se evaluaron para uso doméstico una demanda de 6.52m³/mes que corresponde al 32.6% del consumo básico que busca suplir actividades del hogar como lo son; lavamanos, aseo de vivienda, riego de plantas, jardines y lavado de vehículos en la

Tabla 9 se encuentran los resultados de la oferta y demanda acumulado así como también del potencial de ahorro de agua potable en donde se puede observar que el sistema es eficiente y tiene capacidad total de cobertura para las actividades especificadas anteriormente. Por otra parte la oferta de agua para riego de cultivos es de 150m³*mes*Ha según el Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional Edgar Almansa quien cuenta con experiencia en proyectos de investigación. De lo anterior y analizando la implementación del sistema en uno de los predios destinados a la agricultura en la vereda Santa Rosa el cual tiene un área aproximada de 18 hectáreas para las cuales se requieren 2700 m³ mensuales. El porcentaje de aporte del sistema va desde el 62.49% al 118.64% con una eficiencia promedio del 84.82% y un volumen de agua lluvia de 21245.83 m³. En la Tabla 10 se observa la precipitación mensual, la oferta y demanda acumulada y el potencial de ahorro de agua potable la cual denota que el sistema es eficiente si bien no cuenta con el 100% de capacidad para abastecer la demanda de agua que se requiere para este predio su aporte es significativo desde el punto de vista económico y del recurso hídrico.

Tabla 9 Resultados de precipitación mensual, demanda y oferta mensual, demanda y oferta acumulada para la vereda Santa Rosa, volúmenes de almacenamiento y potencial de ahorro de agua en uso doméstico, Fuente: Elaboración propia.

Mes	Ppi (mm)	Demanda (m3/mes)	Demanda Acumulada (m3/mes)	Oferta (m3/mes)	Oferta Acumulada (m3/mes)	PPWS (%)
MAYO	444.9	6.52	6.52	32.03	32.03	491.30
JUNIO	390.4	6.52	13.04	28.11	60.14	431.12
JULIO	315.1	6.52	19.56	22.69	82.83	347.96
AGOSTO	240.3	6.52	26.08	17.30	100.13	265.36

Mes	Ppi (mm)	Demanda (m3/mes)	Demanda Acumulada (m3/mes)	Oferta (m3/mes)	Oferta Acumulada (m3/mes)	PPWS (%)
SEPTIEMBRE	237.6	6.52	32.6	17.11	117.24	262.38
OCTUBRE	312.1	6.52	39.12	22.47	139.71	344.65
NOVIEMBRE	234.3	6.52	45.64	16.87	156.58	258.74
DICIEMBRE	113.4	6.52	52.16	8.16	164.74	125.23
ENERO	33.61	6.52	58.68	2.42	167.16	37.12
FEBRERO	70.7	6.52	65.2	5.09	172.25	78.07
MARZO	185.3	6.52	71.72	13.34	185.60	204.63
ABRIL	373.1	6.52	78.24	26.86	212.46	412.01

Tabla 10 Resultados de precipitación promedio mensual, demanda y oferta mensual, demanda y oferta acumulada, volúmenes de almacenamiento y potencial de ahorro de agua en uso riego cultivos para la vereda Santa Rosa, Fuente: Elaboración propia.

Mes	Ppi (mm)	Demanda (m3/mes)	Demanda Acumulada (m3/mes)	Oferta (m3/mes)	Oferta Acumulada (m3/mes)	PPWS (%)
MAYO	444.9	2700	2700	3203.28	3203.28	118.6
JUNIO	390.4	2700	5400	2810.88	6014.16	111.4
JULIO	315.1	2700	8100	2268.72	8282.88	102.3
AGOSTO	240.3	2700	10800	1730.16	10013.04	92.7
SEPTIEMBRE	237.6	2700	13500	1710.72	11723.76	86.8
OCTUBRE	312.1	2700	16200	2247.12	13970.88	86.2
NOVIEMBRE	234.3	2700	18900	1686.96	15657.84	82.8
DICIEMBRE	113.4	2700	21600	816.48	16474.32	76.3
ENERO	33.61	2700	24300	242	16,716	68.8
FEBRERO	70.7	2700	27000	509.04	17,225	63.8
MARZO	185.3	2700	29700	1334.16	18,560	62.5
ABRIL	373.1	2700	32400	2686.32	21,246	65.6

Para efectos constructivos en las dos alternativas de aprovechamiento, la primera en uso doméstico se propone conducir las aguas lluvias captadas en la cubierta por medio de canaletas y bajantes para ser almacenadas en un tanque plástico tipo botella de 600 Litros como reservorio de las actividades que no requieren agua potable. Para el uso en riego la captación conducción es igual a la anterior y adicional a esto se proyecta una red en PVC de 4" por el centro poblado para conectarla al sistema de riego actual del predio 1 de la Figura 37 los cual se puede ver en el capítulo 7 DISPOSICIÓN FINAL DEL AGUA LLUVIA EN EL PROYECTO.

5.4 POTENCIAL DE AHORRO

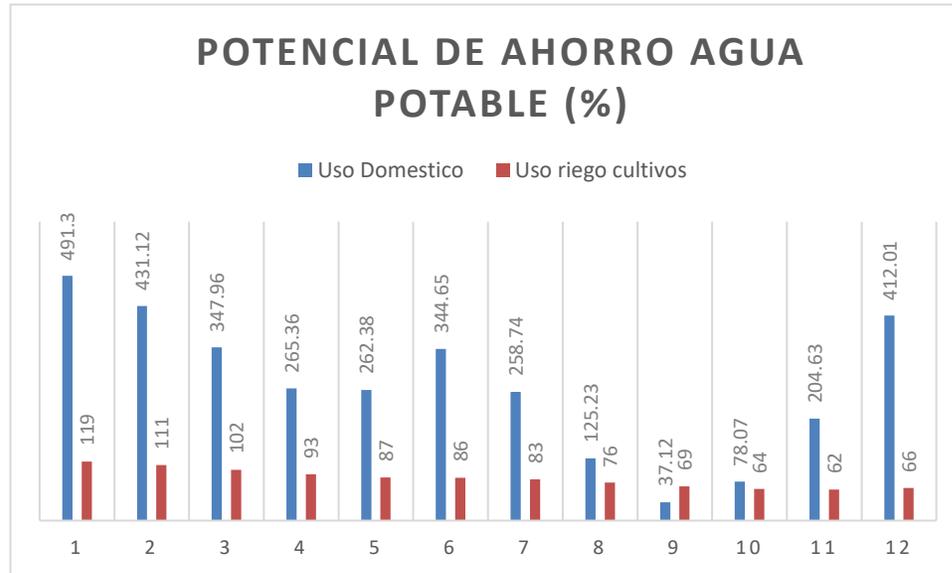


Figura 34 Potencial de Ahorro de Agua Potable por mes en la vereda Santa Rosa, Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se puede observar el porcentaje de ahorro de agua potable en las dos alternativas de aprovechamiento; para el uso doméstico se observa que la oferta de agua lluvia sobre pasa notoriamente la demanda requerida cumpliendo durante todo el año con la necesidad del recurso en usos no potable es decir que hay más agua disponible de la que se utiliza en actividades de descarga de sanitarios, lavados de zonas comunes entre otro. En cuanto a la implementación en riego de cultivos su aporte promedio durante los 12 meses del año es del 84.8% si bien no provee el 100% de la necesidad de agua para esta actividad su aporte en volumen es considerable en cuanto a temas económicos y ambientales en la búsqueda de la preservación del recurso hídrico.

