

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN PROTOTIPO DE ATRAPANIEBLAS  
UBICADO EN EL PARQUE ECOLÓGICO ENTRENUBES COMO MÉTODO  
ALTERNATIVO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS CON DÉFICIT  
HÍDRICO



ANGIE DANIELA CASTILLO DE LA OSSA  
LEIDY JOHANNA RIVERA GÓMEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.

2024

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN PROTOTIPO DE ATRAPANIEBLAS  
UBICADO EN EL PARQUE ECOLÓGICO ENTRENUBES COMO MÉTODO  
ALTERNATIVO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN ZONAS CON DÉFICIT  
HÍDRICO

ANGIE DANIELA CASTILLO DE LA OSSA  
LEIDY JOHANNA RIVERA GÓMEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

Director:  
CAMILO ANDRES ROJAS CRUZ  
INGENIERO CIVIL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BOGOTÁ D.C.

2024

## TABLA DE CONTENIDOS

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.Resumen .....</b>                                                                                 | <b>6</b>  |
| <b>2.Abstract .....</b>                                                                                | <b>7</b>  |
| <b>3. Introducción .....</b>                                                                           | <b>8</b>  |
| <b>4.1 Objetivo General.....</b>                                                                       | <b>10</b> |
| <b>4.2 Objetivos Específicos .....</b>                                                                 | <b>10</b> |
| <b>5. Antecedentes.....</b>                                                                            | <b>11</b> |
| <b>6. Marco Teórico.....</b>                                                                           | <b>15</b> |
| <b>6.1 Agua Atmosférica .....</b>                                                                      | <b>15</b> |
| <b>6.2 Niebla .....</b>                                                                                | <b>15</b> |
| <b>6.3 Atrapanieblas.....</b>                                                                          | <b>16</b> |
| <b>6.4 Variables Meteorológicas .....</b>                                                              | <b>18</b> |
| <b>6.5 Lecho filtrante.....</b>                                                                        | <b>19</b> |
| <b>7. Metodología .....</b>                                                                            | <b>20</b> |
| <b>8. Resultados.....</b>                                                                              | <b>31</b> |
| <b>8.1 Características Y Parámetros Físicoquímicos Del Agua Recolectada Por El Atrapanieblas.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>8.2 Ruta de potabilización .....</b>                                                                | <b>36</b> |
| <b>8.3 Parámetros físicoquímicos del agua después de su ruta de potabilización .....</b>               | <b>37</b> |
| <b>8.4 Datos meteorológicos medidos por la estación meteorológica.....</b>                             | <b>39</b> |
| <b>9.Análisis y discusión de resultados .....</b>                                                      | <b>40</b> |
| <b>9.1 Características y parámetros físicoquímicos del agua recolectada por el atrapanieblas .....</b> | <b>40</b> |
| <b>9.2 Relación entre material particulado y agua recolectada .....</b>                                | <b>45</b> |
| <b>9.3 Influencia de los vientos en el prototipo de atrapanieblas.....</b>                             | <b>47</b> |
| <b>9.4 Datos meteorológicos del Parque Entrenubes .....</b>                                            | <b>49</b> |
| <b>9.5 Proyección de atrapanieblas a 5 metros x 5 metros.....</b>                                      | <b>69</b> |
| <b>11. Conclusiones .....</b>                                                                          | <b>73</b> |
| <b>12. Recomendaciones .....</b>                                                                       | <b>74</b> |
| <b>13.Anexos.....</b>                                                                                  | <b>75</b> |
| <b>13.Referencias .....</b>                                                                            | <b>76</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>Figura 1.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>Figura 2.....</b>  | <b>22</b> |
| <b>Figura 3.....</b>  | <b>22</b> |
| <b>Figura 4.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>Figura 5.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>Figura 6.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>Figura 7.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>Figura 8.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>Figura 9.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>Figura 10.....</b> | <b>33</b> |
| <b>Figura 11.....</b> | <b>34</b> |
| <b>Figura 12.....</b> | <b>36</b> |
| <b>Figura 13.....</b> | <b>37</b> |
| <b>Figura 14.....</b> | <b>39</b> |
| <b>Figura 15.....</b> | <b>40</b> |
| <b>Figura 16.....</b> | <b>42</b> |
| <b>Figura 17.....</b> | <b>43</b> |
| <b>Figura 18.....</b> | <b>45</b> |
| <b>Figura 19.....</b> | <b>46</b> |
| <b>Figura 20.....</b> | <b>47</b> |
| <b>Figura 21.....</b> | <b>48</b> |
| <b>Figura 22.....</b> | <b>49</b> |
| <b>Figura 23.....</b> | <b>50</b> |
| <b>Figura 24.....</b> | <b>51</b> |
| <b>Figura 25.....</b> | <b>52</b> |
| <b>Figura 26.....</b> | <b>53</b> |
| <b>Figura 27.....</b> | <b>55</b> |
| <b>Figura 28.....</b> | <b>58</b> |
| <b>Figura 29.....</b> | <b>61</b> |
| <b>Figura 30.....</b> | <b>63</b> |
| <b>Figura 31.....</b> | <b>65</b> |
| <b>Figura 32.....</b> | <b>66</b> |
| <b>Figura 33.....</b> | <b>68</b> |

## LISTA DE TABLA

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> ....   | 23 |
| <b>Tabla 2.</b> ....   | 25 |
| <b>Tabla 3.</b> ....   | 27 |
| <b>Tabla 4.</b> ....   | 31 |
| <b>Tabla 5.</b> ....   | 32 |
| <b>Tabla 6.</b> ....   | 34 |
| <b>Tabla 7.</b> ....   | 35 |
| <b>Tabla 8.</b> ....   | 38 |
| <b>Tabla 9.</b> ....   | 39 |
| <b>Tabla 10.</b> ..... | 53 |
| <b>Tabla 11.</b> ..... | 54 |
| <b>Tabla 12.</b> ..... | 55 |
| <b>Tabla 13.</b> ..... | 56 |
| <b>Tabla 14.</b> ..... | 57 |
| <b>Tabla 15.</b> ..... | 59 |
| <b>Tabla 16.</b> ..... | 60 |
| <b>Tabla 17.</b> ..... | 61 |
| <b>Tabla 18.</b> ..... | 62 |
| <b>Tabla 19.</b> ..... | 63 |
| <b>Tabla 20.</b> ..... | 64 |
| <b>Tabla 21.</b> ..... | 65 |
| <b>Tabla 22.</b> ..... | 67 |
| <b>Tabla 23.</b> ..... | 68 |
| <b>Tabla 26.</b> ..... | 69 |
| <b>Tabla 27.</b> ..... | 70 |

## LISTA DE ANEXOS

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>Tabla Anexo 1</b> ..... | 75 |
| <b>Tabla Anexo 2</b> ..... | 75 |

## **1.Resumen**

El presente estudio tiene como objetivo determinar la eficiencia de un prototipo de atrapanieblas elaborado a partir de una malla Raschel de 85%, con una dimensión de 50 cm x 50 cm, ubicado en el Parque Ecológico Entrenubes durante cuatro semanas para su posterior potabilización como alternativa de abastecimiento de agua en zonas con déficit hídrico. Para medir las variables meteorológicas de la zona, se usó una estación meteorológica portátil, con la finalidad de determinar qué relación existe entre estas condiciones con la eficiencia del prototipo de atrapanieblas, para ello, se realizaron regresiones lineales simples y múltiples y regresión logarítmica.

Se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos en el agua recolectada: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, turbidez, salinidad, además se determinó la concentración de dureza total y cálcica, alcalinidad, acidez y cloruros y un análisis microbiológico, mediante las pruebas Colilert y cultivo en medio MacConkey. De acuerdo con la calidad del agua analizada, se implementó una ruta de potabilización compuesta por filtración y desinfección para garantizar que el agua tratada cumpla con los valores máximos aceptables por la resolución 2115 del 2007, considerándose apta para el consumo humano.

El prototipo de atrapanieblas recolectó alrededor de 3,23 litros de agua durante cuatro semanas, basado en esto, se determinó la eficiencia de un atrapanieblas proyectado a 5 metros x 5 metros obteniendo como resultado 8,075 litros semanales. En condiciones óptimas un atrapanieblas de 50 cm x 50 cm capturaría 4,89 litros semanalmente y un atrapanieblas de 5 metros x 5 metros capturaría 48,9 litros semanalmente.

Palabras claves: Atrapanieblas, déficit hídrico, variables meteorológicas, parámetros fisicoquímicos, potabilización.

## 2. Abstract

The present study aims to determine the efficiency of a fog catcher prototype made from an 85% Raschel mesh, with dimensions of 50 cm x 50 cm, located in the Entrenubes Ecological Park for four weeks, for subsequent purification as an alternative water supply in areas with water scarcity. To measure the meteorological variables of the area, a portable weather station was used to determine the relationship between these conditions and the efficiency of the fog catcher prototype. For this purpose, simple and multiple linear regressions, as well as logarithmic regression, were performed.

The following physicochemical parameters were measured in the collected water: pH, temperature, conductivity, dissolved oxygen, total dissolved solids, turbidity, and salinity. Additionally, the concentration of total and calcium hardness, alkalinity, acidity, and chlorides were determined, along with a microbiological analysis using Colilert tests and MacConkey agar cultivation. Based on the quality of the analyzed water, a purification route consisting of filtration and disinfection was implemented to ensure that the treated water meets the maximum acceptable values set by resolution 2115 of 2007, deeming it suitable for human consumption.

The fog catcher prototype collected approximately 3.23 liters of water over four weeks. Based on this, the efficiency of a fog catcher projected to 5 meters x 5 meters was determined, resulting in 8.075 liters weekly. Under optimal conditions, a 50 cm x 50 cm fog catcher would capture 4.89 liters weekly, and a 5 meters x 5 meters fog catcher would capture 48.9 liters weekly.

**Key words:** Fog catcher, water deficit, meteorological variables, physicochemical parameters, potabilization.

### 3. Introducción

El agua es el líquido vital para todos los seres vivos y funcionamiento de los ecosistemas, que además de ser primordial para la satisfacción de las necesidades humanas básicas, es necesaria para llevar a cabo actividades económicas como la agricultura, procesos industriales y es una de las principales fuentes de energía en algunas partes del mundo (ONU, 2005). Según García (2023), el 97.5% del recurso hídrico mundial es salado, mientras el 2.5% es dulce y de este último, el 70% se encuentra en estado sólido y el 29% son aguas subterráneas, es decir que, únicamente el 1% del agua dulce del planeta está disponible para consumo humano. El agua dulce se puede ver afectada por el cambio climático, debido al aumento de los gases de efecto invernadero en los últimos 140 años, generando mayor retención de calor en la atmósfera, conllevando así a un aumento en la temperatura promedio del planeta (García, 2023). Según IDIGER (2018), un escenario para Colombia para el periodo del 2010-2040, es el aumento gradual en la temperatura media anual de 0.9 °C y una disminución de las lluvias del 10% al 40% en un 32% del territorio.

Según el informe publicado por la UNESCO, ONU-Agua (2023), a nivel global, 2.000 millones de personas (26% de la población) no cuentan con agua potable y 3.600 millones (46% de la población) carecen de un saneamiento gestionado de forma segura, a pesar de lo dictaminado por la ONU en las resoluciones del consejo 7/22 del 2008 y 12/8 del 2009, donde indica que el acceso al agua y saneamiento básico es un derecho humano fundamental y esencial para el desarrollo humano (Naciones Unidas, 2010). A pesar de que Colombia cuenta con el 5% del patrimonio hídrico mundial y un rendimiento hídrico seis veces superior a la media mundial y tres veces al de Latinoamérica, la cobertura del servicio de acueducto no llega a 3,6 millones de personas (Duque Escobar, s.f.). El 90% del territorio colombiano tiene reservas de agua, pero hay regiones que no disponen como Norte de Santander, Sucre, Córdoba, La Guajira y grandes ciudades como Medellín, Bucaramanga, Tunja, Bogotá, Neiva y Cali, que por su

ubicación geográfica son susceptibles al desabastecimiento hídrico (García, 2023). Teniendo en cuenta que el acceso a servicios públicos en zonas rurales es 28% menor que en zonas urbanas (Moreno, s.f.), y que el 39% de la población nacional se ubica en municipios con escasez hídrica o con altas probabilidades de presentar desabastecimiento del agua (Correa Assmus, 2017), se evidencia que la población sin cobertura de acueducto se focaliza en las áreas rurales o veredales del país.

En zonas remotas, rurales y semirrurales, no se encuentra una disponibilidad de agua potable segura y constante, lo que implica una afectación negativa en la población. Los atrapanieblas son considerados una tecnología alternativa para el abastecimiento de agua en este tipo de zonas, diseñados inicialmente con el fin de controlar una sequía extrema en Antofagasta, Chile durante 1956, utilizado en condiciones climáticas donde se produzcan altas cantidades de niebla, hecha a partir de una malla fina, llamada red Raschel, encargada de capturar niebla, obteniendo agua después de su condensación, que se transportará por pequeñas canaletas hasta tanques de almacenamiento (Universidad de los Andes, 2021).

Este proyecto determinó la eficiencia de un prototipo de atrapanieblas ubicado en el Parque Ecológico Entrenubes en la ciudad de Bogotá para la posterior potabilización como alternativa de abastecimiento de agua apta para consumo humano o doméstico en zonas con déficit hídrico, como áreas rurales o veredales del país, para así, satisfacer la demanda de agua. Además de poder ser aplicado en diferentes lugares donde se cumplan las mismas condiciones meteorológicas que se encuentran presentes en el Parque Ecológico Entrenubes.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Determinar la eficiencia de un prototipo de atrapanieblas ubicado en el Parque Ecológico Entrenubes para su posterior potabilización como alternativa de abastecimiento de agua en zonas con déficit hídrico

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar e implementar un prototipo de atrapanieblas en el Parque Ecológico Entrenubes
- Identificar los parámetros fisicoquímicos del agua recolectada para proponer una posible ruta de tratamiento de potabilización
- Proyectar la cantidad de agua que se pueda recolectar mediante un atrapanieblas con una malla Raschel de 5m x 5m basado en la eficiencia del prototipo implementado

## 5. Antecedentes

Los atrapanieblas suelen fabricarse con mallas como la Raschel, debido a su eficiencia, amplia disponibilidad en el mercado y costos accesibles. Sin embargo, nuevas investigaciones han explorado otros materiales en busca de atrapanieblas más eficientes. En Filipinas, se realizó un estudio para evaluar la eficiencia entre las mallas Raschel y la malla de polipropileno para recolección de agua niebla, confirmando que no hay una diferencia significativa del volumen de agua recolectado (Tan, et al., 2019). Mientras tanto, en Marruecos se determinó que las redes de monofilamentos y las estructuras tridimensionales en estructuras de atrapanieblas presentan mayor rendimiento que los tejidos tradicionales como la malla Raschel (Schunk et al., 2018).

Entre los estudios que han evaluado las eficiencias de captación de agua niebla de acuerdo con los distintos coeficientes de sombra de la malla Raschel, Bustos y Giraldo (2021) experimentaron con mallas Raschel de 80% y 35% de coeficiente de sombra en los municipios de Tenjo y Pasca. En Tenjo, el rendimiento de la malla Raschel de 80% fue de 67.2 ml/m<sup>2</sup>/día, mientras que, para la malla de 35% fue de 38.5 ml/m<sup>2</sup>/día. En Pasca, el rendimiento de la malla Raschel de 80% fue de 133.06 ml/m<sup>2</sup>/día, mientras que, para la malla de 35% fue de 108.06 ml/m<sup>2</sup>/día. Por lo que concluyen que la malla Raschel de 80% de coeficiente de sombra cuenta con mayor eficiencia a la de 35%, al ser un tejido más compacto, lo que ayuda a retener mayor cantidad de agua, aun así, la malla de 35% captó una cantidad cercana a la malla de 80%. Mientras que Molina y Escobar (2005) afirman que no se encuentra diferencia de eficiencias entre las mallas de 35% y 50% de coeficiente de sombra. Según Hidalgo (2017), el rendimiento de la captación de agua en la malla Raschel de 65% y 80% fue de 67.44% y 58.61%, respectivamente, por lo que la malla de 65% cuenta con un mejor rendimiento en su recolección de agua atmosférica.

En la represa Delta en Egipto, se evaluó la idoneidad de la captación de agua de niebla, a lo que concluyeron que la niebla contiene mayores concentraciones de emisiones antropogénicas a diferencia del agua de lluvia. En cuanto a las variables fisicoquímicas, los sólidos disueltos dieron resultados inferiores a 700 mg/l y un contenido en sodio inferior al 60%, óptimo para el riego de vegetación. Las concentraciones de Al y Fe y metales pesados sensibles (Cd y Pb) fueron inferiores a los límites máximos permisibles de la normativa egipcia, por lo que, si es considerada como agua de riego, además, según el WQI (Índice de Calidad del Agua), el agua niebla se clasifica como de calidad media (Salem et al., 2017).

En Colombia se han realizado diversas investigaciones sobre la implementación de atrapanieblas como herramienta alternativa para recoger agua en distintas actividades. Generalmente, estos dispositivos se construyen con malla Raschel (Muñoz, 2020; Huertas y Molina, 2016; Quinche, 2019), aunque en algunos casos se emplea polipropileno como material alternativo (Molina y Escobar, 2005). En la ciudad de Villavicencio se evaluaron los parámetros fisicoquímicos del agua niebla recolectada (pH, conductividad, oxígeno disuelto, dureza total, alcalinidad, turbiedad, coliformes fecales y totales), determinando que la turbiedad fue el único parámetro que no cumplió con los límites máximos permisibles, por lo que se destinó para uso doméstico y/o recreativo (Muñoz, 2020). En Boyacá, en el agua captada se encontraron sólidos suspendidos, por lo que no se considera apta para consumo humano (Huertas y Molina, 2016). En la localidad de Usaquén, Bogotá, el agua niebla recolectada y analizada presentó un pH bajo y conductividad alta, considerada agua ácida y contaminante, por lo que se usó solo para fines domésticos (Quinche, 2019).

