

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DEL USO DE AGUA LLUVIA COMO FUENTE DE
ABASTECIMIENTO DOMÉSTICO PARA EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, META.



ANGELA MARIA ACOSTA CAÑON
HERNAN FELIPE GUIO SOSA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD ING. AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DEL USO DE AGUA LLUVIA COMO FUENTE DE
ABASTECIMIENTO DOMÉSTICO PARA EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO, META.

ANGELA MARIA ACOSTA CAÑON
HERNAN FELIPE GUIO SOSA

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

Directora
VERÓNICA DUQUE PARDO
Ingeniera Ambiental Msc. En Hidrosistemas

Codirector
JAIR ESTEBAN BURGOS CONTENTO
Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD ING. AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARDO GONZALES GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALGUERRA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad de Ingeniería Ambiental

VERÓNICA DUQUE PARDO

Director Trabajo de Grado

DIEGO ANDREY CORTES NARANJO

Jurado

ANGELA MARIA ZAPATA MARIN

Jurado

Villavicencio, 21 de mayo de 2020

Dedicatoria

Angela acosta

A mis padres, por ser mi mayor motivación y razón de ser,
gracias a cada uno de sus esfuerzos he logrado cumplir
esta meta en mi vida.

A mi hermana, por estar siempre acompañándome en cada
paso que doy y ser ejemplo de fortaleza y disciplina.

A mis hermosos sobrinos que amo con todo mi corazón y son
uno de mis motores de lucha constante por mis sueños.

Felipe Guio

A mis padres, por su apoyo incondicional, sin ellos este
logro no habría sido posible.

A la memoria de Jose Berne Acosta Umaña

Agradecimientos

A Dios por guiar nuestros pasos y llenar de herramientas nuestras vidas para crecer en todos los aspectos personales y profesionales.

A la Universidad Santo Tomas por su formación académica como Ingenieros Ambientales y apoyo económico para el desarrollo de este trabajo de grado.

A la planta docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental, ya que son los principales promotores de nuestra formación académica y personal, infinitas gracias porque con sus enseñanzas nos formaron como ingenieros.

A nuestra directora de grado, Verónica Duque Pardo por su entrega, gestión y compromiso constante, por ser un gran ser humano y profesional a seguir, y por acompañarnos hasta el último momento en este proceso.

A la Arquitecta Monica Corrales y su familia por habernos permitido desarrollar este proyecto en la finca “La Alcancía”.

Por último, agradecemos a nuestros familiares por la motivación que día a día nos brindaron y a nuestros amigos por su acompañamiento en esta etapa universitaria, siempre los llevaremos en nuestros corazones.

Contenido

Pág.

1.	Resumen	11
2.	Introducción.....	13
3.	Planteamiento del problema	15
3.1.	Formulación del problema	16
4.	Objetivos.....	17
4.1.	Objetivo general	17
4.2.	Objetivos específicos	17
5.	Justificación.....	18
6.	Antecedentes.....	20
7.	Marco de Referencia.....	23
7.1.	Marco Teórico	23
7.2.	Marco Conceptual	24
7.2.1.	Agua lluvia.....	24
7.2.2.	Captación de agua lluvia	25
7.2.3.	Sistema de captación de agua lluvia.	25
7.2.4.	Prototipo de captación de agua lluvia	25
7.3.	Marco Legal	26
8.	Metodología.....	28
8.1.	Área de estudio.....	28
8.2.	Tipo de metodología implementada.....	28
8.3.	Fase 1. Identificación de sectores con mayor potencial de agua lluvia.....	28
8.3.1.	Actividad 1: Recolección de información meteorológica de precipitaciones y procesamiento de los datos.....	28
8.3.2.	Actividad 2: Polígonos de Thiessen e Isoyetas	30
8.3.3.	Actividad 3: Identificación de los puntos o zonas de confluencia de lluvias.....	30
8.4.	Fase 2. Diseño de un prototipo para la captación de agua lluvia	30
8.4.1.	Actividad 4: Identificación de las características del punto de instalación.....	30
8.4.2.	Actividad 5: Diseño e Instalación del prototipo.....	31
8.4.3.	Actividad 6: Jornadas de muestreo.	31
8.5.	Fase 3. Determinación del uso del agua lluvia captada.....	32

8.5.1.	Actividad 7: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos	32
8.5.2.	Actividad 8: Determinación del uso del agua lluvia	34
9.	Resultados y análisis.....	35
9.1.	Identificación de las zonas con mayor potencial pluviométrico.....	35
9.2.	Diseño del prototipo para la captación de agua lluvia.....	37
9.3.	Determinación del tipo de uso del agua lluvia recolectada	40
10.	Discusión de resultados	49
11.	Conclusiones	51
12.	Recomendaciones	53
13.	Referencias bibliográficas.....	54
	Apéndices.....	61

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Legislación pertinente del proyecto.	26
Tabla 2. Parámetros considerados en la determinación de uso de agua lluvia.....	32
Tabla 3. Valores de precipitación por mes de la zona con mayor incidencia de lluvia en el municipio de Villavicencio.	36
Tabla 4. Resultados obtenidos de la calidad del agua lluvia	40

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Gráfica de documentos existentes de captación de agua lluvia (2005-2019).....	21
Figura 2. Localización de la zona de estudio, Villavicencio- Meta.....	29
Figura 3. Mapa de precipitación mes de mayo.	35
Figura 4. Punto de instalación del prototipo, finca La Alcancía.....	37
Figura 5. Sombrilla con malla instalada en la parte superior.....	38
Figura 6. Prototipo instalado y terminado.....	38
Figura 7. Gráfico de temperatura.....	42
Figura 8. Gráfico de oxígeno disuelto.	43
Figura 9. Gráfico de conductividad.	44
Figura 10. Gráfico de pH	45
Figura 11. Gráfico de turbidez.....	46
Figura 12. Gráfico de coliformes totales	47
Figura 13. Gráfico coliformes fecales.....	47

1. Resumen

Este proyecto consiste en evaluar la viabilidad para el uso del agua lluvia como fuente de abastecimiento doméstico en el municipio de Villavicencio, Meta. En este estudio, se identificaron los sectores con mayor potencial pluviométrico, posteriormente se diseñó un prototipo para la captación del agua lluvia, el cual tenía una capacidad de almacenamiento de 250 L (litros) y un área de captación 1,49 m². Dicho prototipo permitió la captación de agua lluvia en la zona de estudio y se determinó que esta es apta para uso doméstico según los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos especificados en el decreto 1594 de 1984, por el cual reglamentan los usos del agua y residuos líquidos, después de realizar un tratamiento convencional como lo indica la normatividad.

Palabras clave: Captación, pluviométrico, almacenamiento, parámetros, consumo, tratamiento.

Abstract

This project consists of evaluating the viability for the use of rainwater as a source of domestic supply in the Villavicencio city, Meta. In this study, the sectors with the greatest pluviometric potential were identified, subsequently a prototype was designed to collect rainwater, which had a storage capacity of 250 L (liters) and a catchment area of 1.49 m². This prototype allowed rainwater collection in the study area and it was determined that it is suitable for domestic use according to the physicochemical and microbiological parameters specified in Decree 1594 of 1984, which regulates the use of water and liquid waste, after to carry out a conventional treatment as indicated by the regulations.

Key words: Catchment, rainfall, storage, parameters, consumption, treatment.

2. Introducción

“El agua es calificada como un recurso natural vital en el marco de ecosistemas estratégicos debido a la importancia para la reproducción de la vida, de la sociedad y del sistema económico” (García, 2006).

Actualmente, un problema de gran trascendencia es el referente a la disponibilidad del agua, no sólo por las desigualdades causadas por su distribución geográfica (tanto en el tiempo como en el espacio), sino por las decisiones políticas y económicas en mayor medida, las cuales determinan la relación social con este líquido vital (García, 2006).

La pérdida considerable del recurso hídrico, debido a las diferentes problemáticas ambientales e inadecuado uso por la población, obliga al aprovechamiento de otras fuentes alternativas como el agua de lluvia, que en Colombia se caracteriza por contar con una gran riqueza hídrica, por esta razón, la mayoría de las poblaciones se abastecen de fuentes superficiales de agua (embalses, ríos, lagos y quebradas) (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006). Sin embargo, hay lugares que presentan problemas de abastecimiento de agua potable es por esto que utilizan sistemas para el aprovechamiento de agua lluvia para consumo doméstico, como son “La Bocana, El Chocó, San Andrés; Puerto Carreño, Cartagena, Cali, entre otros, de los cuales la mayoría son sistemas poco tecnificados lo cual ocasiona una baja calidad en el agua” (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006).

La calidad de agua de lluvia no se ha estudiado a fondo, se desconocen en varias localidades urbanas las condiciones físicas, químicas y microbiológicas, que dependen de diversos componentes presentes en el aire por actividades antrópicas y condiciones naturales (Ospina & Ramírez, 2014). En el presente estudio se evalúa la viabilidad del uso del agua lluvia en el Municipio de Villavicencio, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos comparándolos en términos de cumplimiento con el decreto 1594 de 1984, por el cual reglamentan los usos del agua y residuos líquidos y la resolución 2115 de 2007, para la calidad del agua para consumo humano. Para llevar a cabo este estudio se realizó una metodología de tipo cuantitativa, cualitativa, deductiva y experimental, que consta de 3 fases. En la fase uno, se identificaron los sectores con mayor potencial para aprovechamiento de agua lluvia, se realizaron tres actividades (solicitud de información meteorológica de precipitaciones medias al IDEAM y procesamiento de

datos, diseño de polígonos de Thiessen e Isoyetas, y la identificación de los puntos con mayor incidencia de lluvias); se tuvo como resultado que la zonas con mayor precipitación fueron las veredas Buena Vista y Servita, se seleccionó como punto para el estudio la finca “La Alcancía” ubicada en Buena vista. En la fase dos, se realizó el diseño de un prototipo para la captación de agua lluvia, se llevó a cabo en tres actividades (identificación de las características del punto de instalación, diseño e instalación del prototipo, y jornadas de muestreo); se tuvo principalmente como resultado que el punto de instalación tiene una temperatura de 26°C (media anual), presenta dos tipos de clima ecuatorial y cuenta con precipitaciones de 1190 mm (media anual). En la fase tres, se determinó el uso del agua lluvia captada, se llevó a cabo dos actividades (análisis de muestras y determinación de uso del agua lluvia); se obtuvo como resultado que el agua lluvia es apta para el uso doméstico ya que da cumplimiento a la normatividad aplicada en este estudio después de aplicar un tratamiento convencional.

3. Planteamiento del problema

La captación de agua lluvia ha sido una práctica común antiguamente, especialmente en ambientes caracterizados por presentar climas cálidos y secos, pero con el tiempo esta ha sido sustituida por sistemas de suministro de agua que brindan las empresas de servicios públicos, cuyo principio es el mismo, captar aguas superficiales en las partes altas de una fuente hídrica para luego ser transportada por medio de redes de acueducto a los centros urbanos (Reyes & Rubio, 2014). En los últimos años el consumo de agua ha ido aumentando debido al acelerado crecimiento de la población en todo el mundo y así mismo, la disponibilidad del recurso ha disminuido (Reyes & Rubio, 2014).

En Colombia, la distribución hídrica es diferente en cada una de sus regiones, en algunos lugares como es el caso de la Guajira la disponibilidad del agua es limitada por su ubicación geográfica y fenómenos naturales como los del ciclo ENOS (El niño-Oscilación del sur) (IDEAM, 2019). En el caso particular del Municipio de Villavicencio, se han presentado escenarios críticos de escasez de agua que han afectado la disponibilidad del recurso debido a daños en el acueducto (presenta una cobertura y población beneficiada del 87,67% aproximadamente) por lluvias torrenciales, sequías en fuentes importantes de abastecimiento (en el caso de quebrada “La Honda” que en verano ha llegado a tener un caudal insuficiente para abastecer a los usuarios dependientes de esta), el inadecuado manejo del recurso debido a la dependencia de cuerpos hídricos superficiales, las pérdidas presentadas en los sistemas del acueducto y la falta de apropiación de tecnologías alternativas para suplir esta necesidad.

En el caso particular de la ciudad de Villavicencio a pesar de que se encuentra interconectada a diferentes sistemas del acueducto municipal (plantas de tratamiento, estaciones de bombeo y pozos), con una cobertura y población beneficiada aproximada del 87,67% en condiciones normales según la empresa de acueducto y alcantarillado (EAAV, 2018), se presentan constantes fallos, principalmente durante épocas de alta precipitación.

Históricamente la ciudad ha experimentado escenarios críticos en los que las lluvias torrenciales generan crecientes en el caudal de los principales afluentes hídricos. Tal es el caso de quebrada La Honda (principal fuente de captación y abastecimiento de Villavicencio), que ha

afectado la infraestructura de captación, lo que interfiere en el proceso de tratamiento y distribución del recurso a la población (Tiempo, 2018); a esto se suma la carencia de infraestructura en buen estado, el inadecuado manejo del recurso debido a la dependencia de cuerpos hídricos superficiales y a las pérdidas que presentan los sistemas del acueducto de Villavicencio. Por último, es importante resaltar que Villavicencio requiere de la apropiación de tecnologías alternativas para suplir la necesidad de abastecimiento.

Así mismo, debido a los largos periodos de sequía, en quebrada La Honda se han reportado bajos niveles de agua, alcanzando eventualmente hasta $0,30 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal insuficiente para el abastecimiento del municipio de Villavicencio que requiere de la captación de un caudal medio de $9,10 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tiempo, 2018). Estas problemáticas contrastan con una posibilidad de otro tipo de abastecimiento en Villavicencio, caracterizado por tener un clima con unas condiciones elevadas de precipitación anuales con un promedio de 4383 mm (periodo de verano: 150-210 mm, periodo de lluvias: 400-60 mm), mostrando un potencial de abastecimiento mediante la captación de agua lluvia, es por esto importante evaluar la viabilidad de uso del agua lluvia como fuente de abastecimiento doméstico.

3.1. Formulación del problema

¿Es viable el uso del agua lluvia como fuente de abastecimiento doméstico para el municipio de Villavicencio?