6 DISPOSICIÓN FINAL DEL AGUA LLUVIA EN EL PROYECTO

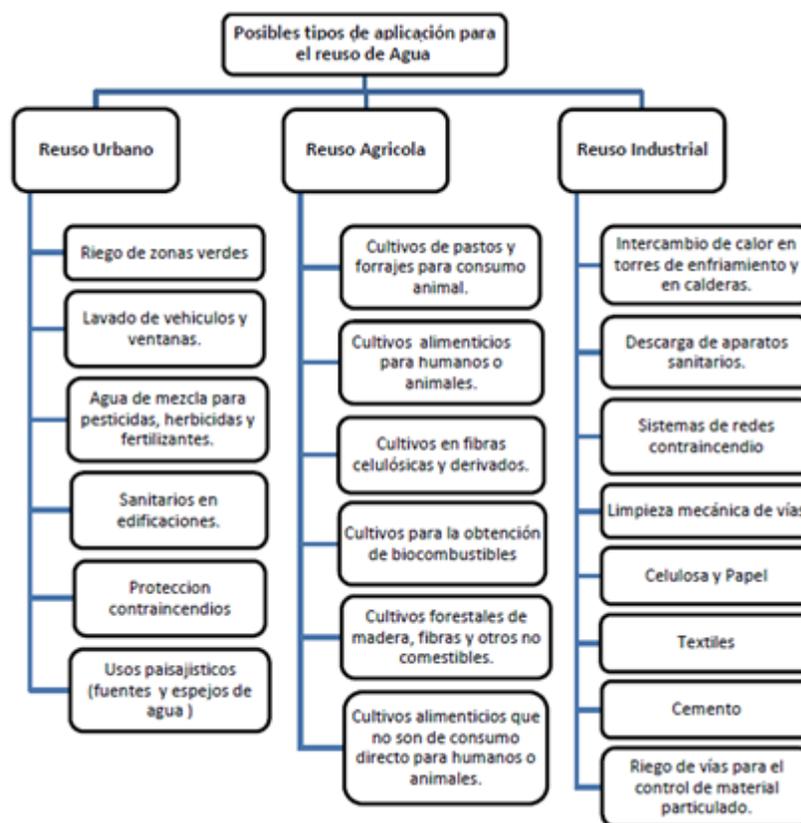


Figura 35 Tipos de aplicación, Vargas, 2015.

Consultada la información teórica y técnica existente de los diferentes sistemas ejecutados a nivel Nacional e Internacional se evaluó su aplicabilidad en cuanto al tipo de arquitectura, material de cubierta y disposición final del agua captada para el presente trabajo. Por el sistema de captación de aguas lluvias que se empleara en la Vereda Santa Rosa de la ciudad de Villavicencio se realizará por medio de cubiertas mediante canaletas y bajantes de tipo Amazona que de acuerdo con el manual técnico de PAVCO tiene una capacidad para 90m² de cubierta por bajante. (Ver Figura 36 y Figura 37).

En la Figura 35 se pueden identificar los tres tipos de aprovechamiento de las aguas lluvias más destacados e implementados de acuerdo con la literatura encontrada. De estos posibles usos se pueden destacar el uso para riego en zonas verdes, sanitarios, y sistemas contraincendios, riego de cultivos, entre otros; los cuales podrían ser implementados en proyectos nuevos o existentes sin importar el tipo de estructura o fachada de la misma.



Figura 36 Canaletas para captación de aguas lluvias por cubierta, Fuente: elaboración propia con imagen satelital de Google Earth.

La vereda Santa Rosa esta cuenta con varios predios utilizados para la producción agrícola lo que nos lleva a un escenario posible de utilización de las aguas lluvias captadas en el centro poblado para el riego de cultivos solo analizando dos lotes cercanos al punto de captación por cubiertas encontramos los polígonos 1 y 2 con un área de 6ha y 18ha respectivamente como se puede observar en la Figura 38. El otro escenario no tan global como el anterior es aplicar este sistema individualmente por casa con el fin de minimizar el gasto mensual en m^3 de agua potable lo que ayudaría a reducir las tarifas de pago de acueducto a la empresa prestadora del servicio.

Para lo anterior se realizó un análisis de las aguas lluvias de la zona de estudio con finalidad de uso agrícola y domestico no potable, se realizó la toma de la muestra en la vereda Santa Rosa (ver Figura 39) para analizar los parámetros de Solidos suspendidos totales y DBO en el laboratorio certificado Tecno ambiental S.A.S. (Ver anexos).

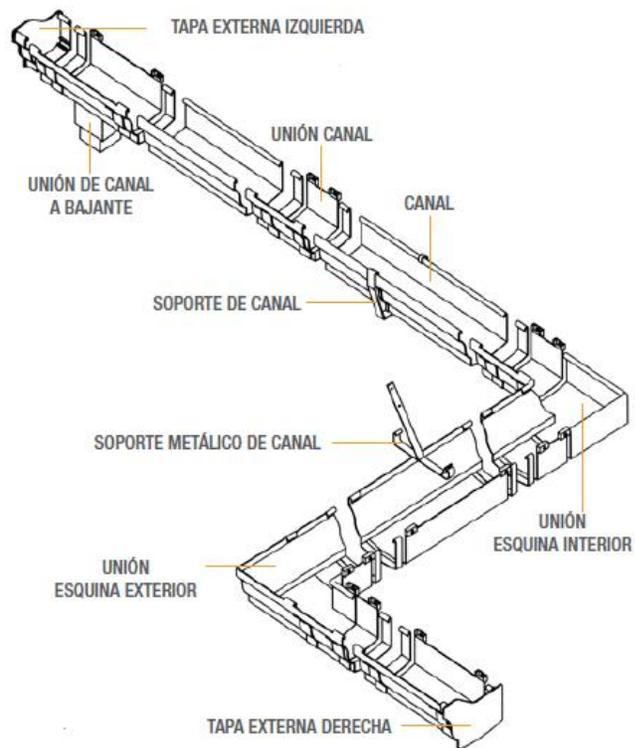


Figura 37 Esquema Canal Amazona, manual técnico sistemas canales y bajantes (PAVCO), 2014.



Figura 38 Polígonos de cultivos Vereda Santa Rosa 2019, Fuente: propia.

Adicional a los parámetros analizados por parte de Tecno ambiental, en el laboratorio de las instalaciones de Agrosavia de la ciudad de Villavicencio el cual no se encuentra certificado y por ser con fines académicos se pudo analizar los siguientes análisis químicos a la misma muestra tomada para el laboratorio certificado; pH, conductividad, TDS, Temperatura, empleando los equipos pNa, y PCStestr 35. (Ver Figura 40).