En cuanto a la potabilización de agua captada en atrapanieblas en Perú, implementaron filtros de arcilla cocida, ya que han demostrado una eficiencia mayor de 90% de eliminación de patógenos, metales pesados y otros contaminantes (León, et al., 2022).

Para Filipinas las condiciones meteorológicas favorables para la captación de agua en un atrapanieblas es una altura de 2400 msnm, velocidades del viento entre 2 m/s y 7,5 m/s y una humedad relativa entre 90% a 100% (Tan, et al., 2019). En Perú, se encuentra condiciones de velocidades entre 1,35m/s a 1,63 m/s, temperatura de 13°C y Humedad de 97% (Hidalgo, 2017). Sin embargo, en Boyacá, Colombia las condiciones favorables se encuentran en alturas mayores a 500 msnm, una humedad relativa entre 80% - 95%, temperaturas de 8 hasta 20°C y velocidad promedio de 4,1 m/s (Huertas y Molina, 2016).

Alrededor del 90% del territorio colombiano está clasificado entre moderado a altos excedentes de agua (Acodal, 2023), a pesar de su gran riqueza hídrica, el país no cuenta con una distribución homogénea y las zonas con mayor población, son las más vulnerables al recurso hídrico. Los asentamientos humanos y los ejes de desarrollo económico en el país han surgido en regiones donde la oferta hídrica es menos favorable (Zamudio Rodríguez, 2012). El 77,4% del volumen de agua se distribuye en las regiones Pacífico, Amazonia Pacifico y Orinoquia, las cuales a su vez son las que concentran menor población. Mientras, el 13,5% del volumen de agua se reparte en el Magdalena-Cauca y el 9,1% en el Caribe, que concentran el 80% de la población del país (Duque Escobar, s.f.). Los departamentos con déficit hídrico se concentran desde Córdoba, Sucre y Norte de Santander hasta La Guajira (con excepción de la Sierra Nevada de Santa Marta) (IDEAM, 2023).

Según el IDEAM (2023), en condiciones hidrológicas promedio, 53 subzonas hidrológicas presentan alta vulnerabilidad al desabastecimiento de agua, y departamentos como Magdalena, Cesar y La Guajira alcanzan el 100% de afectación ante riesgos de desabastecimientos, por otro lado, Bolívar, Sucre y Córdoba se encuentran entre el 80% a 100% de afectación. Mientras 85 subzonas hidrológicas presentan alta vulnerabilidad al desabastecimiento en condiciones hidrológicas secas.

La brecha entre la zona rural y la zona urbana en el servicio de Acueducto es de 21 puntos porcentuales. Según el diagnóstico final diciembre 2017 de la DNP, 459 municipios (42% del total), presentaban coberturas de Acueducto inferiores al 50% en el área urbana y rural, en su mayoría dentro de las categorías municipales 5 y 6, las cuales cuentan con menores ingresos, y con menos de 2500 suscriptores. Además, en áreas rurales el 51% de los municipios presentan riesgos en la calidad de agua, y en las áreas urbanas es del 40%. En total, en 77 municipios, su agua no es apta para consumo humano (Acodal, 2023).

## **6. Marco Teórico**

### **6.1 Agua Atmosférica**

El agua atmosférica es el agua que se encuentra suspendida en la atmósfera que aún no entra en contacto con la corteza terrestre, puede encontrarse en estado gaseoso desplazada por los vientos como nieblas, nubes, brumas, o en otro estado en fase de precipitación como lluvias, nieve, granizo. El vapor de agua presenta una relación 1:100.000 respecto a la cantidad total de agua en la Tierra y su tiempo de renovación es de aproximadamente nueve días, en comparación con el agua de océanos, ríos, glaciares que puede permanecer desde semanas a miles de años (Quinche, 2019; OpenMS, s.f; Martínez, 2007).

### **6.2 Niebla**

La niebla se considera una masa de aire que se compone de pequeñas gotas de aguas con un diámetro entre los 1 a 40 milímetros aproximadamente, por su ligereza permanece suspendida en la atmósfera y se condensa al tener contacto con alguna superficie. El agua de la niebla puede usarse como agua potable, pero depende de la calidad del aire y de las condiciones meteorológicas de la respectiva recolección (Dirección General de Aguas, 2014; Baquero et al., 2018).

La niebla se puede formar por procesos de evaporación y enfriamiento, la primera ocurre cuando una corriente de aire frío tiene contacto con agua a mayor temperatura, produciendo la evaporación del agua. Esta se puede clasificar en niebla de vapor y niebla frontal. La niebla de vapor se produce cuando aire frío y una superficie de agua cálida entran en contacto, de manera que esta última se evapora y se mezcla con aire frío superior produciendo su condensación en forma de vapor. La niebla frontal se da cuando el aire frío se satura a causa de la lluvia, de modo que el agua de lluvia se evapora y forma nieblas espesas y constantes (Soriano, 2015; Mora, 2020).

La segunda consiste en el enfriamiento de masas de aire caliente por su contacto con otras masas de aire más frías, conllevando a su condensación. Se clasifica en niebla por radiación, advección y orográficas. Las nieblas de radiación se generan durante las noches, ya que el frío que surge por la liberación de la radiación de los suelos produce la condensación del vapor de agua presente en las masas de aire debido a su enfriamiento. Las nieblas de advección surgen cuando una masa de aire húmedo y cálido pasa sobre una superficie fría, esta superficie debe tener una temperatura inferior al punto de rocío de la masa de aire que se está desplazando para que se condense y genere la niebla. Las nieblas orográficas se dan cuando una masa de aire húmeda y cálida se condensa durante su desplazamiento en la pendiente de una montaña por su enfriamiento a causa de las condiciones climáticas (Soriano, 2015; Mora, 2020).

Las condiciones fisicoquímicas de la niebla son levemente acidas, con un pH aproximado de 5.6, debido a que su formación puede ser influenciada por combinaciones de condiciones físicas y químicas que se encuentra presentes en la atmósfera, como es la disolución de dióxido de carbono. Las masas de aire absorben los contaminantes, afectando el contenido de gases solubles y el comportamiento de la niebla, sin embargo, estas condiciones fisicoquímicas pueden variar, ya que la calidad del agua de la niebla depende de la calidad del aire y condiciones meteorológicas de la zona (Vázquez, et al., 2012; Baquero, et al., 2018).

### **6.3 Atrapanieblas**

Un atrapanieblas es una tecnología diseñada para capturar las partículas de agua en la niebla y transformarla en agua líquida, aprovechando la humedad atmosférica, a una altura superior a los 800 msnm. Ya que la humedad o niebla no tienen el tamaño suficiente para precipitarse (1-40  $\mu\text{m}$ ), esta tecnología usa una malla de ciertas características, las cuales permite que la humedad consiga condensarse y por consiguiente poder aprovechar el recurso hídrico, muchas veces pasado por desapercibido (Bustos & Giraldo, 2021; Castañeda y Mendoza, 2014; Muñoz, 2020).

Este sistema consta de una malla que deja pasar la humedad o niebla, permitiendo una condensación natural del contenido de agua de esta. A medida que las partículas se acumulan en la red, estas se mezclan y forman gotas más grandes que por ayuda de gravedad desciende sobre la superficie de la malla hasta una canaleta y se dirige a la zona de recolección (Bustos & Giraldo, 2021; Muñoz, 2020).

Para entender los tipos de malla, primero debemos aclarar uno de los términos más importantes y relevantes de este tipo de materiales, este es el coeficiente de sombra. El coeficiente de sombra hace referencia a la cantidad de irradiación solar que puede tomar la malla, es decir, la cantidad de luz solar que pasa a través de ella. El diseño de sus filamentos permite generar moléculas de agua más rápido, consiguiendo atrapar y condensar grandes partes de la neblina que pasa por ella (Bustos & Giraldo, 2021; Cieza, Cieza & Vázquez, 2020; Hidalgo, 2017).

Para estos diseños de atrapanieblas debemos considerar diferentes materiales que varían según su porosidad y coeficiente de sombra. Entre los materiales usados en diversos estudios se encuentran la malla Raschel, malla mosquitera y malla metálica. Sin embargo, de los resultados consultados, se evidencia que la malla Raschel es la más efectiva de las anteriores mencionadas debido a su porosidad y captación de humedad atmosférica (Bustos & Giraldo, 2021; Cieza, Cieza, & Vázquez, 2020; Hidalgo, 2017).

Para la instalación de un atrapanieblas es importante determinar las variables meteorológicas de la zona de estudio, de esto depende el potencial en la captación de agua. Las variables meteorológicas que se deben evaluar son la velocidad del viento, la cual debe estar entre 2 m/s y 7,5 m/s y la humedad relativa, que debe estar entre 90% a 100%, aun así, el valor de la humedad no define la factibilidad del atrapanieblas, sino que depende sobre la ocurrencia de niebla y vientos ligeros (Tan, et al., 2019).

#### **6.4 Variables Meteorológicas**

El comportamiento de las variables meteorológicas define el estado de la atmósfera en un lugar y tiempo dado (IDEAM, 2019; Acuña y Robles, 2015). Una estación meteorológica logra observar, medir y registrar los parámetros meteorológicos, que incluye temperatura, la presión atmosférica, la humedad relativa del aire, la velocidad y dirección del viento, la nubosidad y la insolación y la cantidad de precipitación acumulada, en un tiempo atmosférico y lugar determinado, y que estudiados a largo plazo puede reconocerse el comportamiento del clima. Gracias a la mayor precisión que están teniendo estos equipos, permite obtener predicciones más exactas (Vásquez y Castro, 2017; Acuña y Robles, 2015; Mahiques, 2013).

La precipitación es el agua que cae de la atmosfera en forma líquida o sólida desde las nubes hasta la superficie de la tierra, se puede presentar en forma de lluvia, nieve o granizo. Sus mediciones se realizan con pluviómetro, calculada como el volumen de agua lluvia que atraviesa una superficie en un tiempo determinado, en unidades de milímetros (mm) (IDEAM, 2019; Vásquez y Castro, 2017; Acuña y Robles, 2015).

La temperatura del aire se refiere al estado térmico del aire con respecto a su capacidad de brindar calor a su alrededor. Su medición se realiza mediante un termómetro (IDEAM, 2019; Mahiques, 2013). La humedad relativa es la relación entre el vapor de agua contenido en una masa de aire, y la cantidad necesaria para que el aire se sature a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje, donde 0% alude a un aire completamente seco y 100% a un aire en estado de saturación de vapor (IDEAM, 2019; Vásquez y Castro, 2017; Acuña y Robles, 2015). El punto de rocío es la temperatura en la que el aire logra saturarse, conllevando a que el vapor de agua contenido en esta se condense (IDEAM, 2019; Acuña y Robles, 2015).

El viento es el movimiento de aire desde una zona a otra, normalmente de zonas de alta presión a zonas de baja presión. O por diferencia de temperaturas, en que una masa de aire adopta una

temperatura mayor a la de su entorno, elevándose, mientras la masa de aire frío ocupa su lugar, originando el viento. La velocidad del viento es la relación de la distancia recorrida por el aire y el tiempo transcurrido en recorrerla, se mide en unidades de metro por segundo (m/s), pero también se puede expresar en kilómetros por hora (Km/h) y su instrumento de medición es el anemómetro. La dirección del viento es el sentido desde el cual proviene el aire. Interpretado en grados sexagesimales o su equivalente en los rumbos (IDEAM, 2019; Acuña y Robles, 2015).

### **6.5 Lecho filtrante**

El lecho filtrante es un sistema conformado por material granular, donde el agua ingresa en el lecho poroso, y aquellas partículas y microorganismos quedan detenidos. Puede conformarse por grava, que puede retener partículas de mayor tamaño del agua; arena, encargada de separar los sólidos suspendidos del agua; y, carbón activado, capaz de remover fenoles, impurezas y la materia orgánica, la cual ocasiona mal olor, color y sabor en el agua (Gualteros y Chacón, 2015; Rincón, 2022).

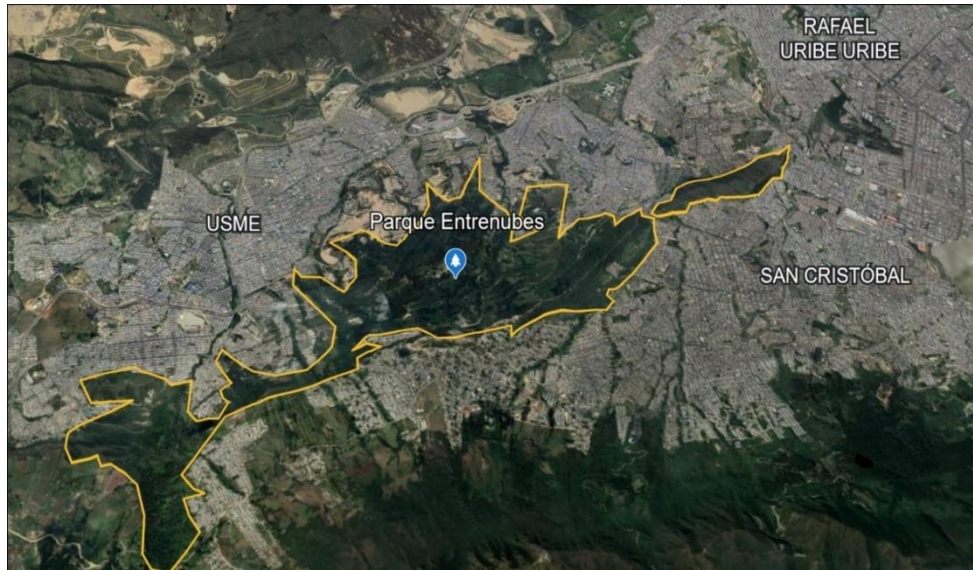
## **7. Metodología**

El prototipo de atrapanieblas se ubicó en el Parque Ecológico Entrenubes, el cual cuenta con una extensión aproximada de 626,4 hectáreas, las cuales se encuentran distribuidas en las localidades de San Cristóbal, Usme y Rafael Uribe Uribe, haciendo parte del grupo de cerros y montes de la cordillera oriental de Los Andes, conformada por los cerros de Guacamayas, Juan Rey y Cuchilla del Gavilán. Estas áreas protegidas están destinadas a la conservación y restauración de flora y fauna, ya que en este territorio nacen siete quebradas: Seca, Chiguaza, Bolonia, Verejones, La Olla del Ramo, Santa Librada y Yomasa, que desembocan en el río Tunjuelo, uno de los tres principales afluentes del río Bogotá, así como también la implementación de aulas ambientales que fomenta la educación ambiental para la población (Secretaría de Ambiente, s.f), (Alcaldía local de San Cristóbal, s.f).

A su vez, es un Parque Ecológico Distrital de Montaña, catalogado como zona protegida, localizado en el extremo suroriental de Bogotá. El Parque Ecológico y reserva forestal seleccionada en cuestión se destaca por su ubicación, la cual se caracteriza por una elevada humedad atmosférica y presencia constante de niebla, ya que se encuentra ubicada aproximadamente entre los 2700 a 3100 msnm en zona de bosque altoandino y subpáramo, con una precipitación anual de 559 mm y una temperatura desde 4°C hasta 14°C (Secretaría de Ambiente, s.f).

**Figura 1.**

Ubicación del Parque Ecológico Entrenubes



Fuente: Google Earth

El prototipo de atrapanieblas y la estación meteorológica se instalaron durante cinco semanas en total, incluyendo una semana piloto, en el techo del Aula Ambiental Juan Rey, situado dentro del Parque Ecológico Entrenubes, en la localidad de San Cristóbal, con coordenadas 4°31'15,74''N – 74°05'42,04''O.

Figura 2.

Ubicación del prototipo y la estación meteorológica en el aula ambiental

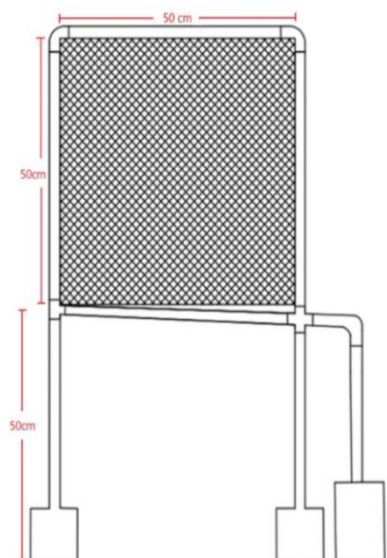


Fuente. Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra un diseño de vista frontal del prototipo de atrapanieblas construido.

Figura 3.

Diseño prototipo de atrapanieblas



| Diseño de prototipo de atrapanieblas |                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombres                              | Código                                                                                                                                                                                 |
| Leidy Johanna Rivera                 | 2259196                                                                                                                                                                                |
| Angie Daniela Castillo               | 2260883                                                                                                                                                                                |
| Tesis                                | Evaluación de la eficiencia de un prototipo de atrapanieblas ubicado en el Parque Ecológico Entre Nubes como método alternativo de abastecimiento de agua en zonas con déficit hídrico |
| Director                             | Cristian Mauricio Sierra                                                                                                                                                               |
| Facultad                             | Ingeniería ambiental                                                                                                                                                                   |
|                                      | Convenciones                                                                                                                                                                           |
|                                      | Malla tipo Raschel<br>Curva PVC de 90°<br>Bidón<br>Canaleta con inclinación de 5°<br>Tee<br>Cruz<br>Codo<br>Estructura de concreto                                                     |

Fuente. Elaboración propia

El prototipo de atrapanieblas tiene una medida de 50cm x 100 cm, su estructura se compone de una malla tipo Raschel de 85% de coeficiente de sombra, de 50cm x 50cm, la cual se encarga de capturar la niebla y condensarla para transformarla en su estado líquido. El soporte del prototipo y la canaleta se construyeron con tubos PVC, esta última diseñada con una inclinación de 5° con el fin de recoger el agua ya condensada por la malla y transportarla por gravedad hacia un bidón, donde finalmente es almacenada, además se implementó una estructura a concreto para brindarle estabilidad al prototipo. Este prototipo se construyó con material de PVC con la finalidad de no afectar la calidad del agua recolectada, como puede ser el caso de tubos de hierro, que cuenta con la capacidad de convertir el agua en corrosiva. A continuación, se detallan todos los materiales utilizados con sus respectivas cantidades para la construcción del prototipo de atrapanieblas.