A Partir de lo anterior se generan dos hipótesis:

Hi: Es viable el uso de agua lluvia como fuente de uso doméstico para el municipio Villavicencio ya que cumple con los parámetros admisibles según el Decreto 1594 de 1984.

Ho: No es viable el uso de agua lluvia como fuente de uso doméstico para el municipio Villavicencio ya que cumple con los parámetros admisibles según el Decreto 1594 de 1984.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar la viabilidad para uso del agua lluvia como fuente de abastecimiento doméstico en el municipio de Villavicencio, Meta.

4.2. Objetivos específicos

1. Identificar los sectores con mayor potencial para la captación de aguas lluvias en el municipio de Villavicencio (Meta), a partir de los regímenes de precipitaciones medias.
2. Diseñar un prototipo que permita la captación de aguas lluvias en zonas de alto potencial de aprovechamiento.
3. Determinar el tipo de uso del agua lluvia recolectada según parámetros de calidad microbiológica y fisicoquímica basados en el Decreto 1594 de 1984.

5. Justificación

El agua actualmente es uno de los recursos con mayor demanda en el mundo y es el recurso más crítico en el planeta, ya que la disponibilidad de este cada vez es más limitada por el inadecuado manejo, condiciones ambientales y geográficas, es por esto, que es necesario generar numerosos estudios sobre las diferentes alternativas para la conservación y abastecimiento del agua para suplir las necesidades de la población y así contribuir al desarrollo sostenible de esta (León, Córdoba, & Carreño, 2016)

En las últimas décadas, la captación de agua lluvia se ha promovido en muchas regiones, para abordar las crecientes presiones de suministro de agua asociadas con el crecimiento de la población, la urbanización, el desarrollo industrial y el cambio climático (UNESCO, 2019); países como Australia, China y Jordania han ordenado la implementación de sistemas de recolección de agua lluvia en edificios nuevos, esta apuesta también ha sido aplicada en países con un mejor balance hídrico como Brasil, Francia, Italia, Corea del sur, Reino Unido y Estados Unidos, con el fin de aumentar la autosuficiencia del agua en diferentes lugares (León, Córdoba, & Carreño, 2016).

Hoy en día, las técnicas de recolección de agua de lluvia se utilizan en todo el mundo como una medida de abastecimiento para suplir la demanda de agua existente, reduciendo el riesgo de inundaciones a través de la disminución volumétrica del flujo de aguas pluviales urbanas; dichas técnicas facilitan las aplicaciones de construcciones ecológicas y, en general, alivian la dependencia de los ciclos de recursos hídricos urbanos, contribuyendo a la preservación de los recursos naturales, en especial el recurso hídrico (Zhang, Zhang, Yue, & Jing, 2019).

En Colombia, la región de los Llanos Orientales es de carácter monomodal, con una época de lluvias de abril a noviembre y una época seca de diciembre a abril, coincidiendo con la presencia y ausencia de la ZCIT (Zona de convergencia intertropical); la humedad atmosférica se fortalece por la cercanía a la cordillera occidental, es por esto que se generan procesos de formación de lluvias orográficas pronunciadas (Guzmán, Ruíz, & Cadena, 2014). Por lo anterior, Villavicencio cuenta con un alto potencial de pluviosidad (uso del agua) ya que el promedio de precipitación total anual es de 4383 mm, la temporada seca se extiende de diciembre a marzo, en estos meses

llueve entre 10 y 14 días al mes, presentándose la temporada de mayores lluvias en los meses de abril a noviembre, reportando una frecuencia de días lluviosos de 22 a 26 días (IDEAM, 2015).

Ante la escasez de agua y los problemas de suministro puntuales que sufren las zonas rurales (aproximadamente el 12% de la población no se cuenta interconectada a ninguna red de acueducto por las condiciones de acceso) y también gran parte de la población urbana (a pesar de estar interconectadas, se presenta carencia del recurso hídrico), es necesario implementar nuevas alternativas de provisión, especialmente para los sectores que se han visto más afectados por esta problemática. Por este motivo, es importante evaluar la viabilidad de uso del agua lluvia como fuente alterna de abastecimiento doméstico en Villavicencio, Meta, teniendo en cuenta el decreto 1594 de 1984 de los usos del agua y residuos líquidos.

6. Antecedentes

Dentro de las alternativas para dar solución a la falta de abastecimiento del recurso hídrico, se han identificado varios casos donde la captación de agua lluvia ha sido una técnica viable para darle solución a esta problemática presentada en diferentes lugares del mundo (León, Córdoba, & Carreño, 2016).

A continuación, se mencionarán algunos ejemplos: en el continente asiático en el 2005, específicamente en China se implementó un campo de recolección de agua que beneficia alrededor de 1.2 millones de personas y sus cultivos; en Singapur, el 86% de los edificios cuentan con tecnologías de recolección de agua lluvia en sus techos y sobre las vías, la cual es transportada a un pozo y se utiliza para riego de jardines, aseo de pisos y posibles incendios (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006).

En el continente africano en el 2006, se presentaron largas temporadas de escasez de lluvias, menos del 50% de la población urbana no tenía acceso al agua, razón por la cual en las comunidades se implementó un sistema de recolección de agua lluvia que constaba de tanques recolectores, estos estaban situados en lugares donde en épocas de lluvias se presentan inundaciones para así tener reservas de este recurso (Handia, Tembo, & Mwiindwa, 2003).

En Europa, en el 2010, se realizó un estudio en los países de Irlanda y Alemania en los cuales se demostraba que solo el 6% del agua suministrada iba dirigida a las necesidades básicas, para suplir dicha necesidad se implementaron techos y cubiertas de recolección de agua en las calles y parqueaderos (Ballén, Galarza, & Ortiz, 2006); por último, en Sidney en el 2011, se implementaron tanques de recolección de agua lluvia en viviendas unifamiliares para rendimientos financieros y ahorro de agua (Rahman, Keane, & Alam, 2012).

La siguiente gráfica (figura 1) muestra la cantidad de artículos generados a partir de diferentes estudios de investigación que se han realizado en el mundo con el paso del tiempo según la base de datos de Scopus sobre la captación de agua lluvia.

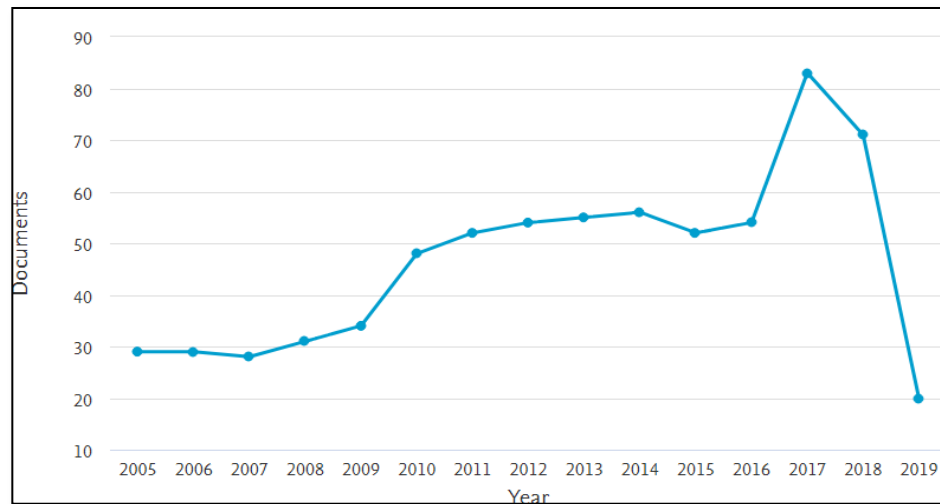


Figura 1. Gráfica de documentos existentes de captación de agua lluvia (2005-2019).
Adaptado de (Scopus, 2019).

Se puede observar en la Figura 1 que aproximadamente en el 2005 se empezaron a realizar estudios de captación de agua lluvia (29 documentos), ya que en este tiempo existían diferentes problemáticas relacionadas con el agua, como inundaciones urbanas y sequías, por lo cual se buscaba resolver dichos problemas por medio del desarrollado de tecnologías para la utilización del agua de lluvia (Donn & Menzies, 2005).

En el 2014 la cantidad de documentos generados fueron en mayor medida (56 documentos) y en el 2017 fue el año que con mayores documentos (aproximadamente 83), ya que la escasez de agua empezó a ser un problema crítico debido a la creciente demanda relacionada con el crecimiento de la población y la expansión de áreas urbanas e industrializadas como ocurrió en Sicilia-Italia, donde se empezaron a implementar modelos para la utilización de agua lluvia para contrarrestar los impacto sociales, ambientales y económicos (Notaro, Liuzzo, & Freni, 2017).

Según la base de datos de Scopus, en Colombia solo se presentaron cinco (5) documentos relacionados con la captación de agua lluvia, de estos solo tres se relaciona con el presente estudio a desarrollar. El primer artículo se desarrolló en el 2012 en la Universidad Pontificia Javeriana, el cual buscaba evaluar la viabilidad técnica y económica de la utilización del agua lluvia como alternativa para el riego y el lavado en zonas de su propio campus universitario (Méndez, 2012). El segundo artículo se realizó en el 2014, sobre un estudio de evaluación de la calidad del agua lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico, por parte de la Universidad Cooperativa de Colombia de Ibagué, en el cual calcularon ocho (8) puntos de muestreo de captación de agua lluvia a lo largo de la ciudad de Ibagué (Ospina & Ramírez, 2014). El tercero, fue realizado por la

Universidad Tecnológica de Pereira en el 2017, el cual consistía en realizar un método de dimensionamiento para tanques de captación de aguas pluviales utilizando datos de precipitación diaria y demanda de agua, en el cual se captaban alrededor de 1553 L/m² al año de agua lluvia (Galarza & Torres, 2017).

Actualmente en Villavicencio no se han desarrollado estudios sobre la viabilidad del uso del agua lluvia, sin embargo, en la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás se está desarrollando un proyecto de grado direccionado al abastecimiento de agua lluvia y un macro proyecto sobre la viabilidad de la captación de agua atmosférica a partir de la precipitación y humedad relativa.

7. Marco de Referencia

7.1. Marco Teórico

El aumento en la frecuencia de la escasez de agua en todo el mundo por condiciones climáticas y manejo inadecuado del recurso, ha dado forma al desarrollo de la gestión de la demanda y las estrategias de mitigación para mejorar la oferta (Wang, Asefa, Bracciano, Adams, & Wanakule, 2019).

La escasez de agua es la condición en la cual la demanda de este recurso, en todos los sectores, incluyendo el del medio ambiente, no puede ser satisfecha debido al impacto del uso del agua en el suministro o en la calidad del recurso (UNESCO, 2019).

Debido a la escasez, varios países han adaptado sistemas de captación de agua de lluvia, esta es generada por el fenómeno de precipitación y depende de las condiciones meteorológicas existentes en un lugar determinado, su captación es una alternativa viable para aumentar la oferta de agua para diferentes usos: consumo humano, para actividades como la agricultura y ganadería, recarga de acuíferos, entre otros. Un claro ejemplo es Brasil que para enfrentar los problemas derivados de la sequía, propuso la construcción masiva de sistemas de captación de agua de lluvia y cisternas de almacenamiento (destinadas para proporcionar agua para el consumo humano), mediante el Programa “Un millón de cisternas” (P1MC) (Acevedo, 2016).

Los sistemas de captación de agua de lluvia se pueden adaptar a diferentes condiciones hídricas y climatológicas, pero es importante disponer de información sobre el régimen de precipitaciones y sobre los requisitos de cantidad y calidad del agua en función de los usos previstos para poder realizar un diseño adaptado a dichas condiciones (Acevedo, 2016).

Para los regímenes de precipitación se puede llevar a cabo una representación gráfica por medio de polígonos de Thiessen e Isoyetas. Algunas de las ventajas de la aplicación de este tipo de sistemas de abastecimiento de agua no convencional son (Reyes & Rubio, 2014):

- ❖ La calidad físico química del agua lluvia es alta

- ❖ El agua lluvia es gratis, los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.
- ❖ La construcción es simple, se puede utilizar materiales de la zona, además no requiere de un mantenimiento frecuente.
- ❖ La recolección y utilización del agua lluvia disminuye los costos pagados a las empresas prestadoras del servicio de agua potable y alcantarillado.
- ❖ La mayoría de estos sistemas de captación no hacen uso de energía para operar.

7.2. Marco Conceptual

Para la realización de este proyecto es importante definir los diferentes términos que permitirán contextualizar los conceptos acerca de la captación de agua lluvia y su aprovechamiento.

7.2.1. Agua lluvia.

Tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas por agua, pero el 97,5 % es agua salada; solamente el 2,5% es agua dulce, esta última está a disposición del ser humano, superficial y atmosférica, siendo la atmosférica una de las reservas más importantes que existe y representa el 10% de los recursos hídricos disponibles en el mundo (Aquino, 2006). Según Organización Meteorológica Mundial, el agua lluvia es el resultante de la condensación del vapor de agua contenido en cristales de hielo diminutos, formados en las nubes y precipitados por su propio peso (Organizacion Meteorologica Mundial, 2019). En diferentes países como Brasil han optado por captar agua lluvia para suplir la demanda poblacional.

721. Captación de agua lluvia.

los sistemas pasivos (almacenan agua en el suelo en lugar de una estructura de contención) y los sistemas activos (utilizan estructuras de contención que almacenan agua de lluvia y luego esta es usada) (Pizarro, Abarza, Morales, & Calderón, 2015). Actualmente existen diferentes sistemas de captación de agua lluvia, con el pasar del tiempo estos han sido más eficientes en términos de calidad y almacenamiento.

722. Sistema de captación de agua lluvia.

Los sistemas de implementación de agua lluvia son tecnologías que tienen como finalidad aprovechar este recurso hídrico. En este proceso intervienen factores meteorológicos, topográficos y estacionales, los cuales condicionan el rendimiento del sistema (Acevedo, 2016).

Estos sistemas se componen de (Marín, 2019): Un área de captación, en su mayoría realizan la captación en los techos, cuya pendiente debe de ser superior a 5% y tener una superficie que favorezca el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección. Las tejas de arcilla, madera, cemento son algunos de los materiales más empleados para los techos.

