

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA
ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, META.



LINA MARÍA MUÑOZ CÁRDENAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL AGUA
ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, META.

LINA MARÍA MUÑOZ CÁRDENAS

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

Asesor

JAIR ESTEBAN BURGOS CONTENTO

Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GRACÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Adm. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

Ing. YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de Facultad

Ing. JAIR ESTEBAN BURGOS CONTENTO

Director Trabajo de Grado

Ing. ANGÉLICA MARÍA BUSTAMANTE ZAPATA

jurado

Geóloga. LEYDY JOHANNA ARBOLEDA MONTES

jurado

Villavicencio, octubre del 2020

Agradecimientos

Agradezco a Dios por fortalecerme día a día para avanzar con discernimiento y superar cada prueba de la vida.

A mis padres Pedro Muñoz y María Cárdenas que son mi constante motivación, un apoyo incondicional y un ejemplo de esfuerzo, constancia y dedicación. Gracias a ellos he llegado a este momento tan emotivo de mi vida, me han brindado todo lo que han podido para que yo sea la primera profesional de la familia.

A mis hermanos Milton, Lucía y Johana, quienes me han apoyado y acompañado con entusiasmo en este camino. A mi hermano Miller Muñoz que ha sido un apoyo incondicional desde siempre, quien me orienta e impulsa a tomar decisiones y asumir los retos con fortaleza y sabiduría. Gracias a él elegí mi carrera y la Universidad Santo Tomás. A Steven Salguero quien ha vivido conmigo este proceso con mucho amor, logramos culminar juntos el sueño de ser profesionales.

A mí querida Decana Natalia Mosquera Beltrán. Ella es inspiración, con su liderazgo, sabiduría, exigencia y profundo amor por su profesión, me motiva a ser mejor cada día. Su inigualable comprensión y apoyo como profesional y como persona, me han permitido superar obstáculos y salir victoriosa en cada acción.

A mi director de grado el Ingeniero Ambiental Jair Burgos por su acompañamiento continuo en el proceso y su apoyo. A mis docentes, que en cada espacio académico aportaron a mi vida personal y profesional grandes enseñanzas. En especial a la Docente María Cristina Ordóñez y Mauricio Sánchez, ellos siempre me hicieron ver que todo lo que me propusiera lo lograría. Siempre fueron una constante motivación para mí.

Gracias a Mi amada alma mater que me ha dado más de lo que soñé. La oportunidad de formarme como persona y profesional en una institución de excelente calidad. Me permitió

conocer y vivir en el país que tanto deseaba: Argentina. Y hoy en día me he vinculado laboralmente a esta hermosa Universidad.

Tabla de contenido

1.	Resumen	11
2.	Introducción.....	13
3.	Planteamiento del problema	14
3.1.	Descripción del Problema	14
3.2.	Formulación en torno al problema	15
4.	Objetivos	16
4.1.	Objetivo general	16
4.2.	Objetivos específicos.....	16
5.	Justificación.....	17
6.	Antecedentes.....	19
7.	Marco de referencia	22
7.1.	Marco teórico	22
7.2.	Marco Conceptual	24
7.2.1.	El agua	24
7.2.2.	La condensación.....	24
7.2.3.	Punto de rocío	24
7.2.4.	La humedad atmosférica.....	25
7.2.5	Niebla	25
7.2.6.	Atrapanieblas	25
7.3.	Marco Legal.....	27
8.	Metodología.....	27
8.1.	Fase 1: Zonificación del municipio de Villavicencio según el potencial de aprovechamiento de humedad atmosférica.	30
8.1.1.	Actividad 1. Recolección meteorológica de la humedad y procesamiento de series de tiempo. 30	
8.1.2.	Actividad 2. Elaboración del mapa de humedad.....	31

8.1.3.	Actividad 3. Identificación de la zona con mayor índice de humedad.....	31
8.2.	Fase 2: Diseñar un sistema colector para la captación de agua atmosférica que permita hacer una evaluación de la cantidad de agua recolectada.....	32
8.2.1.	Actividad 1. Revisión bibliográfica para determinar los materiales de diseño....	32
8.2.2.	Actividad 2. Diseño de un sistema colector para la captación de agua atmosférica.	33
8.2.3.	Actividad 3. Análisis de la cantidad de agua recolectada mediante el prototipo atrapanieblas. Para	33
8.3.	Fase 3: Determinar el uso del agua recolectada según parámetros de calidad microbiológica y fisicoquímica.....	34
8.3.1.	Actividad 1. Análisis de la calidad del agua atmosférica.	34
8.3.2.	Actividad 2. Clasificación y evaluación del uso del agua atmosférica.	35
9.	Resultados y análisis	36
10.	Conclusiones.....	51
11.	Bibliografía.....	53

Lista de tablas

Tabla 1. Normatividad vigente sobre el agua en Colombia.	27
Tabla 2. Promedios mensuales de humedad relativa (%).	36
Tabla 3. Resultados obtenidos de la recolección de agua.	42
Tabla 4. Valores máximos permisibles por la normatividad para determinar el uso del agua.	43

Lista de Figuras

Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas de estudio. Por Lina Muñoz, 2020. .37	
Figura 2. Humedad relativa (%) en el mes de junio. Por Lina Muñoz, 2020. 37	
Figura 3. Humedad relativa (%) y temperatura (°C) en la Libertad. Por Lina Muñoz, 2020. ..38	
Figura 4. Humedad relativa (%) y temperatura (°C) en Buenavista. Por Lina Muñoz, 2020...39	
Figura 5. Niebla presente en Buenavista. Fuente: Por Lina Muñoz, 2020. 39	
Figura 6. Rosa de los vientos. Adoptado de: (Carrero & Rodriguez., 2020).....40	
Figura 7. Prototipo bidimensional para la captura de humedad atmosférica. Por Lina Muñoz, 2020.....41	
Figura 8. Diseño del sistema colector bidimensional. Por Lina Muñoz, 2020. 41	
Figura 9. Resultado de las pruebas de pH. Por Lina Muñoz, 2020. 44	
Figura 10. Resultados de conductividad. Por Lina Muñoz, 2020. 45	
Figura 11. Resultados oxígeno disuelto. Por Lina Muñoz, 2020. 46	
Figura 12. Resultados de dureza total. Por Lina Muñoz, 2020.....47	
Figura 13. Resultados de Alcalinidad. Por Lina Muñoz, 2020. 47	
Figura 14. Resultados de Turbiedad. Por Lina Muñoz, 2020. 48	
Figura 15. Resultados de Coliformes totales. Por Lina Muñoz, 2020.....49	
Figura 16. Resultados coliformes fecales. Por Lina Muñoz, 2020.....50	

1. Resumen

El presente proyecto se desarrolló para evaluar la viabilidad de recolección de agua por medio de un sistema de abastecimiento no convencional a partir de la humedad atmosférica; este modelo de captación alternativa de agua conocido como atrapa nieblas es una opción de tecnología que puede solventar la falta del recurso hídrico para uso doméstico y/o recreativo de la ciudad de Villavicencio, Meta. Para eso se definió la zona con mayor índice de humedad atmosférica a partir de un análisis multitemporal y espacial de las series de tiempo diarias registradas en las estaciones meteorológicas activas que tienen cobertura en el municipio y aledañas. Posteriormente se diseñó y construyó un prototipo bidimensional que permitió la captación de agua proveniente de la humedad atmosférica en el punto en donde se identificó un alto potencial de aprovechamiento. Este sistema permitió cuantificar la cantidad de agua recolectada durante el periodo de un mes. Se realizaron análisis de calidad microbiológica y fisicoquímica para determinar el uso del agua según los valores máximos permisibles del decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 del 2007. Se recolectaron 6 litros de agua, con un promedio de humedad relativa y temperatura de 72% y 24°C. Y se determinó que el agua obtenida se puede destinar para uso doméstico y/o recreativo.

Palabras Clave: Agua, Humedad, Sistema no convencional, temperatura, atrapanieblas.

Abstract

This project was developed to evaluate the feasibility of collecting water through an unconventional supply system from atmospheric humidity; This model of alternative water collection known as fog catcher. is a technology option that can solve the lack of water resources for domestic and / or recreational use in the city of Villavicencio, Meta. For this, the area with the highest atmospheric humidity index was defined from a multitemporal and spatial analysis of the daily time series recorded in the active meteorological stations that have coverage in the municipality and its surroundings. Subsequently, a two-dimensional prototype was designed and built that allowed the capture of water from atmospheric humidity at the point where a high potential for use was identified. This system made it possible to quantify the amount of water collected during the period of one month. Microbiological and physicochemical quality analyzes were carried out to determine the use of water according to the maximum permissible values of Decree 1594 of 1984 and Resolution 2115 of 2007. Six (6) liters of water were collected, with an average relative humidity and temperature of 72% and 24 ° C. And it was determined that the water obtained can be used for domestic and / or recreational use.

Key Words: Water, Humidity, unconventional system, temperature, fog catcher.

2. Introducción

El uso del agua ha venido aumentando un 1% anual en todo el mundo desde la década de los 80, impulsado por la combinación de aumento en la población, desarrollo socioeconómico y cambios en los modelos de consumo (UNESCO, 2019).

Las Naciones Unidas (ONU) han estimado que cada persona requiere entre 20 y 50 litros de agua potable al día para su consumo doméstico (Guy et al., 2003). La atmósfera contiene 12 900 km³ de agua dulce, de los cuales 98 % es vapor de agua y 2 % de agua condensada (nubes), lo cual es comparable a los recursos renovables de agua líquida dulce de la tierra habitada (Beysens & Milimouk, 2000). Sin embargo, más de 2.000 millones de personas viven en países que experimentan un alto estrés hídrico por el agua, el promedio mundial de estrés hídrico es de 11%.

Colombia posee un estrés hídrico entre 0-10%, lo cual se clasifica como bajo, mientras que países como Arabia Saudita tiene un estrés hídrico mayor a 1.000 % (FAO; ONU, 2018). No obstante en diferentes zonas del país se vive ante la ausencia de agua por razones climáticas y/o por la falta de sistemas tradicionales de abastecimiento, situación que ha impulsado a que se implementen alternativas de fuentes no convencionales, como los sistemas de captación de lluvia, la recolección de neblina o la condensación de la humedad atmosférica, ya que son técnicas que pueden suministrar un sistema adicional de agua y solventar esta problemática en gran medida (Román, 1999).

En este estudio se ha desarrollado una investigación teórico-práctica para la implementación de un sistema de abastecimiento no convencional de suministro de agua en el municipio de Villavicencio, según el potencial de aprovechamiento de humedad atmosférica, con el fin de hacer una evaluación de la cantidad y calidad del agua recolectada para determinar el uso de la misma, según parámetros de calidad microbiológica y fisicoquímica establecidos en el decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007, para así caracterizar su uso.