**Tabla 1.**

Materiales para la construcción del prototipo de atrapanieblas

| <b>Unidad</b> | <b>Material</b>       | <b>Medidas</b> |
|---------------|-----------------------|----------------|
| 6             | Tubo PVC              | 1" – 50cm      |
| 1             | Tubo PVC              | 1"- 20cm       |
| 1             | Malla Raschel de 85%  | 60 x 55 cm     |
| 2             | Codos PVC 90°         | 1"             |
| 1             | Tee PVC               | 1"             |
| 1             | Cruz PVC              | 1"             |
| 1             | Curva PVC 90°         | 1"             |
| 1             | Abrazaderas plásticas | -              |
| 2             | Cemento               | 5Kg            |

|   |             |         |
|---|-------------|---------|
| 2 | Arena       | 5Kg     |
| 1 | Bidón       | 5 L     |
| 2 | Recipientes | 1 galón |

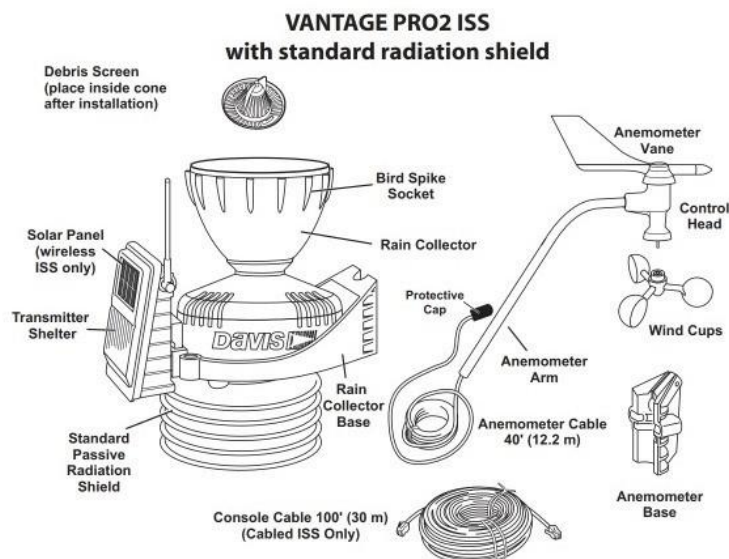
Fuente. Elaboración propia

A su vez, se ubicó una estación meteorológica portátil automática de marca Davis, modelo Vantage Pro2 ISS (incluye un colector de lluvia, un sensor de temperatura, un sensor de humedad y anemómetro) en el techo del Aula Ambiental Juan Rey, durante las cinco semanas de estudio con el fin de identificar las variables meteorológicas del área de interés, temperatura, humedad, punto de rocío, velocidad del viento, dirección del viento y precipitación (Davis Instruments, 2017).

**Figura 4.**

Componentes de la estación meteorológica portátil Davis

#### Components



Fuente: Davis Instruments (2017)

La instalación del prototipo de atrapanieblas y la estación meteorológica se llevó a cabo desde el 28 de febrero hasta el 03 de abril, en las cuales alrededor de cada semana se recolectaron las muestras de agua capturada, hasta obtener cuatro muestras en total.

**Tabla 2.**

Semanas de recolección de muestras de agua

| <b>Semanas</b> | <b>Fecha</b>          |
|----------------|-----------------------|
| Semana piloto  | 28 febrero - 05 marzo |
| Semana 1       | 05 marzo - 12 marzo   |
| Semana 2       | 12 marzo - 20 marzo   |
| Semana 3       | 20 marzo - 27 marzo   |
| Semana 4       | 27 marzo - 03 abril   |

Fuente. Elaboración propia

Se eligieron estas semanas para la recolección de agua por el atrapanieblas para que la cantidad de niebla en la zona de estudio no se viera afectada por los cambios en los factores climatológicos debido al Fenómeno de El Niño, ya que según el ONI (Índice Oceánico de El Niño), históricamente, los meses en que frecuentemente inicia el Fenómeno de El Niño son entre abril a junio, y sus máximas intensidades pueden ser entre noviembre a enero.

En las figuras 5 y 6, se muestra el prototipo de atrapanieblas y la estación meteorológica, respectivamente, instalados en el techo del aula ambiental.

**Figura 5.**

Prototipo de atrapanieblas



Fuente. Elaboración propia

**Figura 6.**

Estación meteorológica portátil Davis



Fuente. Elaboración propia

Semanalmente, se tomaron las muestras del agua capturada por el prototipo de atrapanieblas en frascos de vidrio y se desplazaron por medio de una nevera portátil al laboratorio de las instalaciones de la Universidad Santo Tomas, donde se midieron los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, turbidez, salinidad mediante el multiparámetro Hanna modelo HI 9829.

Las características fisicoquímicas alcalinidad, acidez, dureza total, dureza cálcica y cloruros se obtuvieron mediante titulaciones. La titulación es un método utilizado en química con el fin de determinar la concentración desconocida de una sustancia en una muestra mediante la adición gradual de un reactivo estándar, con una concentración conocida hasta que se complete la reacción química entre el reactivo estándar y la sustancia analizada (Hanna Instruments, s.f).

En la tabla 3 se describen los indicadores y titulantes utilizados y la coloración que se debe alcanzar. Según el volumen consumido y la molaridad del titulante, se determinó la concentración de cada característica fisicoquímica por cada muestra.

**Tabla 3.**

Descripción de las titulaciones realizadas

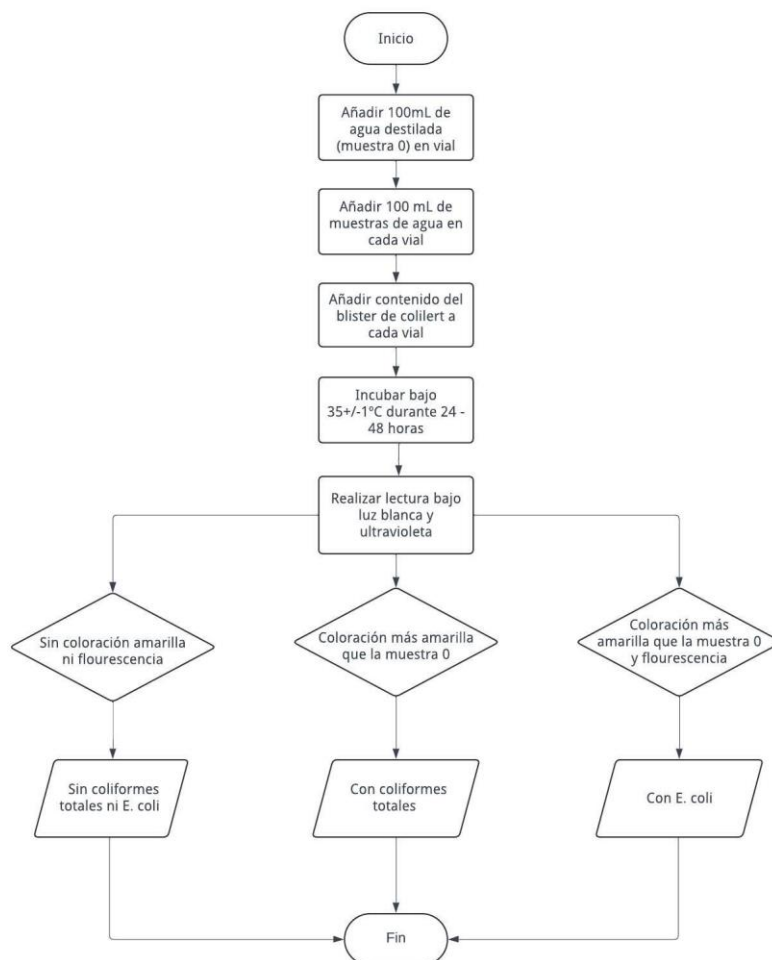
|                       | <b>Indicador</b>                | <b>Titulante</b>  | <b>Coloración</b> |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Alcalinidad</b>    | Fenolftaleína                   | -                 | Incolora          |
| <b>Acidez</b>         | Fenolftaleína                   | NaOH              | Rosado            |
| <b>Dureza total</b>   | Negro de Eriocromo              | EDTA              | Púrpura/azul      |
| <b>Dureza cálcica</b> | Murexida                        | EDTA              | Violeta           |
| <b>Cloruro</b>        | K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> | AgNO <sub>3</sub> | Rojizo            |

Fuente. Elaboración propia

Para determinar la presencia de coliformes totales y/o *Escherichia coli* se realizó la prueba Colilert y un medio de cultivo Agar MacConkey. La prueba de Colilert es un reactivo utilizado para detectar la presencia de coliformes totales y/o *Escherichia coli*. De modo que, los coliformes totales metabolizan el indicador OPNG, tornando a una coloración amarilla; mientras, la *E. coli* metaboliza el indicador MUG, tornando la muestra fluorescente (quimicabb, s.f), en la figura 7 se describe el proceso llevado a cabo para detectar las bacterias mediante esta prueba.

**Figura 7.**

Metodología para detección de coliformes totales y/o *E. coli* mediante prueba Colilert

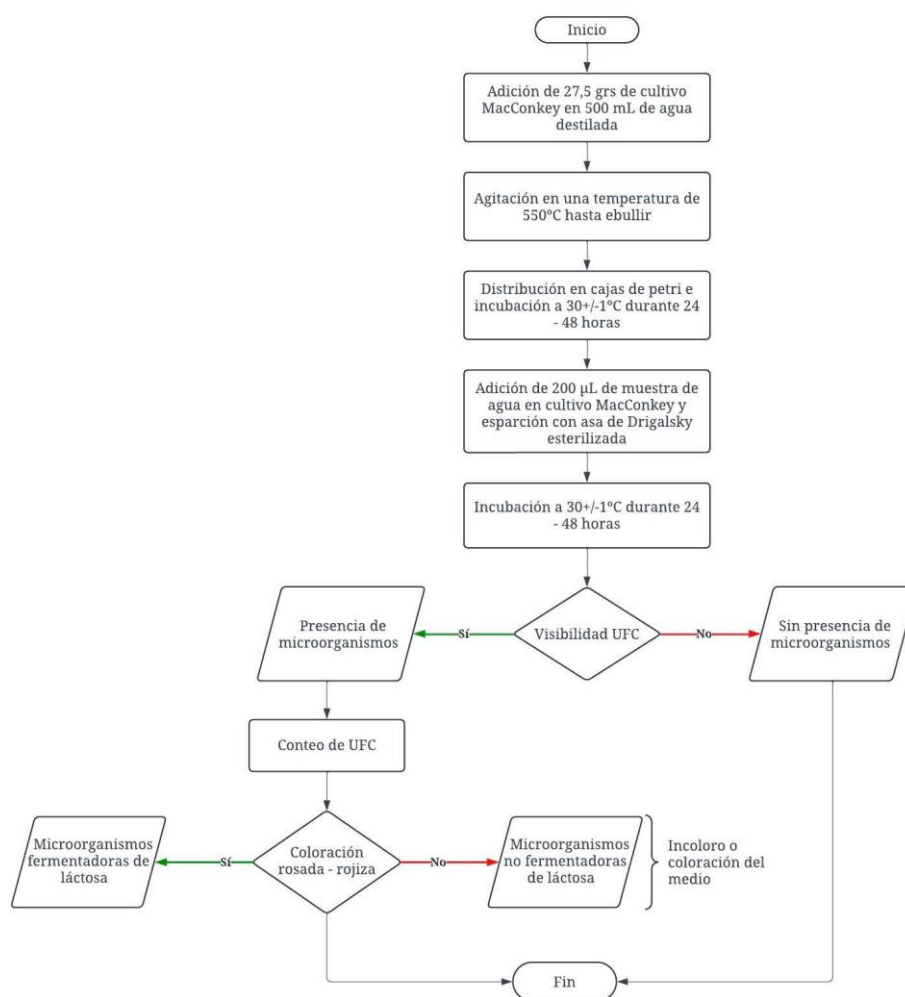


Fuente. Elaboración propia

El medio de cultivo Agar MacConkey tiene el objetivo de aislar bacilos Gram negativos de fácil desarrollo, a partir de la muestra de aguas, detectando microorganismos no fermentadores de lactosa presentados por colonias del color del medio, incoloras y fermentadoras de lactosa representados por colonias rosadas rojizas. En la figura 8 se detalla el procedimiento llevado a cabo para su identificación. En total, se realizaron 20 cajas con medio de cultivo.

**Figura 8.**

Metodología para detección de microorganismos mediante cultivo MacConkey



Fuente. Elaboración propia

Por último, previo a potabilizar el agua, se debe tener en cuenta el nivel de cloro residual libre. Para ello, se utilizó el kit de determinación de cloro libre residual, que consiste en la adición

de tres gotas del reactivo de cloro Cl<sub>2</sub>-1 y tres gotas de Cl<sub>2</sub>-2, más 5mL de agua de muestra. De esta manera dependiendo la coloración se reconoce la concentración de cloro.

Con los resultados de la calidad del agua capturada, se realizó una ruta potabilizadora de las muestras, especificada en el capítulo de Resultados, para que sea apta para consumo humano y que cumpla con la Resolución 2115 de 2007. Para comprobar que el agua potabilizada cumpla con las especificaciones anteriormente mencionadas, se evaluaron de nuevo los parámetros fisicoquímicos, se realizó el medio de cultivo Agar MacConkey y la determinación de cloro libre residual.

Para relacionar las variables meteorológicas con la cantidad de agua recolectada por el prototipo de atrapanieblas, se utilizó el método de regresión estadística. La cantidad de agua recolectada se consideró como la variable dependiente, mientras que las variables independientes fueron temperatura, humedad, velocidad del viento, punto de rocío y precipitación. Se aplicó una regresión lineal simple a cada una de las variables, y una regresión lineal múltiple a aquellas con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) superior al 85%, como la temperatura, el punto de rocío y la velocidad del viento. En el caso de la precipitación, se optó por una regresión logarítmica debido a que su relación con la cantidad de agua recolectada no es lineal. El coeficiente de determinación determina la proporción de la variabilidad de Y, que es explicada por X, midiendo así la proximidad de la recta ajustada a los valores observados de Y (Universidad de Santiago de Compostela, 2012).

## 8. Resultados

La Tabla 4 muestra las cantidades de agua recolectadas por el prototipo de atrapanieblas durante cada semana del estudio. Cabe destacar que, durante la segunda semana, no se recolectó agua debido a un daño en el prototipo causado por la acción del viento, por lo que el agua recolectada se evaporó y se derramó. A pesar de este contratiempo, el atrapanieblas logró recolectar un total de 3230 mL de agua a lo largo del periodo de estudio.

**Tabla 4.**

Cantidad de agua recolectada por semana

| Agua recolectada |                         |          |                         |                         |
|------------------|-------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|
|                  | Semana 1<br>(Muestra 1) | Semana 2 | Semana 3<br>(Muestra 2) | Semana 4<br>(Muestra 3) |
| Cantidad (mL)    | 300                     | 0        | 1560                    | 1370                    |

Fuente. Elaboración propia

### 8.1 Características Y Parámetros Fisicoquímicos Del Agua Recolectada Por El Atrapanieblas

En la tabla 5 se muestran los parámetros y características fisicoquímicas del agua recolectada, comparada con los límites máximos establecidos por la Resolución 2115 de 2007. Los valores resaltados por verde indican que cumplen con los valores máximos permisibles por la resolución; los resaltados en rojo indican que no cumplen; y los que no tienen color son aquellos que no son regulados por dicha resolución.

**Tabla 5.**

Valores de los parámetros y características fisicoquímicas del agua recolectada comparado con la Res. 2115/2007

|                                                  | Valor máximo<br>permisible<br>Resolución<br>2115/2007 | M1       | M2    | M3    |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------|-------|-------|
| pH                                               | 6.5 - 9                                               | 7        | 6,9   | 6,84  |
| Temperatura (°C)                                 | N/A                                                   | 19,62    | 18,97 | 17,62 |
| Oxígeno disuelto (%)                             | N/A                                                   | 26,9     | 15,6  | 13,4  |
| Conductividad (uS/cm)                            | 1000                                                  | 261      | 62    | 107   |
| Sólidos disueltos totales (ppm)                  | N/A                                                   | 131      | 31    | 54    |
| Turbidez (FNU)                                   | 2                                                     | 2,4      | 3,1   | 4,7   |
| Salinidad (PSU)                                  | N/A                                                   | 0,12     | 0,03  | 0,05  |
| Coliformes totales y/o <i>Escherichia coli</i> . | 0                                                     | Positivo |       |       |
| Características fisicoquímicas                   |                                                       |          |       |       |
| Alcalinidad (mg/L)                               | 200                                                   | 0        | 0     | 0     |
| Acidez (mg/L)                                    | 300                                                   | 0,09     | 0,15  | 0,09  |
| Dureza total (mg/L)                              | 250                                                   | 0,357    | 0,056 | 0,101 |
| Dureza cálcica (mg/L)                            | N/A                                                   | 0,309    | 0,074 | 0,082 |
| Cloruros (mg/L)                                  | N/A                                                   | 0,399    | 0,292 | 0,347 |

Fuente. Elaboración propia

La prueba Colilert arrojó resultados positivos de presencia tanto de coliformes totales como de *Escherichia coli*, ya que las muestras reflejan colores amarillos (figura 10) y fluorescencia (figura 9) a diferencia de la muestra 0.