El sistema de recolección y conducción, son canaletas con pendiente baja que va unida a los bordes más bajos del área de captación. 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 (Escamilla, 2010).

723. Prototipo de captación de agua lluvia.

Para el diseño de un prototipo de captación de agua lluvia, es importante tener en cuenta factores meteorológicos como se mencionaba anteriormente, es decir los regímenes de precipitación (comportamiento de la lluvia a lo largo del año), en Colombia estos son medidos por estaciones climatológicas del IDEAM instaladas en diferentes puntos del país, existen estaciones meteorológicas (estación pluviográfica y pluviométrica), hidrológicas y hidrometereológicas. La

estación pluviográfica mide de manera mecánica y continua la precipitación, en una gráfica que permite conocer la cantidad, duración, intensidad y periodo en que ha ocurrido la lluvia (actualmente se utilizan fluviógrafos de registro diario); la estación pluviométrica es dotada de un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas (IDEAM, 2014). Los datos generados por las estaciones, son base para la realización de polígonos de Thiessen e Isoyetas, los cuales son representaciones lineales, trazadas geométricamente a partir de estos (Bateman, 2007). En este proyecto se realizaron dichas representaciones ya que por medio de estas se identificaron las zonas con mayor potencial de captación de agua lluvia en la zona de estudio (Villavicencio) y además es importante conocer su calidad, esto se realiza mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, que deben cumplir un máximo permisible según la normatividad colombiana para darle un uso al agua lluvia y de no ser así se debe aplicar un tratamiento convencional.

7.3. Marco Legal

La normatividad presentada a continuación en la tabla 1, muestra el marco legal que aplica para el presente estudio.

Tabla 1. *Legislación pertinente del proyecto.*

Legislación	Normatividad aplicada
Constitución política de 1991	<i>Artículo 366.</i> El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Esta ley es importante debido a que dicta las bases de desarrollo sostenible, en el cual el agua lluvia ayuda al bienestar social, sin agotar recursos naturales, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho a las generaciones futuras de utilizarlo.
Ley 1753 de 2015	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”. Tratando de dar cumplimiento a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 3 (salud y bienestar) y 6 (agua limpia y saneamiento). Los cuales se buscan con el proyecto.

Tabla 1 Continuación

Decreto 2811 de 1974	Artículo 3. Se regula el manejo de los recursos naturales renovables, donde se contempla las aguas en cualquiera de sus estados (en este caso el agua lluvia).
Decreto 1541 de 1978	Artículo 5. Determina que el agua lluvia es de uso público. Artículo 143. Sin perjuicio del dominio público de las aguas lluvias, y sin que pierdan tal carácter, el dueño, poseedor o tenedor de un predio puede servirse sin necesidad de concesión de las aguas lluvias que caigan o se recojan en éste, mientras por éste discurren. Artículo 144. Se requerirá concesión para el uso de las aguas lluvias cuando estas aguas forman un cauce natural que atraviese varios predios, y cuando aún sin encausarse salen del inmueble. Artículo 145. La construcción de aguas para almacenar, conservar y conducir aguas lluvias se podrá adelantar siempre y cuando no se causen perjuicios a terceros.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI, Parte III, Libro II y el Título III de la Parte III, Libro I del Decreto 2311 de 1974, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Capítulo 4. constituye los criterios de calidad para la destinación del recurso.
Decreto 1323 de 2017	Por el cual se crea el Sistema de Información del Recurso Hídrico (SIRH)
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Decreto 1090 de 2018	Artículo 2.2.3.2.1.1.2. Uso eficiente y ahorro del agua (UEAA). Es toda acción que minimice el consumo de agua, reduzca el desperdicio u optimice la cantidad de agua a usar en un proyecto, obra o actividad, mediante la implementación de prácticas como el reúso, la recirculación, el uso de aguas lluvias, el control de pérdidas, la reconversión de tecnologías o cualquier otra práctica orientada al uso sostenible del agua.
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Nota: Descripción de la normatividad, por Acosta y Guio, 2019.

8. Metodología

8.1. Área de estudio

Este proyecto evaluó las zonas tanto urbanas como rurales de Villavicencio y se desarrolló en la vereda de Buena Vista, que hace parte del corregimiento dos (2) de Municipio de Villavicencio Meta.

8.2. Tipo de metodología implementada

La metodología empleada en este estudio es de tipo cuantitativa (complemento de datos de precipitaciones medias mensuales), cualitativa (observación en cuanto al cumplimiento de la normatividad), deductiva (los datos obtenidos se contrastan con la normatividad vigente para determinar su cumplimiento) y experimental (planeación y monitoreo en un prototipo para la determinación del uso del agua lluvia).

8.3. Fase 1. Identificación de sectores con mayor potencial para aprovechamiento de agua lluvia

831. Actividad 1: Recolección de información meteorológica de precipitaciones y procesamiento de los datos.

Se solicitaron los datos de precipitación media de las siguientes estaciones: Acacias, Base aérea Apiay, Unillanos, Apiay, Termo Ocoa, Manzanares, Susumuco, Servita, Acueducto La esmeralda, Vanguardia, Alcaldía, Hachón El, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) Vi/cio, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) Vi/cio, SENA, en la página web oficial del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de

832 Actividad 2: Polígonos de Thiessen e Isoyetas.

Se utilizó un Modelo de Elevación Digital (DEM) y un mapa de Villavicencio a escala 1:25000, solicitados a el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); con los datos de precipitación media de las estaciones, se realizaron polígonos Thiessen e Isoyetas y se elaboraron 12 mapas (uno para cada mes del año), para esto se utilizó el software ArcGis 10.2.2 (ArcMap aplicación central) el cual es un sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica (Pucha, y otros, 2017).

833 Actividad 3: Identificación de los puntos o zonas de confluencia de lluvias.

A partir del mapa diseñado en la actividad 2 se identificaron las zonas con mayor incidencia de lluvias en el municipio de Villavicencio y los puntos potenciales para la implementación del prototipo de recolección de agua lluvia, se seleccionó un solo punto para la realización del proyecto. Se seleccionó un punto representativo debido a la homogeneidad de la atmosfera en Villavicencio (IDEAM, 2015).

8.4. Fase 2. Diseño de un prototipo para la captación de agua lluvia

841 Actividad 4: Identificación de las características del punto de instalación.

A partir de los resultados generados en la fase 1, se identificaron las características que presenta el punto seleccionado antes de realizar la instalación del prototipo para realizar un diseño ajustado a estas. Se tuvo en cuenta las siguientes características:

- ❖ Condiciones climáticas: Precipitación, temperatura y humedad.
- ❖ Condiciones de acceso: Tránsito, seguridad y vías de acceso.
- ❖ Zona: Rural o urbana.

Lo anterior se llevó a cabo mediante visitas de campo en la zona de estudio.

842 Actividad 5: Diseño e Instalación del prototipo.

Para el diseño del prototipo se tuvo en cuenta las condiciones del terreno identificadas en la actividad 4, el diseño e instalación estuvo sujeta a estas. Se seleccionaron los materiales con los cuales se realizó el prototipo, y se determinó el volumen posible captado (anual) y área de captación una vez instalado.

$$\text{Área} = \pi * r^2$$

Ecuación 2. Área de sombrilla.

$$\text{Volumen} = \text{area captación} * \text{cantidad lluvia} * 0.8$$

Ecuación 3. Volumen posible captado.

843 Actividad 6: Jornadas de muestreo.

Para parámetros fisicoquímicos, se realizaron jornadas de muestreo una vez por semana del agua lluvia captada en el prototipo, en un periodo de dos meses (octubre-noviembre). Se obtuvieron ocho (8) muestras puntuales. Inicialmente se había propuesto una metodología con muestreo compuesto, pero esta no se llevó a cabo ya que se debía mezclar varias muestras de la misma fuente durante una semana lo cual no era correcto para el análisis de parámetros microbiológicos según el protocolo formulado para el monitoreo de aguas (IDEAM, 2010). Para la toma de muestras fisicoquímicas se emplearon envases de vidrio tipo ámbar, estos se lavaron con detergente alcalino libre de fosfatos al 5% y luego con ácido clorhídrico, posteriormente, se enjuagaron con agua destilada (IDEAM, 2017).

Para parámetros microbiológicos se realizaron jornadas de muestreo cada ocho (8) días, se obtuvo muestras simples en el punto de muestreo en un periodo de un mes (noviembre), se tomaron 4 muestras y estas fueron captadas el mismo día que se tomaron las últimas 4 muestras fisicoquímicas. Los envases para parámetros microbiológicos (volumen de 250 ml) fueron suministrados por el laboratorio contratado (Tecno Ambiental s.a.s.), estos ya estaban previamente esterilizados con su respectiva cava para su transporte.

Para la extracción de las muestras, se realizó una purga con el agua lluvia captada, finalmente, se extrajeron las muestras definitivas y fueron dirigidas al laboratorio, para sus respectivos

análisis, estas se transportaron en una cava de icopor con hielo para la refrigeración y los parámetros fueron analizados el mismo día del muestreo (IDEAM, 2010).

Es importante resaltar que las jornadas de muestreo se hicieron cada ocho (8) días para que el prototipo recolectara el agua lluvia semanal, una vez tomada la muestra este se vaciaba y se hacía su posterior lavado con un cepillo (no se aplicó ningún detergente o químico para la limpieza) para nuevamente realizar la captación del agua lluvia de la siguiente semana.

8.5. Fase 3. Determinación del uso del agua lluvia captada

851. Actividad 7: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Para el análisis de las muestras se tuvo en cuenta algunos parámetros restrictivos para categorizar el uso del agua lluvia según el decreto 1594 de 1984 como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. *Parámetros considerados en la determinación de uso de agua lluvia.*

Parámetro	Medición / Técnica/Método	Unidades
Oxígeno disuelto	In-situ/ Multiparámetro	Mg/l
pH	In-situ/Multiparámetro	Unidades de pH
Temperatura	In-situ/Multiparámetro	Celsius
Conductividad	In-situ/Multiparámetro	µs/cm
Color aparente	Ex-situ/Colorímetro	Unidades de platino/cobalto
Coliformes Totales	Ex-situ, se envía a laboratorio/ prueba de coliformes de sustrato enzimático (SM 9223 B).	UFC/100ml
Coliformes Fecales	Ex-situ, se envía a laboratorio / Técnica coliformes fecales por fermentación de múltiples tubos (SM 9221E).	UFC/100ml
Turbiedad	Ex-situ / Colorímetro	UTN
Plomo	Ex-situ/ Test de plomo/espectrofotométrico	Mg/l

Nota: Los parámetros mencionados son los únicos que serán analizados en este proyecto, por Acosta y Guio, 2019.

Los parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) fueron analizados en Tecno Ambiental s.a.s., laboratorio certificado por el IDEAM, ubicado en Villavicencio (calle 40 No. 25-91 Barrio El Emporio).

No se había propuesto la medición de plomo, pero se tuvo en cuenta este parámetro debido a que según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es uno de los más tóxicos, presentando un gran riesgo para la salud pública puesto que es cancerígenos para el ser humano (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016). De igual manera, se escogió solo este parámetro ya que según un estudio realizado en la ciudad de Villavicencio, titulado “Niveles de contaminación en tres sectores de Villavicencio, a través del índice de geo-acumulación” realizado por Juan M. Trujillo González y Marco A. Torres Mora, se encontró y evidenció que el metal pesado con mayor presencia y niveles de concentración máximos para tres sectores del municipio era el plomo, Avenida principal (Anillo vial-AV), residencial (Buque-RB) y Comercial (porvenir CP) (fueron de 326,2 mg/kg, 31,7 mg/kg y 4079,8 mg/kg respectivamente), obteniendo valores muy por encima del valor de referencia el cual fue de 17 mg/kg (Trujillo, 2015).

- ❖ Equipos: Los equipos utilizados en este estudio fueron suministrados por el laboratorio de aguas de la Universidad Santo Tomás.

Para la medición de parámetros fisicoquímicos in situ se utilizó el Multiparámetro Multiline 3630 IDS.

Respecto a la medición del plomo se utilizó un espectrofotómetro Spectroquant Prove 600, este equipo cuenta con una tecnología de medición de haz de referencia, tiene un espectro de longitud de onda Vis (190 – 1100 nm) UV / Vis (230-900 nm) y la precisión de longitud de onda es de $\pm 1\text{nm}$ (Blamis, 2020).

La medición de color aparente se realizó con un colorímetro. Para este trabajo se utilizó el Orion AQ3700. Este equipo cuenta con una exactitud de 2% de escala completa, con una fuente de luz incidente de 6 diodos emisores, longitudes de onda LED de 430, 530, 560, 580, 610, 660 nm y el tamaño de la muestra es de 10 ml (Thermofisher, 2020).

La medición de turbidez se hace mediante el análisis de la cantidad de luz refractada sobre las partículas en suspensión, el equipo utilizado en este estudio fue el turbidímetro Mi 415. Este equipo cuenta con una precisión ± 0.5 UTN, su método de detección es de luz difusa (Milwaukee, 2011).

852 Actividad 8: Determinación del uso del agua lluvia.

Se realizó un comparativo entre los valores resultantes de los análisis de laboratorio, las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua lluvia recolectada y los valores límites máximos admisibles de los criterios de calidad del agua para uso doméstico, establecidos en el Decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007 (esta última se tuvo en cuenta para comparar los parámetros de conductividad y turbidez que no estaban contemplados en el decreto).

Se determinó si el agua lluvia era para uso doméstico a partir de los parámetros analizados, comparándolos en términos de cumplimiento con los resultados establecidos en el Decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007.

9. Resultados y análisis

9.1. Identificación de las zonas con mayor potencial pluviométrico

Los sectores identificados con mayor potencial para el aprovechamiento de agua lluvia correspondió al Noroeste del municipio de Villavicencio. La zona denotada con el color azul oscuro intenso es la que mayor precipitación presentó (Figura 3), las veredas que se encuentran allí son Buena Vista y Servita que hacen parte del corregimiento dos (2) del Municipio, se evidencia esta zona presenta mayores precipitaciones en Villavicencio ya que tiene un clima ecuatorial y amazónico por la cercanía a la línea del ecuador; este clima es caracterizado por presentar temporadas cálidas de latitudes bajas, es decir, un clima sin estaciones, teniendo una alta predominancia un verano muy cálido y la ausencia del invierno (solo hay temporadas de lluvia y sequía); además, estos climas son muy abundantes en precipitaciones, entre 1000 mm y 2000 mm de lluvia al año, con una temperatura mínima alrededor de los 18°C y con una humedad relativa entre 80% y 100% (Gomez, 2012).