3. Planteamiento del problema

3.1. Descripción del Problema

El aumento continuo de la población mundial y el cambio climático global que ha alterado los patrones de temperaturas, lluvias y sequías; introducen desafíos cada vez mayores en cuanto al abordaje de la problemática del agua (Pajares, 2014). Esta valoración de la importancia del manejo del recurso agua está íntimamente vinculada con el cambio general con que la sociedad percibe las cuestiones ambientales (Pajares, 2014).

Colombia se ha caracterizado por ser un país con gran riqueza hidrográfica, sin embargo, el crecimiento de la población, el uso indiscriminado del recurso agua y la falta de estructuras adecuadas para el transporte del mismo, ha hecho que la escasez de este recurso incremente (Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial et al, s,f). Se estima que en el país hay cerca de 12.000 organizaciones pequeñas que se encargan de llevar el agua a los hogares en las zonas rurales y peri-urbanas del país (Moncada, Pérez, & Valencia, 2013)

La ciudad de Villavicencio ubicada en el departamento del Meta tiene 495.227 habitantes (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2018) y 1338 Km², siendo abastecida de agua principalmente por la bocatoma la Honda. El trayecto para transportar el agua presenta inestabilidad del terreno por su ubicación geográfica en la cordillera oriental y las continuas lluvias, por tal motivo se han presentado inconvenientes como avalanchas que causan daños severos en las tuberías que conducen el agua hasta la ciudad, dando paso a crisis de hasta 40 días sin agua, afectando a la comunidad Villavicense (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV), 2019).

Debido a esto, es necesario buscar alternativas con tecnologías prácticas y aplicables, que permitan alcanzar soluciones coherentes a este tipo de inconvenientes para lograr tener una fuente adicional de abastecimiento de agua que mejore el bienestar y la calidad de vida de la sociedad, teniendo en cuenta el factor político administrativo.

3.2. Formulación en torno al problema

¿Cuáles serían los lineamientos y el diseño adecuado para la recolección de humedad atmosférica en la ciudad de Villavicencio?

En base a lo anterior se proponen las siguientes hipótesis:

Hi: La implementación de un atrapa nieblas como alternativa no convencional de recolección de agua es viable en la ciudad de Villavicencio, Meta.

Ho: La implementación de un atrapa nieblas como alternativa no convencional de recolección de agua no es viable en la ciudad de Villavicencio, Meta.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar la viabilidad de recolección de agua a partir de la humedad atmosférica en la zona con mayor índice de humedad en el municipio de Villavicencio mediante la implementación de un atrapa nieblas como alternativa no convencional de suministro de agua.

4.2. Objetivos específicos

- Zonificar el municipio de Villavicencio según el potencial de aprovechamiento de humedad atmosférica.
- Diseñar un sistema colector para la captación de agua atmosférica que permita hacer una evaluación de la cantidad de agua recolectada.
- Determinar el uso del agua recolectada según parámetros de calidad microbiológica y fisicoquímica.

5. Justificación

Los sistemas de aprovechamiento de agua no convencionales hacen referencia a tecnologías tradicionales, que hoy en día son poco implementadas por razones culturales, económicas o ambientales. Sin embargo, es necesario plantear y desarrollar alternativas para el aprovechamiento del agua, una de estas alternativas corresponde a la recolección de agua a partir de la humedad atmosférica (Orozco & Molina, 2016). Ante la escasez de agua y los problemas de abastecimiento puntuales que presenta el municipio de Villavicencio por parte de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado, de este modelo de captación alternativa de agua mediante el aprovechamiento de la humedad atmosférica como fuente no convencional es una opción de tecnología que puede solventar la falta de agua para uso doméstico y/o recreativo de la capital del Meta, pues es una fuente adicional al que presta el sistema de acueducto y segura en términos de cantidad y calidad, mejorando así, el bienestar y la calidad de vida de la sociedad (Comisión Nacional Reguladora de Agua, 1996).

Conjuntamente, este sistema se caracteriza por ser económico, eficiente y puede llegar a funcionar óptimamente, teniendo en cuenta que Colombia cuenta con diversidad de ecosistemas, microclimas y relieve lo cual favorece su implementación, siendo Villavicencio una zona de clima húmedo tropical, con una temperatura que varía entre 20°C y 39°C, siendo la temperatura media 22°C, con los datos más elevados para el mes de febrero; con una precipitación media fluctuante entre 3.484,7 mm a 4.484 mm, con mayor registro de lluvias en el mes de mayo y con humedad relativa promedio de 79%, siendo el mes de mayo el más alto (85%) y febrero el de menor humedad relativa (68%) ideal para el desarrollo del tipo de dispositivo que se pretende diseñar en este trabajo de investigación. De igual forma este posee un gran valor social ya que logra beneficiar aquellas poblaciones que se encuentran alejadas de cuerpos hídricos o que no poseen acceso al recurso hídrico.

Además es una alternativa eco-amigable ya que su impacto en el ambiente es mínimo según estudios realizados previamente en Chile, por lo cual se perfila como modelo sostenible para las actuales y futuras generaciones (Huertas & Molina, 2016). Adicionalmente, la implementación de este diseño otorga una solución que coopera con el cumplimiento del objetivo seis (6) de la agenda

de desarrollo mundial para el 2030 adoptada por la Asamblea General de las naciones unidas en el año 2015 denominado; Agua y saneamiento; que tiene como objetivo garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos basado en el agua libre de impurezas y accesible (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015). Es decir que la puesta en marcha de este dispositivo contribuye con el desarrollo social, económico y ambiental de Villavicencio como ciudad capital. En la región no se ha realizado ningún estudio destacado con relación a este tema, por eso la relevancia de la realización de este proyecto de investigación.

6. Antecedentes

La niebla ha sido estudiada desde tiempos inmemoriales por sus consecuencias positivas y negativas, relacionadas al agua que forma asociaciones vegetacionales, a las catástrofes en las comunicaciones, a la contaminación de lluvias y nieblas ácidas, entre otras razones, que incluyen la producción de agua a partir de atrapanieblas (Cereceda et al, 2014).

Esta última razón implica de manera positiva obtener agua de manera no convencional en muchas partes del mundo, incluyendo zonas áridas. Ya que según el artículo *Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural*, la humedad atmosférica es una fuente alternativa de agua que se puede implementar en diferentes zonas, incluyendo las zonas áridas y semiáridas (Cereceda, 2000). Se puede complementar con las fuentes tradicionales en los sistemas de abastecimiento urbano de agua, como ocurre en Chile, Perú, Namibia e Islas Canarias, donde se utiliza como una fuente de agua potable (Shanyengana, 2002).

Un ejemplo claro y exitoso en el uso de la humedad atmosférica, fue desarrollado por varias universidades de Chile. De acuerdo a los estudios realizados entre junio de 1982 y marzo de 1983 en la ladera de los cerros Carmelita y El Tofo, desde los 300 metros hasta los 900 metros (ubicando cada 100 metros un instrumento), se constató que los 800 metros en la cima de El Tofo es la mejor localización del área y en el transepto del cerro Carmelita en los 900 metros fue otro buen lugar de captación, decayendo rápidamente desde los 500 metros hacia abajo (Schemenauer et al., 1997).

La gran hazaña de este episodio, fue atreverse a hacer un proyecto que demostró al mundo que el recurso de la niebla es factible y fácil de implementar. Lo encomiable del equipo CIID, Universidad de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y CONAF, es que fueron pioneros en suministrar agua de niebla en forma masiva, demostrando que es de buena calidad y constituye una solución para los pueblos alejados de fuentes de agua potable (Cereceda et al, 2014). Normalmente, los atrapanieblas más usados en Chile han tenido una superficie de malla de 40 m², ubicada en medio de dos postes, hechos de Eucaliptus, separados por 10 metros y con una altura que no supera los 6 metros desde el suelo, se construyeron 3 atrapanieblas, cada uno de ellos con

superficie de malla de 150 m², usando postes metálicos de 9 metros de altura y distantes a 20 metros (Cereceda et al, 2014).

A partir del estudio realizado en El Tofo (Schemenauer et al., 1997) en los parámetros monitoreados en un instrumento de teflón con cuerdas, diseñado especialmente para tomar muestras de la niebla, limpio de polvo y en dos muestras, se encontró que todos los parámetros analizados cumplían los requisitos de la norma de calidad de agua potable (NCH 409) a excepción del pH, el cual muestra niveles de acidez fuera de la norma. Esto concuerda con mediciones realizadas en Alto Patache por Sträter en 2009, donde se encontraron niveles de pH de 3,3, siendo los rangos aceptados por la norma chilena de 6,5 a 8,5, mientras que los rangos recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) oscilan entre 6,5 a 9,5 (Cereceda et al, 2014).

Lo anterior demuestra que Chile ha sido el país pionero en la implementación de este tipo de alternativa no convencional, los estudios se han venido realizando desde el siglo pasado y hasta el día de hoy sus sistemas siguen funcionando (Cereceda et al, 2014).

Por su parte el experimento en el distrito de Villa María del Triunfo en Lima, parecen enormes redes de voleibol abandonadas que, en una de las laderas de las muchas colinas en la capital peruana miran en dirección oeste hacia el océano Pacífico (Toledo H., 2017). Durante nueve meses del año gran parte de la ciudad costera está envuelta en la niebla del mar y estas redes están utilizando para capturar la niebla en su malla de plástico grueso y las gotas caen en canales improvisados cuyo desagüe se efectúa en tanques del tamaño de piscinas ubicados más abajo en la ladera (Toledo H., 2017). Usando cuatro de estas simples estructuras de ocho metros por cuatro metros, esta comunidad, encaramada en las estribaciones de los Andes, en el distrito de Villa María del Triunfo, puede recolectar alrededor de 240 litros de agua cada noche y una cantidad similar durante el día. Irónicamente, un lugar que está casi siempre envuelto en niebla, se llama Bellavista (Toledo H., 2017).

Uno de los estudios más recientes se realizó en México en el año 2015, donde se realizó la recolección de agua niebla en la microcuenca del río Pixquiac, en una zona montañosa con interacción planta-atmósfera, para recolectar el agua niebla se utilizaron captadores de forma de rectángulo de malla raschel de 3 m³, 1 metro de largo y 3 metros de base, se le colocó una canaleta

con un diámetro de 5.08 y largo de 3.2 con una manguera adherida en uno de los extremos para que el agua recolectada se almacenará en el tanque, así se obtuvo en promedio 8 litros de agua diarios (Barradas et al., 2015).

Colombia también ha sido un lugar de estudio del tema y un ejemplo claro se da en la capital de la república donde Vargas (2016) diseñó un sistema de recolección de agua por rocío y niebla para el abastecimiento de agua en la comunidad del barrio la Esperanza, localidad de Chapinero, Bogotá; con unas variables de temperatura de 19°C, lluvia entre 80 a 120 mm y humedad relativa de 88%. El diseño constó de tres atrapanieblas contruidos con malla tipo raschel (polietileno) de 1 metro por 1 metro a 2 metros del nivel del suelo con un porcentaje de sombra del 50% color negro, este sistema permitió recolectar un promedio de 1,82 litros diarios (Vargas & García, 2016).