Figura 39 Toma y almacenamiento de la muestra, Fuente: propia.



Figura 40 Análisis pH, conductividad eléctrica, TDS, Temperatura de las aguas lluvias vereda Santa Rosa, Fuente: Propia

Los datos obtenidos de los parámetros de interés tanto del laboratorio Tecno ambiental el cual reportan 2 resultados de Sólidos Suspendedos uno de ellos externo (certificado) y el otro no, así como también los conseguidos en el laboratorio de Agrosavia se relacionan a continuación:

Tabla 11 Reporte de resultado Microbiológicos, Fuente: Tecno ambiental S.A.S

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
D.B.O -5	mgO ₂ /L	<5
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES*	mg/L	<15
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**	mg/L	4

*Parámetro no acreditado, ** Reporte laboratorio externo.

Tabla 12 Datos obtenidos de análisis químico, Fuente: Laboratorio Agrosavia

ANÁLISIS QUÍMICO		
PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
SODIO	mg/L	2.6
PH	N. A	6.9
CONDUCTIVIDAD	Ns/cm	18.9
TDS	PPM	13.6
SALINIDAD	PPM	17.5

6.1 Riego de Cultivos Agrícolas

Para este fin se contempla una vez captadas las aguas lluvias por medio de cubiertas conducirlas hacia el predio 1 de la Figura 38 el cual cuenta con un sistema de riego por medio de una red de conducción por las vías principales de Santa Rosa (ver Figura 44).

Para la cimentación de la tubería propuesta según la NS-035 Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado de la EAAB versión 3,1 de 2004 los materiales a

emplear son materiales provenientes de la excavación y material seleccionado (relleno con mezcla de gravilla y arena lavada de río) como se puede observar en la Figura 45 y Figura 46.

En la Tabla 14 se pueden observar los parámetros mínimos del agua para uso agrícola las cuales cumplen con los obtenidos de las aguas lluvias de la zona del proyecto. El Sodio se encuentra entre los valores de ideal y aceptable, la conductividad es ideal, sólidos disueltos totales ideal es decir que la utilización de las aguas lluvias para riego de los cultivos (ver

Figura 47) encontrados en la zona es viable en cuanto a sus parámetros mínimos de la calidad del agua.

Debido a que no se tiene una norma técnica para el diseño de captación de agua atmosférica o lluvia a través de techos o superficies solo lo estipulado en la Resolución rural 0844 del Reglamento Técnico para el Sector de agua Potable y Saneamiento Básico de 2018 en donde solo estipula aspectos técnicos y de manejo en cuanto a los componentes que debe tener un sistema de captación de aguas lluvias y que el dimensionamiento y diseño se debe considerar la pluviometría de la zona y su distribución espacio-temporal por lo que no se tiene un parámetro inicial mínimo del diámetro interno de la tubería se acudió al RAS 2017 artículo 135 en donde especifica el caudal de aguas lluvias en donde especifica factores que se deben tener en cuenta para su estimación: 1. El periodo de retorno de la lluvia de diseño se debe seleccionar de acuerdo con la importancia de las áreas, los daños, perjuicios o molestia que las inundaciones puedan ocasionar a los habitantes e infraestructura. Para el caso de estudio el tiempo de retorno será de 3 años como se puede observar en la Figura 41

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

Figura 41 Periodos de retorno, Fuente: RAS 0330 de 2017

Para hallar el caudal por el método irracional, como criterio de la tormenta de diseño se utiliza el presentado en el informe de diseño de CEI-ESSARE con una duración de 3.0 horas y periodo de retorno de 3 años; dado que ésta produce resultados más críticos que tormentas de duración mayores en términos de caudales máximos instantáneos, debido a que gran parte del volumen precipitado se concentra en este corto periodo de tiempo. El coeficiente de escorrentía es de 0.8 según Tabla 7 y el área es de 0.09 ha que corresponde a las 100 cubiertas de captación de las aguas lluvias. Para hallar la intensidad de la lluvia se utilizó las curvas IDF de la estación Base Aérea Apiay de la ciudad de Villavicencio (Ver Figura 42).

$$I = \frac{C1}{(D + Xo)^{C2}} = \frac{1682.669}{(180 + 1682.669)^{0.759}} = 29.42$$

$$C1 = 1682.669$$

$$Xo = 26.717$$

$$C2 = 0.759$$

$$Q = CxIxA=5.89 \text{ L/s}$$

$C =$ Coeficiente de escorrentía

$I =$ Intensidad de la lluvia (L/s * ha)

$A =$ área de drenaje (ha)

Como la Intensidad de la lluvia esta expresada en mm/h el factor de conversión es L/s*ha como es 2.78