**Figura 9.**

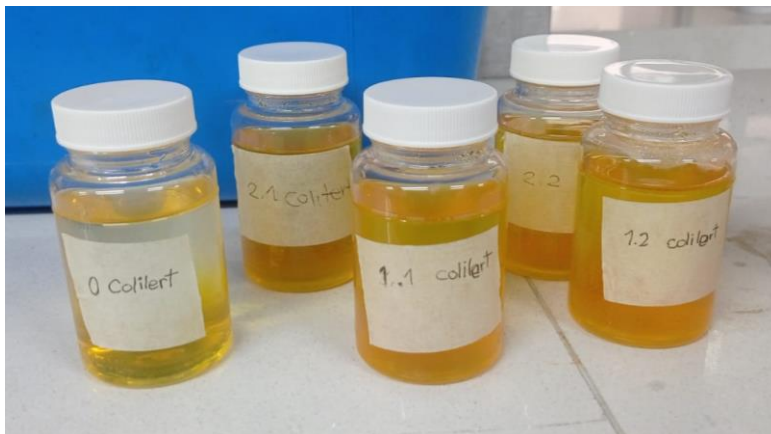
Prueba Colilert bajo luz ultravioleta



Fuente. Elaboración propia

**Figura 10.**

Prueba Colilert bajo luz blanca



Fuente. Elaboración propia

Se identificaron coliformes totales y/o *Escherichia coli* en el agua recolectada utilizando el cultivo en Agar MacConkey, determinando el número de colonias bacterianas en un tiempo aproximado de 120 horas. Para optimizar la cantidad de agua analizada, se realizó una muestra compuesta dividida en dos submuestras.

**Figura 11.**

Cultivo Agar MacConkey de las muestras de agua



Fuente. Elaboración propia

**Tabla 6.**

Colonias bacterianas por cada cultivo

| <b>Cultivo Agar MacConkey</b> | <b>Colonias bacterianas muestra 1</b> | <b>Colonias bacterianas muestra 2</b> |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1                             | 20                                    | 11                                    |
| 2                             | 9                                     | 70                                    |
| 3                             | 2                                     | 5                                     |
| 4                             | 10                                    | 3                                     |
| 5                             | 2                                     | 8                                     |
| 6                             | 4                                     | 8                                     |
| 7                             | 7                                     | 3                                     |

|              |            |            |
|--------------|------------|------------|
| 8            | 38         | 11         |
| 9            | 53         | 1          |
| 10           | 7          | 5          |
| <b>Total</b> | <b>152</b> | <b>125</b> |

Fuente. Elaboración propia

Para la submuestra 1 se estimó la presencia de 2 a 53 UFC/100ml, lo que equivale a una densidad bacteriana de 15,2 UFC/100ml. Para la submuestra 2, se evaluó la presencia de 1 a 70 UFC/100ml, equivalente a 12,5 UFC/100ml.

A continuación, se mostrará el IRCA realizado para el agua recolectada por el prototipo, dando como resultado 62,5%, encontrándose en una clasificada alta y caracterizado por ser un agua no apta para consumo humano.

**Tabla 7.**

IRCA del agua recolectada

| <b>Característica</b> | <b>Puntaje de Riesgo</b> | <b>Puntaje de riesgo características no aceptables</b> |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| Turbiedad             | 15                       | 15                                                     |
| pH                    | 1.5                      | 0                                                      |
| Cloro residual libre  | 15                       | 0                                                      |
| Alcalinidad total     | 1                        | 0                                                      |
| Dureza total          | 1                        | 0                                                      |
| Cloruros              | 1                        | 0                                                      |
| Coliformes totales    | 15                       | 15                                                     |
| <b>Sumatoria</b>      | <b>48</b>                | <b>30</b>                                              |
| <b>IRCA</b>           | <b>62,50</b>             | <b>Alto</b>                                            |

Fuente. Elaboración propia

## 8.2 Ruta de potabilización

Con respecto a los parámetros y características fisicoquímicas identificadas, se optó por una ruta de potabilización simple, que consta de una filtración y desinfección. Se eligió de esta manera para disminuir los parámetros que incumplen con la normativa y así sea apta para consumo humano, siendo un proceso eficiente y con el uso de menores recursos y costos. La ruta está diseñada para potabilizar un litro de agua de muestra compuesta, es decir, la unión de las muestras, formando una sola.

**Figura 12.**

Tren de tratamiento



Fuente. Elaboración propia

La filtración tiene el objetivo de remover impurezas y contaminantes, ayudando así, a eliminar partículas sólidas, mejorar el sabor, color y olor, además de reducir microorganismos patógenos. El filtro utilizado se compone de tres lechos filtrantes, en la parte inferior por carbón activado, en medio con arena y en la parte superior por grava, como se observa en la figura 13.

**Figura 13.**

Lecho filtrante utilizado en tratamiento de agua



Fuente. Elaboración propia

La desinfección se realizó con una concentración de cloro del 5,25

%. Se utilizó la ecuación  $V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2$  para calcular el volumen de cloro necesario que alcance una concentración de cloro residual libre de 1,6 mg/L, valor que se encuentra dentro del rango aceptable establecido por la Resolución 2115 de 2007.

### **8.3 Parámetros fisicoquímicos del agua después de su ruta de potabilización**

En la tabla 8 se muestran los parámetros fisicoquímicos obtenidos por el multiparámetro después de la potabilización del agua comparados con los límites máximos establecidos por la Resolución 2115 de 2007. Los valores resaltados por verde indican que cumplen con los valores máximos permisibles por la resolución; y los que no tienen color son aquellos que no son regulados por dicha resolución.

**Tabla 8.**

Parámetros fisicoquímicos después de la potabilización

| <b>Parámetros fisicoquímicos</b>                   |                                                             |                |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------|
|                                                    | <b>Valor máximo<br/>permisible Resolución<br/>2115/2007</b> | <b>Muestra</b> |
| pH                                                 | 6.5 - 9                                                     | 6,7            |
| Temperatura (°C)                                   | N/A                                                         | 17,86          |
| Oxígeno disuelto (%)                               | N/A                                                         | 0              |
| Conductividad (uS/cm)                              | 1000                                                        | 116            |
| Sólidos disueltos totales<br>(ppm)                 | N/A                                                         | 131            |
| Turbidez (FNU)                                     | 2                                                           | 1,2            |
| Salinidad (PSU)                                    | N/A                                                         | 0,03           |
| Coliformes totales y/o<br><i>Escherichia coli.</i> | 0                                                           | Negativo       |

Fuente. Elaboración propia

Se realizó nuevamente un cultivo Agar MacConkey con el agua tratada, en el que se obtuvo 0 colonias bacterianas, como se puede ver en la figura 14.

**Figura 14.**

Cultivo Agar MacConkey para el agua tratada



Fuente. Elaboración propia

#### 8.4 Datos meteorológicos medidos por la estación meteorológica

A continuación, se presentan los datos meteorológicos medidos por la estación meteorológica durante las semanas de estudio.

**Tabla 9.**

Datos meteorológicos durante las cuatro semanas de estudio

| Semanas | Temperatura<br>(°C) | Humedad<br>(%) | Precipitación<br>(mm) | Punto de<br>rocío | Velocidad del<br>viento (m/s) |
|---------|---------------------|----------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------|
| 1       | 12,86               | 62             | 2,27                  | 9,19              | 1,21                          |
| 2       | 12,36               | 64,99          | 1,1                   | 8,99              | 1,36                          |
| 3       | 13,52               | 67             | 49,27                 | 10,71             | 0,45                          |
| 4       | 13,139              | 66             | 14,72                 | 10,08             | 0,59                          |

Fuente. Elaboración propia

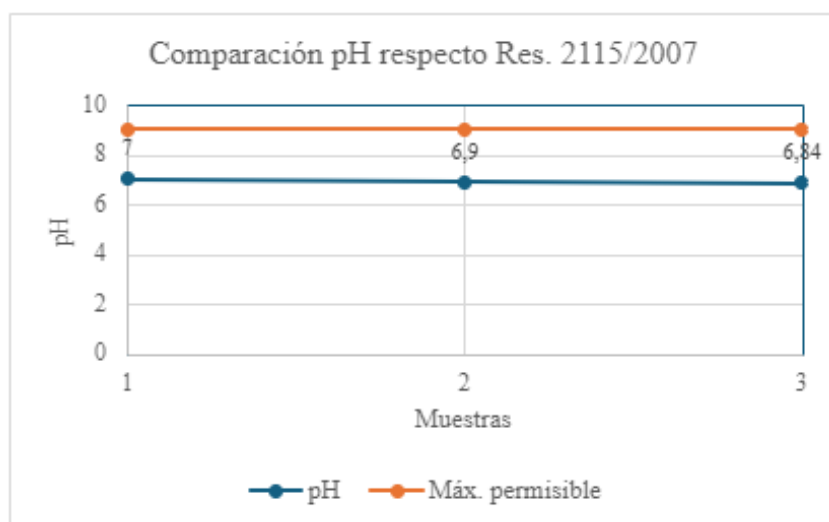
## 9. Análisis y discusión de resultados

### 9.1 Características y parámetros fisicoquímicos del agua recolectada por el atrapanieblas

**pH:** el vapor de agua en la atmosfera tiene un pH natural de 5,6 aproximadamente, denominado como ligeramente ácido según la escala de pH. Aun así, los resultados de las muestras arrojaron un rango de 6,8 a 7, los cuales cumplen con la resolución e indican que el agua recolectada tiene un pH neutro.

**Figura 15.**

Comparación de pH respecto a la resolución 2115 de 2007



Fuente. Elaboración propia

El pH neutro de las muestras señala que en el entorno no se llevan a cabo actividades generadoras de emisiones que afecten los niveles de pH, por el contrario, es una zona de bosque altoandino y subpáramo.

**Temperatura:** Las muestras se encuentran en un rango de temperatura de 17,62°C a 19,62°C, reflejando temperatura ambiente y condiciones normales.

**Oxígeno disuelto:** En las muestras se observa una disminución progresiva en los niveles de oxígeno disuelto a lo largo del tiempo, con valores de 26,9% en la primera muestra, 15,6% en

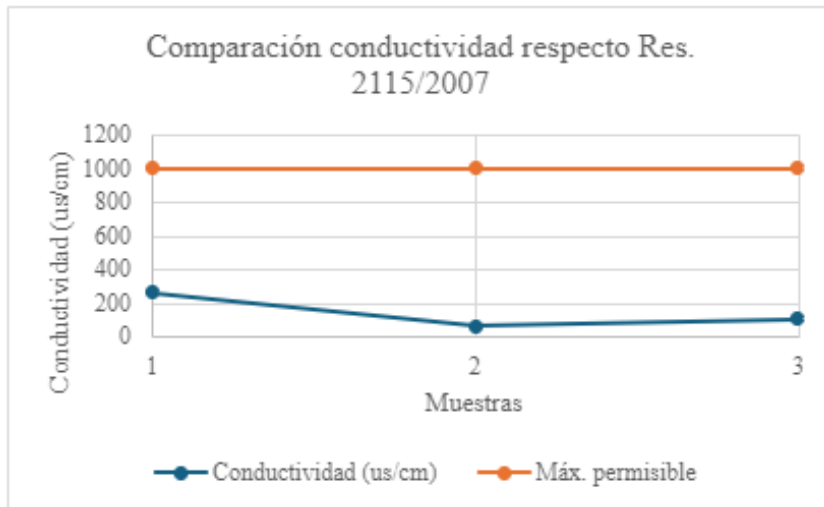
la segunda y 13,4% en la tercera. Esta reducción puede deberse a un aumento en la actividad microbiana, que consume oxígeno, combinado con la posible descomposición de materia orgánica en el agua. Estos factores contribuyen a una disminución gradual en los niveles de oxígeno disuelto en las muestras a medida que avanza el tiempo.

**Conductividad:** Las sales dentro del agua tiene la capacidad de transportar la energía eléctrica, es decir que entre más sales se encuentre en el agua la conductividad aumentara (Muñoz, 2020). En este caso podemos tomar que la salinidad coincide con lo anterior, en la muestra uno se encuentra una conductividad elevada ya que es la que se encuentra con mayor salinidad, viceversa con la muestra dos, es la que presenta menor conductividad y menor cantidad de salinidad.

La niebla al formarse en la capa más baja de la atmósfera, donde hay mayor cantidad de gases, es una fuente importante de deposición iónica. Su composición química está influenciada por las emisiones naturales y antropogénicas ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ ). (Quinche, 2019). Las sales minerales son buenas conductoras, mientras que las materias orgánicas y coloidales tienen una conductividad baja (Pérez López, 2016). De acuerdo a esto, la ubicación del prototipo de atrapanieblas presenta una contaminación moderada, aunque no lo suficientemente alta como para elevar la conductividad por encima de los 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Figura 16.**

Comparación de la conductividad respecto a la resolución 2115 de 2015



Fuente. Elaboración propia

Podemos observar en la figura 16 que las muestras se encuentran en un rango de cumplimiento, con respecto a la conductividad, encontrándose muy debajo de los 1000 us/cm, valor máximo permisible.

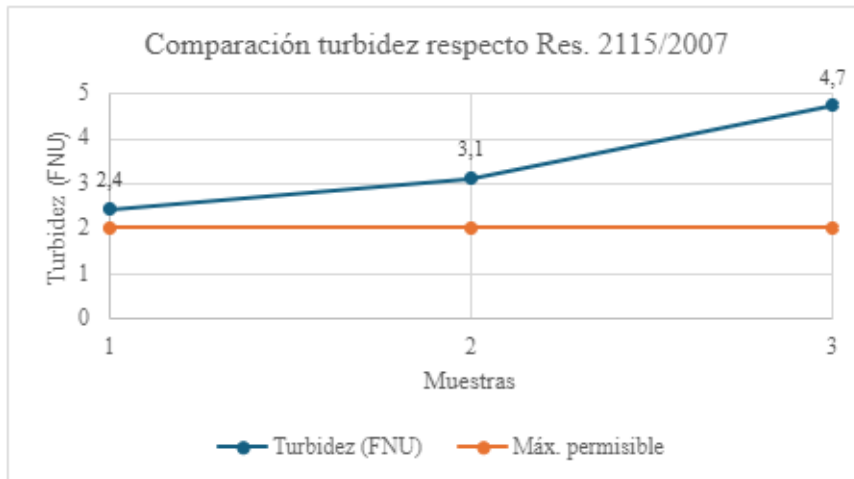
**Sólidos disueltos totales:** Los SDT incluyen las sales, minerales, metales y cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico que se disuelve en el agua (Muñoz, 2020), según (Truque, s.f) el agua potable se considera buena con una proporción de sólidos disueltos totales inferiores a 600 mg/L, y se considera significativamente desagradable a niveles superiores de 1000 mg/L, por lo que el agua capturada cumple con lo requerido por la OMS.

**Turbidez:** La turbiedad describe la pérdida de claridad del agua causada por partículas en suspensión, precipitados químicos, partículas orgánicas y organismos (OMS, 2017). Como podemos notar en las muestras existe un aumento de turbiedad lo largo del tiempo. En la muestra uno, se obtuvo una turbiedad de 2,4 FNU y en la tercera muestra la turbiedad llego aumentar hasta 2,3 unidades. Esto puede deberse a que alrededor del prototipo de atrapanieblas se encontraban en remodelaciones, sumado a la acción del viento, pudo haber arrastre de

partículas que influenciaron al aumento de la turbiedad. La turbiedad obtenida no cumple con los valores máximos permisibles.

**Figura 17.**

Comparación de la turbiedad con respecto a la resolución 2115 de 2015



Fuente. Elaboración propia

**Salinidad:** La proporción de sales en las muestras es significativamente baja, con cantidades que no superan un miligramo por litro. La salinidad es proporcional a la conductividad, por ende, la muestra de mayores sales es la primera, seguido de la tercera y por último, la segunda.

**Alcalinidad:** Esta se refiere a la suma de cada elemento en el agua que eleva el pH por encima de un valor de 7. Además, se entiende como la capacidad del agua para mantener su pH ante condiciones ácidas o alcalinas (Flores y Machuca, 2017). Todas las muestras tienen una concentración nula de alcalinidad, por lo que se considera propensa a la contaminación (se recomienda una concentración de 30 mg mg/L), ya que no tiene la suficiencia para disminuir el pH.

**Acidez:** Las muestras tienen contenidos bajos de acidez lo cual no supera el miligramo por litro. En conjunto con el resultado de los niveles de pH, el agua recolectada es ligeramente ácida, alcanzó niveles de neutralidad.

**Dureza:** Esta determina el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. Las concentraciones inferiores a 100 mg/L son consideradas aguas blandas (Flores y Machuca, 2017), por lo que el agua recolectada hace parte dentro de esta clasificación. La OMS tiene un valor máximo para la dureza de 160, por lo tanto, las muestras de agua cumplen con este estándar, ya que el agua capturada tiene valor de 0,07 a 0,3 mg/L.

**Cloruro:** Las aguas naturales contienen concentraciones de cloruro menores a 10 mg/L (WHO, 2011), niveles muy bajos que no causan daño en la salud. Las muestras de agua contienen concentraciones desde 0,03 a 0,04 mg/L, siendo significativamente bajas, pero sin repercutir en la calidad del agua.