Los casos expuestos anteriormente son algunos de los que se han desarrollado alrededor del mundo y su éxito es lo que lleva a la necesidad de implementarlos de manera continua y progresiva para satisfacer la necesidad del agua en lugares en donde este recurso escasea.

7. Marco de referencia

7.1. Marco teórico

Colombia cuenta con ciudades donde el acceso al agua es restringido o no continuo como es el caso de la ciudad de Villavicencio. Además de contar con la presencia de barrios de escasos recursos, que no poseen infraestructura adecuada para acceder al servicio de agua potable, la ciudad ha presentado problemas con la prestación del servicio desde décadas atrás por el dinamismo del tiempo. La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio E.S.P (E.A.A.V) cuenta con 7 plantas de tratamiento de agua potable, de las cuales tres captan el agua de fuentes superficiales (Quebrada Honda, Caño Mazairo, Caño Buque Caño Blanco) que funcionan por gravedad y los cuatro restantes de fuentes subterráneas que funciona con sistema de bombeo (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio, 2012).

El sistema actual de suministro de agua que surte al municipio de Villavicencio es la quebrada “La Honda”, fuente superficial de abastecimiento que corresponde al 90% del suministro total de acueducto, el otro 10% está conformado por pequeños prestadores los cuales tienen sus sistemas independientes de abastecimiento mediante el aprovechamiento de las fuentes de agua superficial y subterránea presente en la zona (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2014).

Sin embargo la ciudad de Villavicencio por su ubicación en el piedemonte llanero ha presentado múltiples derrumbes y avalanchas precisamente en la zona donde se ubica la bocatoma la Honda, alterando el funcionamiento de la planta y por consiguiente la prestación de servicio (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio, 2012)

Los problemas de infraestructura y de las alteraciones provocadas por el clima llevan a la necesidad de plantear un estudio en la viabilidad de otras alternativas para el acceso al agua a partir de la captación de humedad atmosférica debido a los altos niveles de humedad del país, se puede pensar que es posible proyectarla como una fuente no convencional para la región.

De acuerdo a la revisión bibliográfica, uno de los estudios más relevantes en los que se encuentran características similares respecto al experimento hecho en Buenavista, es el realizado en el Alto Patache que es una ciudad ubicada desierto de Atacama, Chile. Es pertinente mencionar que la humedad relativa en Buenavista es de 87% mientras que en Chile es de 80%. Está a una altura de 600 m.s.n.m. Presenta condiciones climáticas de humedad relativa de 80%, temperatura media anual 12°C y precipitación de 1 mm anual. Su ubicación cerca de la zona costera permite que tenga la presencia continua de la niebla, conociéndose como “el oasis de la niebla”. El estudio se realizó en el mes de septiembre, siendo el mes con mayor humedad relativa, instalando prototipos de atrapanieblas conformados por postes de madera, 8 m² de malla raschell de 35% de espesor a 2 metros de altura del suelo, una canaleta que lleva el agua hasta el tanque recolector, logrando obtener hasta 23 litros de agua al día (Osses et al., 2017).

Desde el siglo pasado este sistema convencional se ha venido implementando y ha sido tema de estudio principalmente en Chile. Cereceda (2000) en una de sus investigaciones relata que se instalaron 50 atrapanieblas en la cima del cerro el Tofo cada uno con una superficie de 48m² de malla raschel y sostenidos por postes de madera de eucalipto, el agua recolectada se transporta mediante un sistema de tubería de 6 km para ser entregada a cada casa (Cereceda, 2000).

Por otra parte, en una comunidad agrícola de Majada Blanca comuna de coquimbo, se desarrolló el proyecto denominado “La niebla como fuente del recurso hídrico”, en el cual se estableció una parcela demostrativa de 0.25 hectáreas de pan de azúcar, allí se instalaron tres atrapanieblas bidimensionales con malla Rachel de 153m² cada uno, los cuales han tenido una colecta diaria por m² de 2.5 litros diarios, es decir que estarían recalentado 1.150 litros diarios. El agua capturada se transporta por un conducto para ser almacenada en un tanque de 12.000 litros y se usa para hacer riego en la parcela demostrativa (Cereceda, 2000).

Al considerar las fallas de la prestación del servicio de E.A.A.V y los estudios hechos en Chile con resultados positivos, se debe tener en cuenta al desarrollar el experimento de atrapanieblas en la ciudad de Villavicencio, que los estudios coinciden en el uso de materiales que son de fácil acceso y que han demostrado excelentes resultados, tomando la metodología como guía en la implementación del diseño en la ciudad, ya que promete ser un sistema funcional y de fácil acceso a la población.

7.2. Marco Conceptual

7.2.1. El agua.

Es una sustancia elemental que permite la vida en el planeta. En la Tierra, el agua está en continuo movimiento en sus tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso; su distribución es bastante variada, ya que muchas regiones tienen en abundancia mientras que en otras su disponibilidad es escasa (Vera & Camillon, s.f). Los seres humanos dependen de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales (SEMARNAT, 2012). Una de las grandes dificultades que enfrenta la humanidad es la falta de agua potable.

7.2.2. La condensación.

Es el cambio de la fase gaseosa a líquida, ocurre cuando la molécula de vapor de agua choca con una superficie cuya temperatura es menor que la temperatura de saturación para la presión a la que se encuentra el vapor; durante este proceso la molécula de agua libera energía cinética en forma de calor enfriándose hasta su punto de rocío, formando pequeñas gotas de líquido (Rice, 2011).

7.2.3. Punto de rocío.

Es la temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor de agua que contiene una masa de aire generando niebla, neblina o incluso escarcha si la temperatura es lo suficientemente baja (Soriano M., 2015).

7.2.4. La humedad atmosférica.

“Es la cantidad de vapor de agua que se tiene respecto a la cantidad necesaria para llegar al punto de saturación, se expresa en porcentaje” (IDEAM, 2014). La saturación se produce por un aumento de la humedad relativa con una misma temperatura o por el descenso de la temperatura con la misma humedad relativa, un aire saturado tiene humedad relativa de 100% llegando al punto de rocío (IDEAM, 2014).

7.2.5. Niebla.

Se define como una masa de aire compuesta por minúsculas gotas de agua (1 a 40 micrones), las que por ser tan livianas no caen, sino que se mantienen suspendidas a merced del viento si se encuentran en la superficie de los continentes o de los océanos, mientras que si están en la atmósfera se denominan nubes (Cereceda et al, 2014)

7.2.6. Atrapanieblas.

Son tecnologías cuya estructura tiene por objetivo captar las partículas de agua que posee la humedad mediante el proceso de condensación, y poder aprovechar este recurso hídrico. En este proceso intervienen factores meteorológicos, topográficos y estacionales, los cuales condicionan el rendimiento del sistema (Ministerio de Salud, 2010).

Estos sistemas están compuestos por: Una malla colectora hecha con hilos de polipropileno, similares al nylon con una luz determinada, que deja pasar la humedad o niebla y sobre la cual condensan el contenido en agua de la misma, unos soportes que sirven de estructura para la malla colectora, una canaleta recolectora sobre la cual, por gravedad, se recoge el agua condensada, un depósito o recolector donde se almacena el agua acumulada (Quintanilla et al, 2009).

La Organización de los Estados Iberoamericanos menciona que para su óptimo funcionamiento cada uno de los paneles de un atrapanieblas debe estar cubierto con una malla cuya textura es de un diámetro tan pequeño, que solo puede ser atravesado por la punta de un lápiz; este sistema puede atrapar entre 4 a 5 litros diarios de agua, ubicando los paneles en dirección perpendicular al viento y a una altura entre los 700 a 900 (dependiendo de las condiciones climatológicas de cada región). Cuando esto ocurre las gotas se acumulan en la malla hasta caer por su propio peso en una canaleta. Luego, son llevadas a un estanque cerrado para evitar su contaminación con el aire exterior y mantener su pureza (Organización de los Estados Iberoamericanos, 1998)

Los tipos de atrapanieblas más comunes son (Cereceda et al, 2014):

- Diseño bidimensional: consisten en una superficie de colección (malla raschel u otra), enmarcada o tensada entre dos postes, de manera que se ubique perpendicularmente con respecto a la dirección del viento. Estos modelos son los más comunes y varían en cuanto a dimensiones y materialidad en las soluciones de empotramiento al suelo y sistema de fijación de la malla.
- Diseño tridimensional: consiste en varias superficies de colección (malla raschel u otra), enmarcada en dos o más postes de manera que su ubicación permite capturar el agua de la niebla proveniente de todas las direcciones. Normalmente estos diseños se usan en proyectos de innovación.

Para que el vapor de agua se condense, se requieren las siguientes condiciones (Olivas, 2013):

- El aire debe tener una humedad relativa cercana al 100%.
- Es necesario que se produzca un enfriamiento o que el aire saturado reciba, sin cambiar de temperatura, una aportación mayor de vapor de agua. Entre más caliente sea el aire, mayor cantidad de vapor de agua contendrá y al enfriarse hasta alcanzar el punto de rocío, el aire no podrá mantener todo el vapor de agua, una parte de este se condensa en pequeñas gotas formando la niebla.
- Es indispensable de una superficie sólida sobre la cual se condense el vapor de agua

7.3. Marco Legal

En Colombia la normatividad aplicable para este tipo de sistema de recolección y aprovechamiento de agua atmosférica se encuentra orientada en promover el avance de tecnologías, actividades y procesos innovadores con el fin de generar el desarrollo sostenible del país, además de la reglamentación relacionada con el uso y consumo de agua independientemente de la fuente de abastecimiento, en donde se debe tener en cuenta las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano o uso recreativo (*Tabla 1*)

Tabla 1. Normatividad vigente sobre el agua en Colombia.

Norma	Descripción
Constitución política de Colombia de 1991	TITULO II CAPITULO 3 DE LOS DERECHOS COLECTIVOS Y DEL AMBIENTE
	<i>Artículo 79.</i> Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. <i>Artículo 80.</i> El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

Tabla 1. *Continuación*

Ley 99 del 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.
Ley 1286 de 2009	Por la cual se modifica la Ley 29 de 1990, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia y se dictan otras disposiciones.
CAPITULO II	
<i>Artículo 14:</i> Coordinar la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación con las políticas nacionales, regionales y sectoriales del Estado, en financiamiento, educación, cultura, desarrollo económico, competitividad, emprendimiento, medio ambiente, seguridad social, salud, agricultura, minas y energía, infraestructura, defensa nacional, ordenamiento territorial, información, comunicaciones, política exterior y cooperación internacional y las demás que sean pertinentes.	
Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. <i>Artículo 2°.</i> - Fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto: 1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.