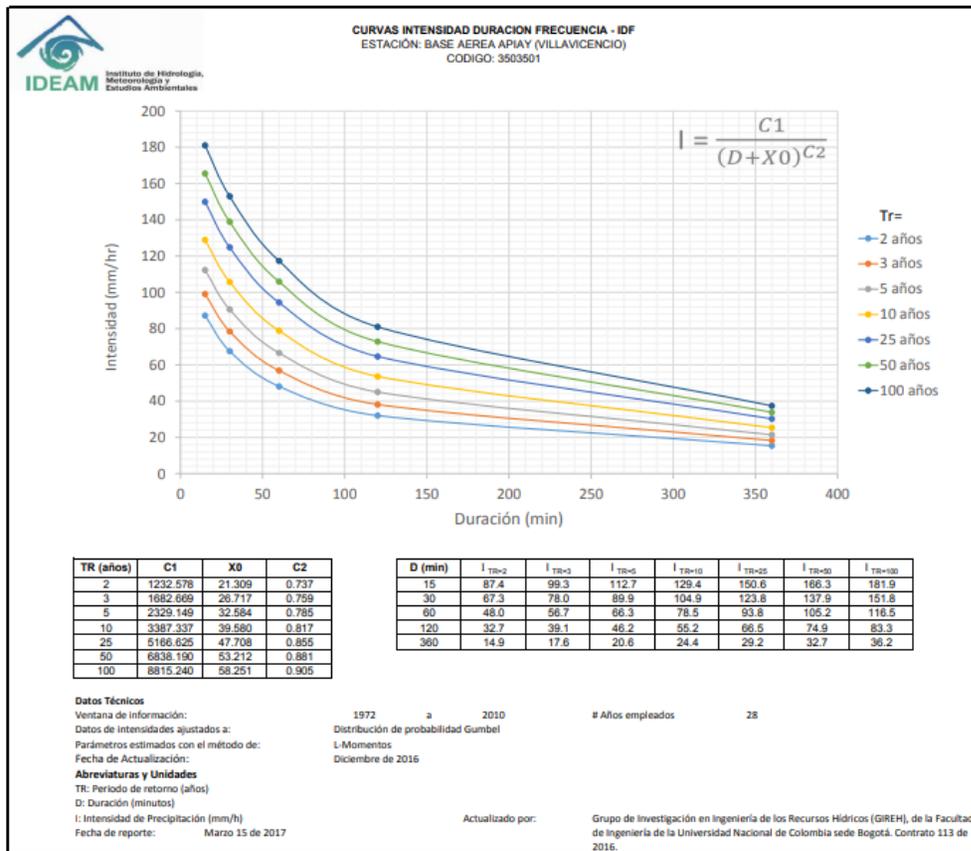


Figura 42 Curvas IDF, Fuente: IDEAM

Según la norma RAS la velocidad mínima es 0.45 m/s con el fin de evitar que los sólidos transportados se depositen dentro de los colectores. Este proyecto no se encarga de diseñar una red pluvial sino de un sistema que capte, conduzca y distribuya aguas lluvias por ello con los cálculos realizados anteriormente en cuanto al $Q=5.89$ L/s, $A= 900m^2$ e $I=29.42$ mm/h según la Norma Técnica Colombiana Código de Fontanería 1500 de 2004 con estos valores para estos valores corresponde una tubería de diámetro nominal de 100mm que equivalen a 4" (Ver Figura 43).

Diámetro Nominal mm	Caudal Máximo L/s	Áreas máximas permitidas proyectadas horizontalmente en m ² para diferentes intensidades de lluvias					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/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

Figura 43 Dimensionamiento de Desagües Principales de Cubierta, Ramales y Bajantes de Aguas Lluvias, Fuente: NTC 1500 de 2004.



Figura 44 Red de conducción de aguas captadas a cultivos, Fuente: propia

Tabla 13 Cantidades de tubería para red de conducción, fuente: Propia.

Tramo	Longitud (m)
1	645.32
2	109.3
3	105.71
4	108.53
5	141.29
6	68.07
7	157.96
8	158.86
9	148.3
10	84.99
11	186.16
Total	1914.49

Para la cimentación de la tubería propuesta según la NS-035 Requerimientos para cimentación de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado de la EAAB versión 3,1 de 2004 los materiales a emplear son materiales provenientes de la excavación y material seleccionado (relleno con mezcla de gravilla y arena lavada de río) como se puede observar en la Figura 45 con ancho de esta de 0.30m (ver Figura 46).

Tabla 14 Parámetros del agua para uso en agricultura, Fuente: Moreno y Quintero 2014.

Parámetro	Unidad	Ideal	Aceptable	Tolerable	Inaceptable
SODIO	mg/L	2	8.4	8.4	>8.4
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	mS/m	40	90	270	>270
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/L	50	75	100	>100
PH (Superior)		8.4	8.4	8.4	>8.4
PH (Inferior)		6.5	6.5	6.5	<6.5

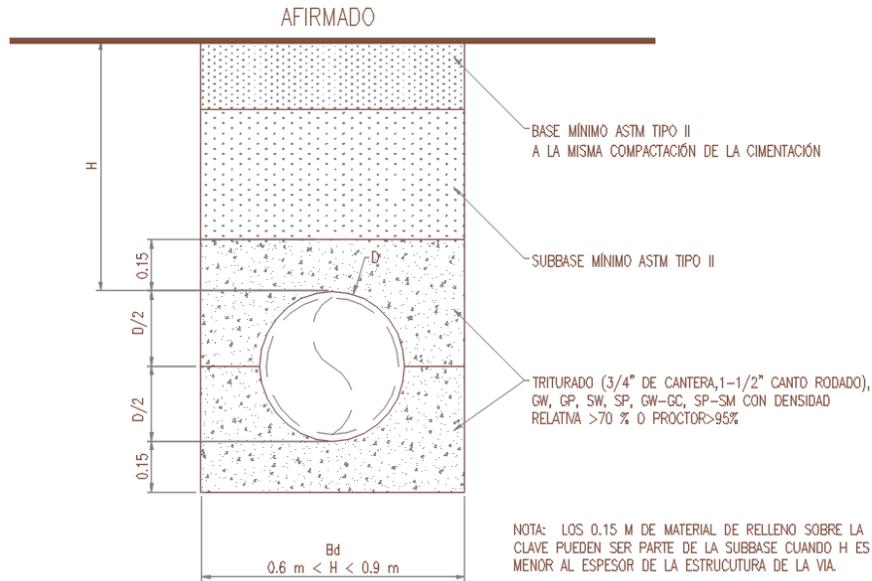


Figura 45 Cimentación de tuberías para rasantes en afirmado, 2019. Norma técnica 035
EAAB

Díámetro (mm)	Ancho de cimentación "Bd" (mm)
150	300
200	350
250	450
300	550

Figura 46 anchos máximos de cimentación. Fuente: Norma técnica 035 EAAB



Figura 47 Zonas de cultivos en la vereda Santa Rosa, Fuente: propia.

Los predios encontrados en la vereda de Santa Rosa son cultivados principalmente por Arroz el cual es de los cultivos que más consume agua en comparación a otros y es que este necesita agua para la evapotranspiración, la infiltración y la percolación, al igual que para prácticas de manejo como la preparación del terreno y el drenaje. Para fines productivos, prevención de malezas, disminución del uso de herbicidas y reducir la mano de obra, el arroz a través del tiempo es sometido a inundaciones controladas como se puede observar en la Figura 48. Sin embargo, la FAO adelanta estudios que permitan nuevas prácticas de cultivo de arroz sumergido que ayuden a promover a la infiltración y recarga de las aguas subterráneas.



Figura 48 Riego superficial. a) Riego por surcos b) Riego por inundación

Para la zona de estudio la vereda cuenta con acueducto propio y los predios con grandes áreas de cultivos agrícolas y su captación de agua para riego es por medio de pozos profundos, sin embargo, en los últimos años debido a la migración de población a la vereda, al cambio climático surge la necesidad de buscar nuevas prácticas de riego por ello una buena posibilidad es el aprovechamiento de las aguas lluvias tanto para cultivos presentes como para futuros. En la Tabla 15 se ilustra cantidades y presupuesto para emplear el agua lluvia captada por medio de cubiertas en el centro poblado de Santa Rosa y conducido a los predios principales de cultivos de la zona.

El valor del proyecto para la implementación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para el riego de cultivos que para este caso es de arroz cuesta 93, 926,992.57 COP (Ver Tabla 17), el ciclo del cultivo de arroz es de 120 días es decir que al año se cultivan 3 veces y según los datos estadísticos arroceras de la Federación Nacional de Arroceros el costo para el año 2019 el rubro de riego tiene un valor de 541.020 COP (Ver Figura 49) por hectárea en un ciclo. Es decir que para

para la producción de arroz del predio de estudio que tiene una área de 18 ha por año se gasta 29,216,538 COP. La inversión realizada asumiendo un costo fijo de riego igual al del 2019 el tiempo de recuperación de la inversión serían 3.2 años y en ese tiempo se estaría aprovechando 8059 m³ de agua lluvia.