**Coliformes totales y/o *Escherichia coli*:** Con la prueba Colilert, se detectó la presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*. Además, mediante el cultivo Agar MacConkey se estimó una densidad bacteriana de 15,2 UFC/100ml para la submuestra 1, y de 12,5 UFC/100ml para la submuestra 2, lo que incumple con la Resolución 2115 de 2015. La presencia de *Escherichia coli* indica contaminación fecal reciente (Fernández Santisteban, 2017), lo que sugiere la posible influencia de fuentes cercanas, como ganado alledaño o perros callejeros. En contraste, la detección de coliformes totales, aunque también puede estar asociada con materia fecal, es común en suelos y en superficies de agua dulce (IDEAM, s.f), por lo que podrían haber quedado atrapadas en la malla Raschel debido al arrastre de partículas de materia orgánica en descomposición, como restos de plantas y animales, transportadas por el viento.

**Cloro residual libre:** En la prueba de determinación de cloro residual libre realizada en las muestras de agua, los resultados de la coloración indicaron la ausencia de concentraciones.

**Figura 18.**

Prueba de determinación cloro residual libre



Fuente. Elaboración propia

Los parámetros fisicoquímicos que cumplieron con la resolución 2115 de 2007 son pH, conductividad, alcalinidad, acidez y dureza total. Sin embargo, la turbiedad incumple con un rango de 2,4 a 4,7 FNU, sumado a la presencia de agentes microbianos como *Escherichia coli*.

Como se observó en la tabla 8 en la sección de resultados, los parámetros obtenidos después de la potabilización cumplen con los valores máximos permisibles de la Resolución 2115 de 2007, eso quiere decir que el agua es apta para consumo humano.

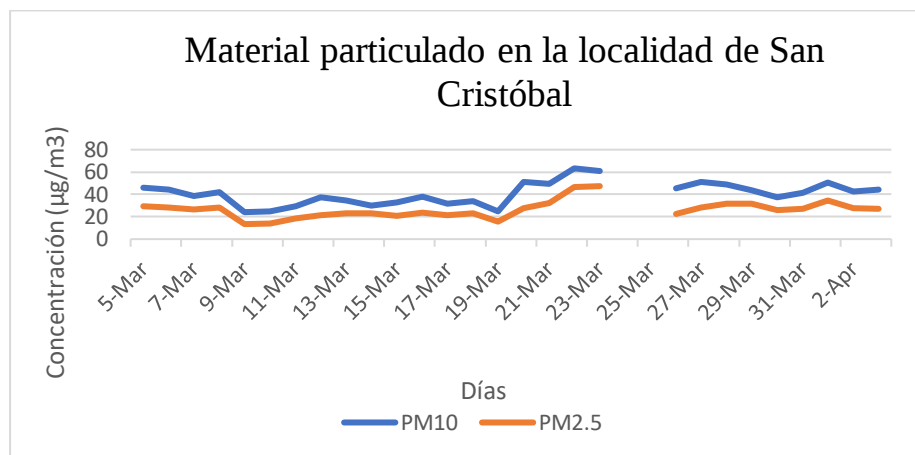
**9.2 Relación entre material particulado y agua recolectada**

La siguiente gráfica describe la concentración de material particulado de 10 y 2.5  $\mu\text{m}$  determinada por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire ubicada en la localidad de San

Cristóbal (datos obtenidos mediante el IBOCA) durante las semanas de estudio, a excepción de los días 24 y 25 de marzo, en que no hubo datos existentes.

**Figura 19.**

Material particulado en la localidad de San Cristóbal



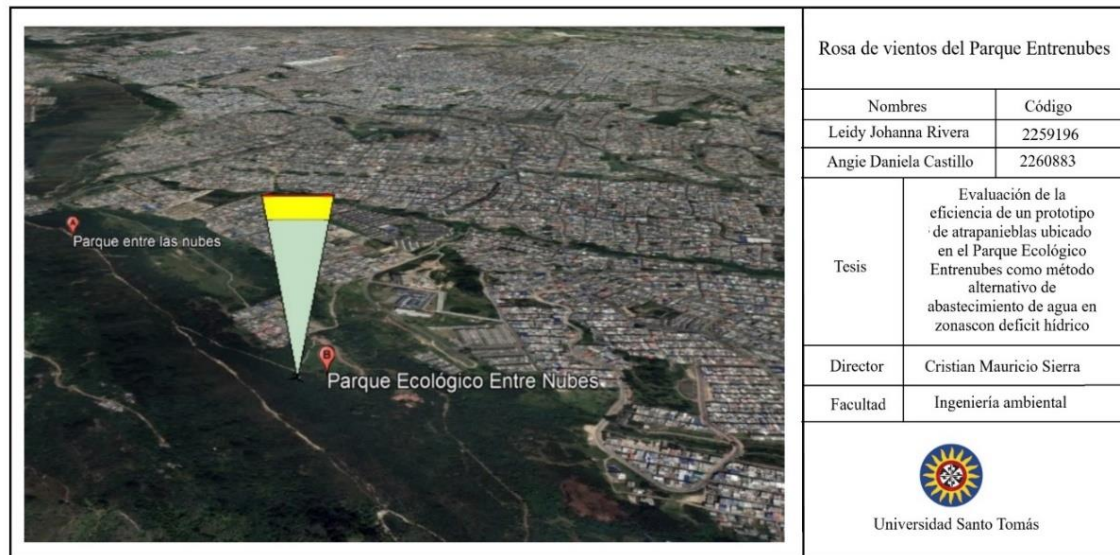
Fuente. Elaboración propia

Tanto PM 10, como PM 2.5 cuentan con el mismo comportamiento, aun así, hay mayor concentración de PM10. Según Gaviria et al. (2011), la OMS determinó como riesgo para la salud humana  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  media diaria de PM 2.5 y  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  media diaria de PM 10, por lo que en la semana 3 por parte de PM 10, y las semanas 1, 3 y 4 por parte de PM 2.5 no cumplen con los estándares establecidos por la OMS. Dicho esto, los niveles de turbiedad del agua recolectada pueden estar alterados debido a las concentraciones de material particulado de la localidad, especialmente en la semana 3, equivalente a la muestra 2.

### 9.3 Influencia de los vientos en el prototipo de atrapanieblas

**Figura 20.**

Rosa de vientos del Parque Entrenubes plasmada en Google Earth

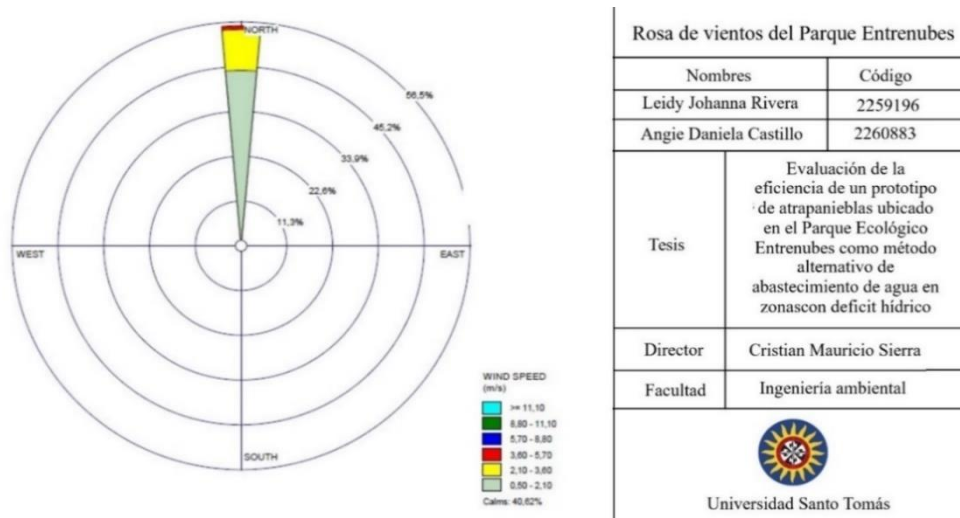


Fuente. Elaboración propia

El Parque Entrenubes se encuentra a 3.100 msnm, en una zona de bosque altoandino y subpáramo, además de formar parte del grupo de cerros y montes de la cordillera oriental. Según estas descripciones, la zona tendría una clasificación de vientos de valle y ladera, caracterizados por las zonas montañosas, donde hay vientos valle-montaña en el día, cálido y montaña-valle en la noche (Cárdenas, 2015). En Colombia, están presentes los vientos alisios y la fuerza de Coriolis, que rigen desde el noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur, sin embargo, la zona de estudio está en zona montañosa con relieves conformados por cerros, por lo que pierden velocidad al chocar con estos relieves (Cárdenas, 2015).

**Figura 21.**

Rosa de vientos del Parque Entrenubes en las cuatro semanas de estudio



Fuente. Elaboración propia

Se construyó una rosa de vientos con los datos de las cuatro semanas de investigación, con lo que se puede identificar que predomina el rumbo norte, con una ocurrencia de vientos de hasta 5,7 m/s, a una frecuencia aproximada de 56,5%. Ya que los vientos se inclinan hacia el norte, el prototipo se ubicó hacia esta dirección, con el fin de contribuir a la captación de agua. Según la escala de Beaufort, los vientos de la zona de estudio son considerados brisa débil a moderada, por lo que su grado de intensidad tiene la capacidad de levantar polvo, hojas de papel, ramas y agitar la copa de los árboles.

Con respecto a lo anterior, teniendo en cuenta varios factores evidenciados durante las semanas de implementación del prototipo, como la remodelación del techo del aula ambiental, un jardín próximo al atrapanieblas y las montañas aledañas, las partículas y sedimentos de material de construcción, tierra y polvo pudieron llegar hasta la malla del prototipo y unificarse al agua capturada, afectando los parámetros fisicoquímicos del agua, especialmente la turbiedad, que incumplió con el límite máximo permisible por Resolución 2115 de 2007.

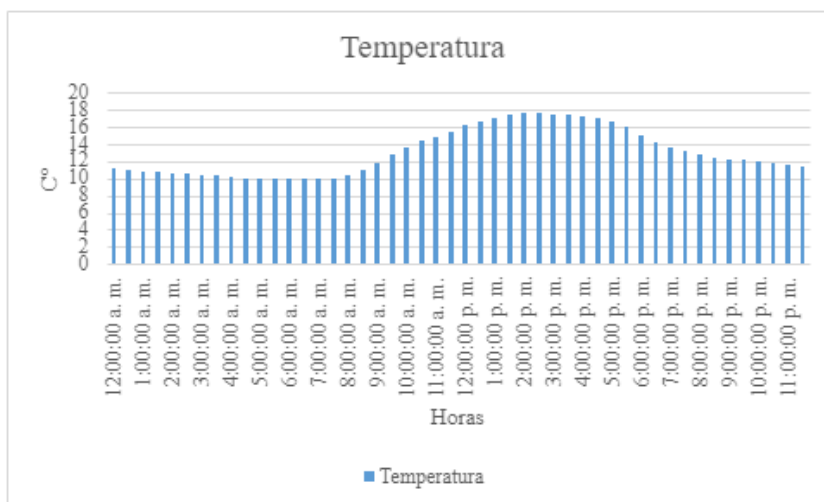
#### 9.4 Datos meteorológicos del Parque Entrenubes

Es importante destacar que los datos meteorológicos se vieron directamente afectados por el Fenómeno del Niño, que comenzó en junio de 2023. Durante los meses siguientes, las temperaturas se mantuvieron constantes; sin embargo, los impactos fueron más pronunciados a finales de 2023 y principios de 2024. El IDEAM informó que en enero de 2024, 29 municipios alcanzaron su temperatura más alta registrada. Como resultado, entre el 1 y el 31 de enero de 2024, se reportaron 444 incendios apagados en toda Colombia (Flores, 2024; Rendo, 2024).

A continuación, se presentan las variables meteorológicas medidas de manera horaria. Estas variables se calcularon tomando un promedio de las lecturas registradas cada media hora durante las semanas de estudio. Esta metodología asegura una representación precisa de las condiciones meteorológicas, permitiendo un análisis detallado de cómo las fluctuaciones horarias afectan los resultados y optimizando la interpretación de los datos.

**Figura 22.**

Temperatura media horaria

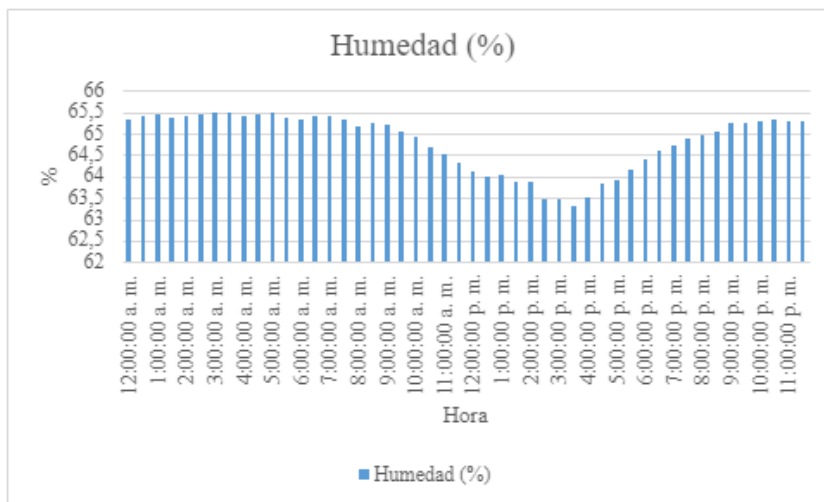


Fuente. Elaboración propia

La temperatura tiende a aumentar a partir de las 8:00 a.m. por la salida del sol, alcanzando los 18°C entre las 1:30 p.m. a 2:30 p.m. y decreciendo notablemente desde las 5:00 p.m., con menores picos en el rango de 4:00 a.m. a 7:30 a.m. con 10°C.

**Figura 23.**

Humedad media horaria

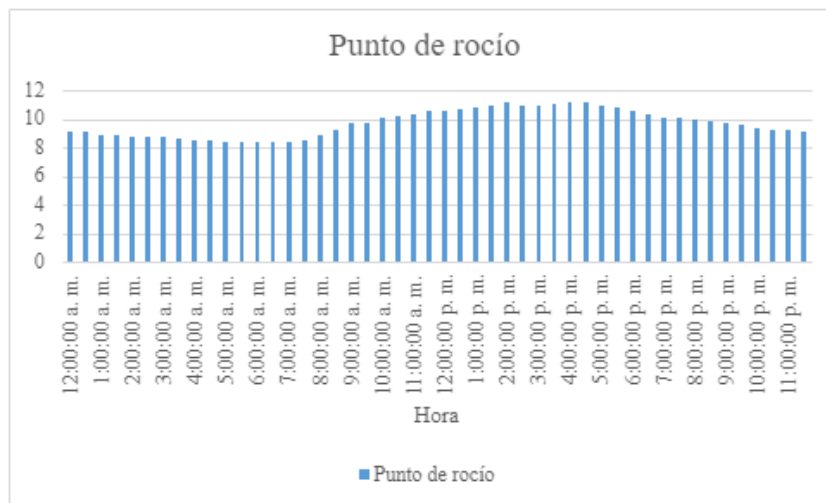


Fuente. Elaboración propia

Por el contrario, la humedad relativa contó con menores picos en el rango horario de 10:30 a.m. a 7:00 p.m., debido al aumento de temperatura, por lo que la cantidad de vapor presente en el aire no aumentó para mantener una humedad relativa constante. Sin embargo, la variabilidad de la humedad va desde 63,3% a 65,5%, por lo que no son fluctuaciones importantes, y se puede deber a que el vapor de agua en el aire no varía de manera drástica a lo largo del día.

**Figura 24.**

Punto de rocío medio horario

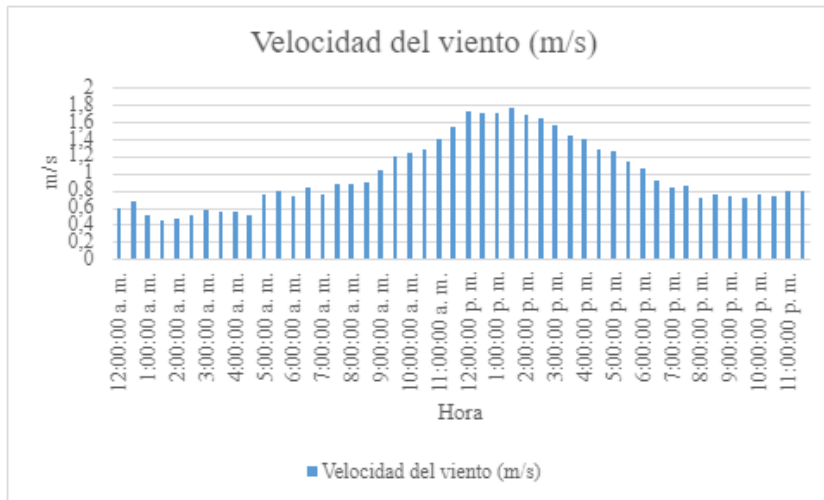


Fuente. Elaboración propia

El punto de rocío varía entre 8,2 a 11. Durante el rango horario de 4:00 a.m. a 7:30 a.m., se presenta el menor punto de rocío debido a la baja retención de vapor de agua en el aire por una disminución en las temperaturas, lo que conlleva a la condensación del vapor de agua. En conclusión, la cantidad de vapor de agua no es significativamente variable, pero entre las 4:00 a.m. a 7:30 a.m., son las horas en que se condensa y se genera la niebla, lo que puede ser el rango horario en qué mayor recolección de agua se obtuvo.