Tabla 1. *Continuación*

	Artículo 314°. - Corresponde a la administración pública: h) Señalar prioridades para el establecimiento de proyectos, y para utilización de las aguas y realización de planes de ordenación y manejo de las cuencas, de acuerdo con factores ambientales y socioeconómicos.
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. <i>Artículo 1°. Objeto y campo de aplicación.</i> El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada. Aplica a todas las personas prestadoras que suministren o distribuyan agua para consumo humano, ya sea cruda o tratada, en todo el territorio nacional, independientemente del uso que de ella se haga para otras actividades económicas, a las direcciones territoriales de salud, autoridades ambientales y sanitarias y a los usuarios.
Decreto 1594 de 1984	Se encarga de establecer los criterios físico-químicos y micro- biológicos mínimos de la calidad de las aguas recreativas. Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario y los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario
Resolución 2115 del 22 de junio del 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Nota: *Descripción de la normatividad vigente. Por Lina Muñoz, 2020.

8. Metodología

El estudio se realizó en el municipio de Villavicencio, el cual se encuentra ubicado en el piedemonte de la Cordillera Oriental, localizado en la parte noroccidental del departamento del Meta, en la margen derecha del río Guatiquía, con una extensión aproximada de 130.085 ha (Alcaldía de Villavicencio, 2018). Su clima se clasifica como húmedo tropical, con una precipitación media fluctuante entre 3.484,7 mm a 4.484 mm, con mayor registro de lluvias en el mes de mayo (Alcaldía de Villavicencio, 2018). La temperatura varía entre 20°C y 39°C, siendo la temperatura media 22°C, con los datos más elevados para el mes de febrero y la humedad relativa de la región es de 79% en promedio, siendo el mes de mayo el más alto (85%) y febrero el de menor humedad relativa (68%) (Hernández et al., 2014). Esta última se tuvo en cuenta para determinar la influencia sobre la recolección de agua por el atrapa nieblas en la zona determinada a partir de la zonificación.

8.1. Fase 1: Zonificación del municipio de Villavicencio según el potencial de aprovechamiento de humedad atmosférica

8.1.1. Actividad 1. Recolección meteorológica de la humedad y procesamiento de series de tiempo.

Se solicitaron los registros de humedad relativa (%) de los últimos 30 años en la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia- IDEAM, para las estaciones meteorológicas activas que contengan datos de la variable en mención: Unillanos, Vanguardia, La libertad y Cabaña la HDA. Una vez obtenida esa información se revisó cada dato diario, mensual y anual para verificar que la información estuviese completa. Para ello se organizaron los datos en un libro de cálculo de Excel para hacer una regresión y correlación lineal de modo que aquel mes que presentara ausencia de valores se le aplicó la *Ecuación 1* para hallar

los datos faltantes (Vinicio et al, 2016). Una vez se completaron los datos se calculó el promedio mensual de los años de estudio para cada estación.

$$y = a + bx$$

Ecuación 1. Ecuación de regresión lineal.

8.1.2. Actividad 2. Elaboración del mapa de humedad.

Se desarrolló cartografía temática para apreciar la distribución multitemporal y espacial de la humedad relativa en el municipio de Villavicencio a partir de isolíneas, ya que es una herramienta que permitió conocer la variación de este parámetro (Leonardo, 2016) en el periodo de tiempo entre el 1990 y 2016. Para lo cual se descargó un modelo de elevación digital DEM y el mapa de Villavicencio a escala 1:75000. Este se elaboró mediante el software ArcGis versión 10.2.2 y se siguieron estos pasos (Franco, 2008): 1) Georreferenciación de las estaciones, 2) Interpolación y generación de superficie de higrometría, 3) Generación isolíneas y áreas de humedad 4) Elaboración de los 12 mapas de humedad relativa (%).

8.1.3. Actividad 3. Identificación de la zona con mayor índice de humedad.

A partir de los mapas de humedad, se delimitaron las diferentes zonas según el índice de humedad en el municipio de Villavicencio con color azul, definiendo así, los posibles puntos para la implementación del prototipo de captación. Se tomaron como criterios de elección: el porcentaje de humedad relativa (%), la temperatura (°C), un lugar que garantizara el buen estado y funcionamiento del prototipo, condiciones de acceso y topografía del terreno y seguridad para el personal de trabajo. Se realizó una visita de Campo a las 7:00 am al lugar donde dio el mayor porcentaje de humedad para verificar la información por medio de un medidor higrómetro termómetro referencia *clock & hygro* Thermometer, de igual forma se realizó una visita de campo

en el mismo horario a la vereda Buenavista que por sus condiciones geográficas y sus antecedentes climáticos podría ser un lugar clave para la instalación del prototipo.

8.2. Fase 2: Diseñar un sistema colector para la captación de agua atmosférica que permita hacer una evaluación de la cantidad de agua recolectada

8.2.1. Actividad 1. Revisión bibliográfica para determinar los materiales de diseño.

El trabajo de revisión bibliográfica constituye una etapa fundamental de todo proyecto de investigación y debe garantizar la obtención de la información más relevante en el campo de estudio, de un universo de documentos que puede ser muy extenso (Aleixandre et al., 2011). La información se presenta en multitud de formatos, unos más accesibles, más reconocidos y mejor valorados “académicamente” que otros, entre estos: libros, revistas, actas de congresos, reportes técnicos, normas, tesis e Internet (Gómez, 2014). Por lo tanto, se realizó una revisión bibliográfica sobre informes, documentos, estudios y trabajos de investigación desarrollados sobre la eficiencia de materiales en sistemas de atrapanieblas. Se tuvo en cuenta artículos científicos e informes que datan de los años 80 en adelante, considerando los conceptos anunciados en el título, apelando a las variables de investigación. A partir de aquí esta revisión fue más específica omitiendo los tipos de documentos que fuesen artículos de opinión, apoyando la consulta en fuentes más densas como lo son artículos científicos en buscadores como Google académico y libros. Lo anterior en consideración a lo expuesto por Omar Cabrales Salazar, Doctor en Ciencias Sociales y Humanas de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá y profesor investigador desde hace más de 20 años en programas de pregrado y de postgrado en áreas de las ciencias sociales y la educación. Quien expone aspectos tales como la relevancia, la pertinencia, procedencia y el análisis de los autores para realizar una revisión bibliográfica. Además, se seleccionan aquellos estudios que mostraron ser eficientes respecto a los resultados, la pertenencia de materiales respetuosos con el medio ambiente y su alta resistencia a la intemperie.

8.2.2. Actividad 2. Diseño de un sistema colector para la captación de agua atmosférica.

El diseño del sistema colector para la captación de agua atmosférica, se basó en el uso de los materiales recomendados por la Universidad de Chile en uno de sus estudios (Quintanilla et al, 2009) debido a que en este se realizó una revisión de bibliográfica detallada de materiales y se definieron los siguientes:

- Tipo de diseño: Bidimensional, ubicado de forma perpendicular en la dirección del viento predominante, aumentando de esta manera la eficiencia en la obtención de agua.
- Soporte estructural: Postes de madera, empotrados por compactación en el suelo y reforzado con rocas para asegurar la estabilidad y el drenaje de agua, evitando así la formación de hongos.
- Elemento de captación: malla raschel de color negro con 35% espesor, fabricada en polietileno compuesta por monofilamentos cilíndricos que mejoran la captación de las gotas de agua. Además, resulta ser un material resistente antes los fuertes vientos.
- Sistema conductor y tanque de almacenamiento: canaleta de material plástico tipo pvc ubicada en la parte inferior de la malla y sostenida mediante alambres galvanizados que reciben y transportan por gravedad el agua que escurre de la malla asta almacenarla en un tanque propuesto para tal fin.

Finalmente se optó por incluir un techo elaborado con tejas de polipropileno y aislante térmico, con la finalidad de brindar sombra al prototipo, disminuyendo así la temperatura e impidiendo que el agua lluvia esté en el sistema.

8.2.3. Actividad 3. Análisis de la cantidad de agua recolectada mediante el prototipo atrapanieblas.

Para evaluar la cantidad de agua recolectada se construyó un sistema de recolección de agua, el cual consiste en un conducto de tuberías de material plástico tipo pvc que va conectado a la

canaleta colectora, el agua se deposita en un tanque plástico marcado en litros para su almacenamiento.

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó una jornada de muestreo semanal, durante las 4 semanas del mes de noviembre del año 2019. En cada una de ellas se registró de la cantidad de agua obtenida en litros. Así como la temperatura y humedad atmosférica.

8.3. Fase 3: Determinar el uso del agua recolectada según parámetros de calidad microbiológica y fisicoquímica

8.3.1. Actividad 1. Análisis de la calidad del agua atmosférica.

Se realizaron análisis *in situ* mediante una sonda multipar amétrica digital de referencia Multi 3630 IDS, para los parámetros químicos de Oxígeno disuelto, conductividad y pH, y se usó un termómetro higrómetro referencia clock & hygro Thermometer para determinar la humedad relativa (%) y la temperatura (°C). Para el análisis *ex situ*, las muestras extraídas se llevaron al laboratorio certificado TECNO Ambiental S.A.S, para ser procesadas y analizadas, específicamente en microbiológicos (coliformes fecales y coliformes totales) los cuales son los criterios estipulados en la legislación para determinar su calidad. En el laboratorio de aguas de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio se realizó test de dureza total con un juego analítico para la determinación de dureza total de referencia visocolor HE H 20 F 915005, alcalinidad con un test de alcalinidad con capacidad de ácido asta pH 8,2 y pH 4,3 referencia MColortest™ 1.11109.0001, nitritos con un espectrofotómetro referencia spectroquant Prove 600 y turbidez con un medidor de turbidez de referencia Milwaukee Mi415. Las muestras se mantuvieron a una temperatura de 4°C cuando se transportaron al laboratorio para mantener la calidad de las mismas (Nava et al., 2011).

8.3.2. Actividad 2. Clasificación y evaluación del uso del agua atmosférica.

Se realizó una comparación entre los valores resultantes del análisis de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua atmosférica recolectada y los valores límites admisibles de los criterios fisicoquímicos y microbiológicos mínimos de la calidad del agua para consumo humano, uso doméstico y fines recreativos establecidos por el decreto 1594 de 1984, por medio del cual se establecen los usos del agua y residuos líquidos y la 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.

9. Resultados y análisis

9.1. Fase 1: Zonificación del municipio de Villavicencio según el potencial de aprovechamiento de humedad atmosférica

A partir de los datos de humedad relativa se determinó el promedio mensual de todos los años para cada estación (Tabla 2). Se elaboró un mapa con la localización de las estaciones meteorológicas (Figura 1) y 12 mapas de humedad relativa (%) correspondientes a los datos mensuales de los años de estudio, siendo el mes de junio el que presentó el mayor porcentaje de humedad 87,9% (Figura 2). Esto indica que el municipio de Villavicencio tiene porcentajes de humedad altos en comparación a países donde se han realizado estudios similares, un claro ejemplo es Chile que cuenta con un porcentaje de humedad de 50,8% (Bautista et al., 2011) .