Año	Asistencia Técnica	Arriendos	Preparación y Siembra	Riego	Fertilizantes	Protección al Cultivo	Recolección	Otros	Total
2009	35,015	839,636	844,491	344,290	1,059,656	941,664	521,474	398,126	4,984,352
2010	36,661	640,225	902,165	366,088	877,917	933,170	531,596	365,669	4,653,491
2011	39,528	807,282	917,025	406,542	955,635	909,281	491,564	380,740	4,907,597
2012	39,789	839,880	969,090	398,381	1,011,282	851,141	527,507	413,059	5,050,129
2013	40,755	898,107	1,013,693	436,386	922,887	809,451	595,113	396,062	5,112,454
2014	43,874	912,533	984,402	468,461	943,704	832,330	622,406	392,710	5,200,420
2015	45,701	895,033	1,034,917	446,070	1,016,200	943,829	574,512	498,004	5,454,266
2016	49,078	960,179	1,063,027	486,267	1,036,144	922,846	607,302	543,254	5,668,097
2017	53,559	1,040,653	1,044,821	509,876	1,012,468	1,064,846	678,025	549,277	5,953,525
2018	54,234	1,133,749	1,028,200	541,020	1,060,277	1,089,869	722,576	523,124	6,153,049

Figura 49 Valoración Nominal por Rubros de los Costos del Arroz Riego Desde 2000 hasta 2019 Semestre 1 en Colombia Costos por Hectárea en Pesos Colombianos Zona: Llanos. Fuente Fedearroz, 2019.

Tabla 15 Presupuesto para aprovechamiento de aguas Lluvias para Riego para la vereda Santa Rosa, Fuente: propia, 2019.

Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (COP)	Valor Total
Pres.	SISTEMA DE RECOLLECIÓN ALL				
Sub.	EXCAVACIONES				
	Excavaciones (1)	m3	347.74	\$ 4,080.00	\$1,418,774.16
	Transporte material de excavación 5,35 km (1)	Km/m3	2418.52	\$943.00	\$2,280,667.30
Sub.	RELLENOS				
	Relleno Material Recebo (1)	m3	171.38	\$15,104.78	\$2,588,643.18
	Relleno Material Seleccionado (1)	m3	173.26	\$22,249.17	\$3,854,927.84
	Transporte material granular 15 km (1)	Km/m3	3341.89	\$720.65	\$2,408,348.92
Sub.	TUBERIA Y ACCESORIOS				
	TUBERIA PVC U.M. NORMA NTC 382 D=4" RDE 21 (3)	ML	1915	\$520544,0	\$39,341,760
	CONSTRUCCIÓN DE CAJA 0.5m x0.6m H=2.0m (Incluye Marco y Tapa). (3)	UN	21	\$398,269	\$8,363,657.84
Sub.	CANAL Y BAJANTE				
	Canal Amazonas Tramos de 3m Blanca (2)	ML	240	\$32,142.00	\$7,714,080.00
	Unión Canal (2)	UN	1040	\$19,136.00	\$19,901,440.00
	Unión Canal a Bajante Amazonas (2)	UN	80	\$25,810.00	\$2,064,800.00
	Tapa Exterior Derecha (2)	UN	80	\$9,308.00	\$744,640.00
	Tapa Exterior Izquierda (2)	UN	80	\$9,308.00	\$744,640.00
	Bajante Tramos de 3m Extremos Lisos Blanca (2)	ML	80	\$26,001.67	\$2,080,133.33
	Soporte de Bajante (2)	UN	160	\$2,628.00	\$420,480.00
					\$ 93,926,992.57

(1) Apus Meta 2019 (Invias), (2) Listado de precios (PAVCO), (3) Precios Unitarios de Referencia 2019-I (IDU)

6.2 USO DOMESTICO (NO POTABLE)

Para esta finalidad se puede manejar desde un prototipo complejo como se puede observar en la Figura 50 en donde se puede aplicar para proyectos nuevos o su implementación en estructuras existentes el cual consta del mismo sistema de captación por cubiertas la diferencia es que estas aguas almacenadas son y tratadas por medio de filtros convencionales son dispuestas para la descarga de inodoros.



Figura 50 Elementos del sistema por gravedad para viviendas de un piso, Suárez y Rodríguez, 2014.

Para el proyecto de estudio se propone captar el agua por medio de cubiertas, conducidas por medio de canaletas y bajantes con el fin de contar con un reservorio de aguas lluvias para uso no doméstico como lo son lavados de zonas duras, verdes, vehículos, entre otros. (Ver Figura 51)



Figura 51 sistema de captación propuesto en la vereda Santa Rosa para uso no doméstico,
Fuente: propia, 2019.

Si bien la comunidad de la vereda Santa Rosa cuenta con acueducto propio el cual el cual su operación y mantenimiento está a cargo de la Junta de Acción Comunal y el valor del servicio es muy bajo debido a que no se cobra por consumo sino por tarifa global como se puede observar en la Figura 53. Es importante implementar medidas que aporten a la disminución de consumo de agua potable en finalidades no domésticas. Si este sistema se llevar a cabo en zonas donde la empresa de servicios públicos de Villavicencio prestara el servicio los aportes económicos serian significativos y es que el costo para instalar este sistema es \$1.023.481 por vivienda (ver Tabla 17). Según el documento Rango de consumo básico de 2015 de acuerdo al promedio nacional de consumo el punto medio entre los intervalos 17.68 m^3 y 24.92 m^3 es de 20 m^3 por suscriptor, de los cuales el 9% para usos no potable que no requieren potabilización o tratamiento básico como lo son aseo vivienda, riego de plantas, lavado vehículo y riego de jardines (ver Figura 52). Por lo tanto, 6.52 m^3 mensuales podría ser cubierto por el aprovechamiento de aguas lluvias el cual si se evalúa en costo beneficio en un estrato de 1 a 4 con un valor complementario de \$12.288.57 (\$/mensuales) como se puede observar en la Figura 54 las tarifas de la empresa de servicios públicos de la ciudad de Villavicencio.

HOGARES	USOS %
Consumo Propio	3.9
Ducha	20.9
Sanitario	19.9
Lavamanos	3.7
Lava platos	15.5
Lavado Ropa	27.1
Aseo vivienda	4.9
Riego plantas	0.7
Lavado vehículo	1.5
Riego jardines	1.9

Figura 52 Determinación del consumo básico de agua potable subsidiado en Colombia, CRA 2015

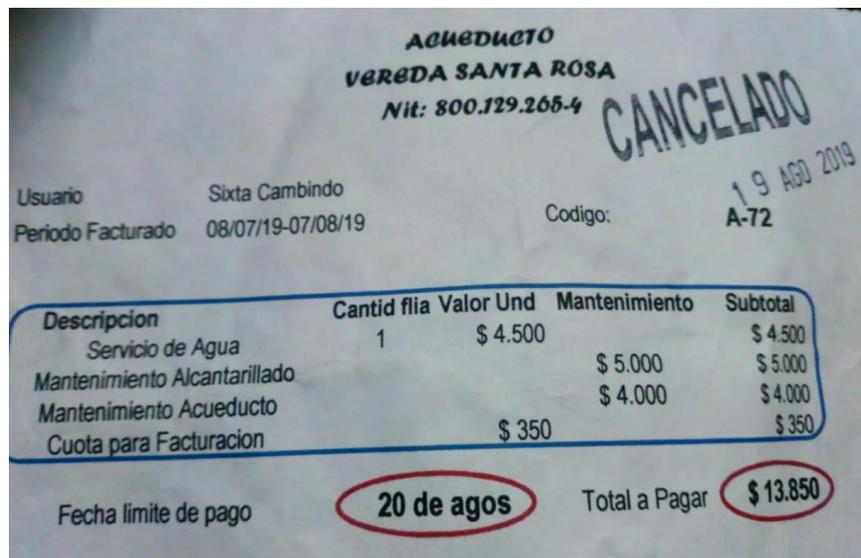


Figura 53 Recibo Acueducto Vereda Santa Rosa. Fuente: propia, 2019.