A continuación, se muestra un modelo de mapa del mes de mayo, el cual mayor precipitación presentó según los datos recolectados de las estaciones meteorológicas (Tabla 3).

Los mapas de los once meses restantes se encuentran disponibles como anexos al final del documento.

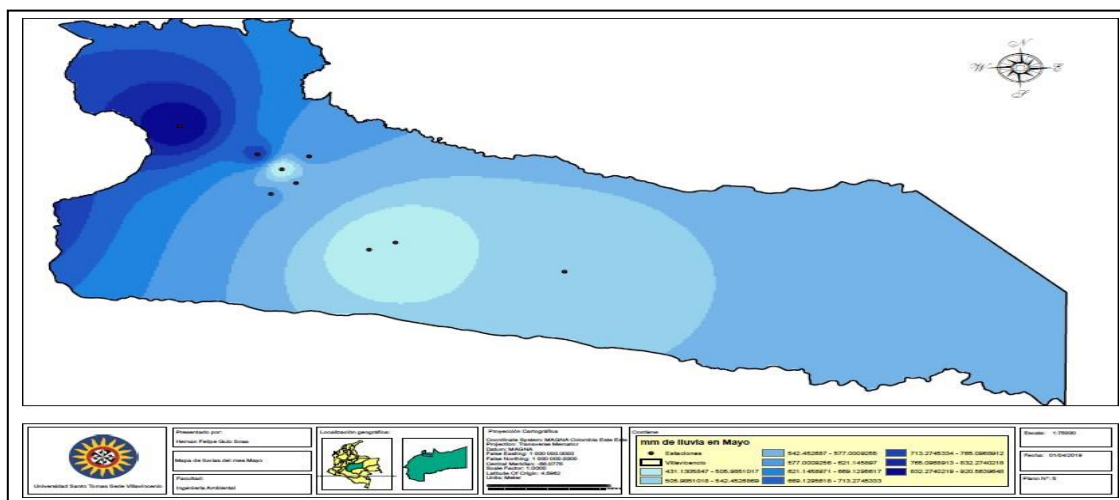


Figura 3. Mapa de precipitación mes de mayo, por Acosta y Guio, 2020.

Tabla 3. Valores de precipitación por mes de la zona con mayor incidencia de lluvia en el municipio de Villavicencio.

Mes	Precipitación (mm)
Enero	116-133
febrero	158-188
Marzo	425-485
Abril	717-793
Mayo	832-920
Junio	725-808
Julio	663-741
Agosto	556-619
Septiembre	496-557
Octubre	545-601
Noviembre	598-696
Diciembre	347-396

Nota: Valores de precipitación de los meses con mayor incidencia de lluvia en Villavicencio, por Acosta y Guio, 2020.

El punto seleccionado para el estudio fue Buena vista, ya que se encuentra en la zona con mayor potencial pluviométrico como se mencionó anteriormente, se escogió una finca que hace parte de la vereda, esta se llama La Alcancía (Figura 4), cuenta con coordenadas de latitud: 4°10'27.75"N, longitud: 73°40'53.89"O. El punto presenta una altitud de 1123 msm, el tipo relieve es cordillera, se encuentra en la cordillera oriental.

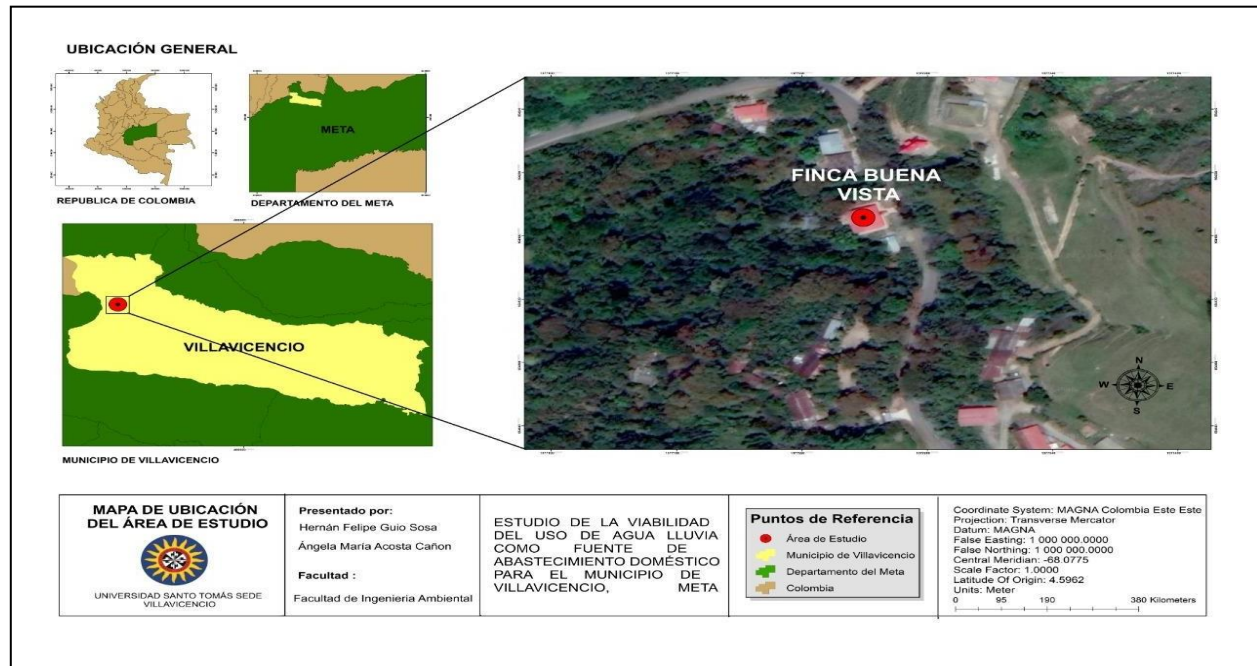


Figura 4. Punto de instalación del prototipo, finca La Alcancía, por Acosta y Guio, 2020.

9.2. Diseño del prototipo para la captación de agua lluvia

Las características que presenta el punto de instalación son las siguientes:

- ❖ Condiciones climáticas: La temperatura media anual es de 26°C; presenta dos tipos de clima, ecuatorial y amazónico; la humedad media es del 76% y la precipitación media anual es de 1190 mm.
- ❖ Condiciones de acceso: vía de acceso es la antigua vía a Bogotá, cuenta con transito constante de vehículos y el transporte público llega hasta la finca ya que queda cerca de la carretera, como el punto de instalación es propiedad privada no había riesgo de robo del prototipo y así mismo tampoco había peligro a la hora de realizar las visitas de campo para los respectivos muestreos.
- ❖ Zona: La finca queda ubicada en una zona rural, denotada de esta manera porque queda alejada de la ciudad aproximadamente a media hora.

Se seleccionaron los siguientes materiales para el prototipo de captación de agua lluvia: Tanque de 250 ml, sombrilla, malla y amarres. Estos materiales se seleccionaron debido a la ocurrencia de fuertes lluvias y vientos en la temporada de muestreo, era necesario que fueran resistentes y que el prototipo almacenara la cantidad de agua que se precipitaba durante una semana.

A la sombrilla se le realizó un orificio en la parte superior y se coció una malla para que esta retuviera los sólidos que podían caer de los árboles que habían alrededor (Figura 5).



Figura 5. Sombrilla con malla instalada en la parte superior, por Acosta y Guio, 2020.

La sombrilla fue instalada con amarres en la tapa del tanque para facilitar el lavado de este (Figura 6).



Figura 6. Prototipo instalado y terminado, por Acosta y Guio, 2020.

❖ Cálculo del área de captación y volumen:

La sombrilla cuenta con un diámetro de 1,38 m (138 cm), para determinar el área de captación se utilizó la Ecuación 2.

$$\text{Área} = \pi * (0,69 \text{ m})^2$$

$$\text{Área} = 1,49 \text{ m}^2$$

El prototipo tiene un volumen de captación de 250 L (litros). Por lo tanto, la profundidad del tanque es de 0,86 m.

❖ Cálculo del volumen posible captado:

Teniendo en cuenta que la precipitación media anual en la zona de estudio es de 1190 mm, se determinó el volumen aproximado de agua lluvia que se puede captar en esta área, se estimó un coeficiente de esorrentía aproximado de 0,8, este representa la cantidad de agua que se pierde (aprox. 20%) por evaporación, infiltración y otros fenómenos, antes de llegar al sistema de captación (Ilan Adler, 2008), se utilizó la Ecuación 3.

Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía dentro de una superficie a nivel si la precipitación permanece en el lugar donde cae, se mide en milímetros; cuando se recoge un milímetro de agua, significa que la cantidad de lluvia caída sobre una superficie de un metro cuadrado es de un litro ($1\text{mm} = 1 \text{ L/m}^2$) (IDEAM , 2018).

$$\text{Volumen} = 1,49 \text{ m}^2 * 1190 \frac{\text{Lt}}{\text{m}^2} * 0,8$$

$$\text{Volumen} = 1418,48 \text{ Litros}$$

En un año se podría recolectar 1418,48 L de agua lluvia en un área de $1,49 \text{ m}^2$.

❖ Eficiencia del prototipo

Según la OMS, una persona consume 100 L de agua al día, entre actividades diarias y consumo, es decir, que en un año se consume 36500 L, que en términos de porcentaje, el agua lluvia anual recolectada abastecería un 3,88% aproximadamente respecto a dicho consumo (OMS, 2003). Si se tuviera un área de captación mayor (10 m^2), el prototipo podría llegar a suplir una necesidad de 26,1% anual, esto se puede lograr, mediante la modificación de la estructura del prototipo con un tanque de mayor volumen y una sombrilla de mayor diámetro para aumentar la capacidad de captación y así mismo aumentar la eficiencia del sistema.

9.3. Determinación del tipo de uso del agua lluvia recolectada

❖ Comparativo de los resultados obtenidos con la normatividad

Según el comparativo entre los valores resultantes de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua lluvia recolectada y los valores límites máximos admisibles por el Decreto 1594 de 1984 y la Resolución 2115 de 2007 como se evidencia en la Tabla 4, estos cumplen, pero en el plomo no se especifica el cumplimiento por lo cual se recomienda aplicar un tratamiento convencional como lo indica la normatividad colombiana, para así darle el respectivo uso doméstico al agua lluvia.

Tabla 4. Resultados obtenidos de la calidad del agua lluvia.

Parámetro	Unidad	Valor máximo permisible		Valores obtenidos (muestras)								Cumple/ no cumple
		Decreto 1594 de 1984	Resolución 2115 de 2007	1	2	3	4	5	6	7	8	
Temperatura	Celsius	N/A	N/A	23,2	21,5	20,3	22,3	21,5	23,4	21,5	22,8	Aceptable
Oxígeno disuelto	mg/l	N/A	N/A	6,69	6,84	6,8	6,9	7,17	6,2	7,1	7,14	Aceptable
Color aparente	UPC	75		LO	LO	LO	LO	LO	LO	LO	LO	Cumple
Conductividad	µs/cm		1000	4	3,6	3,6	5,3	2,6	2,6	3,7	2,7	Cumple
pH	unidades	Entre 5 y 9		5,5	5,8	5,7	6,8	6,4	6,85	4,9	6,32	Cumple
Coliformes totales	NMP/100 ml	2000						4	45	2827	2407	Cumple
Coliformes fecales	NMP/100 ml	2000						<1,8	13	33	23	Cumple
Turbidez	UNT		2	1,01	1,05	1,01	1	1,06	1,1	1	1,03	Cumple

Tabla 4 continuación

Plomo	mg/l	0,05		LO	LO	LO	LO	LO	LO	LO	LO	No especificado
-------	------	------	--	----	----	----	----	----	----	----	----	-----------------

Nota: LO indica que el resultado fue bajo y está por debajo de los límites de detección de la técnica analítica usada y N/A indica que no aplica la normatividad en ese parámetro, por Acosta y Guio, 2020

El monitoreo de la calidad de lluvia es un indicador de la incidencia de las posibles actividades antrópicas sobre la calidad del aire, lo que quiere decir es que cuando los parámetros

en su mayoría cumplen con la norma como sucedió en el presente estudio, indica que no existen potenciales contaminantes en la zona pero generalmente siempre se encontrarán contaminantes en el agua lluvia en mayor o menor medida, dependiendo las actividades antropogénicas que se lleven a cabo en la zona debido a que cuando existe precipitación se produce un efecto de lavado a la atmosfera y arrastra los contaminantes, lo recomendable es aplicar siempre un tratamiento convencional (Ospina & Ramírez, 2014).

De acuerdo con el análisis de la calidad fisicoquímica y microbiología del agua lluvia en el municipio de Villavicencio, se evaluó la presencia de oxígeno disuelto, color aparente, conductividad, pH, turbidez, coliformes totales coliformes fecales, y los niveles de temperatura que presentaba cada muestra.

❖ Temperatura

Los resultados obtenidos de las muestras se evidencian en la Figura 7, donde el promedio fue de 22,06 °C, la temperatura más alta se presentó en la muestra seis (6) con 23,4 °C tomada en el mes de noviembre y la temperatura más baja se presentó en la muestra tres (3) con 20,3 °C tomada en el mes de octubre. Las variaciones de temperatura no son significativas por las condiciones climáticas, ya que en el tiempo que fueron tomadas las muestras fue en época de invierno y la incidencia de radiación es baja. Por otra parte, cabe resaltar que el decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007 no presentan un límite admisible máximo de este parámetro para darle uso doméstico o de consumo humano. Sin embargo, este parámetro es importante monitorearlo ya que cuando la temperatura del agua es alta, se potencia la proliferación de microorganismos y puede incrementar los problemas de sabor, olor y color, generalmente para darle cualquier uso no debe superar los 25°C (aceptable), lo que indica que el agua de esta zona si se puede destinar para uso doméstico (Organización Mundial de la Salud, 2018).