Tabla 2. *Promedios mensuales de humedad relativa (%).*

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1	71,28	71,97	76,3	82,68	85,13	86,26	86,05	83,74	81,77	82	82,29	77,89
2	66,82	64,6	71,3	78,73	81	82,4	81,4	78,38	76	77,23	78,84	74,38
3	71,73	71,42	76,11	82,28	83,3	84,79	85,16	82,99	80,7	80,81	80,48	77,72
4	75,96	72,39	76,73	85,42	87,67	87,92	86,35	84,92	83,79	83,79	83,84	82,28

Nota: *Cada número de la primera columna hace referencia a las estaciones meteorológicas analizadas, cabaña la hda (1), vanguardia (2), unillanos (3) y la libertad (4). Por Lina Muñoz, 2020.

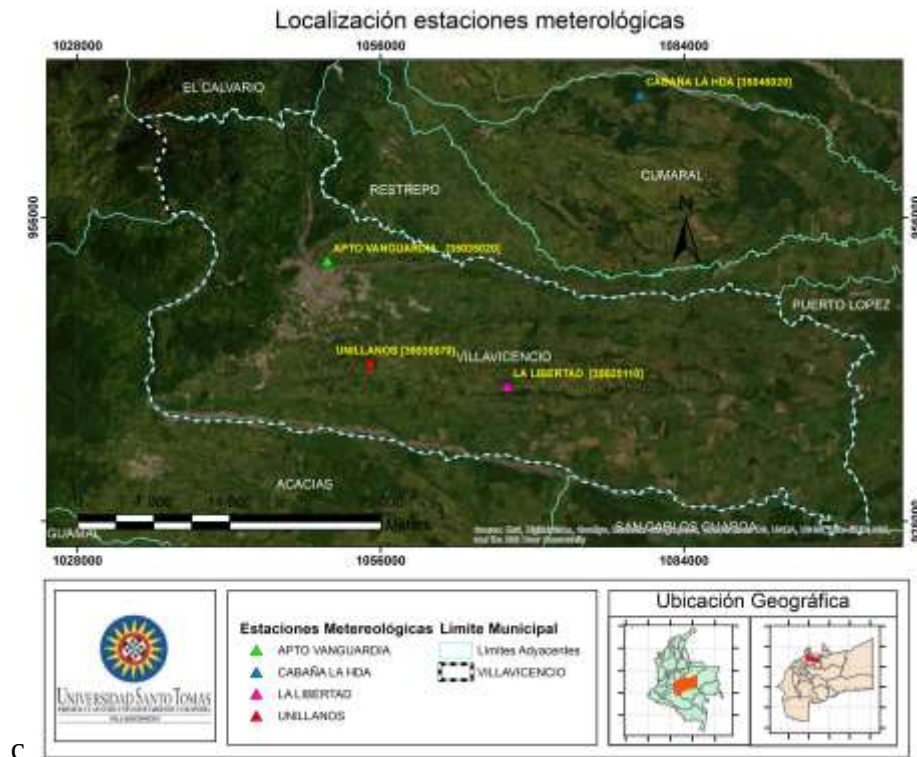


Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas de estudio. Por Lina Muñoz, 2020.

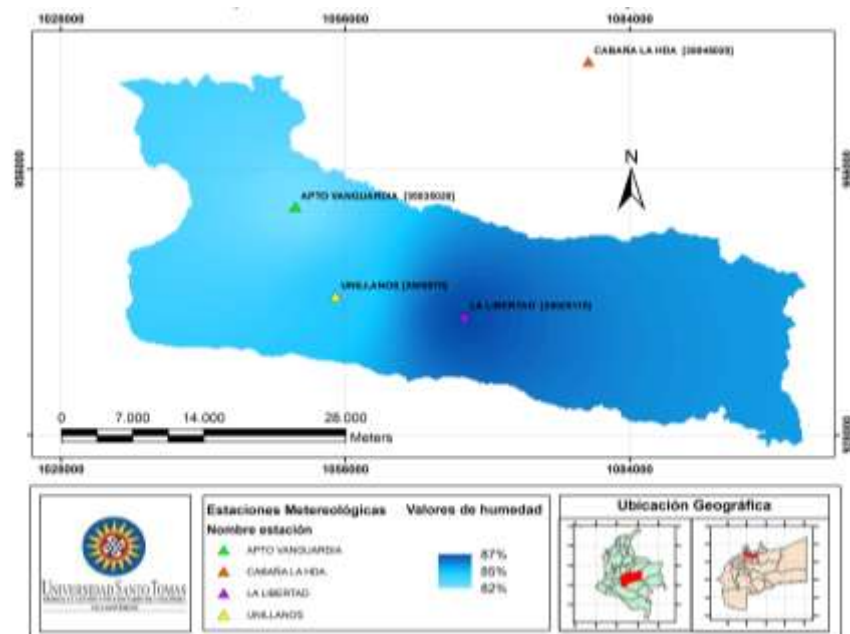


Figura 2. Humedad relativa (%) en el mes de junio. Por Lina Muñoz, 2020.

- ❖ A partir de los mapas se obtuvo que la zona con mayor índice de humedad es La Libertad, ubicada en el km 17 vía Puerto López, con un promedio de humedad relativa de 87%. En la visita a campo se obtuvo un 85% de humedad relativa a una temperatura de 23.4 °C (Figura 3). La zona aledaña está compuesta por terreno plano con poca vegetación y los senderos que están en la orilla de la vía son de propiedad privada, por tal razón no se consideró un lugar óptimo para la instalación del prototipo. Sin embargo al realizar la visita a campo a Buenavista teniendo en cuenta los criterios de selección se obtuvo un porcentaje de humedad de 87 % a una temperatura de 21.3 °C (Figura 4), al ser una zona con terreno compuesto por montañas y abundante vegetación arbórea, es posible evidenciar la niebla en algunos horarios del día (Figura 5). Para llegar al lugar se debe tomar la vía antigua hacia Bogotá. Esta cuenta con constante circular de vehículos y el transporte público que llega hasta la finca que está ubicada a poca distancia de la carretera principal, al ser una propiedad privada no se tenía riesgo, de daños, robos o afectaciones negativas al prototipo, de igual forma no representaba ningún riesgo para el personal a la hora de realizar el muestreo.



Figura 3. Humedad relativa (%) y temperatura (°C) en la Libertad. Por Lina Muñoz, 2020.



Figura 4. Humedad relativa (%) y temperatura (°C) en Buenavista. Por Lina Muñoz, 2020.



Figura 5. Niebla presente en Buenavista. Fuente: Por Lina Muñoz, 2020.

9.2. Fase 2: Diseñar un sistema colector para la captación de agua atmosférica que permita hacer una evaluación de la cantidad de agua recolectada.

Siguiendo las recomendaciones de la Universidad de Chile, (Quintanilla et al, 2009):

Se diseñó un sistema de tipo bidimensional (Figura 7) y (Figura 8) compuesto por postes de madera (A) de 3 metros de largo, que van empotrados al suelo. En los dos postes se sostiene una malla tipo raschel de color negro (B) con medidas de 1 metro de largo y 3 metros ancho que se instaló perpendicular a la dirección del viento, lo cual se verificó mediante la rosa de los vientos (Figura 6) para que pudiera captar las gotas de agua contenidas en la niebla. Una vez las gotas pegan a la malla caen por gravedad hasta la canaleta de material plástico tipo pvc (C) con medidas de 3.3 metros de largo y 4 pulgadas de diámetro, ubicada en la parte inferior de la malla. Una vez el agua recorre la canaleta esta es conectada con un balde de almacenamiento de 20 litros (F) gracias a un sistema conductor constituido por un tubo de material plástico tipo pvc de 30 cm de largo y un diámetro de 2 pulgadas (E). A su vez, el balde ubicado en el terreno se cubrió con aislante para impedir el acceso de agua lluvia y/o materia orgánica, y mantener una baja temperatura, permitiendo llevar el registro del agua obtenida.

Finalmente se diseñó un techo con 6 tejas de polipropileno (E) para impedir la caída de lluvia en el prototipo, el tejado se recubrió por la parte interior con aislante térmico para disminuir el impacto de los rayos solares.

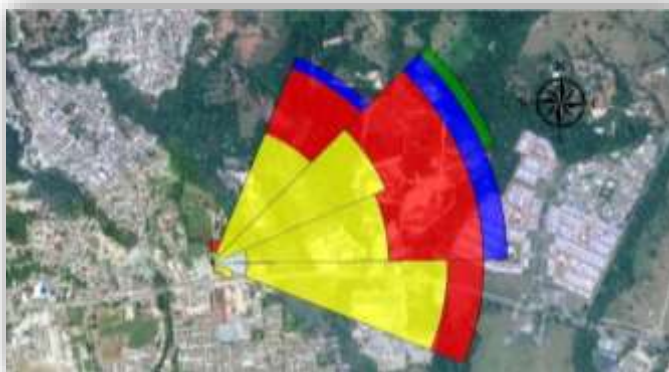
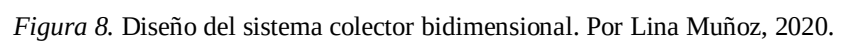
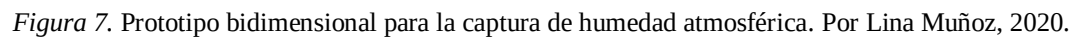


Figura 6. Rosa de los vientos. Adoptado de: (Carrero & Rodriguez., 2020)



El sistema recolector permitió cuantificar la cantidad de agua en litros (L) obtenida del prototipo. Se midieron los parámetros de temperatura (°C) y humedad relativa (%) en el momento de tomar cada una de las cuatro (4) muestras que se hicieron una vez a la semana durante el mes de noviembre del año 2019 (**Tabla 3**), tal y como lo sugería el cronograma del proyecto en desarrollo, donde se evidencia que a mayor temperatura 26,7 °C, la humedad relativa es menor 70% y por ende la cantidad de agua recolectada disminuye 1,2 litros.

Tabla 3. Resultados obtenidos de la recolección de agua.

Parámetro	Unidades	Muestras y resultados obtenidos			
		1	2	3	4
Agua recolectada	L	2	1,5	1,2	1,3
Humedad relativa	%	75	70	70	73
Temperatura	°C	22,3	23,1	26,7	24,4

Nota: Valores de los parámetros mencionados obtenidos en cada muestra. Por Lina Muñoz, 2020.

Fase 3: Determinar el uso del agua recolectada según parámetros de calidad microbiológica y fisicoquímica.