Tabla 16 Demanda en uso no potable, Fuente: Guerra, 2019.

DEMANDA USOS NO POTABLES	
Sanitarios	4 uso*día/persona
Zonas Verdes	1.5 L/m2*día
Zonas duras	2.0 L/m2*día

ACUEDUCTO						
ESTRATO / TIPO DE USO	SUBSIDIO	APORTE	CARGO FIJO (\$/M3)	CONSUMO BASICO 0 - 16 M3 (\$/m3)	CONSUMO COMPLEMENTARIO 17-32 M3 (\$/M3)	CONSUMO Suntuario >33 M3 (\$/M3)
Estrato 1	66%	0	\$ 2.426,45	\$ 640,81	\$ 1.884,75	\$ 1.884,75
Estrato 2	36%	0	\$ 4.567,44	\$ 1.206,24	\$ 1.884,75	\$ 1.884,75
Estrato 3	9%	0	\$ 6.494,33	\$ 1.715,12	\$ 1.884,75	\$ 1.884,75
Estrato 4	0	0	\$ 7.136,63	\$ 1.884,75	\$ 1.884,75	\$ 1.884,75
Estrato 5	0	70%	\$ 12.132,27	\$ 3.204,07	\$ 3.204,07	\$ 3.204,07
Estrato 6	0	85%	\$ 13.202,77	\$ 3.486,79	\$ 3.486,79	\$ 3.486,79
SECTOR COMERCIAL Y TEMPORAL	0	65%	\$ 11.775,44	\$ 3.109,84	\$ 3.109,84	\$ 3.109,84
SECTOR INDUSTRIAL	0	45%	\$ 10.348,11	\$ 2.732,89	\$ 2.732,89	\$ 2.732,89
SECTOR - OFICIAL Y ESPECIAL	0	0	\$ 7.136,63	\$ 1.884,75	\$ 1.884,75	\$ 1.884,75

Figura 54 Tarifas de Servicio de acueducto y alcantarillado en Villavicencio – Meta, 2019. Fuente: EAAV.

Tabla 17 Presupuesto para aprovechamiento de aguas Lluvias por vivienda, Fuente: propia, 2019.

Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (COP)	Valor Total
Pres.	SISTEMA DE RECOLLECIÓN ALL				
	CANAL Y BAJANTE				
	Canal Amazonas Tramos de 3m Blanca (1)	ML	3	\$ 32,142.00	\$ 96,426.00
	Unión Canal (1)	UN	13	\$ 19,136.00	\$ 248,768.00
	Unión Canal a Bajante Amazonas (1)	UN	1	\$ 25,810.00	\$ 25,810.00
	Tapa Exterior Derecha (1)	UN	1	\$ 9,308.00	\$ 9,308.00
	Tapa Exterior Izquierda (1)	UN	1	\$ 9,308.00	\$ 9,308.00
	Adaptador Bajante 3 y 4 (1)	ML	1	\$ 7,244.00	\$ 7,244.00

Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (COP)	Valor Total
Pres.	SISTEMA DE RECOLLECIÓN ALL				
	CANAL Y BAJANTE				
	Abrazaderas 3" (1)	UN	2	\$ 5,200.00	\$ 10,400.00
	Lubricante de Silicona (1)	UN	1	\$ 5,917.00	\$ 5,917.00
	ALMACENAMIENTO				
	Tanque Cilíndrico de 600 Lts (1)	UN	1	\$ 275,000.00	\$ 275000
					\$ 688,181.00

(1) Listado de precios (PAVCO).

Analizando el costo beneficio de la implementación de estos sistemas individuales para las viviendas de la vereda Santa Rosa el costo total es de \$688.181 y el ahorro mensual por su implementación en usos no potables es de \$12.288,67 lo que resulta una recuperación de la inversión es de 56 meses lo que es igual a 4.67 años esto asumiendo que la tarifa por metro cubico es constante. Esto resultados certifica por qué estos sistemas a menor escala no son usuales por ello es necesario la presencia de las entidades gubernamentales para subsidiar, generar ayudas e incentivos que promuevan la implementación de estos sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en los distintos usos no solo en las zonas donde escasea el recurso sino que también en las que su abastecimiento es al 100% y no se hace un buen uso del recurso.

7 CONCLUSIONES

La viabilidad económica de implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para la vereda Santa Rosa en riego de cultivos es factible debido a que su aporte en cuanto a la oferta y al factor económico son considerables. En cuanto al aprovechamiento en uso doméstico si bien su eficiencia es del 100% y su costo no es tan elevado es más complejo la implementación debido al coste que debe realizar el propietario de cada vivienda.

La inversión inicial para la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias es alto y la retribución de este costo tarda varios años en recuperarse sobre todo cuando se desarrollan a menor escala razón por la cual se puede atribuir la baja implementación de estos sistemas en Colombia.

Los resultados de laboratorio de los parámetros analizados del agua lluvia de la zona del proyecto sin ningún tratamiento son buenas y ratifican que son una buena opción para solucionar puntualmente el suministro de agua potable en zonas donde escasea el recurso por falta de fuentes hídricas o por el factor económico.

Pese a que la aplicación de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en Colombia es baja debido a la falta de normatividad e incentivos económicos por parte de las entes encargadas del manejo y planificación del recurso hídrico que impulsen su ejecución en presentes y futuros proyectos para fines potables o no, los resultados obtenidos en el presente trabajo en uso domésticos y de riego resaltan que el aporte económico y ambiental es significativo en la utilización de agua de las fuentes hídricas .

La viabilidad o eficiencia de la implementación del sistema es directamente proporcional a la pluviosidad de la zona de estudio y para la disposición del agua captada en es necesario realizar tomas de muestras del agua lluvia para los análisis en laboratorio de las de las características físicas, químicas mínimas.

8 RECOMENDACIONES

Para futuros trabajos que se asemejen al presente proyecto se recomienda realizar estudios previos en la calidad del agua lluvia durante varias épocas del año dependiendo su disposición final y buscar asesorías técnicas por parte de las empresas que hayan implementado sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias con el fin conocer experiencias, aspectos técnicos importantes que ayuden a la documentación de esta tecnología.