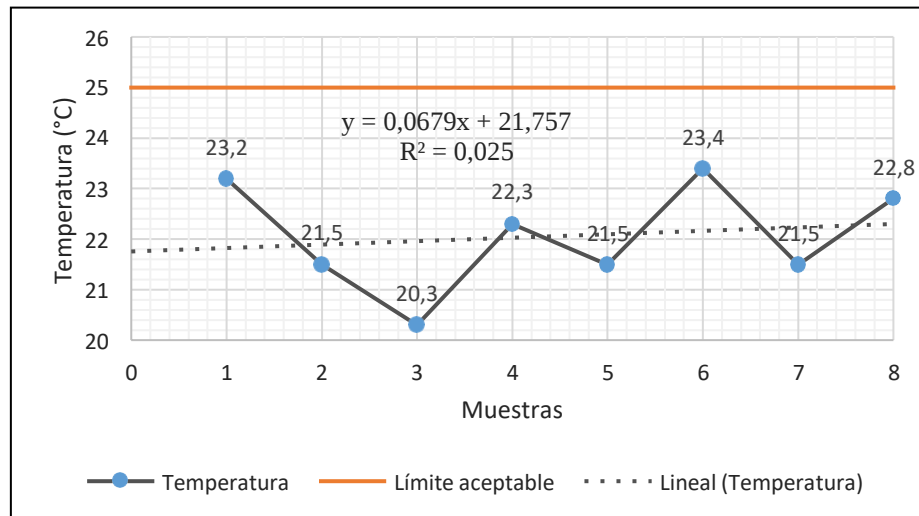


Figura 7. Gráfico de temperatura, por Acosta y Guio, 2020.

❖ Oxígeno disuelto

Respecto al oxígeno disuelto (OD) registrado, el promedio presentado fue de 6,68 mg/l, el valor máximo se presentó en la muestra cinco (5) este fue de 7,17 mg/l y el valor mínimo se presentó en la muestra seis (6) este fue de 6,2 mg/l este valor es bajo ya que la muestra presentaba una temperatura de 23,4 °C y por ende entre más alta sea la temperatura del agua el oxígeno disuelto es menor como se muestra en la Figura 8 (State Water Resources Control Board, 2010). En este caso como el agua lluvia captada no tiene contacto con el suelo y no hay presencia de plantas, el oxígeno existente en las muestras, es solo el que se ha absorbido de la atmosfera, esto ocurre cuando hay precipitación ya que por la caída de las gotas se presenta un movimiento entre el agua y el aire, lo que permite un aumento del oxígeno disuelto (State Water Resources Control Board, 2010).

Por otra parte, este parámetro no tiene ninguna restricción en la normatividad colombiana para destinar el uso al agua lluvia, sin embargo, se evidencia que las muestras presentan concentraciones aceptables de este parámetro ya que están entre los rangos de 6 a 8 mg/l, generalmente este rango se denota como aceptable para los cuerpos de agua superficiales ya que favorece la supervivencia de organismos vivos (Goyenola, 2007).

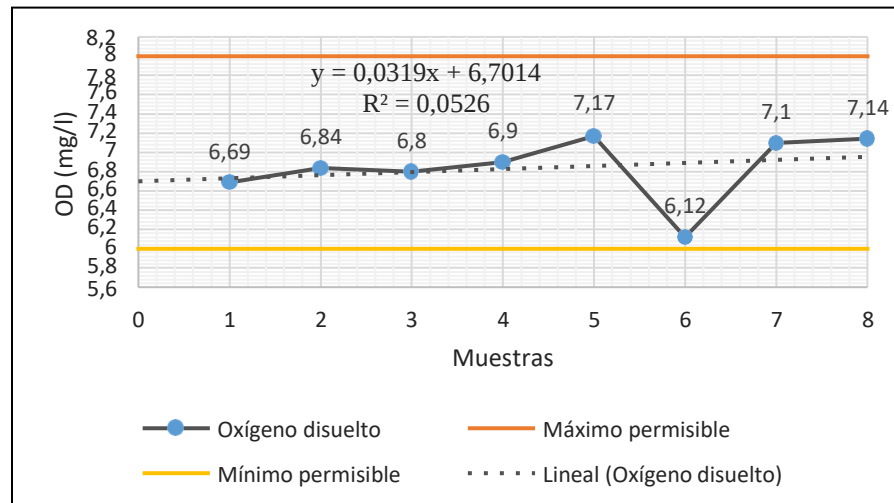


Figura 8. Gráfico de oxígeno disuelto, por Acosta y Guio, 2020.

❖ Conductividad

Respecto a la conductividad registrada, los valores obtenidos estuvieron entre 2,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 5,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como se muestra en la Figura 9, lo cual indica una baja conductividad con respecto a la máxima permisible de la normatividad colombiana (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), cumpliendo todas las muestras con los estándares de calidad para el uso de aguas lluvia como alternativa para uso doméstico.

La variación de la conductividad proporciona información acerca de la productividad primaria y descomposición de la materia orgánica, e igualmente contribuye a la detección de fuentes de contaminación, además la presencia de este parámetro en una muestra de agua, se encuentra estrechamente relacionada con los sólidos disueltos y es directamente proporcional a la concentración de los mismos, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad (Suarez, 2006). Teniendo en cuenta lo anterior se evidencia que los valores que se obtuvieron indican que el agua no presenta grandes contaminantes puesto que está no tiene contacto con el suelo, pero se presentan partículas de sólidos ya que la malla que tenía el prototipo no los retenía todos, además hay presencia de partículas de polvo presentes en la atmósfera que son arrastradas durante la precipitación.

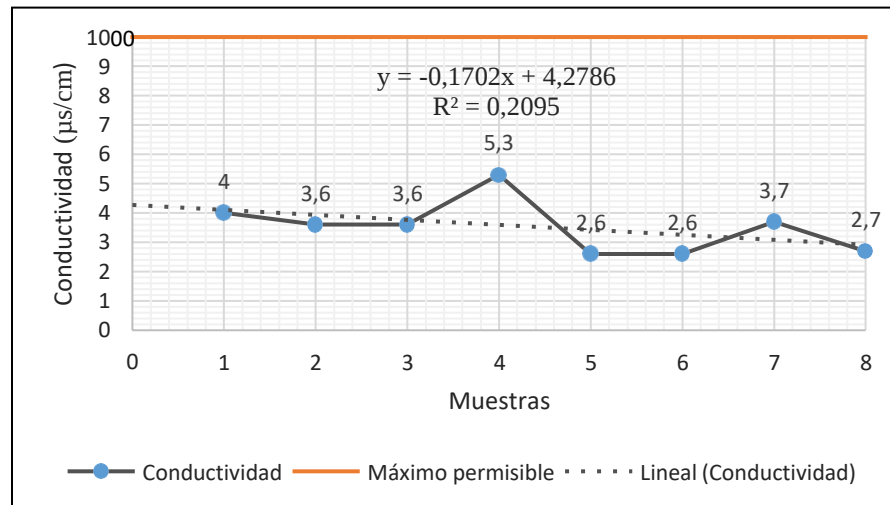


Figura 9. Gráfico de conductividad, por Acosta y Guio, 2020.

❖ pH

Según la clasificación del agua lluvia, cuando se presenta un pH mayor a 5,6 es lluvia no ácida, se puede evidenciar que las muestras dos (2), tres (3), cuatro (4), cinco (5), seis (6) y ocho (8), están dentro de este rango; cuando se presenta un pH entre 4,7 y 5,6 la lluvia es ligeramente ácida, lo que indica que las muestras uno (1) y siete (7) están dentro de esta clasificación esto se debe a que el agua tiene contacto en la atmosfera con dióxido de carbono emitido por los automóviles que circulan a una distancia aproximada de 60 m del punto de instalación del prototipo (IDEAM, 2014).

Se evidencia que el agua lluvia analizada en el periodo de dos meses, el 75% de las muestras arrojó que es no ácida, esto se debe a que el punto queda alejado de la ciudad a 20 km aproximadamente y en sus alrededores no se presencia ninguna actividad industrial.

Además, según el decreto 1594 de 1984, el valor máximo permisible está entre 5 y 9 unidades de pH, para el uso del agua doméstico, se evidencia en la Figura 10 que las muestras se encuentran en este rango, por ende este parámetro cumple para el uso doméstico del agua lluvia.

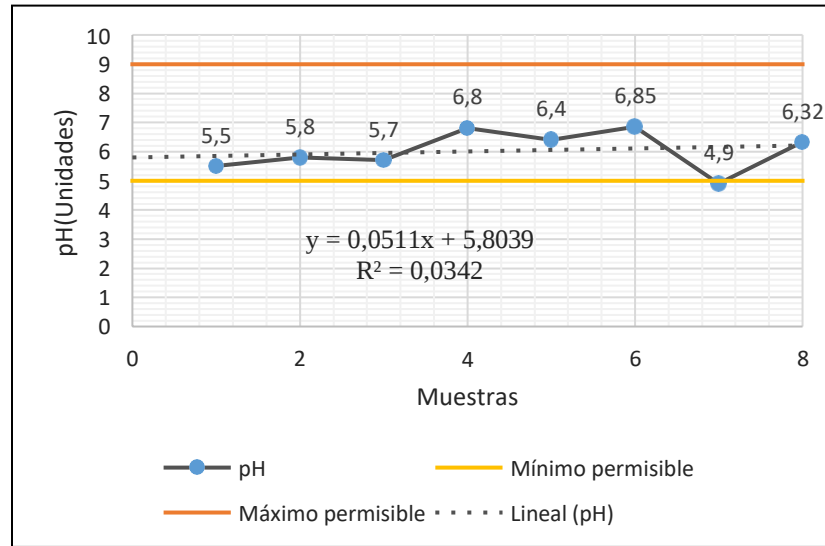


Figura 10. Gráfico de pH, por Acosta y Guio, 2020.

❖ Turbidez

En cuanto a la turbidez registrada, los valores obtenidos oscilaron entre 1 UNT Y 1,1 UNT como se muestra en la Figura 11, indicando una turbidez baja, con valores intermedios de 1,03 UNT, con respecto al máximo permisible por la normatividad colombiana (2 UNT), cumpliendo así con los estándares de calidad para el uso de aguas lluvia como alternativa para uso doméstico.

La turbidez en el agua, es causada por materia suspendida y coloidal como la arcilla, sedimentos, materia orgánica e inorgánica dividida finamente y por microorganismos microscópicos (Galvan, 2007). En este caso, los valores de turbiedad registrados, se obtuvieron por el arrastre de contaminantes atmosféricos por material particulado (polvo), hojas y ramas, durante las precipitaciones y el arrastre de estos estos solidos por acción del viento, que ingresaron al sistema de captación a través de la malla ya que esta retenía sólidos de tamaño más grande. Los valores fueron bajos debido a que, en el área de estudio, no hay una alta actividad industrial y la fuente contaminante representativa es la movilidad de los vehículos en la carretera cercana al punto de instalación (60 m).

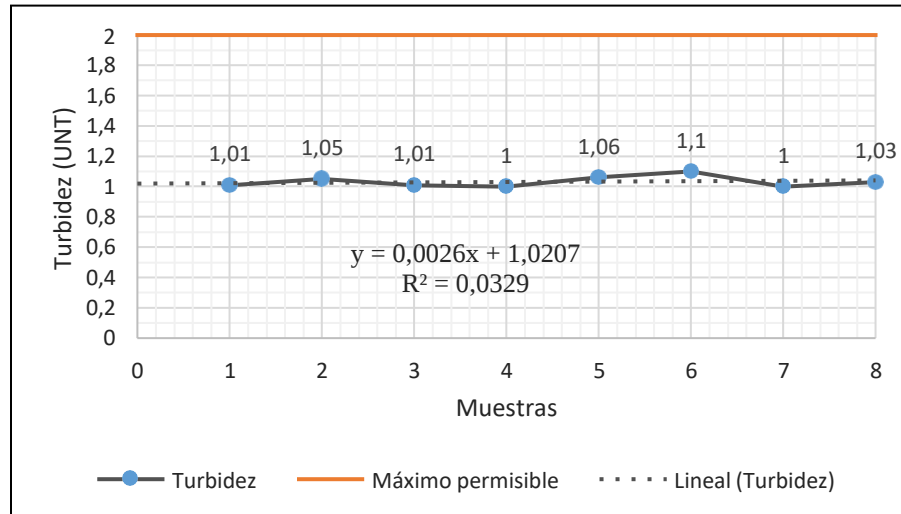


Figura 11. Gráfico de turbidez, por Acosta y Guio, 2020.

❖ Coliformes totales y fecales

El pico más alto en coliformes totales fue en la muestra tres (3) con un valor de 2827 NMP/100 ml y el pico más bajo fue en la muestra uno (1) con un valor de 4 NMP/100 ml. El pico más alto en coliformes fecales fue en la muestra tres (3) con un valor de 33 NMP/100 ml y el pico más bajo fue en la muestra uno (1) con un valor de 1,8 NMP/100 ml.

La variación de coliformes totales y fecales como se muestra en la Figura 12 y Figura 13, se debe a que la calidad del agua lluvia puede deteriorarse durante la recolección y el almacenamiento, de igual manera la malla que se instaló en el prototipo no retuvo sólidos pequeños como excrementos de aves y de otros animales e insectos que pueden contaminar el agua, por esta razón se presentan dichos contaminantes (Organización Mundial de la Salud, 2018). Sin embargo, aunque hay presencia de estos contaminantes, los parámetros cumplen según el decreto 1594 de 1984 para darle a el agua lluvia uso doméstico ya que no superan los rangos máximos permisibles 20000 NMP/100 ml para coliformes totales y 2000 NMP/100 ml para coliformes fecales.