**Figura 25.**

Velocidad del viento media horaria



Fuente. Elaboración propia

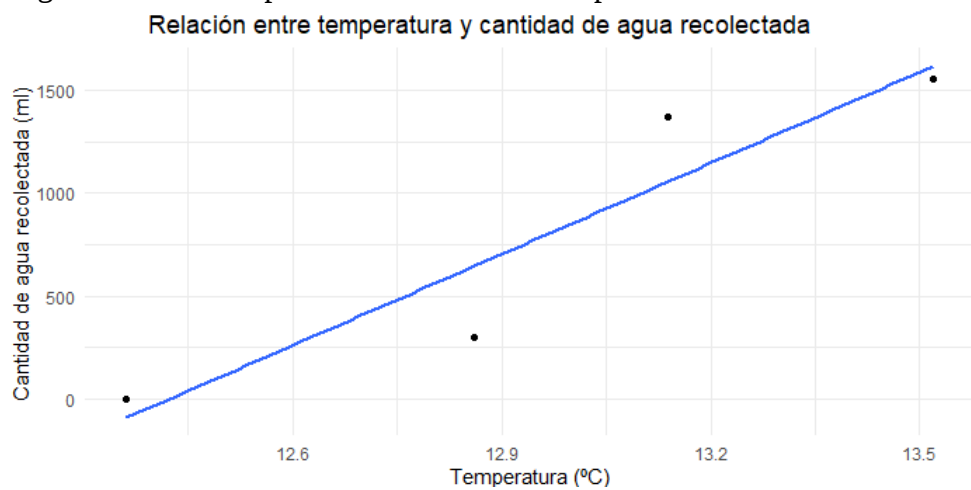
La velocidad del viento varía entre los 0,4 m/s a 1,8 m/s, su pico se presenta en el rango horario de 12:00 p.m. a 1:30 p.m., por lo que se puede considerar de brisa muy débil a brisa débil.

En relación con la variable de precipitación, es importante destacar que no se midió de manera horaria. La precipitación puede presentar una considerable variación a lo largo del día, y dado que la investigación tuvo una duración de solo 4 semanas, no fue posible analizar con detalle el comportamiento diario de esta variable. Además, la investigación se vio afectada por el fenómeno de El Niño, lo que podría haber influido significativamente en los patrones de precipitación durante el período de estudio.

Como se mencionó anteriormente, para analizar la relación entre cantidad de agua capturada (tabla 3) por el atrapanieblas, respecto a las variables meteorológicas medidas (tabla 9), se empleó la regresión lineal simple. Como variable dependiente se utilizó la cantidad de agua recolectada y como variables independientes, la temperatura, humedad, punto de rocío, velocidad del viento y precipitación.

**Figura 26.**

Regresión lineal simple con la variable de temperatura



Fuente. Elaboración propia

Las temperaturas de las cuatro semanas oscilan entre 12,3°C a 13,5°C, viendo así un aumento drástico por cada semana ya que se encuentra en temporada del fenómeno del Niño, además podemos observar en la gráfica que entre mayor sea la temperatura, mayor es la captación de agua, ya que para 1560 ml capturados la temperatura se encontró aproximadamente en 13,5 °C y para 0 ml la temperatura se encontró en menos de 12,6 °C, sin embargo, esta es una temperatura estándar media para la ciudad de Bogotá, ya que las temperaturas promedio para el mes de marzo y abril se encontraron en 20°C.

**Tabla 10.**

Resultados de la regresión lineal simple con la variable de temperatura

| Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p | r <sup>2</sup> |
|----------------------------|----------------|---------|---------|----------------|
| 1478,3                     | 400,3          | 3,69    | 0,066   | 0,872          |

Fuente. Elaboración propia

Para la variable de temperatura el coeficiente estimado indica que la variable dependiente cambie un 1478,3 con respecto a los cambios en la variable independiente, con un error relativamente alto de 400,3, es decir, se esperaría que la estimación del agua recolectada varíe

aproximadamente en  $\pm 400,3$  unidades si se repitiera el muestreo de los datos. El valor  $t$  es 3,69 y el valor  $p$  es 0,06 (6%), es decir que el valor  $p$  asociado con el valor  $t$  tienen un valor mayor a 0,05 (5%) por lo que, la variable de temperatura no tiene un efecto significativo en la cantidad de agua recolectada. Sin embargo, este 6% no necesariamente implica que no haya ningún efecto, solo indica que no hay suficiente evidencia para afirmar que este efecto es significativo, con un nivel de confianza del 95%. El  $r^2$  es de 0,87, por lo que, 87 % del agua capturada puede deberse a la variable de temperatura.

La ecuación generada a partir de la regresión lineal simple es la siguiente:

$$y = 1478,3 \times x - 18365$$

En este modelo, la variable llamada  $Y$  es la variable dependiente, que representa la cantidad de agua recolectada, mientras que la variable  $X$  es la variable independiente, que representa la temperatura. El objetivo de esta ecuación es predecir con qué temperatura la captación de agua será óptima.

**Tabla 11.**

Predicciones con respecto a la variable de temperatura

| Cambios de temperatura | Predicciones de agua capturada (ml) |
|------------------------|-------------------------------------|
| 13                     | 852,9                               |
| 14                     | 2331,2                              |
| 15                     | 3809,5                              |
| 16                     | 5287,8                              |
| 17                     | 6766,1                              |
| 18                     | 8244,4                              |
| 19                     | 9722,7                              |

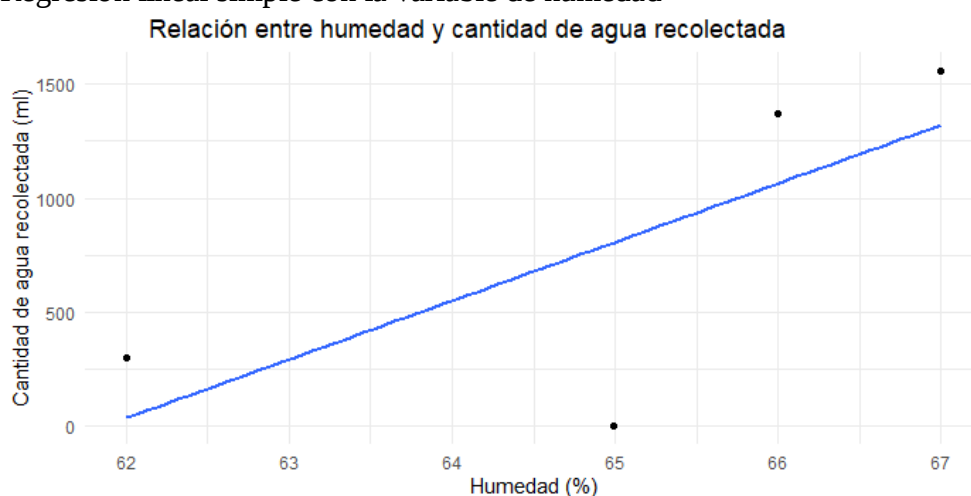
|    |       |
|----|-------|
| 20 | 11201 |
|----|-------|

Fuente. Elaboración propia

Según lo planteado anteriormente en los antecedentes, las condiciones óptimas para una mayor eficiencia del atrapanieblas son de una temperatura de 8 a 20°C, según la tabla 11, desde 13°C se obtienen valores positivos y para 20°C se llegaría a recolectar 11201 ml por semana.

**Figura 27.**

Regresión lineal simple con la variable de humedad



Fuente. Elaboración propia

La humedad de las cuatro semanas de estudio está entre 62% y 67 %, se evidenció que, entre mayor humedad, mayor será la captación de agua, ya que para una humedad de 67% se capturó mayor agua. Pero para la semana dos, en la cual no se capturó agua, se encuentra una mayor humedad que en la semana uno, con una diferencia de 3 % de humedad.

**Tabla 12.**

Resultados de la regresión lineal simple con la variable de humedad

| Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p | r <sup>2</sup> |
|----------------------------|----------------|---------|---------|----------------|
| 257,48                     | 176            | 1460    | 0,282   | 0,516          |

Fuente. Elaboración propia

Para la variable de humedad el coeficiente estimado indica que la variable dependiente cambie un 257,48 con respecto a los cambios en la variable independiente, con un error alto de 176, es decir, se esperaría que la estimación del agua recolectada varíe aproximadamente en  $\pm 174$  unidades si se repitiera el muestreo de los datos. El valor  $t$  es 1460 y el valor  $p$  es 0,28 (28%), es decir que si el valor  $p$  asociado con el valor  $t$  tiene un valor mayor a 0.05 (5%) la variable de humedad no tiene un efecto significativo en la cantidad de agua recolectada. Con respecto a  $r^2$  con un valor de 0,51, el 51 % del agua capturada puede explicarse por la variable de humedad.

La ecuación generada a partir de la regresión lineal simple:

$$y = 256,48 \times x - 15872$$

En este modelo, la variable llamada  $Y$  es la variable dependiente, que representa la cantidad de agua recolectada, mientras que la variable  $X$  es la variable independiente, que representa la humedad. El objetivo de esta ecuación es predecir con qué humedad la captación de agua será óptima.

**Tabla 13.**

Predicciones con respecto a la variable de humedad

| <b>Cambios de humedad</b> | <b>Predicciones de agua capturada (ml)</b> |
|---------------------------|--------------------------------------------|
| 68                        | 1568,64                                    |
| 70                        | 2081,6                                     |
| 75                        | 3364                                       |
| 80                        | 4646,4                                     |

|     |         |
|-----|---------|
| 85  | 5928,8  |
| 90  | 7211,2  |
| 95  | 8493,6  |
| 98  | 9263,04 |
| 100 | 9776    |

Fuente. Elaboración propia

Según lo planteado anteriormente en los antecedentes, las condiciones óptimas para una mayor eficiencia del atrapanieblas son de una humedad relativa de 80 a 100%, en este rango de humedad el agua recolectada puede ser entre los 4646,4 ml a 9776 ml por semana.

A continuación, se mostrará una tabla indicando el porcentaje de agua lluvia vertical capturada por la canaleta del atrapanieblas. La columna 3 indica la cantidad de agua lluvia vertical recolectada por la canaleta en ml, teniendo en cuenta el área del tubo y la precipitación semanal, de la siguiente forma:

$$\text{Área}(m^2) \times \text{lámina de agua (mm)} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \times \frac{1000000 \text{ ml}}{1 m^3}$$

La columna 4 indica el porcentaje de lluvia del agua recolectada, hallado mediante la diferencia entre lluvia y agua recolectada.

**Tabla 14.**

Porcentaje de agua lluvia recolectado por el atrapanieblas

| Semanas | Diferencia de agua recolectada y la precipitación | Lluvia recolectada por el atrapanieblas (ml) | Porcentaje de agua lluvia |
|---------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|
| 1       | 132,156                                           | 28,829                                       | 10%                       |
| 2       | 0                                                 | 13,97                                        | 0%                        |

|   |        |         |     |
|---|--------|---------|-----|
| 3 | 31,662 | 625,729 | 40% |
| 4 | 93,071 | 186,944 | 14% |

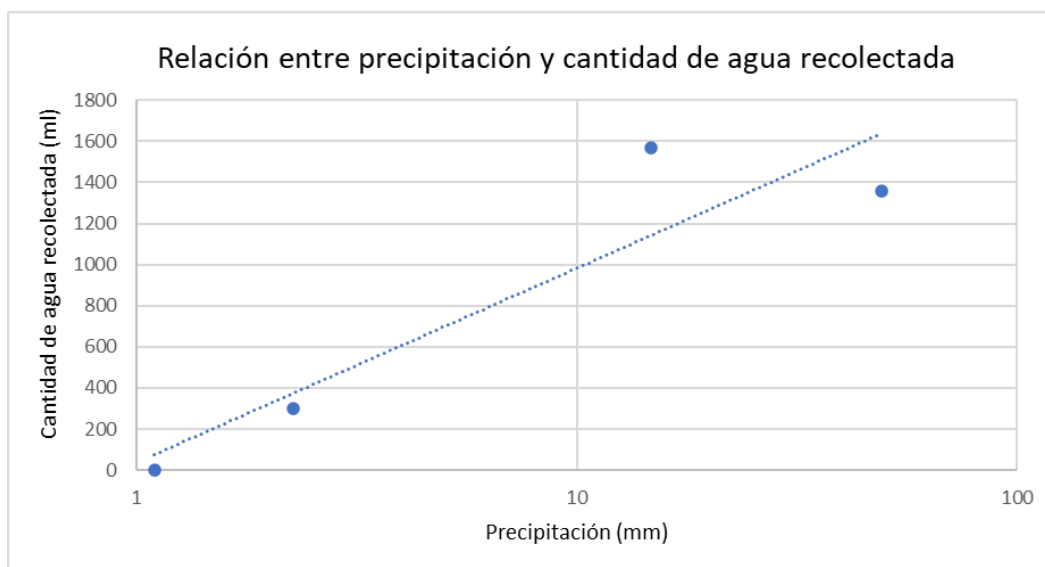
Fuente. Elaboración propia

Aquí podemos analizar que la semana 3 es donde tiene un mayor porcentaje de agua lluvia capturada en el atrapanieblas con un valor del 40%, ya que fue la semana donde se presentaron más lluvias con 49,27 mm, a diferencia de las otras semanas que presentaron un rango de 1,1 a 14,72 mm. Es decir que el agua realmente capturada por el atrapanieblas para cada semana son las siguientes: para la semana uno 271,171 ml, para la semana tres 934,271 ml y para la cuarta semana 1183,056 ml.

Se realizó una regresión logarítmica para la variable precipitación porque los datos no mostraban un comportamiento lineal adecuado cuando se intentó aplicar una regresión lineal. La relación entre la precipitación y el agua recolectada se ajustó mejor a un modelo logarítmico, reflejando una asociación no lineal más precisa.

### Figura 28

Regresión logarítmica con la variable de precipitación



Fuente. Elaboración propia

Aunque el agua capturada por el atrapanieblas contiene proporciones de agua de lluvia, estas no superan el 20% en la mayoría de los casos, con la excepción de la tercera semana, en la que la precipitación casi alcanzó los 50 mm. Es notable que, durante la cuarta semana, a pesar de una precipitación de solo 14,72 mm, se recolectó más agua que en la tercera semana, cuando la precipitación fue tres veces mayor.

**Tabla 15.**

Resultados de la regresión logarítmica con la variable de precipitación

| Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p | r <sup>2</sup> |
|----------------------------|----------------|---------|---------|----------------|
| 410,78                     | 122,69         | 3,348   | 0,079   | 0,848          |

Fuente. Elaboración propia

El coeficiente estimado para la variable de precipitación es de 410,78, lo que sugiere que un cambio unitario en la precipitación (en su forma logarítmica) está asociado con un cambio de 410,78 unidades en la cantidad de agua recolectada. Sin embargo, el error estándar de  $\pm 122,69$  indica que esta estimación tiene una cierta incertidumbre. El valor t obtenido es 3,348, con un valor p de 0,079, lo que sugiere que, aunque el modelo muestra una relación positiva, esta no es estadísticamente significativa al nivel del 5%, implicando que el impacto de la variable de precipitación sobre la cantidad de agua recolectada no es concluyente en este nivel de significancia. A pesar de esto, el valor de r<sup>2</sup> de 0,848 indica que el 84,8% de la variabilidad en la cantidad de agua recolectada puede ser explicada por la variable de precipitación en el modelo, lo que sugiere un buen ajuste del modelo.

La ecuación generada a partir de la regresión logarítmica es:

$$y = 410,78 \times \ln(x) + 37,119$$

En este modelo, la variable llamada Y es la variable dependiente, que representa la cantidad de agua recolectada, mientras que la variable X es la variable independiente, que representa la

precipitación. El objetivo de esta ecuación es predecir con qué precipitación la captación de agua será óptima.

**Tabla 16.**

Predicciones con respecto a la variable de precipitación

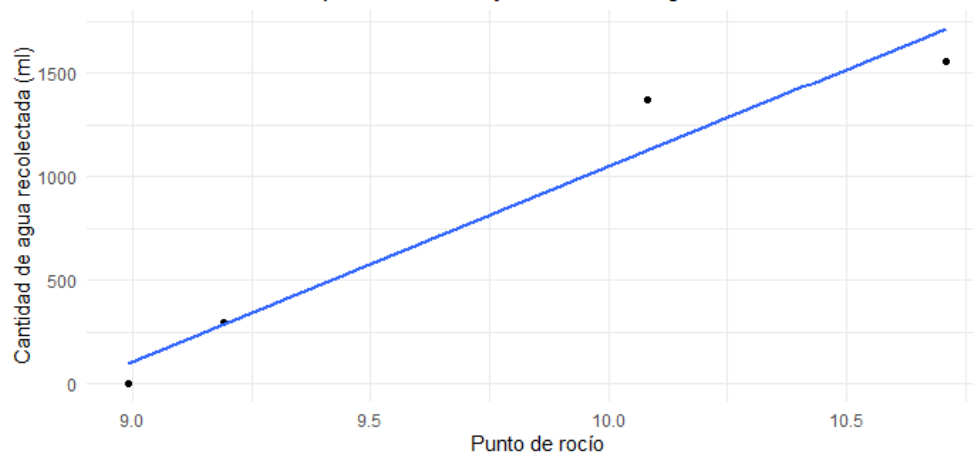
| <b>Cambios de precipitación</b> | <b>Predicciones de agua capturada (ml)</b> |
|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 50                              | 1644,10                                    |
| 52                              | 1660,21                                    |
| 54                              | 1675,71                                    |
| 56                              | 1690,65                                    |
| 58                              | 1705,07                                    |
| 60                              | 1718,99                                    |
| 62                              | 1732,46                                    |
| 64                              | 1745,50                                    |
| 66                              | 1758,15                                    |
| 68                              | 1770,41                                    |
| 70                              | 1782,32                                    |

Fuente. Elaboración propia

**Figura 29.**

Regresión lineal simple con la variable de punto de rocío

Relación entre punto de rocío y cantidad de agua recolectada



Fuente. Elaboración propia

El punto de rocío estimado para las cuatro semanas está en un rango de 8,99 a 10,71, a lo que se evidencia que, entre mayor sea el punto de rocío, mayor será la cantidad de agua recolectada. En este caso, para una cantidad de 1560 ml de agua capturada, el punto de rocío fue de 10,71.