Los resultados obtenidos de las pruebas in situ y ex situ se muestran a continuación:

Los valores máximos establecidos en el decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007, indica que al agua recolectada por el sistema diseñado se le puede dar un uso doméstico y de actividades recreativas. De todos los parámetros establecidos, la turbiedad fue el único parámetro que no cumplió con los límites máximos permisibles (**Tabla 4**), sin embargo al someter el agua a un tratamiento de potabilización se podría consumir.

Tabla 4. Valores máximos permisibles por la normatividad para determinar el uso del agua.

Parámetro	Unidades	Muestras y resultados obtenidos				Valor máximo permisible		Cumple/no cumple	Tratamiento requerido
		1	2	3	4	Resolución 2115 de 2007	Decreto 1594 de 1984		
Ph	Unidades	7,2	7,5	7,44	7,26	Entre 6,5 y 9	Entre 5 y 9	cumple	convencional
Conductividad	us/cm	89,9	29,1	47,6	14,5	1000	N/A	cumple	convencional
Oxígeno disuelto	%	7,5	7,14	7,48	7,1	N/A	N/A		
Dureza total	mg/L	19,63	53,55	32,13	24,99	300	N/A	cumple	convencional
Alcalinidad	mg/L	54,04	126,11	36,03	144,12	200	N/A	cumple	convencional
Turbiedad	UNT	1,47	7,28	4,74	3,22	2	N/A	No cumple	
Coliformes totales	NPM/100 ml	4839	4640	7270	4839	N/A	20000	cumple	convencional
Coliformes fecales	NPM/100 ml	49	920	51	17	N/A	2000	cumple	convencional

Nota: Verificación de cumplimiento de la normatividad Vigente. Por Lina Muñoz, 2020.

A continuación, se especifica el análisis de resultado para cada uno de los parámetros:

- **pH**

Se debe considerar que el vapor de agua en la atmosfera tiene un pH natural de 5,6 denominado como ligeramente ácido según la escala de pH. Este es causado por su equilibrio con el CO₂ atmosférico. Sin embargo, el pH de la niebla y de nubes bajas pueden ser menor que ese valor, debido a las emisiones de aerosoles por acción del hombre o por emisiones de fuentes naturales como polvo o dimetilsulfitos (DMS) de los océanos (Cereceda et al, 2014). Otro de los factores que pueden incidir en la calidad de agua, es que cuando la malla se expone períodos sin niebla surgen elementos atrapados por la malla junto al polvo, aumentando los niveles de diversos elementos, de los cuales, algunos pueden superar la norma (Cereceda et al, 2014).

El valor mínimo de pH fue de 7,2 obtenido en la muestra uno (1) y el mayor fue de 7,5 obtenida en la muestra dos (2). En la (**Tabla 4**) se evidencia que el pH en todas las muestras está en un rango de 7 a 7,5, lo cual indica que el agua recolectada es agua neutra según la escala de pH, esto se debe a que el punto donde se instaló el prototipo queda alejado de la ciudad y en sus alrededores no hay ninguna actividad industrial que genere emisiones que puedan afectar el pH, volviéndolo ácido. Según el decreto 1594 de 1984, el valor máximo permisible para el uso del agua doméstico está entre 5 y 9 unidades de pH. Se evidencia en la (Figura 9) *Figura 9. Resultado de las pruebas de pH. Por Lina Muñoz, 2020.* que las muestras se encuentran en este rango, por ende, este parámetro cumple para el uso doméstico del agua atmosférica.

Además, teniendo en cuenta la variación de los resultados obtenidos en la (**Tabla 3**), se puede deducir que en periodos de menor cantidad de niebla o humedad relativa (%) el pH sería mayor, es decir el agua seguiría siendo neutra. Esto se debe a que no hay emisiones de aerosoles por acción del hombre que es uno de los factores que inciden en el pH del agua.

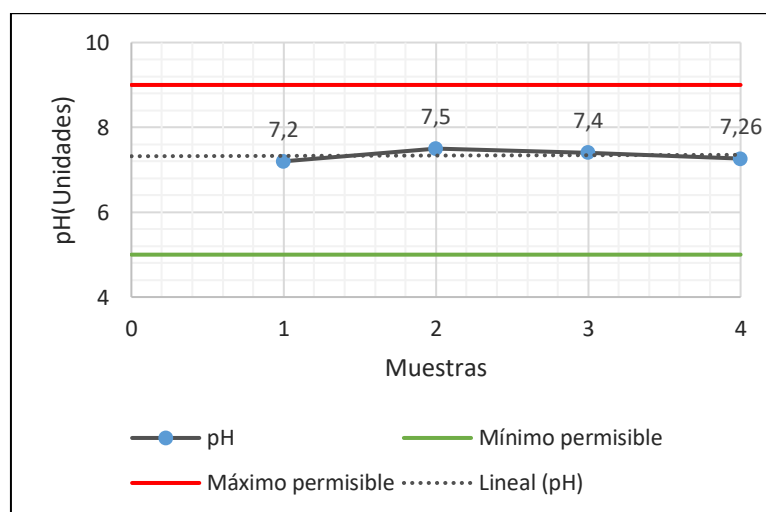


Figura 9. Resultado de las pruebas de pH. Por Lina Muñoz, 2020.

• Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) está relacionada con la concentración de las sales en disolución, cuya disociación genera iones capaces de transportar la corriente eléctrica, la solubilidad de dichas

sales en el agua depende de la temperatura, por lo que la conductividad varía en conformidad con la temperatura del agua (Solís et al, 2018). En los resultados obtenidos se verificó que a medida que la temperatura disminuía la conductividad presentaba valores altos, el valor mínimo de conductividad fue de 14,5 $\mu\text{s}/\text{m}$ a una temperatura de 24°C obtenido en la muestra cuatro (4) y el mayor fue de 89,9 $\mu\text{s}/\text{m}$ a una temperatura de 22°C obtenida en la muestra uno (1). Estos valores se encuentran dentro del máximo permisible 1000 $\mu\text{s}/\text{m}$ de consumo humano estipulado por la resolución 2115 del 2007.

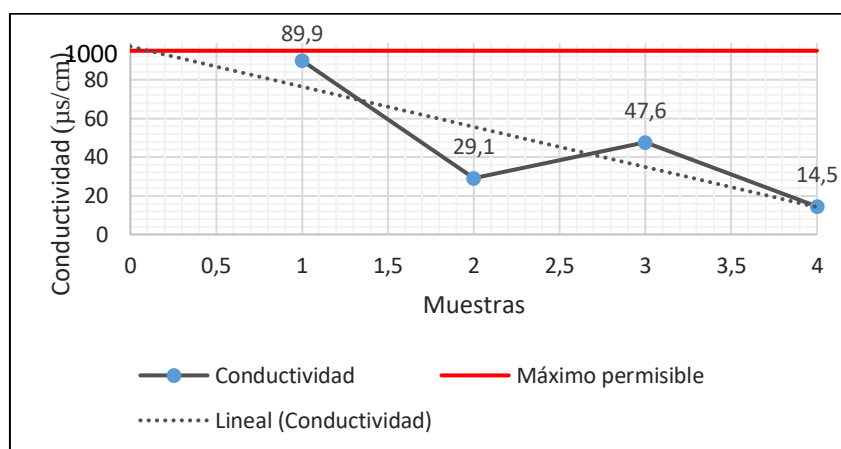


Figura 10. Resultados de conductividad. Por Lina Muñoz, 2020.

- **Oxígeno disuelto**

El Oxígeno disuelto es un índice de contaminación del agua. Cuando hay mayor cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, más cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla o degradarla (Raffo E & Ruiz E., 2014). El valor mínimo de oxígeno disuelto fue de 7,1 mg/L a una temperatura de 24,4 °C y humedad relativa de 73% obtenido en la muestra cuatro (4) y el mayor fue de 7,5 a una temperatura de 22,3°C y humedad relativa de 75% obtenida en la muestra uno (1). De acuerdo a esto se deduce que la presencia de materia orgánica en el agua recolectada es baja, pues se encuentran dentro de los valores normales que varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. Generalmente este rango se denota como aceptable para los cuerpos de agua superficiales ya que favorece la supervivencia de organismos vivos.

(CORTOLIMA, 2009). Por otra parte, teniendo en cuenta los datos de Oxígeno Disuelto (**Tabla 4**) con relación a las variables climáticas (**Tabla 3**) no se presenta ninguna tendencia.

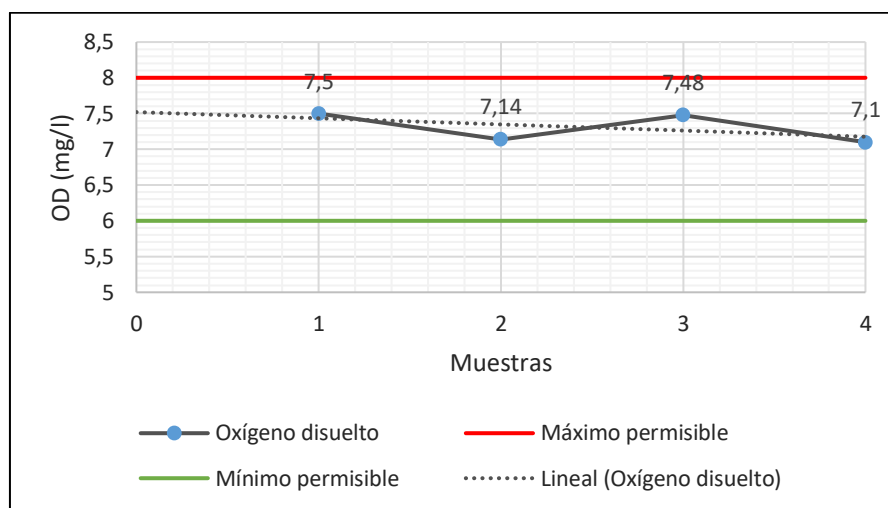


Figura 11. Resultados oxígeno disuelto. Por Lina Muñoz, 2020.

• Dureza

La dureza del agua representa una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, fundamentalmente calcio (Ca) y magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales (Solís et al, 2018) los cuales se encuentran presentes en el cuerpo humano, por esta razón los niveles de dureza en agua de consumo no causan ningún daño a la salud (OMS., 2018). El valor mínimo de dureza total fue de 19,63 mg/L a una temperatura de 22,3°C y humedad relativa de 75% en la muestra uno (1) y el mayor fue de 53,55 mg/L a una temperatura de 23,1°C y humedad relativa de 70% en la muestra dos (2). Estos resultados se mantienen en un rango de 0 a 60 mg/L, lo cual indica que este tipo de agua recolectada se considera como agua blanda de acuerdo a la clasificación de aguas según el grado de dureza propuesta por la OMS.

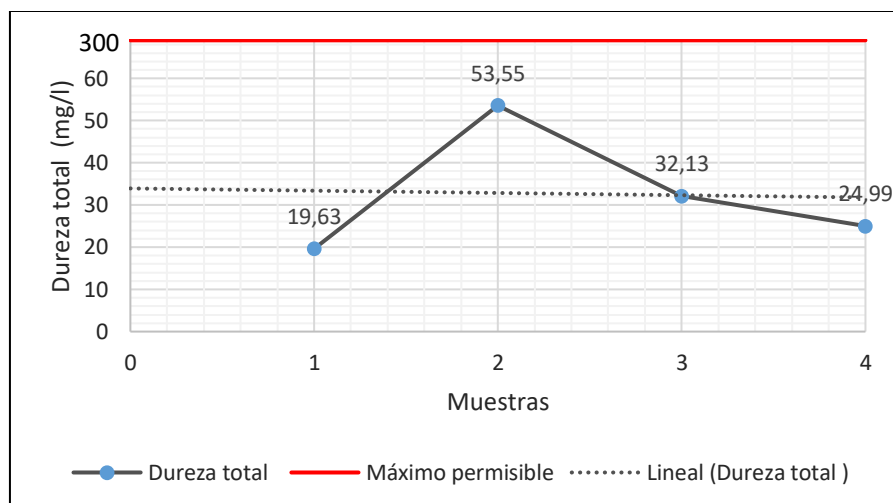


Figura 12. Resultados de dureza total. Por Lina Muñoz, 2020.

- **Alcalinidad**

La alcalinidad expresa la capacidad que tiene el agua de mantener su pH a pesar de recibir una solución ácida o alcalina (López, 2016). El valor mínimo de alcalinidad fue de 36 mg/L a una temperatura de 26,7°C en la muestra tres (3) y el mayor fue de 126 mg/L a una temperatura de 23,1°C obtenida en la muestra dos (2). Estos resultados son menores al valor propuesto que debe tener el agua para consumo humano por la resolución 2115 del 2007 que es 300 mg/L en relación con los elementos y compuestos que tienen consecuencias indirectas sobre la salud.

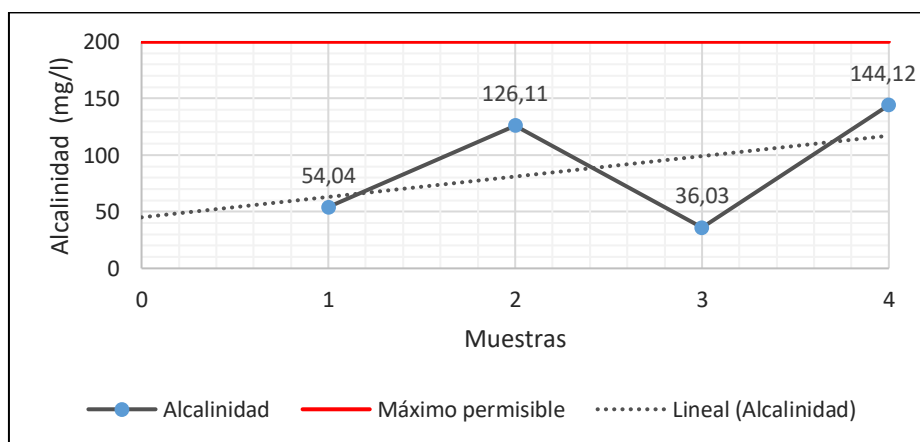


Figura 13. Resultados de Alcalinidad. Por Lina Muñoz, 2020.

- **Turbiedad**

La turbiedad describe la pérdida de claridad del agua causada por partículas en suspensión, precipitados químicos, partículas orgánicas y organismos (OMS, 2017). El valor mínimo de turbiedad fue de 1,47 UNT obtenido en la muestra uno (1) y el mayor fue de 7,28 UNT obtenida en la muestra dos (2). 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 restos sólidos por acción del viento. La mayor cantidad de material encontrado fue restos de hojas de los árboles y polvo.

La resolución 2115 del 2007 establece que el valor máximo permisible es de 2 UNT, los resultados obtenidos sobrepasan este valor, por lo tanto, el agua recolectada no se puede usar para consumo humano, a menos que se someta a un tratamiento de potabilización.

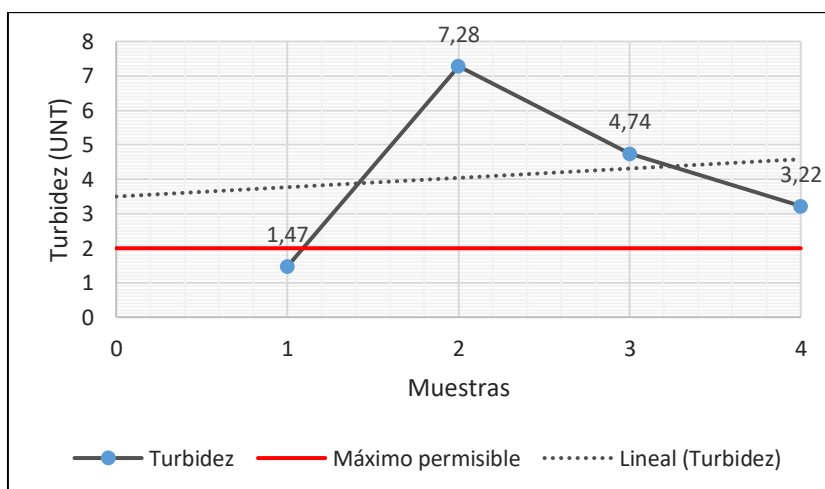


Figura 14. Resultados de Turbiedad. Por Lina Muñoz, 2020.

- **Coliformes totales**

Los coliformes totales son una gran variedad de microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua, la presencia de estos indica que hay un grado de contaminación (OMS., 2018). El valor mínimo de coliformes totales fue de 4640 NPM/100 ml obtenido en la muestra dos (2) y el mayor fue de 7270 NPM/100 ml obtenida en la muestra tres (3). Según la resolución 2115 del 2007 el valor máximo permisible es de 20000 NPM/100 ml, por lo cual los valores obtenidos cumplen el criterio para que el agua se le dé un uso doméstico.

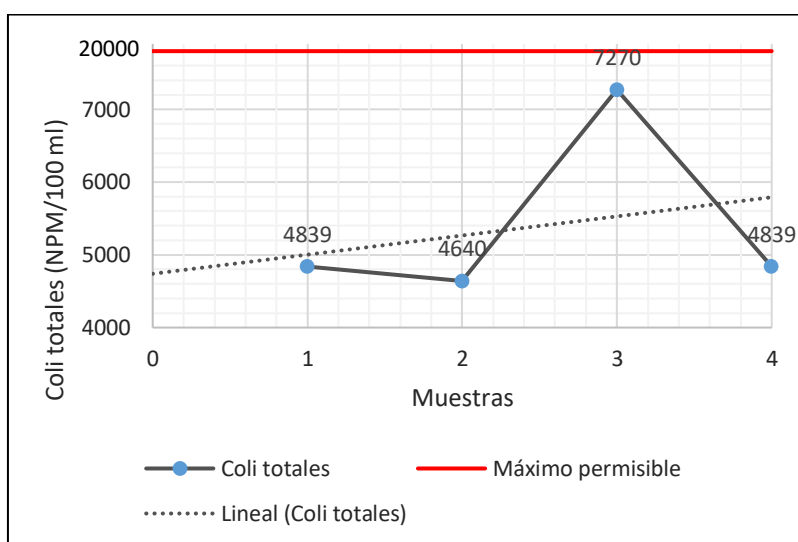


Figura 15. Resultados de Coliformes totales. Por Lina Muñoz, 2020.

- **Coliformes fecales**

El valor mínimo de coliformes fecales fue de 17 NPM/100 ml obtenido en la muestra cuatro (4) y el mayor fue de 920 NPM/100 ml obtenida en la muestra dos (2). Estos resultados cumplen con el límite establecido por la resolución 2115 de 2007 que es 2000 NPM/100 ml. Se le debe hacer un tratamiento convencional para hacer uso de esta como consumo humano.

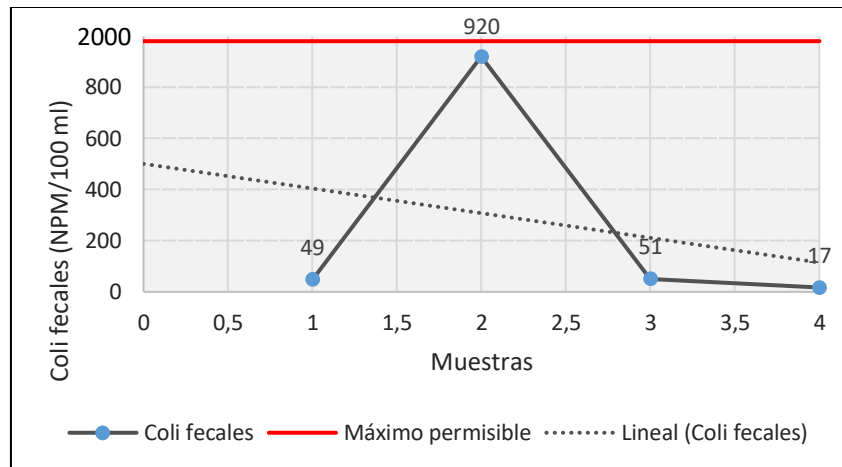


Figura 16. Resultados coliformes fecales. Por Lina Muñoz, 2020.

10. Conclusiones

Se zonificó la ciudad de Villavicencio a partir de los registros de humedad relativa (%) de los últimos 30 años en la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia- IDEAM. Logrando identificar las zonas con mayor porcentaje de humedad relativa. Señalando que el valor más alto se encuentra en la Libertad con 85%. Sin embargo al realizar la visita de campo a Buenavista teniendo en cuenta los criterios de selección mencionados en la fase 1 de metodología se obtuvo un porcentaje de humedad de 87 % a una temperatura de 21.3 °C (Figura 4).

Se diseñó un sistema de tipo bidimensional tal y como se describe en los resultados de la fase 2, este fue monitoreado por medio de 4 visitas, realizadas cada semana durante el mes de noviembre de 2019. Resultando en la recolección y almacenamiento de seis (6) litros, a una temperatura promedio de 24 °C y un promedio de humedad relativa de 72%. La mayor cantidad recolectada obedece a la muestra uno (1), obteniendo 2 litros de agua en la primera semana del mes de noviembre del año 2019. Este resultado fue positivo debido al comportamiento de las variables climatológicas, en cuyo momento la temperatura fue baja con 22,3°C y la humedad relativa muy alta con un 75% favoreciendo la obtención de agua. Por otra parte, la menor cantidad de agua se recolectó en la tercera semana del mes de noviembre obteniendo 1,2 litros, donde la humedad relativa fue baja respecto a la primera semana con un 70% siendo la temperatura más alta con 26,7°C.

Se determinó el uso del agua recolectada por el sistema bidimensional partiendo de la comparación de los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio con la normatividad que en este caso se usó el decreto 1594 de 1984 y la resolución 2115 de 2007, debido a que el parámetro de turbiedad sobrepasó el máximo permisible por la norma, no se puede usar para consumo humano, sino que se definió que puede ser destinada para uso doméstico y/o recreativo.

Finalmente, una vez evaluados los resultados se concluye que la hipótesis planteada para el presente trabajo es aceptada debido a que se demostró que la niebla si es una fuente viable de agua para uso doméstico en los asentamientos rurales y urbanos de la ciudad de Villavicencio.

11. Bibliografía

- Alcaldía de Villavicencio. (2018). *Informe de gestión vigencia 2017*. Villavicencio. Recuperado el 02 de 03 de 2020, de <http://villavicencio.gov.co/Transparencia/ControlyRendiciondeCuentas/ANEXO%20-%20INFORME%20DE%20GESTION%20OFICINA%20%20CONTROL%20INTERNO%20VIGENCIA%202016%20-%202017%20TRIMESTRE%202017.pdf>
- Aleixandre et al. (2011). Fuente de información bibliográfica (I). Fundamentos para la realización de búsquedas bibliográficas. *Acta pediátrica española*, 69(3). Recuperado el 20 de 07 de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000101&pid=S0012-7353201400020002100001&lng=en
- Barradas et al. (2015). Calidad del agua de la niebla captada superficialmente en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz México: resultados preliminares. *revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(2), 122-130. Recuperado el 10 de 10 de 2019, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v18n2/1405-888X-tip-18-02-00122.pdf>
- Bautista et al. (2011). La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico. *Agrociencia*, 45(3), 293-301. Recuperado el 12 de 02 de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000300003
- Beysens, D., & Milimouk, I. (2000). The case for alternative fresh water sources. *Pour les ressources alternatives en eau, Secheresse*, 11(4), 3. Recuperado el 12 de 03 de 2020, de <http://www.opur.fr/angl/Secheresse-angl.pdf>
- Carrero, & Rodriguez. (14 de 08 de 2020). *Repositorio Institucional de la Universidad Santo Tomás*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19514/2019thaliarodriguez?sequence=1&isAllowed=y>

Cereceda et al. (2014). *Agua de niebla, nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas*. Santiago de Chile. Obtenido de <http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/Libro-Agua-de-Niebla-1.pdf>

Cereceda, P. (2000). Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural. *Revista Medio Ambiente y Desarrollo*, 16(4), 2. Recuperado el 20 de 07 de 2019, de <http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2018/04/2-LOS-ATRAPANIEBLAS-2000.pdf>

Comisión Nacional Reguladora de Agua. (1996). *Estrategia Nacional del Agua*. Bogotá D.C.: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presencia%3%B3n_Pol%3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf

CORTOLIMA. (2009). *Calidad de aguas*. Tolima. Obtenido de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_prado/diagnostico/l211.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). *DANE*. Recuperado el 12 de Mayo de 2019, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/donde-estamos/mapas-tematicos>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV). (18 de Marzo de 2019). *Fueron siete los puntos afectados por la furia de la naturaleza en mayo y agosto del año pasado*. Recuperado el 2019 de 03 de 20, de <http://www.eaav.gov.co/ServicioAlCliente/Noticias/Paginas/FUERON-SIETE-LOS-PUNTOS-AFECTADOS-POR-LA-FURIA-DE-LA-NATURALEZA-EN-MAYO-Y-AGOSTO-DEL-A%C3%91O-PASADO.aspx>

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio. (20 de 03 de 2012). *Informe de gestión técnica 2020*. Recuperado el 2019, de <http://www.eaav.gov.co/Empresa/Informes/Informe%20de%20Gesti%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%202012.pdf>

- FAO; ONU. (2018). *Progresos en el nivel de estrés hídrico: valores de referencia mundiales para el indicador 6.4.2 de los ODS*. ROMA. Obtenido de http://www.unwater.org/app/uploads/2018/11/SDG6_Indicator_Report_642_Progress-on-Level-of-Water-Stress_2018_SPANISH.pdf.pdf
- Franco, R. (2008). *Ejemplo para generación de isoclinas en arcgis*. Bogotá DC: Universidad Distrital FJC. Obtenido de https://comunidad.udistrital.edu.co/rfranco/files/2012/05/ejemplo_isoclinas_arcgis.pdf
- Gómez, e. a. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158-163. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49630405022>
- Guy et al. (2003). *Domestic Water Quantity, Service Level and Health*. Ginebra. Obtenido de who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- Hernández et al. (2014). Características climáticas y balance hídrico de la lima ácida Tahití (Citrus latifolia Tanaka) en cinco localidades productoras de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 217-229. Recuperado el 01 de 03 de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v8n2/v8n2a05.pdf>
- Huertas, J., & Molina, P. (2016). *Estudio de prefactibilidad para la posible implementación de atrapanieblas en el municipio de ráquira*. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado el 22 de 04 de 2019, de <http://sie.car.gov.co/handle/11349/3976>
- IDEAM. (2014). *Radiación solar*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- Leonardo, F. (23 de Agosto de 2016). *Crear un mapa de isotermas considerando el gradiente altitudinal*. Recuperado el 3 de Mayo de 2019, de <https://acolita.com/crear-un-mapa-de-isotermas-considerando-el-gradiente-altitudinal-arcgis/>
- López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región de Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 29(3), 3-14. Recuperado el 2020 de 03 de 23, de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v29n3/0379-3982-tem-29-03-00003.pdf>

- Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial et al, .. (s,f). *La Infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales*. Bogotá, Colombia.,. Obtenido de https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/parte1_agua.pdf
- Ministerio de Salud. (2010). *Atrapanieblas: Captación de agua para consumo humano*. San José: Ministerio de Salud de Costa Rica. Obtenido de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-niebla/documento-tecnico-3>
- Moncada, J., Pérez, C., & Valencia, G. (2013). Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común. *Ecos de economía*(37), 125-159. Recuperado el 19 de 04 de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/ecos/v17n37/v17n37a6.pdf>
- Nava et al. (2011). Cadena de custodia. En N. e. al., *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio* (pág. 53). Bogotá. Recuperado el 15 de 06 de 2019, de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- Olivas, A. (2013). *Aprovechamiento de la humedad atmosférica como fuente no convencional de agua para consumo doméstico*. Montecillo: Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Obtenido de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/6FD2B6391464209405257CCA00024090/\\$FILE/BautistaOlivasHidrociencias2013.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/6FD2B6391464209405257CCA00024090/$FILE/BautistaOlivasHidrociencias2013.pdf)
- OMS. (2017). *Turbidity: information for regulators and operators of water supplies*. Ginebra. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/turbidity-information-200217.pdf

- OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera edición.* . Ginebra. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (25 de Septiembre de 2015). *Agenda de Desarrollo Sostenible para el 2030.* Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2018/06/la-agenda-de-desarrollo-sostenible-necesita-un-impulso-urgente-para-alcanzar-sus-objetivos/>
- Organización de los Estados Iberoamericanos. (1998). *Estrujando el agua de las nubes.* Obtenido de <http://www.oei.org.co/sii/entrega5/art07.htm>
- Orozco, J., & Molina, L. (2016). *Viabilidad financiera y beneficios ambientales de sistemas de aprovechamiento de agua no convencionales en la zona urbana de Pereira.* Pereira: Universidad tecnológica de Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7335/62813G633.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Osses et al. (2017). El clima desértico costero con nublados abundantes del desierto de Atacama y su relación con los recursos naturales energía solar y agua de niebla. Caso de estudio Alto Patache (20,5°S), región de Tarapacá, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 68, 33-48. Recuperado el 20 de 07 de 2019, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n68/0718-3402-rgeong-68-00033.pdf>
- Pajares, E. (2014). *Una prospectiva del cambio climático en la amazonía andina.* Lima: Oxfam. Obtenido de https://cng-cdn.oxfam.org/peru.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/politicas-publicas-cambio-global-prospectiva-cambio-climatico_4.pdf
- Quintanilla et al. (2009). *Diseño generativo Aplicación en Sistemas de Atrapanieblas en el norte de Chile.* Santiago: Universidad de Chile. Obtenido de [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/S2_Dise_o_Generativo_2009%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/S2_Dise_o_Generativo_2009%20(1).pdf)

- Raffo E & Ruiz E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 17(1), 71-80. Recuperado el 10 de 03 de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Rice, W. (2011). *Condensación*. Huntington Beach , CA: Teacher Created Materials.
- Román, L. (1999). Obtención de agua potable por métodos no tradicionales. *Ciencia del día internacional*, 2(2), 2-13. Recuperado el 10 de 03 de 2019, de <https://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen2/numero2/articulos/CADi-v2-n2-art2.PDF>
- Schemenauer et al. (1997). Variación temporal de la niebla en El Tofo-Chungungo, Región de Coquimbo, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 24, 103-111. Recuperado el 20 de 07 de 2019, de <https://docplayer.es/32021138-Variacion-temporal-de-la-niebla-en-el-tofo-chungungo-region-de-coquimbo-chile.html>
- SEMARNAT. (Septiembre de 2012). *Sistemas de información sobre le uso del agua*. Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe_12/pdf/Cap6_agua.pdf
- Shanyengana, S. (2002). Exploring fog as a supplementary water source in Namibia. *Atmospheric Res.*, 64(1-4), 251-259. Recuperado el 15 de 03 de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809502000960>
- Solís et al. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 31(1), 35-46. Recuperado el 20 de 03 de 2020, de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>
- Soriano M. (2015). *Niebla como fuente alternativa de suministro de agua*. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Obtenido de <https://docplayer.es/12455050-Trabajo-de-grado-niebla-como-fuente-alternativa-para-suministro-de-agua-elaborado-por-manuel-antonio-soriano-mateus.html>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2014). *Informe de riesgo de las empresas del sector eléctrico*. Bogotá. Obtenido de <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Energia%20y%20gas%20comb>

ustible/Gas%20natural/2018/Oct/2014evaluacionintegral-empresaspublicasdemedellinsa02.10.14.pdf

Toledo H. (2017). *Universidad Nacional Hermilio Valdizan Repositorio Institucional*. Obtenido de <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/2779>

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

Vargas & García, .. (2016). *Diseño de un sistema de recolección de agua por rocío y niebla para el abastecimiento de agua en la comunidad del barrio la esperanza, localidad de chapinero, Bogotá*. Bogotá. Obtenido de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5285/Dise%C3%B1o_sistema_recoleccion%C3%B3n_agua_abastecimiento_comunidad.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vera, C., & Camillon, I. (s.f). *Tecnología, Ministerio de Educacion Ciencia y Tecnología*. Obtenido de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002315.pdf>

Vinicio et al, .. (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. *IDESIA*, 25(71), 84-86. Recuperado el 20 de 04 de 2019, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292016000300010