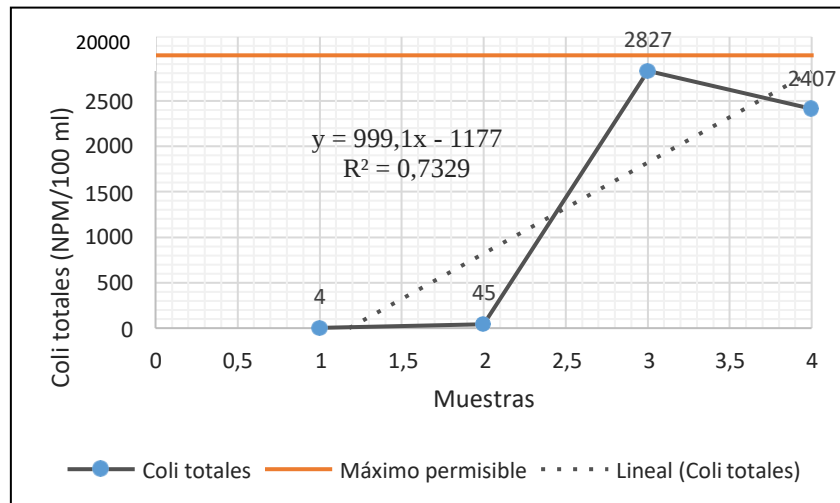


Figura 12. Gráfico de coliformes totales, por Acosta y Guio, 2020.

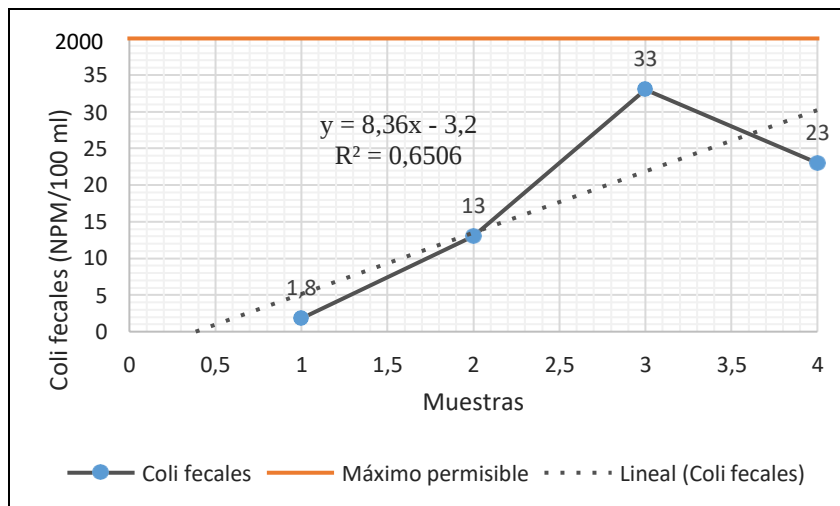


Figura 13. Gráfico coliformes fecales, por Acosta y Guio, 2020.

❖ Plomo

La concentración de plomo en todas las ocho muestras fue baja (Tabla 4), no se conoce exactamente el valor ya que los resultados arrojaron LO denotado así por el equipo de medición (espectrofotómetro) porque está por debajo de los límites de detección de la técnica analítica utilizada, la cual presenta un rango de 0,10 hasta 5 mg/l, por esta razón no se puede inferir si hay cumplimiento de este parámetro (no especificado) puesto que el máximo permisible según el decreto 1594 de 1984 es de 0,05 mg/l, por lo cual se recomienda aplicar una nueva técnica donde el límite de detección sea más amplio como el método voltametría de onda cuadrada (OSWV)

validado para la cuantificación de plomo en aguas superficiales con un límite de detección de 211,00 $\mu\text{g/l}$ (Macías, García, & Chaparro, 2016). De igual manera se recomienda aplicar un tratamiento convencional como lo indica el decreto 1594 de 1984, para así poder hacer el respectivo uso del agua lluvia. Aunque es importante el monitoreo de este parámetro ya que es un metal tóxico que provoca efectos negativos a la salud, generalmente no se encuentra en el agua lluvia ya que la fuente natural de contaminación ambiental por plomo es reducida. Después de las actividades de minería, la principal fuente antropogénica de plomo es la industrial; en el caso de la zona de estudio, las concentraciones de plomo son bajas ya que no hay presencia de actividades de minería e industrial, además a diferencia de sistemas de captación de agua para consumo humano, no se cuenta con tuberías, accesorios o las conexiones de servicio para que haya presencia de este contaminante (Melian, 2020).

10. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos a partir de esta investigación dieron a conocer que el oxígeno disuelto presenta cantidades entre 6,7 mg/l a 7,2 mg/l, teniendo concordancia con los resultados de la temperatura, y esto se demuestra en un estudio realizado por una empresa de California, en la cual miden la variación del oxígeno disuelto respecto a la temperatura (State Water Resources Control Board, 2010). Así mismo, CORTOLIMA en sus resultados, presentaron concentraciones de OD entre 3,1 mg/l y 7,5 mg/l, este rango se debe a que ellos muestrearon durante largos periodos de tiempo y diferentes épocas del año, conociendo que las condiciones y temperatura en Tolima varían durante el año, siendo en su mayoría frío, los resultados de temperatura y OD son similares al rango de muestreo de agua lluvia (CORTOLIMA, 2010).

Por otro parte, los resultados de la conductividad se encuentran entre un rango de 2,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 5,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a lo que se le atribuye una dureza muy blanda, es decir, la presencia de iones de calcio y magnesio es casi nula. Así mismo, la conductividad es un indicador de sales presentes en el agua, lo cual indica que, a menor conductividad, menor serán los sólidos disueltos, y así lo demuestra un estudio de conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en Costa Rica, en el cual midieron la conductividad de 40 muestras de agua presentando rangos de hasta 549 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en algunas de sus mediciones. Cabe aclarar que estas muestras fueron tomadas de fuentes superficiales y pozos (Solís-Castro, 2018)

También los resultados contribuyeron con el análisis del pH, el cual presentó un valor entre 5 a 6,8 unidades de pH debido a su interacción con el dióxido de carbono en el aire. Así mismo, un estudio del IDEAM realizado en las principales ciudades de Colombia, en la cual se encuentra Villavicencio, demuestra que los rangos del pH en el agua lluvia se encuentran entre 5 y 7 unidades. (IDEAM, 2014)

El parámetro de la turbidez presentó unos valores entre 1 y 2 UNT. Esto indica la poca cantidad de sólidos en suspensión presentes en el agua, es decir, la transparencia de la misma. Según un estudio realizado por Ricardo Azario sobre “la turbidez como indicador básico de calidad de agua”, la poca presencia de turbidez en el agua, es un factor que indica la poca contaminación, pero debido

a que trataron fuentes superficiales de agua, obtuvieron resultados muy altos de turbidez, en los cuales proponen un tratamiento de potabilización (Marcó, Azario, Metzler, & García, 2004)

Los resultados de coliformes totales y fecales arrojaron valores entre 4 y 2827 NMP/100 ml para totales, y entre 1,8 y 33 NMP/100 ml para fecales. En contraste con un estudio realizado por Irma Cázares para el congreso Iberoamericano de ciencia y tecnología, sobre el “análisis microbiológico de calidad de agua en la ciudad Nezahualcóytl, México. Los resultados presentados demuestran valores entre 43 y 2400 NMP/100 ml para totales, y 3 y 16 NMP/100 ml para fecales, cabe aclarar que los muestreos del estudio se presentaron en diferentes ciudades y que si bien están dentro de los límites permisibles, es un resultado que indica la mala calidad del agua, y no es recomendable su consumo humano sin la realización de algún tratamiento previo, pero para uso doméstico es apta (Cazeres & Alcantara, 2014)

En este estudio el volumen posible de captación es de 1418,48 Litros anual, este valor refleja un alto potencial de captación en la zona como se evidencia en un estudio desarrollado en la Universidad Tecnológica de Pereira donde, en la cual diseñaron tanques de almacenamiento que captaban 1553 L/m² al año de agua lluvia, con esta cantidad de agua se disminuiría el consumo de agua potable y así mismo la presión sobre cuerpos hídricos (Galarza & Torres, 2017).

Por último, los resultados presentaron que el agua lluvia es apta para uso doméstico (riego de jardines, aseo de interiores de la vivienda, entre otras actividades) se podría utilizar como una alternativa para darle solución a las problemáticas de abastecimiento que se están presentando en Villavicencio por falta de este recurso en épocas secas, y así disminuir la presión en los cuerpos hídricos, como se evidencia en la revisión de estado del arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas, donde dicha acción ha sido una alternativa viable incluso en lugares como África donde hay déficit de agua lluvia por las condiciones geográficas (León, Córdoba, & Carreño, 2016).

11. Conclusiones

Se identificó que el promedio de la temperatura del agua captada en un periodo de dos meses fue de 22,06 °C, las variaciones de temperatura no son significativas por las condiciones climáticas, ya que en el tiempo que fueron tomadas las muestras fue en época de invierno. El promedio del oxígeno disuelto fue de 6,68 mg/, este parámetro no tiene ninguna restricción en la normatividad colombiana para destinar el uso al agua lluvia, sin embargo, se evidencia que las muestras presentan concentraciones aceptables ya que están entre los rangos de 6 a 8 mg/l. El promedio de la conductividad es de 3,51 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el promedio de la turbidez es de 1,03 UNT, estos parámetros cumplen con límites admisibles de la resolución 2115 de 2007 (1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2 UNT respectivamente). El pH presentó un valor promedio de 6,03, el 75% de las muestras presentan un agua es no ácida según la clasificación del IDEAM. Las cuatro muestras de coliformes totales y las cuatro muestras de coliformes fecales presentaron diferentes rangos, aunque no superaron el límite máximo admisible de la normatividad (20000 y 2000 NMP/100 ml respectivamente).

Se identificó que las zonas con mayor potencial pluviométrico (considerando los mapas realizados) fueron las veredas Buena vista y servita que hacen parte de corregimiento dos (2) del municipio, según los datos de las estaciones meteorológicas el año que mayor precipitación presentó fue mayo con valores entre 832 y 920 mm como se muestra en la Tabla 3.

Se diseñó un prototipo como se evidencia en la Figura 6, teniendo en cuenta las características del punto de instalación (Buena Vista, finca La Alcancía), el cual tenía un volumen de 250 L, profundidad de 0,86 m, diámetro de la sombrilla de 1,38 m, área de captación de 1,49 m² y se un posible volumen de captación de 1418,48 Litros anual teniendo en cuenta la precipitación media anual de Buena vista (1190 mm). La calidad del agua lluvia puede deteriorarse durante la recolección y el almacenamiento, de igual manera la malla que se instaló en el prototipo no retuvo sólidos pequeños como excrementos, ramas y hojas de árboles cercanos, desplazadas por el viento, produciendo contaminación. Por otra parte, la calidad de la atmosfera varía dependiendo de las actividades que se desarrollen en la zona, en este caso la circulación de automóviles es la principal fuente contaminante, ya que la carretera (vía principal) se encuentran a una distancia aproximada de 60 m del punto de instalación.

Se determinó que el agua lluvia muestreada es apta para el uso como fuente de abastecimiento doméstico en el municipio de Villavicencio, después de aplicar un tratamiento convencional como lo indica el Decreto 1594 de 1984 por el cual reglamentan los usos del agua y residuos líquidos, ya que los parámetros cumplieron el máximo permisible pero en el caso del plomo no se especifica su cumplimiento como se muestra en la Tabla 4, puesto que el valor está por debajo del límite mínimo de detección de la técnica analítica usada (0,10 mg/l) y no se conoce la concentración exacta (el equipo de medición denota esto como “LO”), se recomienda aplicar otra técnica con un límite de detección más amplio, una buena opción podría ser el método voltametría de onda cuadrada (OSWV) validado para la cuantificación de plomo en aguas superficiales con un límite de detección de 211,00 µg/l.

Una vez analizado los resultados se concluye que la hipótesis planteada para el presente estudio es aceptada, ya que se demostró que agua lluvia captada si es fuente como uso doméstico para el municipio de Villavicencio después de realizar un tratamiento convencional.

12. Recomendaciones

Para este estudio se plantean las siguientes recomendaciones:

- ❖ Se recomienda buscar un método en el que los límites de detección del plomo sean más amplios para conocer la concentración exacta del contaminante.
- ❖ Es de gran importancia que los datos de las estaciones meteorológicas estén actualizados y que el IDEAM busque un método que le dé solución al complemento de datos faltantes de aquellas estaciones que no registran una variedad de datos (para este estudio fue la precipitación).
- ❖ Se recomienda buscar una alternativa para que aquellas estaciones que no estén en funcionamiento se reactiven para así tener una mayor cantidad de datos en el momento de realizar este tipo de estudios y así garantizar que sean más exactos los resultados obtenidos.
- ❖ Para estudios futuros que se relacionen con el presente estudio se recomienda realizar estudios en más puntos de la ciudad de Villavicencio durante diferentes épocas del año y analizar otros parámetros que contempla la norma ya que en este proyecto solo se analizaron algunos por falta de tiempo y presupuesto.
- ❖ Buscar asesoría más técnica por parte de empresas o lugares donde se hayan implementado sistemas de captación de agua lluvia, para tener una idea de la viabilidad económica y la accesibilidad a este tipo de técnicas.
- ❖ Ejecutar proyectos piloto en viviendas donde el monitoreo sea en base a la capacidad de captación de agua lluvia en la ciudad en el cual se tenga en cuenta la oferta y la demanda, el costo beneficio para la población y la eficiencia del sistema.

13. Referencias bibliográficas

- Acevedo, J. (2016). *Captación y aprovechamiento de agua de lluvia en américa latina*. Obtenido de http://www.cl.undp.org/content/dam/chile/docs/medambiente/undp_cl_medioambiente_Captacion-agua-lluvia-AL.pdf
- Aquino, T. C. (2006). *Captación de agua lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento*. Obtenido de https://www.academia.edu/27011509/SISTEMAS_DE_CAPTACION_DE_AGUA_DE_LLUVIA_CAPTACION_DE_AGUA_DE_LLUVIA_Y_ALMACENAMIENTO
- Ballén, J. A., Galarza, M. Á., & Ortiz, R. O. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. Obtenido de <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>
- Bateman, A. (2007). *Hidrologia basica y aplicada*. Obtenido de <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Blamis. (2020). *Espectrofotometro SPECTROQUANT PROVE 600*. Obtenido de <https://www.blamis.com.co/product/espectrofotometro-spectroquant-prove-600>
- Cazeres, M., & Alcantara, A. (2014). *Análisis microbiológico de calidad de agua en la ciudad Nezahualcóytl, México*. Mexico: Congreso Iberoamericano de Ciencia. Obtenido de <https://www.oei.es/historico/congreso2014/memoriactei/619.pdf>
- CORTOLIMA. (2010). *Factores químicos y bacteriológicos de los sistemas acuáticos*. Obtenido de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_prado/diagnostico/l211.pdf
- Donn, M., & Menzies, N. (2005). Efectos simulados del agua de lluvia sobre la capacidad de intercambio aniónico y la retención de nitrato en los ferrosoles. *Revista Australiana de*

- investigación de suelos*, 43, 33-42. Obtenido de <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-15044353216&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=4e398b596397d81f04b6156d74795499&sot=b&sdt=cl&cluster=scopubyr%2C%222005%22%2Ct&sl=72&s=TITLE-ABS-KEY%28rainwater+>
- EAAV. (2018). *Informe de gestión empresa de acueducto y alcantarillado*. Meta , Villavicencio. Obtenido de <http://www.eaav.gov.co/Transparencia/ControlyRendiciondeCuentas/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n/2018/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%20Consolidado%20Segundo%20Trimestre%202018.pdf>
- Escamilla, P. D. (2010). *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. Mexico: CONAMA10. Obtenido de <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>
- Galarza, S., & Torres, A. (2017). Método de dimensionamiento para tanques de recolección de aguas pluviales utilizando conjuntos de datos de resolución diaria de lluvia y demanda de agua. *Luna azul*, 45, 107-122. Obtenido de <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85036659765&origin=resultslist>
- Galvan, T. C. (2007). *Turbiedad por nefelometría*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%A1Da..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>
- García, A. P. (2006). Una perspectiva social de la problemática del agua. *scielo*(62), 125-137. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112007000100008
- Gomez, C. L. (2012). *CLima ecuatorial*. Sevilla: Universidad de sevilla. Obtenido de <http://titulaciongeografia-sevilla.es/contenidos/profesores/materiales/archivos/2012-04-16CLIMAEQUATORIAL.pdf>
- Goyenola, G. (2007). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos*. Obtenido de Rangos de cocentración de oxígeno disuelto:

http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf

Guzmán, D., Ruíz, J., & Cadena, M. (2014). *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través de análisis de componentes principales*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Regionalizaci%25C3%25B3n%2Bde%2Bla%2Blluvia%2Ben%2BColombia.pdf/92287f96-840f-4408-8e76-98b668b83664>

Handia, L., Tembo, J., & Mwiindwa, C. (2003). Potencial de captación de agua de lluvia en zonas urbanas de Zambia. 28, 20-27. Obtenido de <https://www.sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S1474706503001694>

IDEAM . (2018). *Metodología de la operación estadística variables metereológicas*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Documento+metodologico+variables+meteorologicas.pdf/8a71a9b4-7dd7-4af4-b98e-9b1eda3b8744>

IDEAM. (2010). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*. Obtenido de https://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/TRAMITESYSERVICIOS/Guia_monitoreo_IDEAM.pdf

IDEAM. (2014). *Generalidades de la lluvia ácida*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-lluvia-acida>

IDEAM. (2014). *Glosario*. Obtenido de Agua lluvia: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>

IDEAM. (2015). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

IDEAM. (2017). *Instructivo para el lavado de material de vidrio y plástico*. Obtenido de <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC->

I015+INSTRUCTIVO+PARA+EL+LAVADO++DE+MATERIAL+DE+VIDRIO+Y+P
LÁSTICO.pdf/36d18c7b-a290-45c3-9d86-feb987749a71?version=1.0

IDEAM. (2019). *Comunicado de Prensa 003*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/24277/84382637/Comunicado+especial+Fenomeno+de+El+Ní%C3%B1o/4a4f16d0-2473-469f-8afd-757c60383f28>

Ilan Adler, G. C. (2008). *Manual de captación de aguas lluvia para centros urbanos*. Obtenido de https://www.academia.edu/6712743/MANUAL_DE_CAPTACI%C3%93N_DE_AGUA_S_DE_LLUVIA_PARA_CENTROS_URBANOS_MANUAL_DE_CAPTACI%C3%93N_DE_AGUAS_DE_LLUVIA_PARA_CENTROS_URBANOS

León, A., Córdoba, J. C., & Carreño, F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *scielo*, 20, 141-153. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2016000400010&script=sci_abstract&tlng=es

Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, G. (2016). Riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 14, 145-153. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612016000200017&script=sci_abstract&tlng=es

Macías, C., García, M., & Chaparro, P. (2016). Determinación electroquímica de plomo y cadmio en aguas superficiales. *Luna Azul*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n44/n44a03.pdf>

Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, C. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. *Higiene y Sanidad ambiental*. 4, 82. Obtenido de [https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82(2004).pdf)

Marín, J. L. (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*. Bogotá D.C.: Ucatolica. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/288162026>

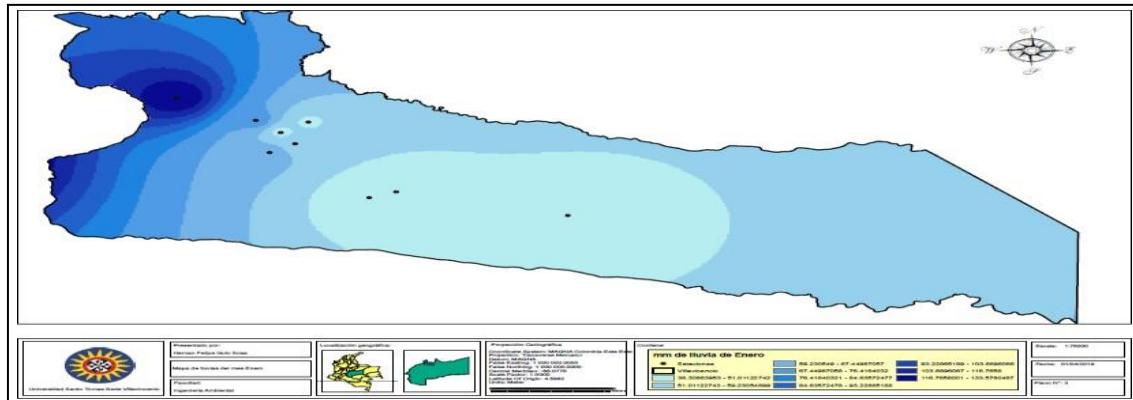
- Melian, M. G. (2020). Evaluación sanitaria de plomo en aguas en Cuba. *Scielo*, 38, 149-183. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032000000300004
- Méndez, S. (2012). *Hacia equipamientos urbanos sostenibles*. Obtenido de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/5397/4429>
- merck millipor. (2015). *Ficha técnica Spectroquant Prove 600*. Obtenido de <https://www.blamis.com.co/uploads/default/files/600PROVE.pdf>
- Milwaukee. (2011). *Medidor de turbidez*. Obtenido de https://www.milwaukeeinst.com/es/db/doc/manMi415_ENG.pdf
- Notaro, V., Liuzzo, L., & Freni, G. (2017). Evaluación del tamaño óptimo de un sistema de captación de agua de lluvia en Sicilia. *Revista de hidroinformática*, 19, 853-864. Obtenido de <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85038430121&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=10ddb9479616564b12057586a7f8bba4&sot=b&sdt=cl&cluster=scopubyr%2C%222017%22%2Ct&sl=72&s=TITLE-ABS-KEY%28rainwater+>
- OMS. (2003). *Calidad de agua doméstica, nivel de servicio y salud*. Suiza: WHO. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- Organizacion Meteorologica Mundial. (2019). *agua lluvia* . Obtenido de <https://public.wmo.int/es>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guía para la calidad del agua de consumo humano*. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Ospina, Ó., & Ramírez, H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima. *Ingeniería solidaria*, 10, 125-138. Obtenido de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/download/812/771/>
- Pizarro, R., Abarza, A., Morales, C., & Calderón, R. (2015). *Manual de diseño y contrucción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chiles*.

- Pucha, F., Fries, A., Cánovas, F., Oñate, F., González, V., & Pucha, D. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=XOIsDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=software+arcgis+concepto+articulo&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi3gl3nuMznAhWt1VkKHcqBAtwQ6AEIMTAB#v=onepage&q&f=false>
- Rahman, A., Keane, J., & Alam, M. (2012). *Recursos, conservación y reciclaje Cosecha de agua de lluvia en el Gran Sydney: ahorro de agua, fiabilidad y beneficios económicos*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.12.002>
- Reyes, M. C., & Rubio, J. J. (2014). *Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>
- Scopus. (2019). *Gráfica de documentos existentes de captación de agua lluvia*. Obtenido de <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/term/analyzer.uri?sid=2c08c689cce256c1ba8c2d29cec2e23d&origin=resultslist&src=s&s=TITLE-ABS-KEY%28rainwater+catchment%29&sort=plf-f&sdt=b&sot=b&sl=34&count=963&analyzeResults=Analyze+results&txGid>
- Solís-Castro, Y. (2018). *La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica*. Costa Rica: Tecnología en Marcha.
- State Water Resources Control Board. (2010). *Folleto informativo de oxígeno disuelto (OD)*. Obtenido de https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf
- Suarez, D. S. (2006). *Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

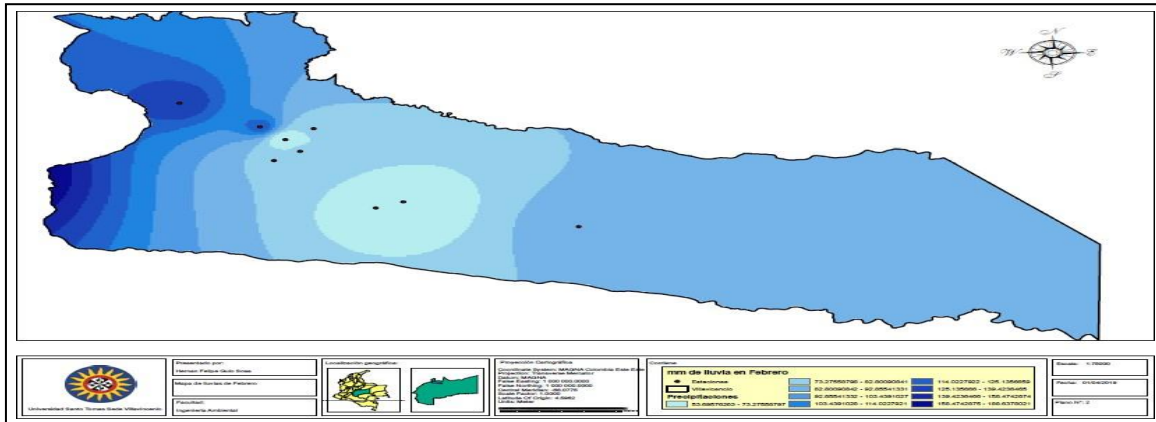
- Thermofisher. (2020). *Colorímetro Orion AQ3700 AQUA*. Obtenido de <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/AC37A13#/AC37A13>
- Tiempo. (2018). *Villavicencio estará sin agua 45 días por grave daño en la tubería*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/villavicencio-estara-sin-agua-45-dias-por-dano-en-tuberia-217750>
- Trujillo, J. &. (2015). *Niveles de contaminación en tres sectores de Villavicencio*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n1/v19n1a10.pdf>
- UNESCO. (2019). *Abordar la escasez y la calidad del agua*. Obtenido de <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad>
- UNESCO. (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos*. Obtenido de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- Villacrés, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narváez, C., & Morocho, D. (2016). *Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292016000300010
- Wang, H., Asefa, T., Bracciano, D., Adams, A., & Wanakule, N. (2019). Mitigación proactiva de la escasez de agua que integra la optimización del sistema y la incertidumbre de entrada. *Journal of Hydrology*, 722. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.071>
- Zhang, S., Zhang, J., Yue, T., & Jing, X. (2019). Impactos del cambio climático en los sistemas urbanos de captación de aguas pluviales. *Science of the Total Environment*. Obtenido de <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969719306230>

Apéndices

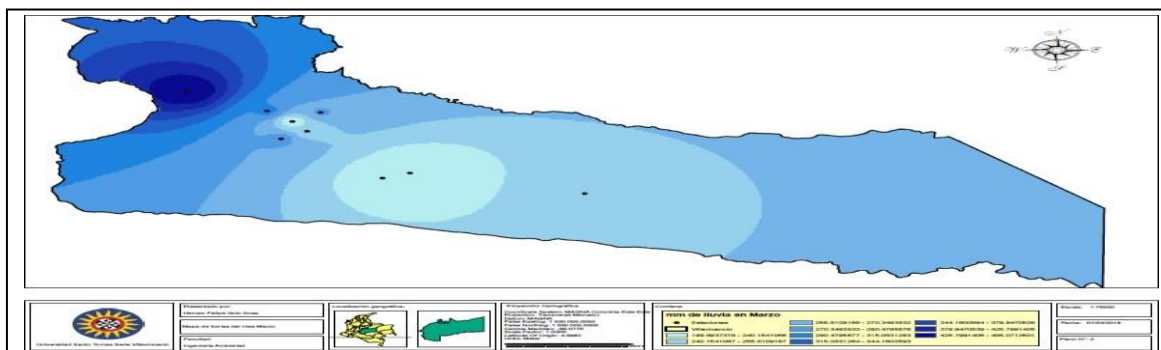
Apéndices A. Mapa de precipitación mes de enero, por Acosta y Guio, 2020.



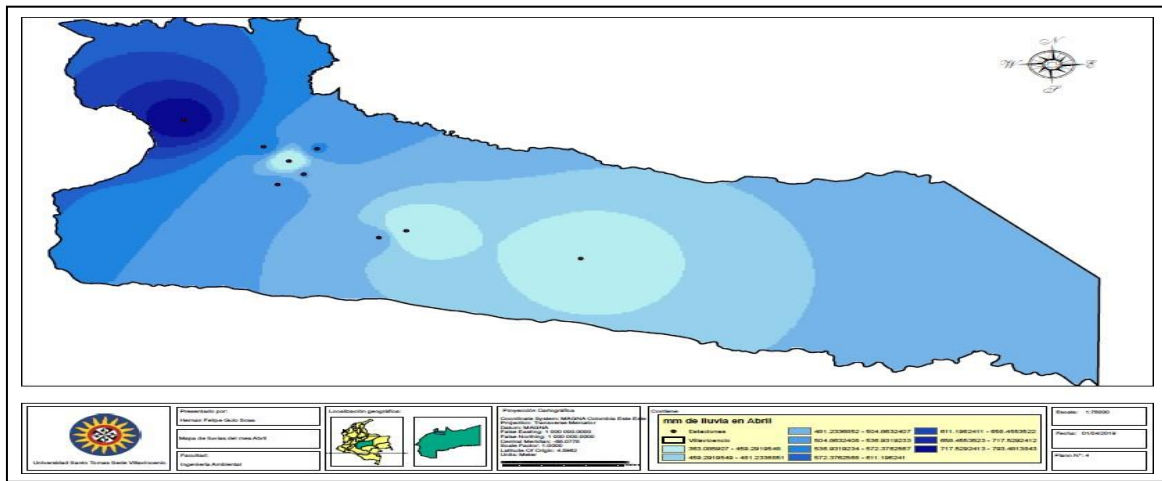
Apéndices B. Mapa de precipitación mes de febrero, por Acosta y Guio, 2020.



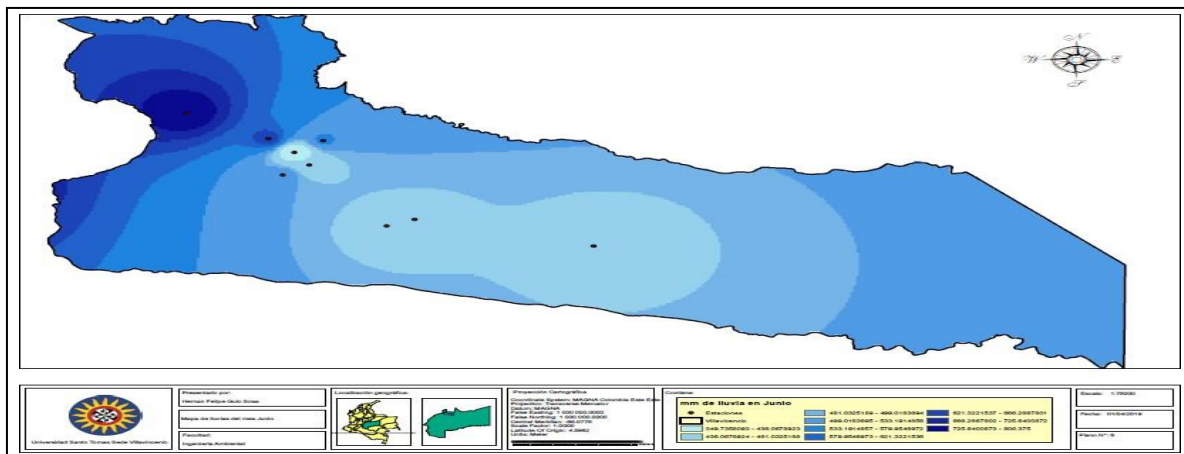
Apéndices C. Mapa de precipitación mes de marzo (Autores), por Acosta y Guio, 2020.



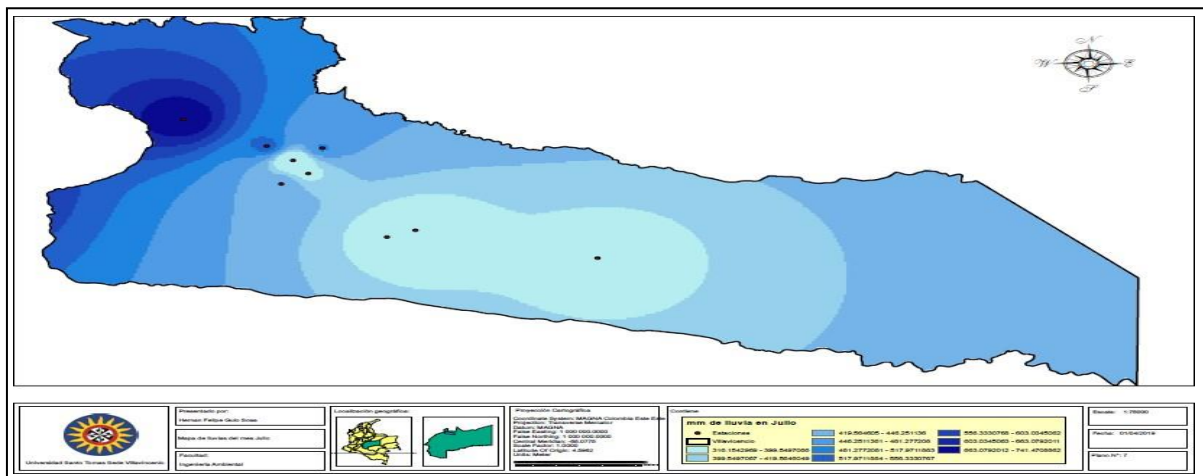
Apéndices D. Mapa de precipitación mes de abril (Autores), por Acosta y Guio, 2020.



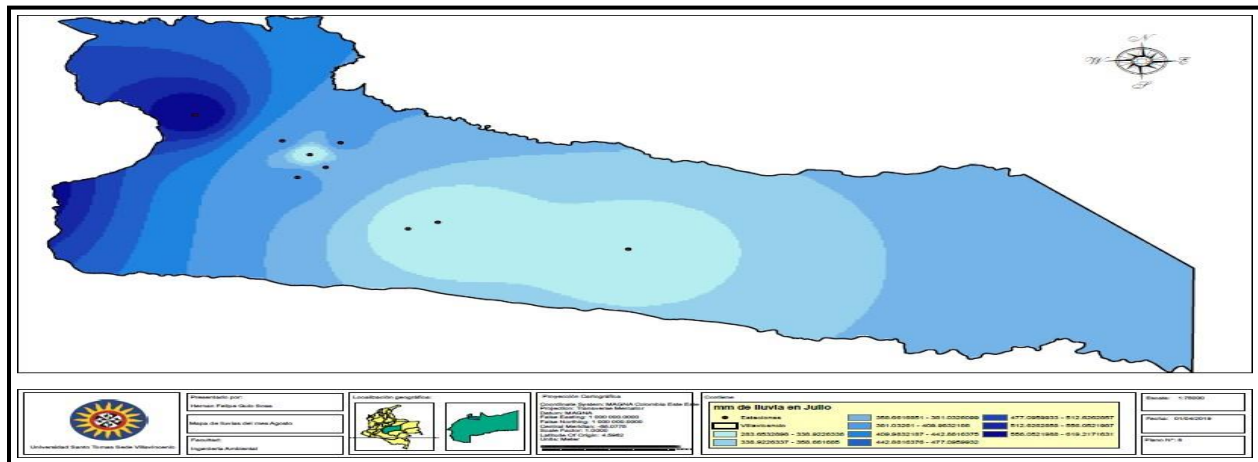
Apéndices E. Mapa de precipitación mes de Junio (Autores), por Acosta y Guio, 2020.



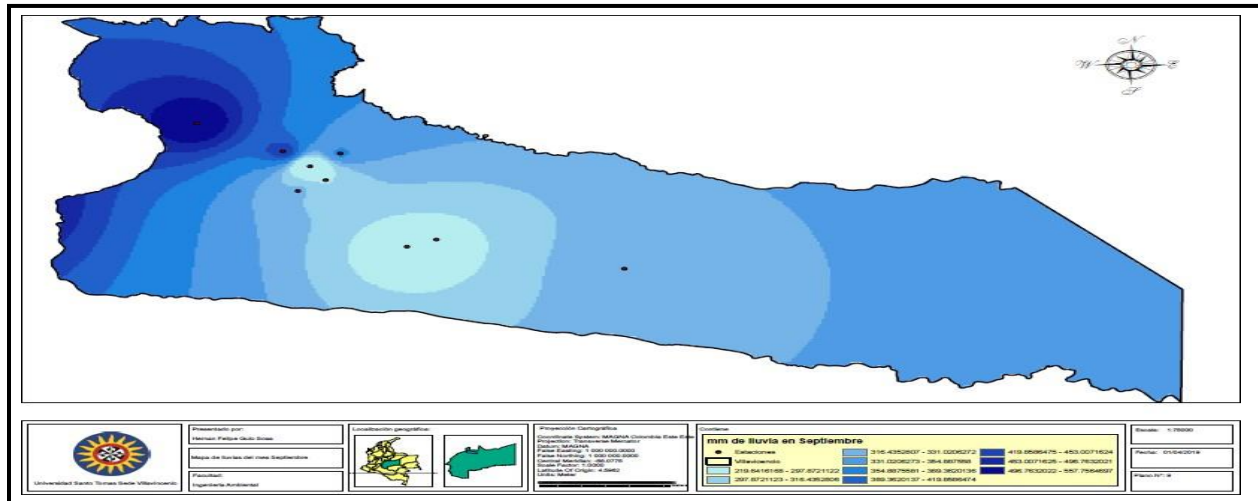
Apéndices F. Mapa de precipitación mes de Julio (Autores), por Acosta y Guio, 2020.



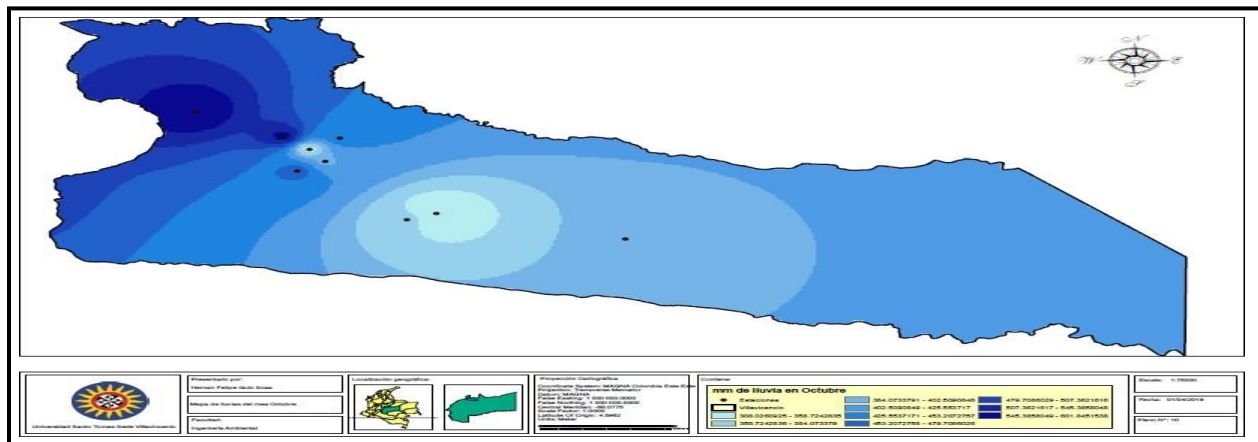
Apéndices G. Mapa de precipitación mes de agosto (Autores), por Acosta y Guio, 2020.



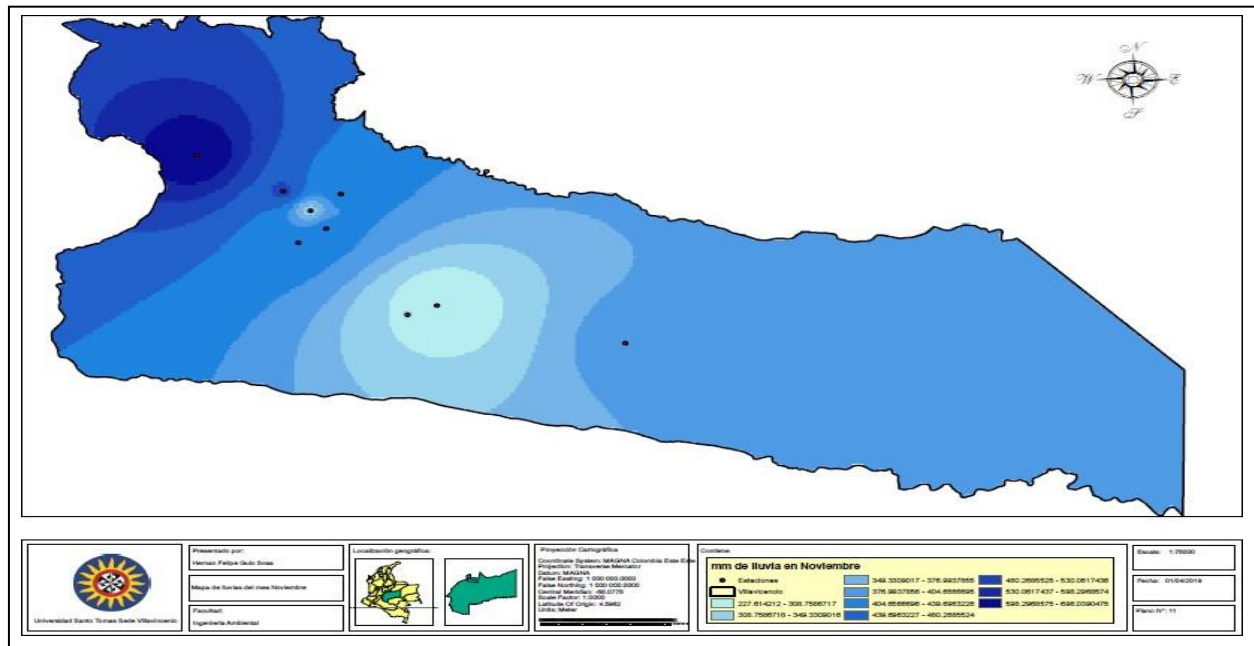
Apéndices H. Mapa de precipitación mes de septiembre (Autores), por Acosta y Guio, 2020.



Apéndices I. Mapa de precipitación mes de octubre (Autores), por Acosta y Guio, 2020.



Apéndices J. Mapa de precipitación mes de noviembre (Autores), por Acosta y Guio, 2020.



Apéndices K. Mapa de precipitación mes de diciembre (Autores), por Acosta y Guio, 2020.