**Tabla 17.**

Resultados de la regresión lineal simple con la variable de punto de rocío

| Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p | $r^2$ |
|----------------------------|----------------|---------|---------|-------|
| 939,9                      | 157,2          | 5,979   | 0,026   | 0,947 |

Fuente. Elaboración propia

Para la variable de punto de rocío, el coeficiente estimado indica que la variable dependiente cambie un 939,9 con respecto a los cambios en la variable independiente, con un error de 157,2, es decir, se esperaría que la estimación del agua recolectada varíe aproximadamente en  $\pm 157,2$  unidades si se repitiera el muestreo de los datos. El valor t es 5,68 y el valor p es 0,02 (2%), es decir que si el valor p asociado con el valor t tiene un valor menor a 0.05 (5%) la variable de punto de rocío tiene un efecto significativo en la cantidad de agua recolectada. Con respecto a

$r^2$  con un valor de 0,94, el 94 % del agua capturada puede explicarse por la variable de punto de rocío.

La ecuación generada a partir de la regresión lineal simple:

$$y = 938,86 \times x - 8349,1$$

En este modelo, la variable llamada  $Y$  es la variable dependiente, que representa la cantidad de agua recolectada, mientras que la variable  $X$  es la variable independiente, que representa el punto de rocío. El objetivo de esta ecuación es predecir con qué punto de rocío la captación de agua será óptima.

**Tabla 18.**

Predicciones con respecto a la variable de punto de rocío

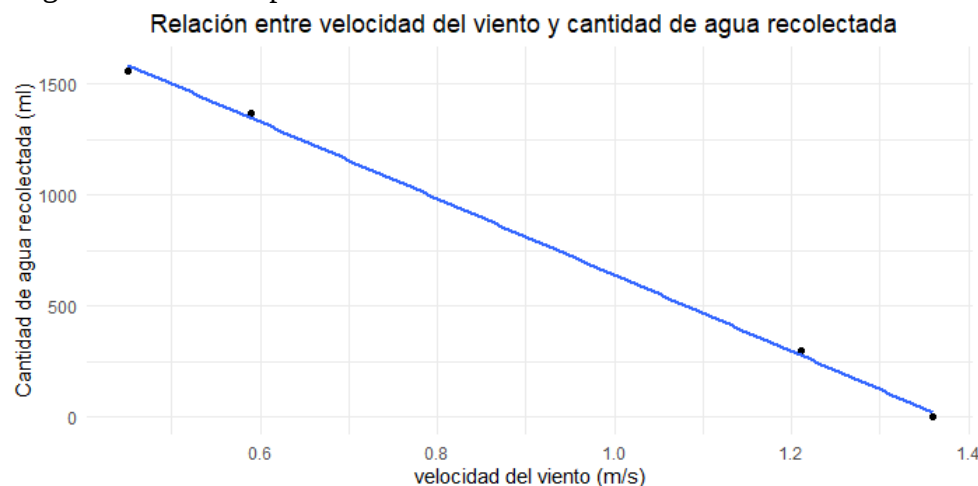
| <b>Cambios de punto de rocío</b> | <b>Predicciones de agua capturada (ml)</b> |
|----------------------------------|--------------------------------------------|
| 10,8                             | 1790,588                                   |
| 11                               | 1978,36                                    |
| 11,2                             | 2166,132                                   |
| 11,4                             | 2353,904                                   |
| 11,6                             | 2541,676                                   |
| 11,8                             | 2729,448                                   |
| 12                               | 2917,22                                    |
| 12,2                             | 3104,992                                   |
| 12,4                             | 3292,764                                   |

|      |          |
|------|----------|
| 12,6 | 3480,536 |
| 12,8 | 3668,308 |

Fuente. Elaboración propia

**Figura 30.**

Regresión lineal simple con la variable de velocidad del viento



Fuente. Elaboración propia

La velocidad del viento se encuentra en un rango de 0,45 a 1,36 m/s para las 4 semanas de estudio, a lo que se evidencia que, entre mayor sea la cantidad de agua recolectada, menor será la velocidad el viento. Para una recolección de 1560 ml, la velocidad del viento fue de 0,45 m/s.

**Tabla 19.**

Resultados de la regresión lineal simple con la variable de velocidad

| Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p | r <sup>2</sup> |
|----------------------------|----------------|---------|---------|----------------|
| -1718,32                   | 42,32          | -40,61  | 0,0006  | 0,99           |

Fuente. Elaboración propia

Para la variable de velocidad del viento el coeficiente estimado indica que la variable dependiente cambie un -1718,32 con respecto a los cambios en la variable independiente, con un error de 42,32, es decir, se esperaría que la estimación del agua recolectada varíe

aproximadamente en  $\pm 42,32$  unidades si se repitiera el muestreo de los datos, este coeficiente es negativo indicando una relación inversa. El valor  $t$  es  $-40,61$  y el valor  $p$  es  $0,0006$  (0%), es decir que si el valor  $p$  asociado con el valor  $t$  tiene un valor menor a  $0.05$  (5%) la variable de velocidad del viento tiene un efecto significativo en la cantidad de agua recolectada. Con respecto a  $r^2$  con un valor de  $0,99$ , el 99 % del agua capturada puede explicarse por la variable de velocidad del viento.

La ecuación generada a partir de la regresión lineal simple:

$$y = 1718,3 \times x + 2358,3$$

En este modelo, la variable llamada  $Y$  es la variable dependiente, que representa la cantidad de agua recolectada, mientras que la variable  $X$  es la variable independiente, que representa la velocidad del viento. El objetivo de esta ecuación es predecir con qué velocidad del viento la captación de agua será óptima.

#### **Tabla 20.**

Predicciones con respecto a la variable de velocidad del viento

| <b>Cambios de velocidad de viento</b> | <b>Predicciones de agua capturada (ml)</b> |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0,1                                   | 2186,47                                    |
| 0,2                                   | 2014,64                                    |
| 0,3                                   | 1842,81                                    |
| 1                                     | 640                                        |
| 1,2                                   | 296,34                                     |

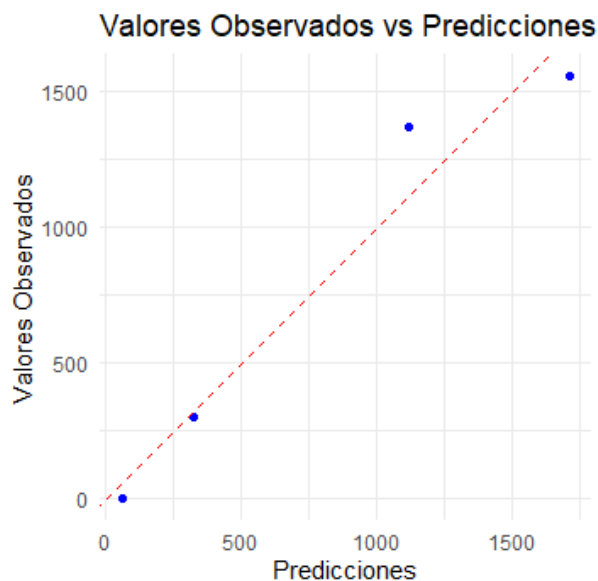
Fuente. Elaboración propia

Según lo planteado anteriormente en los Antecedentes, las condiciones óptimas para una mayor eficiencia del atrapanieblas es una velocidad de viento de  $1,3$  m/s a  $1,6$  m/s, donde para una velocidad de  $1,2$  m/s, se recolectarían  $296,34$  mL, es decir que, para las condiciones óptimas de viento, este prototipo no brindaría el agua esperada.

A continuación, se presentará regresiones lineales múltiples que incluye como variable dependiente es la cantidad de agua recolectada y como variables independientes la temperatura, el punto de rocío y la velocidad del viento, las cuales fueron las que mejor explicaron el modelo de regresión lineal simple según el valor de  $r^2$ , logrando valores superiores al 85%.

**Figura 31.**

Regresión lineal múltiple con las variables de temperatura y punto de rocío



Fuente. Elaboración propia

Como podemos ver los valores observados coinciden con los valores predichos.

**Tabla 21.**

Resultados de la regresión múltiple con las variables de temperatura y punto de rocío

| Variable       | Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p |
|----------------|----------------------------|----------------|---------|---------|
| Intercept      | -9820,2                    | 8398           | -1,16   | 0,45    |
| Temperatura    | 200,2                      | 110,5          | 0,118   | 0,886   |
| Punto de rocío | 824,3                      | 674,5          | 1,222   | 0,437   |

Fuente. Elaboración propia

El valor esperado de la cantidad de agua recolectada cuando las variables de temperatura y punto de rocío se encuentren en 0 se da de -9820,20 con un valor p que indica que este coeficiente no es significativo ya que presenta un valor mayor al 0,05, eso quiere decir que cuando todas las variables independientes son 0, el valor esperado de la cantidad de agua recolectada no es significativamente diferente de 0.

Por cada incrementación de un grado centígrado en la temperatura, la cantidad de agua recolectada aumentará en promedio 200,2, con un error de 110,5, el cual el valor p refleja que este efecto no es significativo. Por cada incremento en el punto de rocío, la cantidad de agua recolectada aumenta en promedio 824,3 con un error de 674,5, el cual el valor p refleja que este efecto no es significativo. Con respecto a  $r^2$  con un valor de 0,948, el 94,8 % del agua capturada puede explicarse por las variables de temperatura y punto de rocío.

**Figura 32.**

Regresión lineal múltiple con las variables de temperatura y velocidad del viento



Fuente. Elaboración propia

Como podemos ver los valores observados coinciden con los valores predichos.

**Tabla 22.**

Resultados de la regresión múltiple con las variables de temperatura y velocidad del viento

| Variable             | Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p |
|----------------------|----------------------------|----------------|---------|---------|
| Intercept            | 2165,78                    | 2122,26        | 1,021   | 0,4935  |
| Temperatura          | 13,86                      | 152,79         | 0,091   | 0,942   |
| Velocidad del viento | -1704,27                   | 165,96         | -10,26  | 0,0618  |

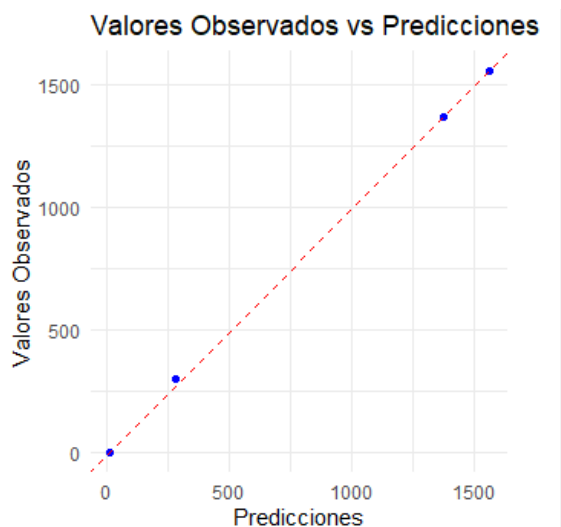
Fuente. Elaboración propia

El valor esperado de la cantidad de agua recolectada cuando las variables de temperatura y velocidad del viento se encuentren en 0 se de 2165,78 con un valor p que indica que este coeficiente no es significativo ya que presenta un valor mayor al 0,05, eso quiere decir que cuando todas las variables independientes son 0, el valor esperado de la cantidad de agua recolectada no es significativamente diferente de 0.

Por cada incrementación de un grado centígrado en la temperatura, la cantidad de agua recolectada aumentara en promedio 13,86, con un error de 152,79, el cual el valor p refleja que este efecto no es significativo. Por cada incrementaron la velocidad del viento, la cantidad de agua recolectada disminuye un promedio de 1704.27 con un error de 165.96, el cual el valor p refleja que este efecto no es significativo. Con respecto a  $r^2$  con un valor de 0,996, el 99,6 % del agua capturada puede explicarse por las variables de temperatura y velocidad del viento.

**Figura 33.**

Regresión lineal múltiple con las variables de punto de rocío y velocidad del viento



Fuente. Elaboración propia

Como podemos ver los valores observados coinciden con los valores predichos.

**Tabla 23.**

Resultados de la regresión lineal múltiple con las variables de punto de rocío y velocidad del viento

| Variable             | Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p |
|----------------------|----------------------------|----------------|---------|---------|
| Intercept            | 3981,42                    | 984,35         | 4,045   | 0,154   |
| Punto de rocío       | -143,43                    | 86,94          | -1,650  | 0,347   |
| Velocidad del viento | -1968,48                   | 154,78         | -12,71  | 0,050   |

Fuente. Elaboración propia

El valor esperado de la cantidad de agua recolectada cuando las variables de punto de rocío y velocidad del viento se encuentren en 0 se de 3981,42 con un valor p que indica que este coeficiente no es significativo ya que presenta un valor mayor al 0,05, eso quiere decir que cuando todas las variables independientes son 0, el valor esperado de la cantidad de agua recolectada no es significativamente diferente de 0.

Por cada incremento del punto de rocío, la cantidad de agua recolectada disminuye en promedio de 143,43, con un error de 86,94, el cual el valor p refleja que este efecto no es significativo. Por cada incremento de la velocidad del viento, la cantidad de agua recolectada disminuye un promedio de 1968,48 con un error de 154,78, el cual el valor p refleja que este efecto es significativo. Con respecto a  $r^2$  con un valor de 0,999, el 99,9 % del agua capturada puede explicarse por las variables de punto de rocío y velocidad del viento.

### 9.5 Proyección de atrapanieblas a 5 metros x 5 metros

La elección de una proyección de un atrapanieblas de 5 x 5 metros está basada en estudios previos que sugieren estas dimensiones.

Basado en la recolección de datos obtenida mediante el prototipo de atrapanieblas bajo las condiciones meteorológicas del Parque Entrenubes, se presenta a continuación la información sobre la cantidad de agua recolectada y una proyección para un atrapanieblas de 5m x 5m. Los datos abarcan tanto el total recolectado durante las cuatro semanas del estudio como el recolectado en una semana específica.

**Tabla 2624.**

Proyección de agua recolectada para un atrapanieblas de 5m x 5m

| Agua recolectada por semana | Semanas     | Litros |         |
|-----------------------------|-------------|--------|---------|
|                             | 4           | 3,23   |         |
|                             | 1           | 0,8075 |         |
|                             |             |        |         |
| Agua recolectada por tamaño | Medida (m2) | Litros |         |
|                             | 0,5         | 0,8075 |         |
|                             | 5           | 8,075  | semanal |
|                             |             | 1,154  | diario  |

Fuente. Elaboración propia

Para un atrapanieblas de 5 metros x 5 metros, con las mismas condiciones meteorológicas del Parque Entrenubes, la recolección semanal sería de aproximadamente 8,075 litros semanales,

equivalente a 33,91 litros mensuales. Según la OMS, el agua necesaria para cubrir las necesidades humanas es de 50 litros por habitante al día, por lo que un atrapanieblas de estas dimensiones con un mes de recolección no abastecería a una persona al día.

Pero de acuerdo con las predicciones realizadas mediante la regresión lineal simple y logarítmica, con condiciones meteorológicas óptimas como humedad de 85%, punto de rocío de 12,8, temperatura de 20°C, velocidad del viento de 0,2 m/s y precipitación de 50mm, el agua recolectada sería de 4,89 litros semanalmente. A continuación, se presenta la proyección con un atrapanieblas de 0,5m x 0,5m en las condiciones anteriormente mencionadas.

**Tabla 2725.**

Proyección de agua recolectada con condiciones meteorológicas optimas en un atrapanieblas de 0,5 m x 0,5 m

| Variables            | Condiciones meteorológicas favorables | Predicciones |
|----------------------|---------------------------------------|--------------|
| Precipitación        | 50 mm                                 | 1644,82      |
| Humedad              | 85%                                   | 5928,8       |
| Punto de rocío       | 12,8                                  | 3668,31      |
| Temperatura          | 20°C                                  | 11201        |
| Velocidad del viento | 0,2 m/s                               | 2014,64      |
| Total                |                                       | 4891,514     |

Fuente. Elaboración propia

Un atrapanieblas de 5 x 5 metros en condiciones ideales, podría recolectar 48,9 litros semanalmente, equivalente a 205,38 litros mensuales. Por lo tanto, durante un mes, podría proporcionar suficiente agua para abastecer a alrededor de dos personas durante un día.

El atrapanieblas puede ser ideal para zonas con déficit hídrico, en la región del Caribe, en zonas rurales de los departamentos como Magdalena, Cesar y La Guajira. Los lugares donde se presentarían condiciones meteorológicas favorables para la instalación de un atrapanieblas incluyen Chía y Sopó, que tienen temperaturas alrededor de 20°C y una humedad relativa de

aproximadamente 50, contando con un clima templado de montaña, lo cual es ideal para este tipo de tecnología. Asimismo, Envigado e Itagüí presentan un clima muy similar, con características de clima templado (IDEAM, 2024).

Sin embargo, estas proyecciones solo tienen en cuenta las condiciones meteorológicas. La captación de agua puede variar según el tipo de material de la malla, su coeficiente de sombreado y el diseño del atrapanieblas. En este caso específico, se han realizado proyecciones utilizando una malla tipo Raschel con un coeficiente de sombra del 85%. Entre los tipos de mallas que se pueden emplear en un atrapanieblas se encuentran la malla de polipropileno, la malla de nylon, la malla Raschel, la malla de aluminio y la malla de fibra de vidrio. Cada una de estas mallas presenta ventajas y desventajas específicas, lo que puede influir en la eficiencia del sistema de captación de agua.