Promover la reglamentación normativa, subsidios e incentivos económicos como reducciones de impuestos por parte del gobierno con el fin de generar conciencia ambiental y económica para implementar nuevas tecnologías que aporten en el suministro de agua para las diferentes comunidades.

Ejecutar proyectos pilotos en donde se realicen monitoreos en cuanto al factor económico, disponibilidad de agua lluvia, calidad de esta, eficiencia del sistema, costo-beneficio y elaboración de encuestas en comunidades y/o empresas para saber el conocimiento sobre la existencia de estos sistemas, su opinión frente a la importancia de la implementación y su disposición en realizar estas prácticas en sus proyectos.

9 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía De Villavicencio. (2017). Diagnostico sectorial del municipio. Recuperado de <http://www.villavicencio.gov.co/>.

Ballén, J. A., Galarza, M. A. y Ortiz, R. O. (2006). "Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia", en VI SEREA. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, João Pessoa, pp. 1-12.

Bocanegra, C. A Y Almanza, C. A. (2015). Diseño De Sistema Piloto De Almacenamiento De Agua Lluvia Aescala Laboratorio En La Sede Piedra De Bolívar De La Universidad De Cartagena. (Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena, Cartagena de indias d. T. Y C, Colombia). Recuperado de: <http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/11227/2088/1/DISE%C3%91O%20DE%20SISTEMA%20PILOTO%20DE%20ALMACENAMIENTO%20DE%20AGUA%20LLUVIA%20A%20ESCALA%20LABORATORIO.pdf>

Castañeda, N. (2010). Propuesta De Un Sistema De Aprovechamiento De Agua Lluvia, Como Alternativa Para El Ahorro De Agua Potable, En La Institución Educativa María Auxiliadora De Caldas, Antioquia. (Tesis de especialización, Universidad de Cartagena, Medellín, Colombia). Recuperado de: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/1325/1/PropuestaSistemaAprovechamientoAguaLluvia.pdf>

Castellanos, L. J y García, C. A. (2015). Diseño E Implementación De Un Prototipo De Sistema De Recolección Y Tratamiento Aguas Lluvias En Casa Multifamiliar Para Uso Doméstico En El Barrio Consuelo Localidad De Rafael Uribe Uribe. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2408/3/Articulo%20TDG.pdf>

Contreras, O. (2016). Diseño De Prototipo De Techo Verde Como Solución A Problemas De Inundación Caso De Estudio: Chapinero Colombia. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13899/4/Dise%C3%B1o%20de%20prototipo%20de%20techo%20verde%20como%20solucion%20a%20problemas%20de%20inundacion%20ocaso%20de%20estudio%20Usaquen%20Colombia..pdf>

Correa, G. (S.F) Importancia De Incluir Las Aguas Lluvias Como Abastecimiento De Redes Hidrosanitarias, En Las Normas Y Documentos De Estudio Y Diseño Del País. (Tesis de pregrado, Universidad Mayor de Antioquia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: http://www.colmayor.edu.co/archivos/315_gustavo_correaaguas_lluvia_5kzom.pdf.

Duran, P. (2010). Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. Recuperado de: <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2018). *Estudio Nacional del Agua*. Recuperado de http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Villavicencio (EAAV). (2019). Actualización de Tarifas. Recuperado de: <http://www.eaav.gov.co/ServiciosYProductos/Paginas/Tarifas-de-Servicios-y-Productos.aspx>

Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Bogotá (EAAB). (2004 Versión 3.1). Requisitos Para Cimentación De Tuberías En Redes De Acueducto Y Alcantarillado Recuperado de: <http://legal.legis.com.co/document/index?obra=legcol&bookmark=bf16792197c31564acc9fcdac2ed6c3a4e1nf9>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2004). El Arroz Y El Agua: Una Larga Historia Matizada. Recuperado de: <http://www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja1.pdf>

Gálvez, S. (2010). Modelo De Captación De Aguas Lluvia En Fachadas De Edificaciones. (Tesis de pregrado, Universidad Mayor de Antioquia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: http://www.colmayor.edu.co/archivos/316_santiago_galvezmodelo_de_c_oy8t1.pdf

Guerra, L. P. (2019). Metodología Para La Reutilización De Aguas Lluvias Y Grises En Edificaciones. (Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23395/1/Metodolog%C3%ADa-para-la-reutilizaci%C3%B3n-de-aguas-lluvias-y-grises-en-edificaciones.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2019), Datos Históricos De Precipitación De La Estación La Libertad Villavicencio, Meta. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

Instituto De Desarrollo Urbano (IDU). PRECIOS UNITARIOS DE REFERENCIA 2019-I. Recuperado de: <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/economico/portafolio>

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS). APUS META 2019. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/analisis-precios-unitarios/6951-apus-meta-2017-2>

LEÓN A., A.; Córdoba R., J.C. y Carreño S., U.F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Revista Tecnura*, 20(50), 141-153. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4 a 10.

Organización de Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Agua para un Mundo Sostenible. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015: Datos y cifras*. Recuperado de http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf

Organización de Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Agua y Desarrollo Sostenible*. Recuperado de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf

Reyes, M. C y Rubio J. J. (2014). Descripción De Los Sistemas De Recolección Y Aprovechamiento De Aguas Lluvias. (Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>.

Sobre el Decenio Internacional para la Acción ‘El Agua, fuente de vida’ 2005-2015. (s.f). Recuperado de <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/background.shtml>

Martínez, J. A. y Rodríguez J. D. (2019), Modelo Para Evaluar La Factibilidad De Reutilización De Aguas Lluvias En Edificaciones De Diferentes Usos Y Según La Intensidad De Lluvia De La Zona. . (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <http://repository.ucatolica.edu.co:8080/bitstream/10983/23397/1/DOCUMENTO%20REUTILIZACION%20DE%20ALL%20MARTINEZ-RODRIGUEZ..pdf>

Montero, J. S. (2016). Estado del Arte de los Sistemas de Captación y Aprovechamiento de Aguas Lluvias como Alternativa en el Ahorro de Agua Potable en viviendas. (Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia). Recuperado de:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2418/Monerojuan2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno, T. A y Quintero, D. C. (2014). Reutilización De Agua En Construcciones Verticales. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1782/11/Trabajo%20de%20Grado%2027-01-2015.pdf>

NTC 1500 Código Colombiano De Fontanería, 2014. Recuperado de: <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC1500.pdf>.

Ortiz, W. A y Velandia, W. D. (2017). Propuesta Para La Captación Y Uso De Agua Lluvia En Las Instalaciones De La Universidad Católica De Colombia A Partir De Un Modelo Físico De Recolección De Agua. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15502/1/5_TRABAJO%20DE%20GRADO..pdf

Ortiz, S. J y Zapata, Y C. (2016). Diseño Preliminar de una Vivienda Sostenible en el Municipio de Subachoque (Cundinamarca). (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/5806/4/1.%20Documento%20trabajo%20de%20grado.pdf>

PAVCO. Manual Técnico Sistemas Canales Y Bajantes. Recuperado de: <https://pavcowavin.com.co/manuales-tecnicos>

Resolución 0330. (2017). Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable>

Resolución 0844 (2018). Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/reglamento-tecnico-del-sector/requisitos-tecnicos-municipales-para-el-area-rural>

Robayo, J L y Pérez, R E. (2016). Análisis De La Captación Y Aprovechamiento Del Agua Lluvia Para Utilización En El Campus De La Universidad Católica De Colombia (Bogotá), De Acuerdo A Las Características De Sus Sedes. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13903/4/ANÁLISIS%20DE%20LA%20CAPTACIÓN%20Y%20APROVECHAMIENTO%20DEL%20AGUA%20LLUVIA%20PARA%20UTILIZACIÓN%20EN%20EL%20CAMPUS%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20CATÓLICA%20DE%20COLOMBIA.pdf>

Suárez, L. P y Rodríguez, J J. (2014). Recolección y reutilización de aguas lluvias en viviendas de interés social y bajos recursos en el barrio Yomasa en la Ciudad de Bogotá D.C. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: file:///C:/Users/jmartinez/Pictures/Recolección_reutilización_aguas_lluvias_VIS_Yomasa.pdf

Torres, J E. (2018). Evaluación De Las Condiciones De Las Áreas Rurales Colombianas Para La Implementación De Filtros Verdes Como Tratamiento De Agua Residual. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16367/1/EVALUACIÓN%20DE%20LAS%20CONDICIONES%20DE%20LAS%20ÁREAS%20RURALES%20COLOMBIANAS%20PARA%20LA%20IMPLEMENTACIÓN%20DE%20FILTROS%20VERDES%20COMO%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL.pdf>

[ANAS%20PARA%20LA%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20DE%20FILTROS%20VERDES%20COMO%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20RESIDUAL.pdf](#)

Vargas, L. A. (2015). Prototipo Para La Recolección Y Reutilización De Aguas Residuales En La Sede Del Claustro De La Universidad Católica De Colombia. (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2768/1/PROTOTIPO%20PARA%20LA%20RECOLECCI%C3%93N%20Y%20REUTILIZACI%C3%93N%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20EN%20LA%20SEDE%20DEL%20CLAUSTRO%20DE%20LA%20UNIVERSIDAD%20CAT%C3%93LICA%20DE%20COLOMBIA..pdf>

**ANEXO 1 PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL DE 1998 – 2018 ESTACIÓN LA LIBERTAD,
VILLAVICENCIO-META**

PRECIPITACIÓN (mm) 1998-2018																					
AÑO MES	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ENERO	10,0	41,9	39,0	0,2	1,20	0,0	40,6	4,1	265,6	8,4	4,4	64,1	0,0	24,1	0,5	0,00	21,20	72,5	1,7	1,0	105,3
FEBRERO	161,8	183,3	66,7	19,2	20,7	36,2	199,7	200,9	3,2	11,9	16,0	53,3	142,1	48,6	50,4	26,10	64,00	60,7	25,9	93,6	0,5
MARZO	256,5	69,2	133,9	163,4	326,4	203,1	177,6	122,8	331,5	149,6	11,8	194,3	245,1	154,8	383,1	237,90	85,80	89,9	198,4	171,4	184,1
ABRIL	491,6	489,2	322,4	197,4	368,4	454,8	332,5	323,3	345,7	336,8	306,9	383,8	532,0	440,4	316,7	376,10	593,20	227,1	520,9	12,7	462,9
MAYO	361,4	460,5	574,0	469,3	772,6	313,3	446,3	416,9	522,6	459,1	518,1	282,2	339,6	394,9	453,6	502,40	369,40	293,8	385,6	508,8	497,9
JUNIO	409,5	412,9	321,1	321,5	396,2	308,2	616,5	398,6	456,8	455,0	415,7	394,8	560,0	249,9	419,5	309,90	408,40	394,8	187,2	323,5	439,5
JULIO	310,2	222,4	312,3	371,8	254,0	181,9	367,1	285,3	255,5	203,5	402,2	432,8	391,5	307,0	346,9	368,30	234,40	289,4	408,1	200,4	471,5
AGOSTO	175,8	123,3	221,3	307,4	259,4	222,2	170,1	249,2	187,5	188,9	222,7	275,8	274,1	131,5	291,6	329,80	259,70	193,1	390,2	227,3	344,7
SEPTIEMBRE	161,1	285,6	128,75	284,8	201,5	451,9	328,3	178,9	300,4	352,5	316,7	250,3	203,9	267,9	170,4	243,10	207,10	320,6	11,5	95,3	228,8
OCTUBRE	212,3	265,2	351,49	359,9	271,3	330,8	322,8	362,0	556,2	268,3	244,3	172,9	417,4	283,1	344,2	219,10	265,40	322,4	265,3	286,8	432,3
NOVIEMBRE	179,7	341,5	149,78	282,0	103,7	193,9	298,5	218,3	560,8	73,5	408,5	154,9	299,1	211,4	178,5	446,90	275,60	249,8	8,3	124,3	161,0
DICIEMBRE	8,7	45,4	75,0	230,9	63,9	68,4	193,3	0,4	29,2	42,3	86,1	35,8	422,4	269,6	375,1	72,60	125,50	111,6	58,9	52,1	13,3
TOTAL/AÑO	2738,6	2940,4	2695,7	3007,8	3039,3	2764,7	3493,3	2760,7	3815,0	2549,8	2953,4	2695,0	3827,2	2783,2	3330,5	3132,2	2909,7	2625,8	2462,0	2097,2	3341,8

ANEXO 2 RESULTADOS DE LABORATORIO



TECNO Ambiental S.a.s.
Asesoría y Laboratorio



INSTITUTO
NACIONAL DE
SALUD



Página 1 de 1

REPORTE DE RESULTADOS

T.A.36541

Solicitante:	JORGE LEONARDO MARTINEZ	Dirección:	Calle 46 B Sur # 41 04 S. Rivera
Contacto:	No Reporta	Teléfonos:	3103058769
MUESTRA No.	No Reporta	Plan de monitoreo:	N.A.
Fecha de toma:	2019/09/12	Hora de Toma:	15:00
Departamento:	Meta	Municipio:	Villavicencio
Vereda/Barrio:	Santa Rosa	Fuente:	No Reporta
Punto:	Agua Lluvia de Techo	Lugar de muestreo:	Vereda Santa Rosa
Coordenadas:	N:04°02'007" W:073°28'36,1'	Altitud:	300msnm
Clase de muestra:	Agua Superficial	Tipo de muestra:	Puntual
Fecha Recepción:	2019/09/12	Fecha de emisión del reporte:	2019/10/02

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	FECHA DE ANÁLISIS	RESULTADO
D.B.O ₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B SM 4500 O G	2019/09/13	< 5
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**	mg/L	SM 2540 D	2019/09/13	< 15
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES***	mg/L	SM 2540 D	2019/09/15	4

**Parámetro no acreditado en Tecnoambiental S.A.S.

***Reporte Laboratorio Externo.

NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M.

Jefe de Laboratorio
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por **EL SOLICITANTE**.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/7/

FIN DEL RESULTADO