### **10. Impacto social y humanístico del proyecto**

En el área circundante a la zona en donde se realizó el estudio, se encuentra un área de invasión, la cual, por sus características, carece de infraestructura en servicios básicos, incluyendo el acceso a agua potable. Conllevando a afectaciones en áreas de la salud, higiene y seguridad.

Lo que se busca al implementar con el prototipo de atrapanieblas es brindar un posible abastecimiento de agua potable a zonas con déficit hídrico, proporcionando una fuente de agua asequible y sostenible. Además, se busca reducir la presión para los ecosistemas acuáticos, los cuales se ven afectados debido a la sobre explotación por parte de la población afectada, ayudando así a satisfacer las necesidades básicas de agua. Se asegura que, si bien esta no es una solución definitiva, tiene un gran impacto en la gestión de la logística humanitaria, donde la finalidad es asegurar el suministro de recursos esenciales o clave en medio de situaciones como desastres naturales, desplazamiento en zonas de guerra o nuevos desafíos para las cadenas de suministro.

A la hora de abordar el déficit hídrico, el atrapanieblas contribuye directamente a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en particular el ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento) y el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles).

Desde el Parque Ecológico Entrenubes, los datos obtenidos en este trabajo serán usados para educar a la comunidad acerca de las problemáticas sobre el deterioro hídrico, a través de dinámicas pedagógicas, para formar a los habitantes en procesos sostenibles con su entorno social e incitar al sentido de propiedad y responsabilidad del territorio.

## 11. Conclusiones

Un prototipo de atrapanieblas con una malla de tipo Raschel, que tiene un coeficiente de sombra del 85% y dimensiones de 50 cm x 50 cm, capturó aproximadamente 3,23 litros de agua en un periodo de cuatro semanas, lo que equivale a 0,11 litros diarios. Esto indica que el atrapanieblas no resulta eficiente en las condiciones meteorológicas del Parque Ecológico Entrenubes, especialmente debido a la baja humedad y precipitaciones, factores que se vieron directamente afectados por el fenómeno del Niño. Sin embargo, la velocidad del viento fue el factor más influyente en la captación de agua, ya que, junto con la dirección del viento, facilitó el contacto de la niebla con la malla Raschel.

Las partículas y sedimentos provenientes de materiales de construcción, tierra y polvo se acumularon en la malla y canaleta del prototipo, modificando los parámetros fisicoquímicos del agua, específicamente, la turbidez.

Con respecto a los datos meteorológicos y su análisis con la regresión lineal simple y logarítmica, los parámetros que más relación tiene con la captación de agua es el punto de rocío, velocidad del viento y la temperatura, resaltando su  $r^2$  mayor a 85% y con un valor p significativo, el parámetro con menos relación es la humedad obteniendo un  $r^2$  menor de 70%. La regresión lineal múltiple presenta valores de p no significantes, eso quiere decir que no hay suficiente evidencia para afirmar que las variables independientes tienen un efecto significativo en la cantidad de agua recolectada.

De acuerdo con las predicciones mediante la regresión lineal simple, múltiple y logarítmica con condiciones meteorológicas óptimas dadas en zonas lluviosas y de alta humedad, la recolección de agua sería de 4,89 litros por semana, sin embargo, podemos observar que esta predicción tiene falencias por las predicciones de humedad y la precipitación.

## **12. Recomendaciones**

Se recomienda hacer monitoreos diarios de la lectura de variables meteorológicas y recolección de agua por el atrapanieblas, ya que, a la hora de hacer los análisis estadísticos, habría mayor precisión y un análisis más detallado.

Considera la posibilidad de llevar a cabo réplicas del estudio en diferentes condiciones climáticas, es decir en diferentes épocas del año para validar la eficiencia del prototipo de atrapanieblas y determinar el cambio de las variables meteorológicas.

Explorar diferentes materiales para el atrapanieblas que puedan mejorar su capacidad para recolectar agua en condiciones específicas.

Considerar todas las fuentes generadoras de contaminación al diseñar y ubicar un sistema de captación de agua y resaltar la necesidad de diseñar medidas adicionales para prevenir la contaminación por partículas en futuras implementaciones.

Utilizar tubos de mayor pulgada para la construcción del atrapanieblas, para evitar caídas o daños a este por fuertes vientos o lluvias.

### 13.Anexos

#### Anexo A. Regresión lineal de la cantidad de agua capturada neta con las variables meteorológicas

Se realizó una regresión lineal simple utilizando los valores del agua capturada, restando la precipitación capturada, como se muestra en la Tabla 14. Sin embargo, los resultados del coeficiente de  $r^2$  no fueron favorables, ya que fueron menores a los resultados de la captación inicial como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla Anexo 1**

Regresión lineal de la cantidad de agua capturada neta con las variables meteorológicas

| Semanas | Temperatura (°C) | Humedad (%) | Precipitación (mm) | Punto de rocío | velocidad del viento (m/s) | Cant. Agua recolectada |
|---------|------------------|-------------|--------------------|----------------|----------------------------|------------------------|
| 1       | 12,86            | 62          | 2,27               | 9,19           | 1,21                       | 271,171                |
| 2       | 12,36            | 64,99       | 1,1                | 8,99           | 1,36                       | 0                      |
| 3       | 13,52            | 67          | 49,27              | 10,71          | 0,45                       | 934,271                |
| 4       | 13,139           | 66          | 14,72              | 10,08          | 0,59                       | 1183,056               |
| $r^2$   | 56,8%            | 8,6%        | 11,1%              | 62,9%          | 85,2%                      |                        |

Fuente. Elaboración propia

#### Anexo B. Regresión lineal simple con la variable de precipitación

Al realizar la regresión lineal simple entre la cantidad de agua recolectada y la precipitación, se descubrió que los datos no seguían un patrón lineal claro, indicando que una relación lineal no era adecuada.

**Tabla Anexo 2**

Resultados de la regresión lineal simple con la variable de precipitación

| Estimación del coeficiente | Error estándar | Valor t | Valor p | $r^2$ |
|----------------------------|----------------|---------|---------|-------|
| 28,57                      | 13,53          | 2,112   | 0,169   | 0,69  |

Fuente. Elaboración propia

### 13.Referencias

Acodal (2023). Superintendencia de servicios públicos en tiempos de cambio. El agua potable y el saneamiento básico en el nuevo. Plan Nacional de Desarrollo Aportes de la regulación a la transición hídrica inclusiva y sostenible en Colombia. Revista Acodal 2023. Revista 257 ISSN-0120-0798

Acuña, D. y Robles D. (2015). MANUAL DE METEOROLOGÍA Y DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA. Instituto de Montaña.

Alcaldía local de San Cristóbal (s.f). Parque Ecológico de Montaña Entrenubes.  
<http://www.sancristobal.gov.co/milocalidad/parque-ecologico-montana-entrenubes>

Baquero, S. et al. (2018). Evaluación de la calidad de agua de niebla recolectada en Choachí, Colombia. *Inventum*, 13(25), 53-60. doi: 10.26620/uniminuto.inventum.13.25.2018. 53-60

Bustos, J. & Giraldo, J. (2021). Prototipo recolector de agua atmosférica a partir de un sistema de Atrapanieblas en el sector Camellón Las Lajas-Tenjo, Cundinamarca, con punto de control en la vereda Los Colorados en el municipio de Pasca- Cundinamarca. Trabajo de grado. UAN. Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil. Bogotá, Colombia.

Cárdenas, J. (2015). VIENTO Y VENTILACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA. Cartilla del Laboratorio de Ambientes Sostenibles de la Facultad de Arquitectura y Artes, 2.

Castañeda-Álvarez, F. R. & Mendoza-Palacios, B. C. (2014). Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal. Trabajo de Grado.

Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Especialización en Recursos Hídricos. Bogotá, Colombia.

Cieza, L., Cieza, D. & Vázquez, L. (2020). Eficiencia de captación de agua con tres tipos de malla atrapanieblas en zonas rurales altoandinas de la sierra norte del Perú. *Revista Ingeniería UC*, 27(3), 319-327.

Correa Assmus, G. (2017). Acceso al agua, pobreza y desarrollo en Colombia. *Revista de la Universidad de La Salle*, (72), 27-46.

Cuellar Melo, E. (2018). *Proliferación de asentamientos ilegales en Bogotá D.C.* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Pontificia Universidad Javeriana.

Davis Instruments (2017). User manual. Integrated Sensor Suite. <https://weerhuisje.nl/Weerhuisje-docs/davis/6152-IM-6322C-6334.pdf>

Duque Escobar, G. (2019). El agua en Colombia: Glosas. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia.

Fernández-Santisteban, María Teresa. Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrífugas ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. 51, núm. 2, marzo-agosto, 2017, pp. 70-73 Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba

García, M (2023). La gestión integrada del recurso hídrico: alternativa para enfrentar la crisis hídrica, Blog departamento de derechos ambientales.

<https://medioambiente.uexternado.edu.co/la-gestion-integrada-del-recurso-hidrico-alternativa-para-enfrentar-la-crisis-hidrica/>

Gaviria CF, Benavides PC, Tangarife CA. Contaminación por material particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). Rev. Fac. Nac. Salud Pública 2011; 29(3): 241-250

Gualteros Díaz, L. J., & Chacón Rodríguez, M. A. (2015). Estudio de la eficiencia de lechos filtrantes para la potabilización de agua proveniente de la quebrada la despensa en el municipio Guaduas Cundinamarca vereda La Yerbabuena. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/551](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/551)

Flores, C. (2024). Luego del fenómeno del Niño, en el segundo semestre de 2024 llegará la Niña. <https://udemedellin.edu.co/luego-del-fenomeno-del-nino-en-el-segundo-semester-de-2024-llegara-la-nina/>

Hanna instrumnts, (s.f). ¿Qué es Titulación?. <https://www.hannabolivia.com/blog/post/419/que-es-titulacion#:~:text=La%20titulación%20es%20un%20procedimiento,solución%20con%20una%20concentración%20conocida.>

Hidalgo, F. (2017). Eficiencia del sistema de atrapanieblas con dos tipos de malla raschel para la captación de agua de niebla - Lomas de Paraíso – 2017. Trabajo de Grado. Universidad Cesar Vallejo. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú.

Huertas, J. & Molina, P. (2016). Estudio de prefactibilidad para la posible implementación de atrapanieblas en el municipio de Ráquira (tesis). Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Facultad de medio ambiente y recursos naturales. Bogotá, Colombia.

IDIGER (2018). Caracterización General del Escenario de Cambio Climático para Bogotá.  
<https://www.idiger.gov.co/rcc>

IDEAM (s.f). Determinación de coliformes totales.  
<https://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+agua+NMP+M%C3%A9todo+Colilert.pdf/463a6c8d-122c-4f75-8572-81bd64baa2d2>

IDEAM (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. IDEAM. 464 pp.

IDEAM (2024). Atlas climatológico de Colombia.  
<https://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/index.html>

IDEAM (2019). GUIA METODOLÓGICA DE LA OPERACIÓN ESTADISTICA VARIABLES METEOROLÓGICAS. <http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/561097/M-GCI-MG002+GUIA+METODOL%C3%93GICA+DE+LA+OPERACI%C3%93N+ESTADISTICA+VARIABLES+METEOROL%C3%93GICAS.pdf/ade21e28-404d-4041-90fb-d8f4055c51e9?version=1.0>

IDEAM (2019). Glosario meteorológico. Subdirección de meteorología.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>

León, V. et al. (2022). Fog Capture and Its Potential Use Irrigation and Human Consumption, Lima – Peru. *NewTech'22*

Mahiques, J. (2013). LA METEOROLOGIA: CONCEPTOS BÁSICOS AL ALCANCE DE TODOS. 3 ciencias. <https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2013/06/METEOROLOGIA.pdf>

Martínez Arroyo, A. (2007). El agua en la atmósfera. *Revista Ciencia*, 58(3), 33-44.

MinAmbiente (2021). Programa Nacional de Gobernanza de Agua Documento técnico de trabajo y avances. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/Avance-documento-tecnico-PNGA-octubre-2021.pdf>

Molina, J. y Escobar, C. (2005). LA NEBLINA COMO FUENTE DE AGUA: Evaluación de su colección en el sur de los Andes colombianos usando mallas de polipropileno Avances en Recursos Hidráulicos, núm. 12, 33-41 Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia

Mora Alarcón, K. (2020). *Análisis de viabilidad para la implementación de mallas atrapanieblas en la vereda San Antonio bajo en el municipio de Arbeláez – Cundinamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional - Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Moreno, J. (2022). Los retos del acceso a agua potable y saneamiento básico de las zonas rurales en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (49), 28.37.

Muñoz, L. (2020). Evaluación de la viabilidad de la utilización del agua atmosférica en la ciudad de Villavicencio, Meta. Trabajo de grado. Universidad Santo Tomás.

Naciones Unidas (2005). El agua, fuente de vida (2005 – 2015). Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas 32950—DPI/2378—Septiembre 2005—5M.

Naciones Unidas (2010). Sexagésimo cuarto período de sesiones Tema 48 del programa Aplicación y seguimiento integrados y coordinados de los resultados de las grandes conferencias y cumbres de las Naciones Unidas en las esferas económica y social y esferas conexas. A/64/L. 63/Rev. 1 \*

[https://www.fundacionhenrydunant.org/images/stories/biblioteca/derecho-al-agua/resolucion\\_derecho\\_al\\_agua\\_onu2010.pdf](https://www.fundacionhenrydunant.org/images/stories/biblioteca/derecho-al-agua/resolucion_derecho_al_agua_onu2010.pdf)

Rendon, A. (2024). ¿Qué esperamos de “El Niño” en 2024 y cuáles son los riesgos para Colombia?. <https://territoriossostenibles.com/cambio-climatico/que-esperamos-de-el-nino-en-2024-y-cuales-son-los-riesgos-para-colombia/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20el%20último,alrededor%20de%20abril%20de%202024.>

OMS(2014). ARMONIZACION DE LOS ESTANDARES DE AGUA POTABLE EN LAS AMERICAS.

<https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>

OpenMS (s.f). Aquair optimizer. Cosecha de agua a partir de brumas y nieblas. OpenWATER. Generación de agua.  
<https://www.openms.es/sites/default/files/documentacion/Sistemas%20AQUAIR%20Openwater.pdf>

Peña-Guzmán, C. A., Melgarejo, J., & Prats, D. (2016). El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 57-71.

Pérez-López, E. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, N° 3. Pág 3-14. DOI: <http://dx.doi.org/tm.v29i3.2884>

Quimicabb (s.f). Kit de análisis colilert. <https://quimicabb.com.ar/wp-content/uploads/2018/03/Colilert-Procedimientos.pdf>

Quinche, M. (2019). Evaluación de la malla atrapaniebla como método alternativo para mejoramiento de la oferta hídrica, sus usos potenciales y la gobernanza del agua. Estudio de caso: estación atrapaniebla colegio Agustín Fernández sede – c. barrio santa Cecilia, Usaquén (tesis). Universidad El Bosque. Programa de ingeniería ambiental. Bogotá, Colombia.

Rincón, D. (2022). Diseñar una PTARD mediante lechos filtrantes para la Vereda la Niata del Municipio de Yopal-Casanare. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Romero Hinestrrosa, K. (2014). *La informalidad de la vivienda urbana: entre la necesidad de las invasiones y la viveza de las urbanizaciones piratas* [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional Universidad de los Andes.

Resolución 2115 de 2007 [MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL]. 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. 4 de julio de 2007

Salem, T.A. et al. (2017). Evaluation of fog and rain water collected at Delta Barrage, Egypt as a new resource for irrigated agricultura. *Journal of African Earth Sciences*, 135(2017), 34 – 40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.08.012>.

Schunk, C. et al. (2018). Testing Water Yield, Efficiency of Different Meshes and Water Quality with a Novel Fog Collector for High Wind Speeds. *Aerosol and Air Quality Research*, 18, 40 – 253. doi: 10.4209/aaqr.2016.12.0528.

Secretaria de ambiente (s.f). Entrenubes Aula ambiental. <https://www.ambientebogota.gov.co/parque-ecologico-distrital-de-montana-entrenubes>

Soriano Mateus, M. (2015). *Niebla como fuente alternativa para suministro de agua* [Tesis de pregrado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Institucional - Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Tan, F. et al. (2019). The potential of fog harvesting in tropical highlands as an alternative water resource: the case of Atok, Benguet, Philippines. *E3S Web of Conferences*, 117.

Truque, B. (s.f). ARMONIZACION DE LOS ESTANDARES DE AGUA POTABLE EN LAS AMERICAS.

<https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>

UNESCO (22 de marzo de 2023). Riesgo inminente de una crisis mundial del agua (UNESCO/ONU-Agua). <https://www.unesco.org/es/articles/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua#:~:text=En%20todo%20el%20mundo%2C%202.000,de%20las%20Naciones%20Unidas%20sobre>

Universidad de los Andes (15 de abril de 2021). ‘Atrapanieblas’: una solución para llevar agua a La Guajira. <https://administracion.uniandes.edu.co/noticias/atrapanieblas-una-solucion-para-llevar-agua-a-la-guajira/>

Universidad de Santiago de Compostela (2012). Regresión lineal simple. [http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat\\_50140116\\_Regr\\_%20simple\\_2011\\_12.pdf](http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_%20simple_2011_12.pdf)

Vásquez, N. y Castro, Z. (2017). ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS *agua* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Vázquez, T. et al. (2012). Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde. *UNICIENCIA*, 26, 51-63.

World Health Organization (WHO). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition*. World Health Organization. [http  
https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950](https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950)

Zamudio Rodríguez, Carmen Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos *Gestión y Ambiente*, vol. 15, núm. 3, diciembre, 2012, pp. 99-112 Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia