

**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES FÍSICOS Y AMBIENTALES PARA LA  
CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA COMO COMPLEMENTO DE  
ABASTECIMIENTO PARA ZONAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE  
CUNDINAMARCA**

**CRISTIAN HUMBERTO MAHECHA VANEGAS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ  
2021**

**ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES FÍSICOS Y AMBIENTALES PARA LA  
CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA COMO COMPLEMENTO DE  
ABASTECIMIENTO PARA ZONAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE  
CUNDINAMARCA**

**CRISTIAN HUMBERTO MAHECHA VANEGAS  
CÓDIGO: 502919**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
Felipe Santamaría Álzate  
Ingeniero Sanitario**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ  
2021**



## Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, 25, junio, 2021

## CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	10
1. GENERALIDADES	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1 Descripción del problema	15
1.2.2 Formulación del problema	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	18
1.5.1 Alcance	18
1.5.2 Limitaciones	18
1.6 MARCO DE REFERENCIA	18
1.6.1 Marco teórico.	18
1.6.1.1 Aguas atmosféricas	18
1.6.1.2 Niebla	19
1.6.2 Marco conceptual.	21
1.6.2.1 Ciclo del agua	21
1.6.2.2 Humedad.	22
1.6.2.3 Nubes	23
1.6.2.4 Precipitación	24
1.6.2.5 Metrología	24
1.6.3 Marco legal	24
1.6.4 Estado del arte	26
1.7 METODOLOGÍA	27
1.7.1 Tipo de investigación	27
1.7.2 Fuentes de información	27
1.7.2.1 Fuentes Primarias	27
1.7.2.2 Fuentes Secundarias	27
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	27
2. MODELOS Y DISEÑOS ACTUALES USADOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA	29
2.1 CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA	29
2.1.1 Descripción del sistema	29
2.1.2 Operación y mantenimiento	30
2.2 DESCRIPCIÓN DE MODELOS Y DISEÑOS ACTUALES PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA	31

2.2.1 Colector de niebla estándar	31
2.2.2 Colector de Agua Niebla NRP 3.0 o huerto hídrico.	33
2.2.3 Colector Torre de bambú “Warka Tower”	35
2.2.4 Captador de niebla escarabajo	36
2.2.5 Captador “dropnet” o tienda de campaña	37
2.2.6 Captador Torre de recolección de niebla costera	38
2.2.7. Otros diseños de captores	39
2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE FACTORES INTERNOS DE MODELOS, DISEÑOS Y RENDIMIENTO	41
2.3.1 Procedimiento para valorar y comparar modelos y sistemas captación de agua niebla	43
2.3.1.1 Escala de valoración de criterios	43
2.3.2 Análisis de resultados	44
3. ANÁLISIS DE FACTORES AMBIENTALES PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA	49
3.1 DESCRIPCIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS y METEOROLÓGICOS RELACIONADOS CON LA CAPTACION DE AGUA NIEBLA	49
3.1.1 Condiciones climáticas y meteorológicas que favorecen la generación de niebla	49
3.1.1.1 Temperatura atmosférica	50
3.1.1.2 Humedad	51
3.1.1.3 Punto de rocío	52
3.1.1.5 Vientos.	53
3.2 ANÁLISIS DE INFLUENCIA Y RENDIMIENTO EN LA FORMACIÓN Y CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA, CON REFERENCIA A CASOS DE ESTUDIO	54
4. FAVORABILIDAD DE CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA PARA LA GENERACIÓN Y CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA	58
4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	58
4.1.1 Generalidades	58
4.1.2 Clima y Temperatura	61
4.1.3 Precipitación	63
4.1.4 Nubosidad	65
4.1.5 Humedad	65
4.1.6 Viento	66
4.2 ANÁLISIS DE LA FAVORABILIDAD QUE PRESENTA EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA PARA LA FORMACIÓN Y CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA	68
4.2.1 Precipitación promedio año 2020 Departamento de Cundinamarca	69
4.2.2 Temperatura promedio año 2020 Departamento de Cundinamarca.	69
4.2.3 Temperatura media promedio año 2020 Departamento de Cundinamarca	70
4.2.4 Humedad relativa promedio Departamento de Cundinamarca	70

4.2.5 Viento promedio Departamento de Cundinamarca	71
4.2.6 Punto de rocío Departamento de Cundinamarca	71
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	73
5. CONCLUSIONES	77
6. RECOMENDACIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	86

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Diseño Metodológico	28
Cuadro 2. Actividades de Operación y Mantenimiento del Sistema de Recolección de Agua Niebla	30
Cuadro 3. Resumen Modelos para la Captación de Agua Niebla	42
Cuadro 4. Criterios de valoración y Comparación de Modelos y Sistemas de captación de agua niebla	43
Cuadro 5. Escala de Valoración de Criterios	44
Cuadro 6. Interpretación de Resultados Valoración General	44
Cuadro 7. Evaluación Modelos y/o Sistemas de Captación de Agua Niebla	46
Cuadro 8. Valoración Total e Interpretación del Resultado	47
Cuadro 9. Resultados Obtenidos de la Recolección de Agua	55
Cuadro 10. Provincias y Municipios del departamento de Cundinamarca	58
Cuadro 11. Relieve Departamento de Cundinamarca	59
Cuadro 12. Punto de Rocio Año 2020	72



## LISTA DE FIGURA

	Pág.
Figura 1. Tipologías de Niebla	21
Figura 2. Ciclo del Agua	22
Figura 3. Sistema Tradicional de Captación de Agua Niebla	30
Figura 4. Colector de Niebla Estándar	32
Figura 5. Malla Raschel al 35% de Sombreado para la Captación de Agua Niebla	32
Figura 6. Colector NRP 3.0	34
Figura 7. Colector Torre de bambú “Warka Tower	35
Figura 8. Materiales del Colector Torre de bambú “Warka Tower	36
Figura 9. Colector de Niebla Escarabajo	36
Figura 10. Captor “Dropnet” o Tienda de Campaña	37
Figura 11. Captador Torre de recolección de niebla costera	38
Figura 12. Vista Frontal Domo Geodésico	39
Figura 13. Vista frontal del atrapanieblas con forma de árbol	40
Figura 14. Captor Estilo Colmena	40
Figura 15. Mapa de Ubicación y Orografía de Cundinamarca	60
Figura 16. Clasificación Climática Departamento de Cundinamarca	61
Figura 17. Temperatura Departamento de Cundinamarca	62
Figura 18. Temperatura Máxima y Mínima Promedio	63
Figura 19. Precipitación Departamento de Cundinamarca	64
Figura 20. Probabilidad diaria de precipitación	64
Figura 21. Categorías de Nubosidad Departamento de Cundinamarca	65
Figura 22. Niveles de Comodidad de la Humedad Departamento de Cundinamarca	66
Figura 23. Velocidad Promedio del Viento Departamento de Cundinamarca	66
Figura 24. Dirección del Viento Departamento de Cundinamarca	67
Figura 25. Información sobre factores climáticos del departamento de Cundinamarca año 2020 del Portal Tiempo3	68
Figura 26. Precipitación Mensual Anual Año 2020	69
Figura 27. Variación Temperatura máxima vs Mínima Año 2020	69
Figura 28. Temperatura Media Año 2021	70
Figura 29. Variación Humedad Relativa Año 2020	70
Figura 30. Variación de la Velocidad del Viento Año 2020	71
Figura 31. Temperatura Punto de Rocío vs Temperatura Media Año 2020	72
Figura 32. Temperatura y Humedad Diaria Junio y Agosto 2020 Departamento de Cundinamarca	74
Figura 33. Probabilidad de Lluvia y Vientos en un día departamento de Cundinamarca 2020	75

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Matriz de Valoración Sistemas de Captación de Agua Niebla	86
Anexo B. Datos Climáticos Recopilados	87

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la escasez de agua o la falta de suministro de la misma, es una problemática muy presente, en zonas rurales de Colombia y del Departamento de Cundinamarca, razón por la cual, se vienen investigando nuevas fuentes de agua potable con las cuales se pueda hacer frente a esta problemática. Observándose como desde hace algunas décadas una alternativa cada vez más utilizada como complemento hídrico, es la captación de agua atmosférica a través de sistemas de recolección más conocidos como atrapanieblas, dada la favorabilidad que presentan los factores climáticos y meteorológicos para la generación de agua niebla.

De acuerdo con lo anterior, se quiso realizar la presente investigación, la cual tuvo como propósito analizar los componentes físicos y ambientales para la captación de agua niebla como complemento de abastecimiento para zonas rurales del departamento de Cundinamarca, para lo cual se realizó en primera instancia, una revisión y recopilación de información literaria relacionada con los diferentes modelos o sistemas de captación de agua niebla que existen en la actualidad, lo que permitió identificar los componentes físicos que conforman los conforman y evaluar su efectividad para la captación de agua niebla.

En segunda instancia se realizó una revisión literaria relacionada con los factores climáticos y meteorológicos que inciden en la generación de agua niebla, información que permitió identificar las condiciones óptimas que favorecen su recolección a través de los sistemas de captación.

Finalmente, se realiza el análisis de favorabilidad que presenta el departamento de Cundinamarca en relación a la generación de agua niebla según los factores identificados en la segunda etapa de la investigación, para lo cual se tomaron datos históricos de los factores climáticos del año 2020, realizando los cálculos promedios que permitieron determinar si el departamento presenta las condiciones ambientales favorables para la generación de agua niebla como complemento hídrico renovable y sostenible.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad el crecimiento de la población y la demanda de agua potable para el consumo humano y la agricultura, requiere nuevos recursos hídricos; razón por la cual en las últimas décadas se han venido realizando investigaciones a nivel mundial y local centradas en la búsqueda de fuentes alternativas de abastecimiento de agua, esto teniendo en cuenta que “la demanda mundial de agua ha aumentado a un ritmo de alrededor del 1% anual en función del crecimiento de la población, el desarrollo económico y los cambios en los patrones de consumo, entre otros factores; por lo que las necesidades de abastecimiento seguirán creciendo durante las próximas dos décadas, y la gran mayoría de la creciente demanda de agua ocurrirá en países con economías emergentes o en desarrollo” (United Nations, 2018, p. 3).

En este sentido, informes de la FAO reportan que “las técnicas de captación más utilizadas en zonas secas son: la recolección de agua de lluvia, de escorrentía y la extracción de aguas subterráneas, técnicas que tienen como complemento, el establecimiento de estructuras de almacenamiento, que pueden construirse a través de la mano de obra familiar o comunal, que requieren pocos insumos externos o bajas inversiones” (Organización de las Naciones Unidas Para La Alimentación y la Agricultura FAO, 2013, p. 29). Sin embargo, según la investigación realizada por especialistas de la Universidad del Pacífico “un aspecto del ciclo del agua que se suele pasar por alto es la niebla, que es una parte importante de la hidrología de las regiones costeras, de gran altitud y boscosas en las cuales se produce con frecuencia, permitiendo mediante la instalación de un sistema de malla pasiva la recolección de agua en regiones donde ésta es escasa” (Domen y otros, 2014, p. 235). Al respecto, reportes de la ONU (2006) estiman que para el año 2030 el 50% de la población mundial habitará zonas de estrés hídrico, razón por la cual, una fuente alternativa para combatir la escasez de agua son los captadores de agua niebla, ya que éstos pueden llegar a extraer varios litros de agua al día.

Así mismo, la recolección de agua niebla es un recurso de agua potable sostenible para las comunidades rurales con un bajo consumo de agua per cápita, siendo particularmente prometedora para su aplicación en la reforestación, pues, “el riego con agua niebla puede aumentar las tasas de crecimiento y la supervivencia de los árboles jóvenes, beneficiando la hidrología local y la recuperación del ecosistema” (Domen y otros, 2014, p. 236).

En este sentido, un artículo de revisión realizado por expertos en niebla y rocío, expone que la recolección de agua niebla, “es una tecnología simple y sostenible con el potencial de producir agua, por lo que existen numerosos proyectos en los cinco continentes para recolectar agua de niebla, y con los cuales se han beneficiado en mayor medida, personas pobres” (Klemm, y otros, 2012). Los

resultados de la revisión muestran que, aunque el consumo humano suele estar garantizado, existen otros usos que se ven directamente afectados por la escasez y/o la errónea distribución temporal y espacial de las lluvias, tal es el caso de los incendios forestales, en cuyo caso, el agua producida por los sistemas de recolección de agua de niebla podría ser una reserva disponible para combatirlos.

Dado lo anterior, en diferentes países del mundo se han realizado investigaciones y estudios sobre los sistemas de captación de agua niebla (atrapaniebla), por ejemplo, el realizado por estudiantes del Departamento de Agronomía de la Universidad del Cairo, en el cual se explica que, “aunque algunas regiones de Egipto tienen precipitaciones escasas o nulas y tienen eventos de niebla regulares, es posible recolectar agua de la niebla en áreas que tiene una humedad relativa alta interceptando las gotas de niebla con redes grandes, teniendo tasas de recolección de agua que oscilan entre 3 y 75 L/m<sup>2</sup>/día; método con el cual se puede superar el problema de la escasez de agua” (Harb y otros, 2016, p. 107).

Por otro lado, investigadores de la Universidad de África analizaron la recolección de agua niebla como fuente alternativa de suministro de agua en la costa oeste de Sudáfrica, incluyendo en su análisis factores el sitio de ubicación del sistema, el diseño del sistema, los rendimientos de agua, la contribución de la niebla, las características de los eventos húmedos, los factores asociados con la recolección de agua y la calidad del agua. En sus resultados, se evidencio que “el rendimiento de recolección estuvo alrededor de 4,6 litros por metro cuadrado por día con rendimientos diarios máximos cercanos a 4000 litros y una calidad del agua excelente” (Olivier, 2004, p. 203)

Al respecto, investigadores de la Universidad Politécnica de Milán, en su revisión del estado del arte sobre los modelos y diseños actuales para la recolección de agua de niebla, exponen que, la tasa de eficiencia de la recolección depende, no solo de la estructura y ubicación, sino de la velocidad del viento y del tamaño de las gotas de niebla. Por lo tanto, “comprender los fenómenos de niebla y el proceso de formación es esencial para la aplicación y la mejora técnica de los sistemas atrapanieblas” (Morichi y otros, 2018, p. 28).

En Latinoamérica, países como Chile es pionero en la captación de agua niebla, por lo que otros países han estado investigando e implementando estos sistemas hídricos alternativos; para empezar, se tiene el trabajo realizado por estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador, en el cual se diseñó un sistema atrapanieblas para satisfacer las necesidades hídricas ara rego en una comunidad campesina, para esto se recopiló información meteorológica que sirvió para el cálculo de la precipitación, evaporación, y evapotranspiración que sirvieron para el diseño del sistema atrapanieblas en función de los requerimientos hídricos de los cultivos y la capacidad del tanque de almacenamiento, como resultado se tuvo que “la niebla presente en la zona permitió captar entre 5 y 6 litros de agua al día por metro cuadrado, permitiendo de esta manera regar parte de los cultivos y

compensar la falta de agua en épocas de baja precipitación” (Hidalgo Quinga, 2016, p. 14).

Adicionalmente, se tiene el artículo de investigación elaboración por expertos de varias universidades de Perú, el cual analizo una experiencia exitosa de la tecnología atrapa niebla en este país, encontrándose que, el sistema permitió captar agua, que “fue empleada para regadío en pequeños bosques que albergan a 134 especies de flora y 120 de fauna, y biohuertos para consumo familiar, evidenciándose un buen impacto social, económico y ambiental” (Vértiz Osoreo & Vertiz, 2020, p. 59).

En Colombia se han desarrollado varios trabajos académicos sobre el tema, por ejemplo, el artículo de investigación patrocinado por la Corporación Universitaria Minuto de Dios en 2018, el cual plantea que el agua de niebla es un recurso potencial para el consumo humano y una alternativa para enfrentar la problemática de escasez generada por el desarrollo de la porcicultura en Choachi Cundinamarca, para esto diseñaron un sistema atrapanieblas de tipo huella hexagonal construido de guadua y polisombra del 35%, seleccionado por “la eficiencia de captación y resistencia a los vientos. En la investigación se observó que las condiciones metrológicas y geofísicas de la zona optimizaron los niveles de captación, recolectando en promedio 10 litros diarios de agua cuyas características fisicoquímicas y microbiológicas cumplen con la normatividad de Calidad de Agua Colombiana” (Baquero, Delvasto y Mejía, 2018, p. 53).

En 2018 estudiantes del programa de Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Colombia, realizaron su trabajo de grado, el cual desarrolló un recolector de agua en la zona rural Yomasa; determinándose que “un adecuado proceso de captación de agua siembra, está sujeto a determinadas variables, como lo son, la zona, las condiciones climáticas, y el diseño que mejor se ajuste para recolectar el líquido, el sistema Water Collector implementado mostró una eficiencia de colección de entre 1.5 y 2 litros de agua por día, además se encontró que en horas de la noche y la madrugada la recolección de niebla era mayor, pues en estos períodos las temperaturas en la zona disminuyen alrededor de 6° a 4°C generando una mayor cantidad de recolección de niebla” (Mercado y Prada, 2018, p. 17).

Finalmente, se tiene el trabajo realizado por estudiantes el programa de Ingeniería Ambiental de Universidad El Bosque en 2019, en su trabajo de grado analizó y evaluó una malla atrapaniebla ubicada en un colegio de la localidad de Usaquén, en éste se investigaron “características meteorológicas asociadas a la malla atrapaniebla para su posterior instalación obteniendo una efectividad positiva de 1,035 L/m<sup>2</sup>-día, una cifra acertada en relación con el tipo de régimen hídrico presente en la zona, monomodal; adicionalmente analizaron en variables de calidad como el pH concluyendo que el agua captada, tiene potenciales para su uso en fines agrícolas o para la limpieza” (Quinche Bautista, 2019, p. 10).

Como se puede observar la niebla tienen el potencial de proporcionar una fuente alternativa de agua dulce en regiones que presentan escasez por temporadas secas o deficiencias en otros medios de abastecimiento y, pueden recolectarse mediante el uso de sistemas de recolección simples y de bajo costo dado que se pueden utilizar diferentes materiales y que existen varios tipos de sistemas atrapanieblas que pueden ser más efectivos, además el agua captada se puede utilizar para riego agrícola y uso doméstico teniendo en cuenta sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

## **1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

**1.2.1 Descripción del problema.** Si bien es cierto que el agua cubre el 70% del planeta solo al 3% es agua dulce, y dos tercios de esa cantidad están escondidos en glaciares congelados o no están disponibles para el uso. Como resultado de esto, alrededor de 1.100 millones de personas en todo el mundo carecen de acceso al agua y un total de 2.700 millones encuentran escasez durante al menos un mes del año (World Wildlife Fund, s.f.).

Adicionalmente, muchos de los sistemas de agua que mantienen a los ecosistemas prosperando y alimentan a una población en crecimiento se han visto afectados. Los ríos, lagos y acuíferos se están secando o contaminándose demasiado para su uso. Más de la mitad de los humedales del mundo han desaparecido. La agricultura consume más agua que cualquier otra fuente y desperdicia gran parte de ella debido a ineficiencias. “El cambio climático está alterando los patrones del clima y el agua en todo el mundo, provocando escasez y sequías en algunas áreas e inundaciones en otras. Al ritmo de consumo actual, esta situación solo empeorará. Para el año 2025, dos tercios de la población mundial podrían enfrentar escasez de agua. Y los ecosistemas de todo el mundo sufrirán aún más” (World Wildlife Fund, s.f.).

En este sentido, un estudio de la OCDE muestra que, en términos hidrológicos, Colombia es una de las naciones más ricas del mundo, sin embargo, aclara que si bien el país cuenta con agua superficial adecuada para satisfacer sus necesidades, la cobertura y calidad del suministro de agua y saneamiento históricamente ha sido insustancial, especialmente en las áreas rurales en donde “la cobertura de agua es mucho menor, del 76% y que incluso para muchas de las personas en áreas rurales con acceso al suministro, la calidad del agua es tan baja que no es potable” (Organisation for Economic Co-Operation and Development OECD, 2015, p. 35).

También ha observado un mayor número de interrupciones en el suministro de agua en las áreas rurales que en las ciudades, lo que puede estar presentándose por la dificultad de abastecimiento de agua a algunas de estas áreas debido a su ubicación remota; adicionalmente, la calidad del agua potable que se proporciona también tiende a ser menor en las zonas rurales, pues cuanto más pequeño es el asentamiento, más pobre tiende a ser la calidad del agua (World Bank Group, 2016).

Ahora bien, según reportes Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en el año 2019, la demanda de agua en Colombia aumentó cerca del 5% al pasar de “35 582 millones de metros cúbicos al año en 2014 a 37 308 millones en 2018. Siendo el sector agrícola el que más utiliza agua (43,1 %), seguido del energético (24,3 %). Además, en el país hay 391 municipios susceptibles por desabastecimiento en temporada seca y los departamentos más afectados por la falta del recurso son: Santander, Cundinamarca, Boyacá, Tolima, Magdalena, Bolívar y Cesar” (Paz Cardona, 2019). Al respecto, el Estudio Nacional del Agua realizado en 2018, determino que, a nivel municipal se observa una vulnerabilidad medio alta, relacionada con la escasez debido a la regulación hídrica, evidenciándose según el IDEAM (2018) “una presión significativa de la demanda sobre la oferta en el 55% de la población, por lo que para el año 2025 se estima que habrá un aumento del índice de escasez en el 13% de las cabeceras municipales del país, de este valor el 70% corresponde a la zona Andina” (p. 38).

En este sentido, se ha observado que una de las causas del riesgo de desabastecimiento de agua es la deforestación, ya que 260.000 las hectáreas de bosques se pierden cada año, lo que provoca una pérdida de la oferta hídrica, aumentan los desastres y los sedimentos, es así como las consecuencias, tanto de la baja calidad del agua como de la escasez que afecta a los municipios colombianos, se dejan ver en parte de la población.

En el caso del departamento de Cundinamarca específicamente, finalizando el año 2019 registraba déficit hídrico, especialmente en los municipios de La Mesa, Apulo, Cachipay, Viotá, Zipacón, Anapoima, El Colegio y Tocaima, en Cundinamarca, informes de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR, muestran que “las fuentes hídricas que abastecen de agua potable a estas poblaciones no alcanzaba a suplir ni el 30% de la demanda total en la zona, adicionalmente, se observaba que la mayoría de los cauces cercanos se encontraban secos o con caudales demasiado bajos, situación que se empeoraba durante las temporadas secas” (Revista Catorce 6, 2019).

De acuerdo con lo anterior, se observa que una de las necesidades, especialmente para el abastecimiento de agua en zonas rurales, es establecer fuentes hídricas alternativas con las cuales se puedan complementar la demanda de agua para uso doméstico y agrícola, es por esto que el desarrollo de esta investigación busca establecer si la captación de agua niebla puede llegar a convertirse en una fuente hídrica alternativa para zonas rurales de las áreas más susceptibles a presentar vulnerabilidad al desabastecimiento, teniendo en cuenta las características climáticas y meteorológicas del departamento.

**1.2.2 Formulación del problema.** Teniendo en cuenta la problemática descrita anteriormente, se establece la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las condiciones físicas y ambientales idóneas para la captación de agua niebla como



complemento de abastecimiento para zonas rurales del departamento de Cundinamarca?

### **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo general.** Analizar los componentes físicos y ambientales para la captación de agua niebla como complemento de abastecimiento para zonas rurales del departamento de Cundinamarca

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Revisar los modelos y diseños actuales usados para la captación de agua niebla.
- Analizar los factores climáticos y meteorológicas que intervienen en la captación eficiente de agua niebla
- Determinar la favorabilidad de la condiciones climáticas y meteorológicas que tiene el departamento de Cundinamarca para la generación y captación de agua niebla como fuente hídrica complementaria para zonas rurales.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Dado lo anterior, se ha querido realizar esta investigación, cuyo propósito es analizar los elementos físicos y ambientales que componen los sistemas atrapanieblas como fuente hídrica; esto teniendo en cuenta que, las fuentes hídricas alternativas sostenibles como la captación de agua niebla, pueden llegar a compensar la demanda de agua en diferentes zonas del país, especialmente las rurales con predominio de clima seco o en las que presentan escasez o deficiencia en el abastecimiento lo que dificulta entre otras cosas, el desarrollo de labores agrícolas que, como es sabido, demandan gran cantidad de agua. Así mismo, porque los sistemas alternativos de agua tienen beneficios económicos que contribuyen con el desarrollo socio económico de las comunidades al tener que “construir menos infraestructuras y aplazar y reducir los costos de construcción de redes; aliviar a las finanzas públicas de parte de la presión financiera, ya que se incita a nuevos actores a invertir su propio dinero en la infraestructura, sea son alternativa descentralizadas; los sistemas alternativos son flexibles y adaptables a los cambios en la población y el consumo, el uso de la tierra y las tecnologías” (OECD, 2007, p. 19).

Adicionalmente, la captación de agua niebla, es una alternativa para la conservación y mejoramiento del medio ambiente, contribuyendo con la reforestación de zonas taladas donde no es práctico trasladar agua de fuentes convencionales, esto teniendo en cuenta que el potencial de la niebla ha demostrado su importancia en los bosques nubosos que prosperan gracias a la interceptación de la niebla.

Finalmente, el desarrollo de esta investigación se realiza con miras a aplicar lo establecido en el perfil profesional del programa de ingeniería civil, el cual expone desarrollar proyectos de Ingeniería Civil relacionados con una de las áreas de formación recursos hídricos y del ambiente, que propendan por el mejoramiento de la calidad de vida de la población, mediante la aplicación adecuada de los conocimientos adquiridos, el desempeño ético que se enmarca en la formación humana y el respeto por la dignidad de las comunidades y del ambiente; porque se quiere aportar una visión más amplia de la captación de agua niebla como potencial fuente hídrica complementaria a implementarse en las regiones del país.

## **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES**

**1.5.1 Alcance.** Los alcances de la investigación son los siguientes:

- Revisión de modelos y diseños actuales para la captación de agua niebla y su rendimiento, con referencia a algunos casos de estudio.
- Análisis de los principales factores climáticos y meteorológicos que influye y permiten el mejor rendimiento en la formación y captación de agua niebla.
- Caracterización de los factores climáticos y meteorológicos que presenta la zona caso de estudio Departamento de Cundinamarca
- Análisis de la favorabilidad que presenta el departamento de Cundinamarca para la formación de agua niebla según características climática y meteorológicas

**1.5.2 Limitaciones.** Las limitaciones que se puede presentar durante la realización de la investigación son las siguientes:

- Tiempo para la recopilación y análisis de información.
- Acceso a información histórica de factores climáticos de la zona de estudio

## **1.6 MARCO DE REFERENCIA**

**1.6.1 Marco teórico.**

**1.6.1.1 Aguas atmosféricas.** Se refiere “al tipo de agua suspendida en la atmosfera, como gas o vapor, que de una forma rápida y sencilla se convierte en precipitación, o partículas pequeñas de agua que dan formación a las nubes, también en nieve, granizo, cristales de hielo o neblina. Sobre el ciclo hidrológico cumple una función vital y muy centralizada, pues anualmente solamente los océanos evaporan 449.000 km<sup>3</sup> de agua, la cual, por efectos naturales dentro del mismo ciclo queda desalinizada y en espera de precipitarse” (Quinche 2019, p. 21).

La evaporación y la transpiración transforman el agua líquida en vapor, que asciende a la atmósfera debido a las corrientes de aire ascendentes. Las temperaturas más frías en el aire permiten que el vapor se condense en nubes y los vientos fuertes mueven las nubes alrededor del mundo hasta que el agua cae como precipitación para reponer las partes terrestres del ciclo del agua. Alrededor del 90% del agua en la atmósfera se produce por evaporación de los cuerpos de agua.

En este sentido, la Escuela de Ciencias del Agua (2016) explica que “las nubes son la manifestación más visible del agua atmosférica, pero incluso el aire claro contiene agua, agua en partículas que son demasiado pequeñas para ser vistas. Una estimación del volumen de agua en la atmósfera en un momento dado es de unas 3,100 millas cúbicas (mi<sup>3</sup>) o 12,900 kilómetros cúbicos (km<sup>3</sup>). Eso puede parecer mucho, pero es solo alrededor del 0,001 por ciento del volumen total de agua de la Tierra de aproximadamente 332,500,000 mi<sup>3</sup>” (párr. 4).

La atmósfera terrestre está constituida por una mezcla de gases que se distribuyen, según el volumen, de la siguiente manera: nitrógeno (78%), oxígeno (20%), argón (0,9%), dióxido de carbono (0,03%) y otros gases (metano, vapor de agua, etc, 0,14%). A pesar de su mínima proporción, tanto el dióxido de carbono como otros gases minoritarios tienen un papel muy importante en los procesos climáticos.

La atmósfera no es una masa homogénea, sino que a medida que se aleja de la superficie terrestre tanto su temperatura como su composición de gases va variando. De esta manera, se puede dividir la atmósfera en cuatro regiones principales: la troposfera, la estratosfera, la mesosfera y la ionosfera. De estas, sólo la troposfera y la estratosfera tienen un efecto determinante sobre la vida en general y el ciclo del agua en particular.

La troposfera es la capa inferior de la atmósfera que está en contacto con la superficie terrestre. Se extiende unos 8 km en los polos y unos 18 km en el ecuador. Contiene, aproximadamente, el 70% en peso de toda la atmósfera y la mayoría del vapor de agua, aproximadamente el 95%. Todo ello hace que en esta capa se den los fenómenos meteorológicos y climáticos más importantes (Unión Europea, 2012) (Unión Europea, 2012).

**1.6.1.2 Niebla.** La niebla se puede definir como “una nube de vapor de agua condensada en pequeñas gotas, con diámetros oscila de 1 a 40 micrones, se encuentra suspendida en la atmósfera a nivel del suelo, debido a su pequeño tamaño, no se asientan rápidamente” (Morichi y otros, 2018, p. 30). Así mismo, la niebla es “un hidrometeoro formado por un conjunto visible de gotitas de agua (o cristales de hielo), lo suficientemente pequeñas para mantenerse suspendidas en la atmósfera cerca de la superficie terrestre; es un fenómeno meteorológico relativamente frecuente en las Islas, montañas y zonas costeras” (Pascual y otros, 2011, p. 10).

Además, la niebla es una nube de estratos que generalmente se encuentra muy cerca del suelo y que se produce cuando una masa de aire se enfría hasta el punto de rocío, este enfriamiento del aire “contiene una cantidad suficiente de agua y núcleos de condensación con un radio igual a 0.2  $\mu\text{m}$ , y una concentración de aproximadamente 1000 núcleos/cm<sup>3</sup> de aire, dando así una condensación no homogénea, es decir, se requieren humedades relativas del aire menores a 100% para que el vapor de agua se condense. Estas gotas poseen un diámetro de 1 a 40  $\mu\text{m}$  y una concentración de 300 gotas/cm<sup>3</sup> de aire en nieblas densas” (Poveda Lancheros, y otros, 2017, p. 16).

Según Ingraham (1998) la mayoría de las gotas de niebla tienen una tasa de sedimentación lenta y la velocidad a la que las gotas de niebla llegan al suelo mejoran cuando la niebla que sopla y se fusiona en el follaje para producir grandes gotas que caen al suelo, a esto se le denomina 'goteo de niebla' o precipitación de niebla. Al respecto, Morichi y otros (2018) explica que la niebla tiene velocidades de caída desde menos de 1cm/s a aproximadamente 5cm/s, pero que, estas tasas de caída son lo suficientemente bajas como para modificar el ángulo de caída de las gotas, dependiendo de la velocidad del viento, razón por la cual, incluso el viento más suave las transporta.

Adicionalmente, se observa que la diferencia de la lluvia o la nieve, donde la cantidad que llega al suelo depende principalmente de las condiciones atmosféricas y es bastante uniforme dentro de una región pequeña, “la cantidad de goteo de niebla que llega al suelo depende más de los efectos de la superficie, como la duración de la niebla, tipo, densidad y área transversal de la vegetación recolectora, y la prevalencia del viento” (Morichi y otros, 2018, p. 88).

En cuanto a los tipos de niebla, los más frecuentes son niebla de radiación, niebla de advección y niebla orográfica (véase la Figura 1).

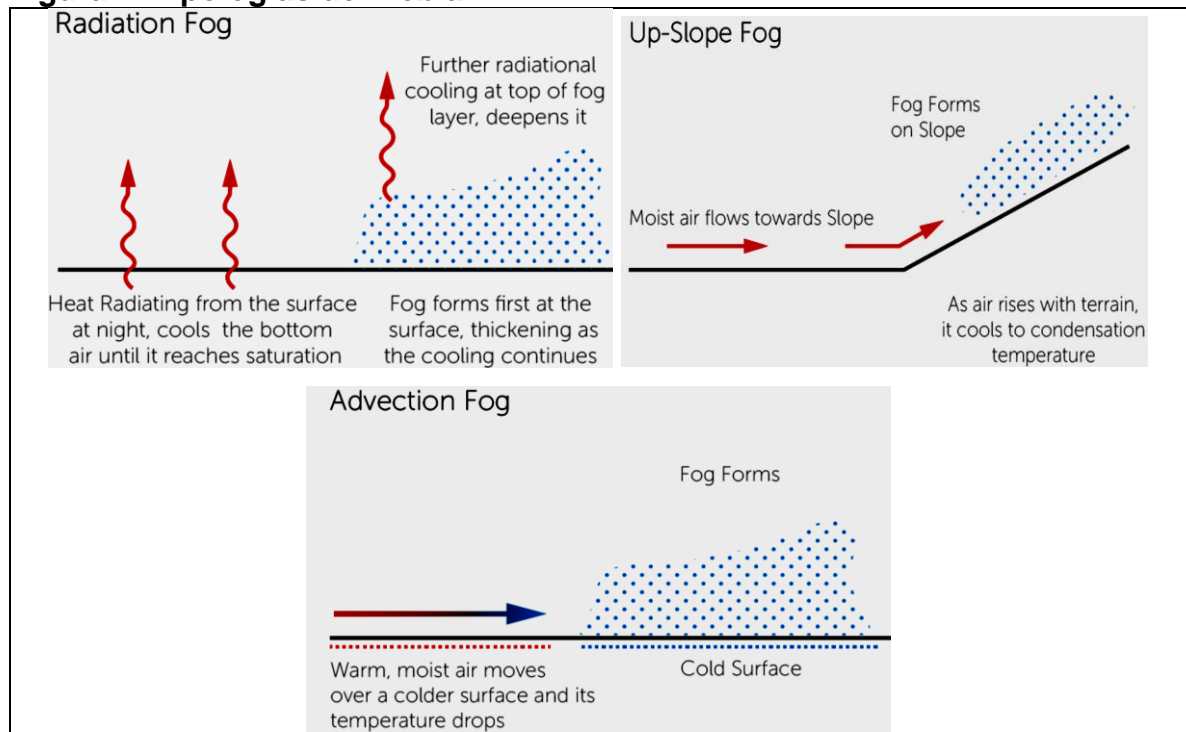
➤ Niebla de radiación: “es común en otoño e invierno en latitudes templadas; está asociado con el enfriamiento radiactivo de las capas más bajas de la atmósfera durante las noches claras y frescas” (Ingraham, 1998, p. 88).

➤ Niebla de advección: se produce cuando el aire húmedo entra en una región más fría, ésta siempre está asociada con los movimientos horizontales de las corrientes de aire y puede resultar de dos maneras diferentes. “El enfriamiento del aire de la superficie puede ocurrir cuando el aire cálido y húmedo se mueve a través de una superficie fría. Si el aire se enfría hasta el punto de rocío, se produce niebla. La niebla de advección también se puede denominar niebla de gran altura cuando es producida por el viento que sopla nubes sobre montañas o colinas. Esta niebla persistirá mientras la nube se fuerce sobre el terreno” (Morichi y otros, 2018, p. 31).

➤ La niebla orográfica se forma cuando el aire cálido y húmedo se mueve hacia las montañas; a medida que asciende por la pendiente, se expande y se enfría. Si está

lo suficientemente húmedo, se formará niebla en la superficie. Puede producirse de dos maneras: “una de ellas es consecuencia del descenso de la base de las nubes hasta el suelo, tras el paso de un frente, con más frecuencia sobre las colinas o en montaña que en el llano; así mismo, otro tipo de niebla frontal se origina de la saturación del aire por una lluvia continua. Se puede alcanzar así el punto de rocío sin que el aire de las capas bajas se enfríe. Estas condiciones pueden realizarse en el aire frío antes del paso de un frente cálido. Las nieblas prefrontales asociadas a los frentes cálidos pueden ser muy extensas” (Poveda y Sanabria, 2017, p. 17).

**Figura 1. Tipologías de Niebla**



Fuente. Morichi, Gloria, Bandeira, Calixto y Zanelli, Alessandra. 2018. *Novel Applications for Fog Water Harvesting*. 3, s.l.: Politécnico di Milano, 2018, Journal of Geoscience and Environment Protection, Vol. 6, p 28.

Cabe resaltar que las nieblas advectivas y orográficas, que son las que interesan para extraer artificialmente su agua, por tener un mayor potencial de colecta se encuentran en altitudes superiores a los 500 metros.

## 1.6.2 Marco conceptual.

**1.6.2.1 Ciclo del agua.** Se trata de almacenar agua y mover agua sobre y sobre la Tierra. El ciclo del agua es impulsado por la energía solar. El sol calienta la superficie del océano y otras aguas superficiales, lo que evapora el agua líquida y sublima el hielo, convirtiéndolo directamente de sólido a gas. Estos procesos impulsados por el sol mueven el agua hacia la atmósfera en forma de vapor de agua (Khan

Academy, 2014) (véase la Figura 2).

**Figura 2. Ciclo del Agua**



Fuente. USGS Escuela de Ciencias del Agua. El Ciclo del Agua [en línea]. Washington: FOIA [citado 18 febrero, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)>

Aunque la atmósfera puede no ser un gran depósito de agua, es la superautopista que se utiliza para mover el agua por todo el mundo. La evaporación y la transpiración transforman el agua líquida en vapor, que asciende a la atmósfera debido a las corrientes de aire. “Las temperaturas más frías en el aire permiten que el vapor se condense en nubes y los vientos fuertes mueven las nubes alrededor del mundo hasta que el agua cae como precipitación para reponer las partes terrestres del ciclo del agua” (Lumen Learning, 2012).

**1.6.2.2 Humedad.** La humedad es la cantidad de vapor de agua en el aire en un lugar en particular. Usualmente se usa el término para haciendo referencia a la humedad relativa, el porcentaje de vapor de agua que contiene un cierto volumen de aire en relación con la cantidad máxima que puede contener, el exceso de agua se condensa y forma precipitación.

Dado que el aire caliente puede contener más vapor de agua que el aire frío, subir o bajar la temperatura puede cambiar la humedad relativa del aire. La temperatura a la que el aire se satura con agua se llama punto de rocío del aire. Este término tiene sentido, porque el agua se condensa del aire en forma de rocío, si el aire se enfría durante la noche y alcanza el 100% de humedad.

**1.6.2.3 Nubes.** Las nubes tienen una gran influencia en el clima al evitar que la radiación solar llegue al suelo; absorber el calor que se vuelve a emitir desde el suelo; y como fuente de precipitación. Cuando no hay nubes, hay menos aislamiento. Como resultado, los días sin nubes pueden ser extremadamente calurosos y las noches sin nubes pueden ser muy frías. Por esta razón, los días nublados tienden a tener un rango de temperaturas más bajo que los días despejados.

Hay una variedad de condiciones necesarias para que se formen las nubes. Primero, las nubes se forman cuando el aire alcanza su punto de rocío. Esto puede suceder de dos maneras:

➤ La temperatura del aire permanece igual, pero la humedad aumenta. Esto es común en lugares cálidos y húmedos.

➤ La humedad puede permanecer igual, pero la temperatura disminuye.

Cuando el aire se enfría lo suficiente como para alcanzar el 100% de humedad, se forman gotas de agua. El aire se enfría cuando entra en contacto con una superficie fría o cuando se eleva. El aire ascendente crea nubes cuando se ha calentado en o cerca del nivel del suelo y luego es empujado hacia arriba sobre una montaña o cordillera o sobre una masa de aire frío y denso. El vapor de agua no es visible a menos que se condense para convertirse en una nube. El vapor de agua se condensa alrededor de un núcleo, como polvo, humo o un cristal de sal. Esto forma una pequeña gota de líquido. Miles de millones de estas gotas de agua juntas forman una nube.

Las nubes se clasifican en cuatro grupos, que están determinados por su altitud y si la precipitación está ocurriendo o no.

➤ Las nubes de alto nivel se forman a partir de cristales de hielo donde el aire es extremadamente frío y puede contener poco vapor de agua. Cirrus, cirrostratus y cirrocumulus son nombres de nubes altas. Las nubes cirrocúmulos son pequeñas nubes blancas que ondean por el cielo, a menudo en hileras. Los cirros pueden indicar que se avecina una tormenta.

➤ Las nubes de nivel medio, incluidas las nubes altocúmulos y altoestratos, pueden estar formadas por gotas de agua, cristales de hielo o ambos, dependiendo de la temperatura del aire. Las nubes de altoestrato gruesas y anchas son grises o azul grisáceas. A menudo cubren todo el cielo y por lo general significan que se avecina

una gran tormenta, con mucha precipitación.

➤Las nubes de bajo nivel son casi todas gotas de agua. Los estratocúmulos, estratocúmulos y nimboestratos son nubes bajas comunes. Las nubes Nimbostratus son espesas y oscuras que producen precipitaciones.

➤Las nubes con el prefijo cumulo - crecen verticalmente en lugar de horizontalmente y tienen sus bases a baja altura y sus cimas a alta o media altitud. Las nubes crecen verticalmente cuando las fuertes corrientes de aire inestables se elevan hacia arriba. Las nubes comunes incluyen cumulus humilis , cumulus mediocris , cumulus congestus y cumulonimbus (Lumen Learning, 2012)

**1.6.2.4 Precipitación.** La precipitación, es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo. Es el principal proceso por el cual el agua retorna a la Tierra. La mayor parte de la precipitación cae como lluvia.

Las nubes que flotan sobre nuestras cabezas, contienen vapor de agua y gotas de nube, que son demasiado pequeñas como para caer en forma de precipitación, aunque lo suficientemente grandes como para formar nubes visibles. El agua está continuamente evaporándose y condensándose en el cielo. La mayor parte del agua condensada en las nubes, no cae como precipitación debido a las ráfagas de aire ascendente que soportan a las nubes. Para que ocurra la precipitación primero pequeñas gotitas deben condensarse. Las gotas de agua colisionan y producen gotas de mayor tamaño y lo suficientemente pesadas como para caer de la nube en forma de precipitación (USGS Escuela de Ciencias del Agua. , s.f.).

**1.6.2.5 Metrología.** El concepto de Meteorología se asocia a las condiciones de la atmósfera en un tiempo y lugar específico, con relación a la temperatura, precipitaciones, y otros factores como pueden ser las nubes. La Meteorología se genera a través de varias fuerzas, unas visibles, y otras que no lo son. Las montañas y las ciudades también afectan a la meteorología. En el caso de las montañas ocurre porque el viento debe elevarse para pasar por encima de ellas. Esto eleva el aire, causando que se enfríe. Eso produce nubes, lluvia, o nieve.

### **1.6.3 Marco legal**

➤Constitución Política de Colombia. Su artículo 80 Establece como deber del Estado la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

➤Ley 373 De 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Establece que Las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales encargadas del manejo, protección y control del recurso hídrico en su respectiva jurisdicción, aprobarán la implantación y ejecución de



dichos programas en coordinación con otras corporaciones autónomas que compartan las fuentes que abastecen los diferentes usos.

➤ Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Uno de los principios de esta ley se orienta hacia su compromiso con la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso. Así mismo el Artículo 17. Crea el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, el cual deberá obtener, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación y tendrá a su cargo el establecimiento y funcionamiento de infraestructuras meteorológicas e hidrológicas nacionales para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios de asesoramiento a la comunidad.

➤ Decreto 1681 de 1978. Sobre recursos hidrobiológicos, para asegurar la conservación, el fomento y el aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos y del medio acuático, su disponibilidad permanente y su manejo racional, según técnicas ecológicas, económicas y sociales

➤ Decreto 1640 de 2012 Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, de conformidad con la estructura definida en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. En su Artículo 8°. Establece que las autoridades ambientales competentes elaborarán las evaluaciones Regionales del Agua, que comprenden el análisis integrado de la oferta, demanda, calidad y análisis de los riesgos asociados al recurso hídrico en su jurisdicción para la zonificación hidrográfica de la autoridad ambiental, teniendo como base las subzonas hidrográficas.

➤ Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico, plantea como objetivos específicos: proteger, recuperar y mejorar ambientalmente las zonas costeras y los terminales marítimos; y recuperar y proteger ecosistemas naturales como manglares, praderas submarinas y arrecifes de coral.

➤ Política Nacional de Investigación Ambiental. Aprobada por el Consejo Nacional Ambiental en diciembre del 2001. Su objetivo principal es “fortalecer la capacidad nacional y regional para la generación, gestión y uso de conocimientos relevantes en la orientación al desarrollo sostenible, al mejoramiento de la calidad ambiental y las condiciones de vida de la población colombiana.

**1.6.4 Estado del arte.** El interés que ha generado la recolección de niebla como fuente hídrica complementaria ha crecido durante las últimas décadas, así como el interés por investigar y analizar diversos aspectos relacionados con ésta tecnológica.

En este sentido, uno de los resultados encontrados en una investigación realizada en el municipio de Choachi – Cundinamarca fue que, si bien el viento es un factor influyente en la captación de agua niebla, dado que a mayor velocidad más gotas son transportadas, en zonas que presentan alta humedad y bajas velocidades de viento, la permanencia de la niebla no se altera dado que, la temperatura resulta eficiente, más aún si ésta disminuye y la humedad aumenta, aspecto que favorece la formación de gotas de agua niebla, obteniendo en promedio, “una captación de 10,01 litros de agua diarios, que corresponde al 10% de la dotación neta especificada en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Allí se determina que la cantidad mínima requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante deber ser de 120 l habitante/día” (Baquero y otros, 2018, p. 57).

Contrario a lo anterior, los resultados de una investigación realizada en Arabia Saudita indican que los mayores volúmenes de agua se pueden recolectar de la niebla asociados con velocidades de viento más altas, pues, de las pruebas de campo realizadas se observó que “cuando la velocidad del viento es de aproximadamente  $4 \text{ m s}^{-1}$ , la recolección de agua de niebla alcanza el máximo, a bajas velocidades del viento, el efecto del aumento del tamaño de las gotas de niebla es pequeño, por tanto, la eficiencia de impacto supera el 95% cuando la velocidad del viento y el tamaño de las gotas de niebla son superiores a  $2 \text{ m s}^{-1}$  y  $20 \mu\text{m}$ , respectivamente” (Gandhidasan y otros, 2018, p. 207).

Por otro lado, investigaciones han encontrado que además del viento, la altitud también es un factor influyente en la captación de agua niebla, pues al realizar mediciones en regiones con una elevación de 2.260 a 3.200 m, los resultados indican que a mayores altitudes cerca de los 3.200 m, es factible obtener una producción de agua promedio de  $6.215 \text{ L} / \text{m}^2 \text{ días}$ , en época de invierno, mientras que, a las altitudes más bajas alrededor de los 2.260 m, es posible recolectar más de  $3.3 \text{ L} / \text{m}^2 \text{ día}$  (Al-Hassan, 2009, p. 2805).

Por otro lado, investigaciones realizadas en zonas de Chile donde se encuentran actualmente sistemas de captación de agua niebla, han determinado que, el relieve ideal para coleccionar agua de niebla es aquel que tenga “un cerro aislado, de un eje orientado al oeste, con laderas con exposiciones al viento WNW y SW y con una distancia al mar de unos 2 a 3 kilómetros de planicie litoral de unos 100 a 200 metros de altitud, sin ningún relieve menor que lo interrumpa” (Cereceda, y otros, 2014, p. 24), Sin embargo, aclara también que, hay lugares de alta captación de agua de niebla que pueden estar distantes a 20 kilómetros del mar, pero que al tener un valle

fluvial que asciende lentamente hasta los 700 – 800 metros de altitud y por donde se canaliza la nube, también tienen buen potencial para la captación de agua niebla.

Como se puede observar los factores ambientales tiene una incidencia significativa en la captación de agua niebla y se complementan entre para obtener mejores rendimientos, razón por la cual es importante estudiar las condiciones climáticas y meteorológicas de la zona donde se busque implementar la tecnología de captación.

## **1.7 METODOLOGÍA**

**1.7.1 Tipo de investigación.** Se desarrollará a investigación de tipo cualitativa de carácter descriptivo, la cual según Del Cid (2011) se usa para interpretar, centrándose principalmente en comprender el fenómeno, mediante el entendimiento de las variables que lo conforman; permitiendo una mejor comprensión de lo que se está analizado o estudiando, estableciendo de igual forma, cómo se relaciona el aspecto de estudio con otro encontrado (Hernández y otros, 2014), en este caso, la captación de agua niebla como fuentes hídrica complementaria.

Así mismo, se aplicará el método analítico-sintético, el cual estudia los hechos, partiendo de la descomposición del objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas en forma individual (análisis) y luego se integran dichas partes para estudiarlas de manera holística e integral (síntesis).

### **1.7.2 Fuentes de información.**

**1.7.2.1 Fuentes Primarias.** Como fuentes primarias se tendrán artículos de estudios e investigaciones y trabajos académicos internacionales y nacionales referentes a la temática en bases de datos científicas y, que no superara los últimos 10 años.

**1.7.2.2 Fuentes Secundarias.** Como fuentes secundarias de información se tendrán reportes, informes, libros y fuentes digitales de información relacionadas con el tema de estudio.

## **1.8 DISEÑO METODOLÓGICO**

Para el desarrollo de la investigación se plantean las siguientes fases (véase el Cuadro 1)

**Cuadro 1. Diseño Metodológico**

<b>FASE</b>	<b>Herramientas / técnicas</b>	<b>Resultados Esperados</b>
Fase 1. Análisis de modelos y diseños de captación de agua niebla	Revisión documental Matriz de evaluación de factores internos	Descripción de modelos y diseños actuales para la captación de agua niebla Análisis de rendimiento de modelos Análisis comparativo de factores internos de modelos, diseños y rendimiento
Fase 2. Análisis de factores ambientales para la captación de agua niebla	Revisión documental en tres momentos: exploración, focalización y profundización	Descripción de factores climáticos y meteorológicos Análisis de influencia y rendimiento en la formación y captación de agua niebla, con referencia a casos de estudio
Fase 3. Favorabilidad de condiciones ambientales en zona de estudio específico	Triangulación de información teórico – práctica según revisión documental	Caracterización de los factores climáticos y meteorológicos del Departamento de Cundinamarca Análisis de la favorabilidad que presenta el departamento de Cundinamarca para la formación y captación de agua niebla

Fuente. El Autor

## 2. MODELOS Y DISEÑOS ACTUALES USADOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA

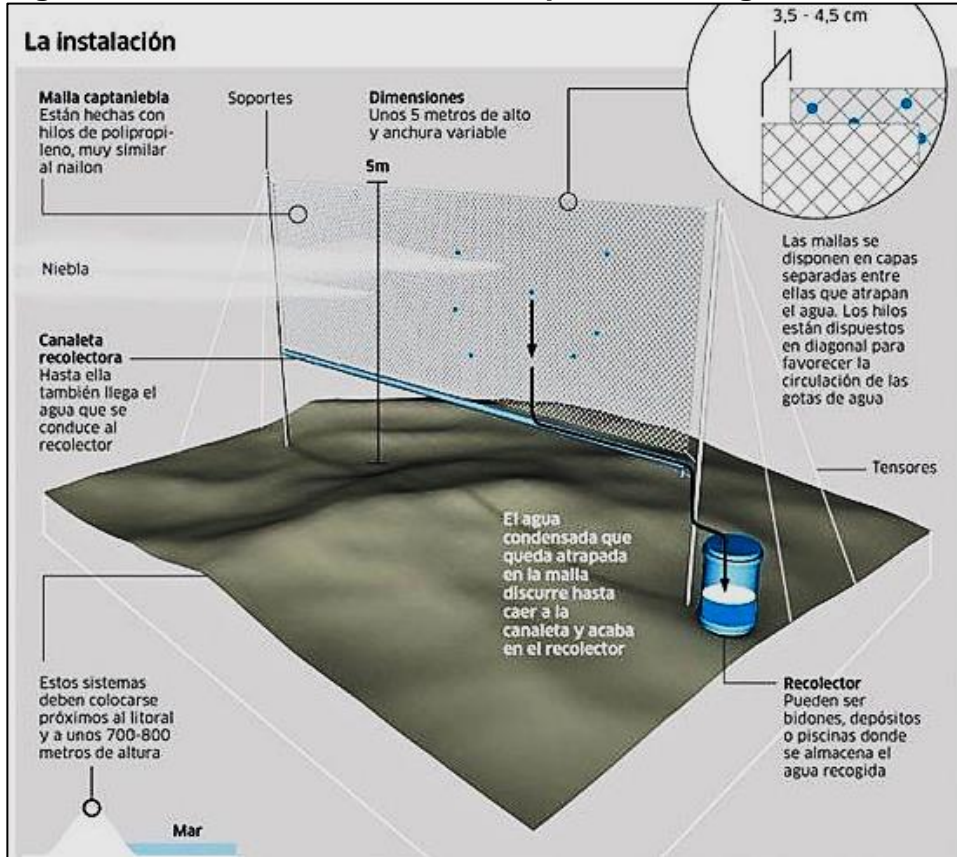
### 2.1 CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA

**2.1.1 Descripción del sistema.** Los colectores de niebla son redes simples, planas y rectangulares de nailon sostenidas por un poste en cada extremo y dispuestas perpendicularmente a la dirección del viento predominante. Alternativamente, los colectores pueden ser estructuras más complejas, compuestas por una serie paneles de recolección unidos entre sí. El número y tamaño de los módulos elegidos depende de la topografía del lugar donde se ubicará y de la calidad de los materiales utilizados en los paneles (Organización de Estados Americanos OEA, 2010). Los sistemas de unidades múltiples tienen la ventaja de un menor costo por unidad de agua producida, y el número de paneles en uso se puede cambiar a medida que varían las condiciones climáticas y la demanda de agua.

Por otro lado, se tiene que la superficie de los colectores de niebla generalmente está hecha de malla fina de nailon o polipropileno, por ejemplo, tela de sombra o poli sombra generalmente marca Raschel (hecha de filamentos planos de polipropileno negro, de 1,0 mm de ancho y 0,1 mm de espesor, en un tejido triangular (véase la Figura 3) y que se puede producir en diferentes densidades, aunque según estudios, después de probar la eficiencia de varias densidades de malla, la malla Raschel que proporciona una cobertura del 35%, montada en capas dobles permite una extracción de alrededor del 30% del agua niebla que pasa a través de las redes (Poveda, y otros, 2017) .

En cuanto a la mecánica de la captación de agua se da cuando el agua en suspensión choca con la malla acumulándose en la red, las gotitas se unen para formar gotas más grandes que caen bajo la influencia de la gravedad en un canal o canalón en la parte inferior del panel, desde donde se transporta a un tanque de almacenamiento o cisterna (FAO, 2013). El colector en sí es completamente pasivo y el agua se transporta al sistema de almacenamiento por gravedad. El sistema de almacenamiento y distribución generalmente consiste en un canal de plástico o tubería de PVC de aproximadamente 110 mm de diámetro que se puede conectar a una manguera de agua de 20 a 25 mm de diámetro para su transporte al lugar de almacenamiento / punto de uso. El almacenamiento suele realizarse en una cisterna de hormigón cerrada. A 30 m<sup>3</sup> (Organización de Estados Americanos OEA, 2010). (véase la Figura 3).

**Figura 3. Sistema Tradicional de Captación de Agua Niebla**



Fuente. Poveda, y otros (2017).

**2.1.2 Operación y mantenimiento.** La operación de los sistemas de captación de agua niebla es simple una vez que éste y las instalaciones asociadas están correctamente instalados, sin embargo, se deben realizar actividades de control y mantenimiento para evitar la posible contaminación del agua recolectada, y asegurar la calidad de la misma (véase el Cuadro 2).

**Cuadro 2. Actividades de Operación y Mantenimiento del Sistema de Recolección de Agua Niebla**

Elemento	Descripción
Inspección de tensiones de cables	Se realiza debido a que la pérdida de la tensión adecuada del cable puede resultar en pérdidas del agua recolectada en el sistema de recepción. También puede causar daños estructurales a los paneles colectores.
Inspección de sujetacables	los sujetadores sueltos en la estructura de la colección pueden hacer que el sistema colapse y / o se destruya.
Inspección de las tensiones de las mallas horizontales	ya que las redes sueltas provocan pérdida de eficiencia de recolección y también pueden romperse fácilmente.

Cuadro 2. (Continuación)

Elemento	Descripción
Mantenimiento de mallas	este debe hacerse después de un uso prolongado, a que las redes pueden romperse, éstas deben repararse de inmediato para evitar tener que reemplazar todo el panel. La red de malla debe limpiarse con un cepillo de plástico suave tan pronto como se detecte el crecimiento de algas.
Mantenimiento de colectores de desagües	se debe instalar una pantalla al final del canal receptor para atrapar materiales indeseables (insectos, plantas y otros desechos) y evitar la contaminación del agua en el tanque de almacenamiento. Esta pantalla debe inspeccionarse y limpiarse periódicamente.
Mantenimiento de tanques de almacenamiento,	los tanques deben limpiarse periódicamente con una solución de cloruro de calcio concentrado para evitar la acumulación de hongos y bacterias.
Monitorización de cloro disuelto.	Una disminución en la concentración de cloro en el agua potable es un buen indicador del posible crecimiento de microorganismos. El control del cloro disuelto ayudará a prevenir el desarrollo de problemas bacterianos.

Fuente. Organización de Estados Americanos OEA (2010)

## 2.2 DESCRIPCIÓN DE MODELOS Y DISEÑOS ACTUALES PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA

Los modelos de captación de agua de niebla pioneros se han caracterizado por ser diseños sencillos siendo los más comunes los paneles bidimensionales o estándar, sin embargo, se han venido desarrollando diferentes tipos de estructuras con materiales más resistentes al clima como macrodiamantes, cilíndricos, estructuras verticales de baja altura con una malla que puede ser desde pequeñas a grandes dimensiones, captadores de pirámide invertida, y torres fabricadas con junco y bambú entre otros, a continuación se describen algunos de los más utilizados.

**2.2.1 Colector de niebla estándar.** Diseñado por Schemenauer y Cereceda, consta de un marco de 1 m<sup>2</sup> cubierto de malla, conectado a una base de soporte de 2 m de altura. Inmediatamente debajo del marco hay una artesa de 1,04 m de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de profundidad, que se utiliza para recoger el agua de niebla que gotea de la malla. La artesa debe colocarse 2 cm delante del marco en el lado de barlovento, y los bordes de la artesa deben estar nivelados con la parte inferior del marco. El posicionamiento de la artesa evita la acumulación de lluvia desde el frente del colector, mientras captura el agua de niebla que cae de la malla en ángulo debido a los fuertes vientos (Schemenauer y Cereceda, 1994). La cubeta debe estar inclinada para promover el drenaje a través de un tubo de plástico de 7 a 10 mm de diámetro interno que conduce a un recipiente de almacenamiento cerrado. El diámetro del tubo de drenaje permite el paso de sedimentos sin obstruir el colector.

La base del colector generalmente consta de dos postes, colocados en concreto para mayor estabilidad. Existen variaciones de un solo poste para reducir el costo y permitir el movimiento omnidireccional de la malla, lo que resulta en una mejor recolección de agua de niebla (véase la Figura 4).

**Figura 4. Colector de Niebla Estándar**



Fuente. Vera Zaragoza (2018).

La malla del colector estándar suele estar hecha de polietileno o malla de polipropileno Raschel, ya que “éstas son más eficientes para capturar la niebla, económicas, lo suficientemente duraderos para resistir el viento, el sol, la radiación ultravioleta y la lluvia, y pueden drenar el agua rápidamente” (Rivera 2011). La malla debe tener un coeficiente de sombra del 35% (véase la Figura 5) que “presenta mejor rendimiento ya que permite el paso de mayor flujo de viento y retiene mayor porcentaje de agua” (Cereceda, 2014, p. 53). Las dimensiones pueden variar debido al estiramiento de la malla al cubrir el marco y debe usarse en capas dobles, ya que el frotamiento de las dos capas promueve la escorrentía del agua.

**Figura 5. Malla Raschel al 35% de Sombreado para la Captación de Agua Niebla**



Fuente. Vera Zaragoza (2018).



En cuanto a la ubicación, el colector estándar, debe ser ubicado preferiblemente de manera perpendicular a la dirección del viento predominante, lo que permite “tener una mayor eficiencia en la obtención de agua” (Vera, 2018, p. 166), el cual presenta un rendimiento de recolección de agua niebla que oscila entre 1 a 10 L/m<sup>2</sup> de superficie colectora por día pero que puede alcanzar valores de entre 30 a 40 L/m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> (Rivera, 2011; Domen y otros, 2014; Vera, 2018), según las condiciones atmosféricas presentes en el sitio donde se ubique.

Por otro lado, entre las ventajas que tiene este tipo de colector es que los materiales son duraderos y capaces de soportar fuertes vientos, la vida útil esperada de la malla es de aproximadamente 3 a 10 años según las condiciones ambientales. Su operación y mantenimiento son sencillos, al no necesitar un operador, gracias a la naturaleza pasiva del sistema, se realiza un mantenimiento periódico que incluye inspeccionar y apretar los cables de sujeción, examinar y reparar cualquier rasgadura en la malla, asegurarse de que la malla y el sistema de recolección estén libres de escombros o crecimiento de algas e inspeccionar los reservorios y los sistemas de distribución (Domen y otros, 2014).

**2.2.2 Colector de Agua Niebla NRP 3.0 o huerto hídrico.** Sistema inicialmente propuesto por C. Sánchez Recio de Canarias en 2000, y desarrollado por la empresa Natural Aqua Canarias SL, constan de un marco vertical de 5 x 2 metros, sostenido por vigas y zapatas de hormigón, con 7 bandejas colocadas inclinadas 50 grados con el fin de reducir los efectos del viento en la rejilla central de captura (Bernal Castro, y otros, 2017).

Es una estructura tridimensional, en forma de prisma rectangular, con una base cuadrada de 0,7 m de lado y 2 m de altura. Consta de una base metálica para el anclaje, las estructuras de soporte verticales, decantación y filtración del agua recogida, estructuras verticales formadas por tubos de 2 m de longitud, una parte superior y una corona o capas internas de malla soportadas por cables de acero (Nelson, 2012). Su estructura cúbica no hace que sea necesario que se ubique estrictamente hacia una dirección del viento en particular, sin embargo, es recomendable que su orientación sea hacia la dirección del viento dominante según la ubicación seleccionada.

La estructura es revestida periféricamente con mosquitera de plástico (5,6 m<sup>2</sup> en total) e interiormente por una segunda capa de malla metálica apantallada de 1 m de altura (cubriendo tres caras del gálibo, 2,1m<sup>2</sup> en total). En el centro de esta estructura, es decir en su interior, se instalan entre 3-5 capas sucesivas de malla Raschel como material de captación vertical (a modo de cortinas) creando una oposición en la trayectoria de las gotas de aire cargado (Dansie, 2015).

Se apoyan en marcos fabricados con cables de acero que se sujetan a la base y la pieza superior o corona mediante pequeños mosquetones y anillas. Los cables proporcionan flexibilidad, estabilidad y ligereza. Lo que favorece el aumento en los

niveles de cosecha (mayor recolección en superficie expuesta) sin ocupar espacio y resistiendo condiciones de viento moderado a fuerte (véase la Figura 6).

**Figura 6. Colector NRP 3.0**



Fuente. Nelson (2012).

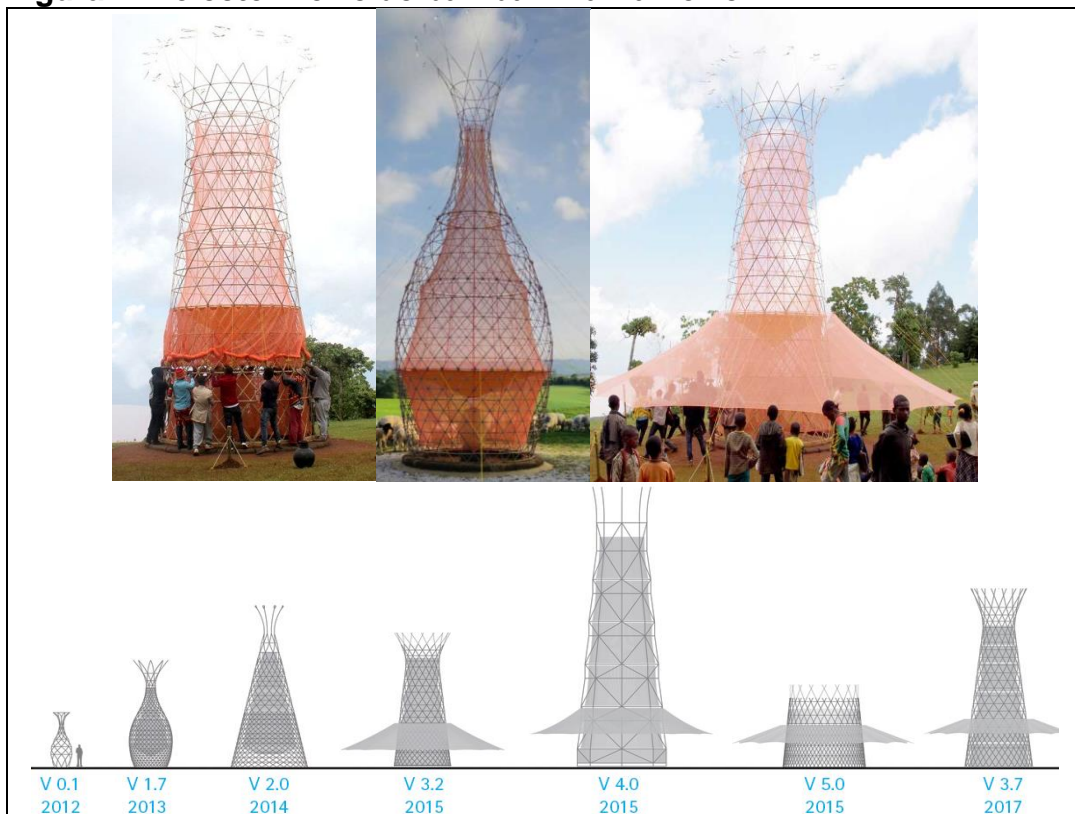
En el colector NRP 3.0, las gotas retenidas en la malla se agregan para formar gotitas de mayor diámetro que se deslizan hacia la base donde se retienen los posibles sólidos presentes antes de la salida por decantación. La fuga de agua se produce por desbordamiento, a través de un pequeño colador, evitando que los materiales flotantes, como restos de plantas o insectos, pasen por el sistema de conducción. El agua se recoge en un canalón de PVC colocado a 1 m del suelo, teniendo un área total de recogida es de 8 m<sup>2</sup> en vertical (Nelson, 2012).

Algunas de las ventajas que tiene este captor es que no tiene consumo de energía y generación de residuos, es de fácil montaje e instalación (ahorro en almacenamiento, transporte e instalación), no requiere un gran mantenimiento solo limpieza y recambio ocasional de mallas, puede obtenerse un suministro in situ es decir en áreas donde se va a usar el agua directamente, lo que genera ahorro de transporte de agua y tuberías; sus materiales son totalmente renovables, mientras que las instalaciones son móviles y no dejan residuos, su aprovechamiento del rocío y la precipitación sin ocupar espacio en el suelo, tiene una mayor superficie de recogida en menos espacio (Nelsón, 2012; Dansie, 2015).

Este sistema es “fácil de transportar e instalar, no necesita mantenimiento constante, evita pérdidas constantes de agua, (recogida por las mallas) fuera de la estructura, y, por lo tanto, la pérdida de producción, que aumentará la tasa de precipitación de las gotas ya capturadas, no se verá influenciada por cambios en la dirección de la neblina, por lo que se podrá obtener de 2 a 10 L/día por m<sup>2</sup>, es decir, que toda la estructura puede captar alrededor de 100 litros por día (Nelsón, 2012; Dansie, 2015; Bernal Castro , y otros, 2017; Vera Zaragoza, 2018).

**2.2.3 Colector Torre de bambú “Warka Tower”.** Sistema diseñado por Arturo Vittori, es una torre modular y prefabricado construido de bambú y plástico biodegradable que forman un marco de 12 metros de altura dividido en 4 módulos que se montan uno tras otro de abajo hacia arriba (véase la Figura 7), la estructura soporta un material de malla de poliéster en el interior, así como un dosel de tela que da sombra a las secciones inferiores de la torre para evitar que el agua acumulada se evapore, la organización ha desarrollado varios modelos de la torre bajo el mismo principio (Hobson , 2016).

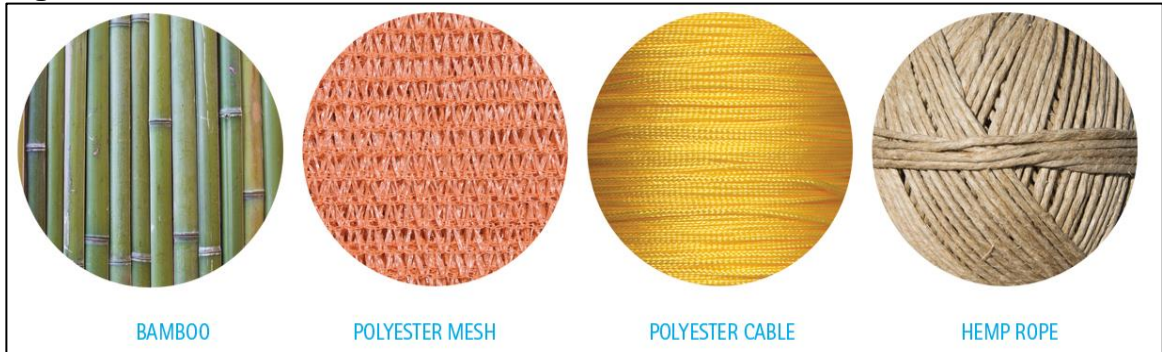
**Figura 7. Colector Torre de bambú “Warka Tower”**



Fuente. Organización Warka Water (2017)

El sistema Warka Water es un diseño que se adapta a las condiciones meteorológicas locales, así como a las características geomorfológicas del sitio y la cultura local. Es una estructura pasiva, funciona solo por fenómenos naturales como la gravedad, la condensación y evaporación, su misión es capturar la humedad que se condensa contra la malla y se escurren por un embudo hasta un depósito de retención higiénica en la base de la estructura (Organización Warka Water, 2017). Warka Tower está elaborada con materiales naturales, biodegradables y 100% reciclables (véase la Figura 8).

**Figura 8. Materiales del Colector Torre de bambú “Warka Tower**



Fuente. Organización Warka Water (2017)

Warka Tower es una estructura pasiva, funciona sin electricidad, y puede ser operado de forma autónoma por los habitantes del sitio donde sea ubicado y su mantenimiento es mínimo, cualquiera puede hacerlo. “Su capacidad de captación de agua depende estrictamente de las condiciones meteorológicas, sin embargo, su objetivo es recolectar de 40 a 80 litros (10 a 20 galones) de agua potable todos los días” (Vera Zaragoza, 2018, p. 177).

**2.2.4 Captador de niebla escarabajo.** El colector de niebla usa una pantalla cuya superficie es de malla de polietileno de 2 metros para atrapar las gotas de niebla en el aire y convertirlas en agua potable, el colector de rocío está hecho de una lámina laminada especial que atrae las gotas de rocío. Pesa solo 400 gramos y es más eficiente cuando se coloca en el suelo en condiciones de 50% de humedad o más, El colector tipo escarabajo puede captar hasta 10 litros de agua por día (Paul, 2008). Se puede utilizar durante el día o la noche y es más eficaz cuando se enfrenta al viento en terrenos elevados (véase la Figura 9).

**Figura 9. Colector de Niebla Escarabajo**



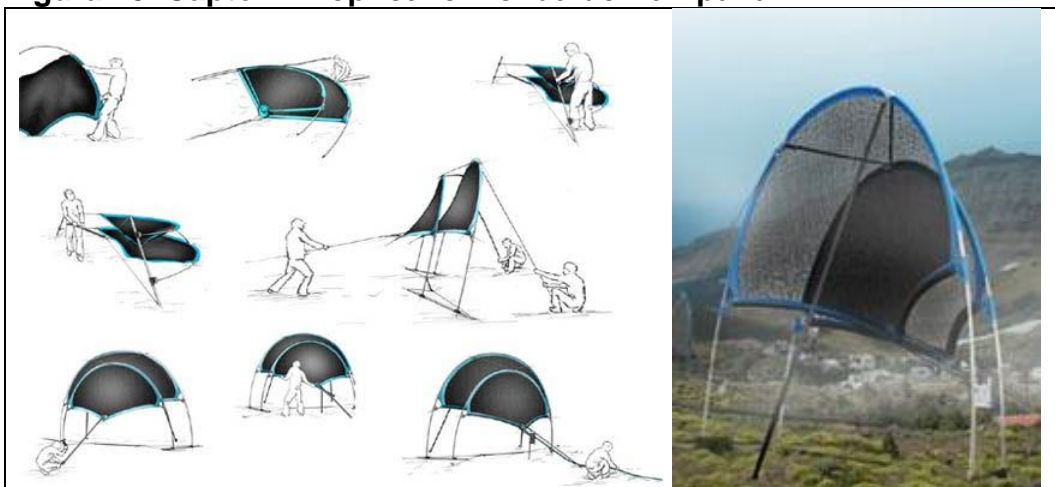
Fuente. Paul (2008)

Debido a que su estructura es liviana y al estar expuesta a condiciones ambientales extremas, el colector tipo escarabajo puede sufrir daños en la lámina de su estructura, razón por la cual, incluye una serie de sensores que detectan cambios atmosféricos que abren y cierran los panales cuando las condiciones son las adecuadas (Vera Zaragoza, 2018).

**2.2.5 Captador “dropnet” o tienda de campaña.** Diseñado por Imke Hoehler, es una estructura formada por malla de polipropileno que se arma en forma de tienda de campaña fácil de ensamblar (véase la Figura 10) que se adapta a cualquier tipo de superficie para luego mediante sus redes atrapar las diminutas gotas de niebla y concentrarlas.

El sistema tiene una altura total de 3 metros y un ancho de 4.5 metros, que le da una superficie neta de aprox. 6 metros cuadrados. Está hecho de una malla barata de polipropileno, que es una tela especial que utiliza fibras horizontales y verticales para crear un patrón triangular. la red debe tensarse, de modo que muestre la curvatura en dos direcciones, creando así una superficie de silla de montar que crea una rigidez que es lo suficientemente resistente como para resistir los fuertes vientos. El agua se recoge a través de las canaletas de drenaje que están conectadas a la red por las soldaduras, drenando el agua en un tanque pequeño. un filtro integrado dentro, limpia el agua antes de que se distribuya. La Niebla se encuentran en áreas especialmente áridas, costeras, con altitudes entre 400 m y 1200 m, que muestran una gran acumulación de niebla. (Vera Zaragoza, 2018, p. 182)

**Figura 10. Captor “Dropnet” o Tienda de Campaña**



Fuente. Yoneda (2010)

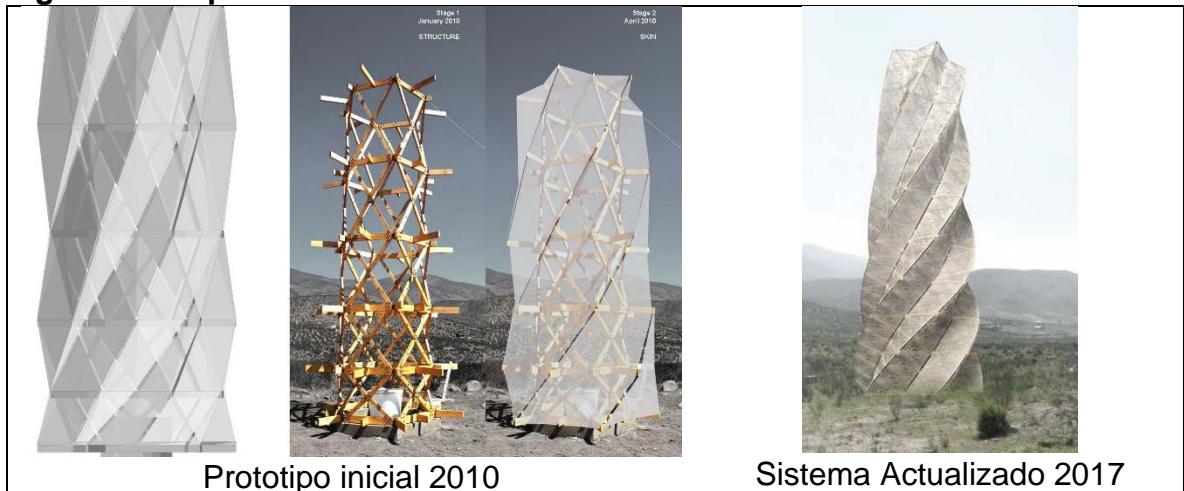
El funcionamiento del colector tipo tienda de campaña consiste en que las pequeñas gotitas de la niebla son sopladas contra la malla tensa, el viento puede pasar la malla, mientras que las gotitas permanecen, si muchas gotas convergen, forman gotas más grandes y corren por la malla hacia las canaletas de drenaje, desde aquí las gotas se unen y siguen las canaletas al pequeño tanque de agua, donde se

limpia el agua antes de que se transfiera a la tubería. Si el viento predominante es muy fuerte, puede suceder que algunas gotitas se presionen a través de la malla y caigan sin ser atrapadas por las canaletas de drenaje. por lo tanto, Dropnet tiene una segunda malla más grande detrás de la primera, puede atrapar las gotitas que escaparon de la primera malla. Es importante que ambas redes se tensen muy bien, porque las pruebas (también mis pruebas con mis modelos de alambre y mosca) han demostrado que así las gotitas se pueden recolectar mucho más eficazmente (Vera Zaragoza, 2018, p. 184).

El colector tipo tienda de campaña capta alrededor de 10 a 20 litros de agua potable diarios para zonas con escasez de agua, pero con abundancia de neblina.

**2.2.6 Captador Torre de recolección de niebla costera.** Sistema fue creado por Alberto Fernández y Susana Ortega y desarrollado por la Fundación Afarge Holcim (2017) y consisten en una torre construida en espiral con una base de madera, conductos de malla de cobre y una piel de plástico, tiene una superficie de 71m<sup>2</sup>, el material es enrollado sobre una estructura triangular de madera con mayor integridad estructural que tiene una altura de 15 metros, tiene un colector principal en la base que se divide en tres componentes: el tanque de agua en el perímetro; una membrana de filtro de compuesto múltiple en el medio; y un tanque central para el agua dulce (véase la Figura 11). El captor fue instalado a 460 m sobre el nivel del mar para verificar que la estructura pudiera soportar los vientos predominantes de 50 km / h (Cereceda, y otros, 2014)

**Figura 11. Captador Torre de recolección de niebla costera**



Fuente. Fundación Lafarge Holcim (2017)

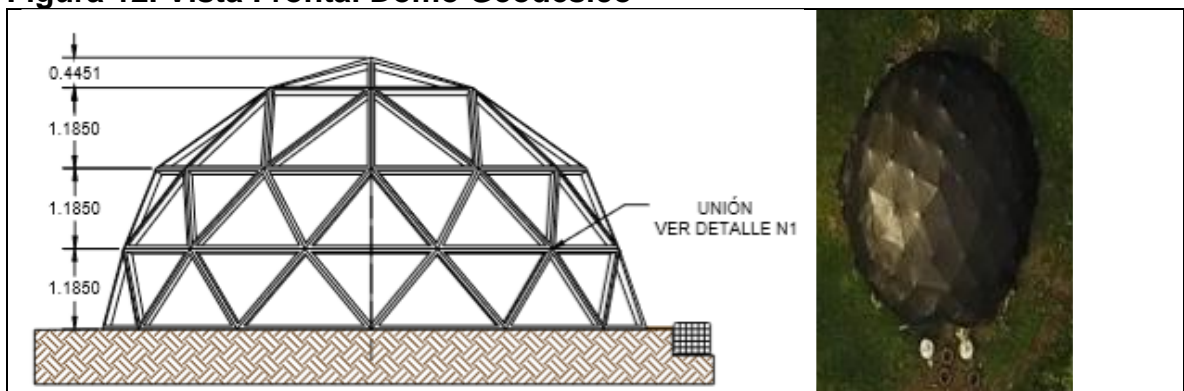
Este sistema de captación de agua utiliza energía eólica y gravedad en su proceso de trabajo principal, capturando las partículas de agua y conduciéndolas a la base de la torre, donde el líquido se filtra mediante un proceso de ósmosis inversa para eliminar la sal, el agua depurada se distribuye en cuatro brazos horizontales desde

el depósito de agua dulce. El proyecto utiliza tecnología simple de bajo costo para producir un gran impacto en la viabilidad de la agricultura en áreas costeras áridas. El sistema de construcción fue diseñado con materiales provenientes de fuentes naturales controladas: madera del pinar del sur (bosque de plantación), el uso de cobre está restringido al diámetro más delgado capaz de canalizar agua, y la piel plástica proviene de elementos reciclados (Foundation Lafarge Holcim, 2017).

La torre es un hito sorprendente en su entorno y produce de 2 a 10 L/m<sup>2</sup> es decir entre 140 y 700 litros de agua por día, sin embargo, su estructura ha sido modificada con los años para llegar a una estructura de 200 a 400 metros con un rendimiento de 2-20L/m<sup>2</sup> de superficie vertical, produciendo de 20.000 a 200.000 litros de agua por día (Foundation Lafarge Holcim, 2017).

**2.2.7. Otros diseños de captores.** Como se puede observar los modelos y sistemas de captación de agua niebla son variados, así mismo se pueden identificar que a nivel académico, es decir como proyectos de investigación o trabajos de grado se han estado desarrollando prototipos de captores cuyas estructuras varían como es el caso del diseño en forma de “domo geodésico el cual tiene un área de 49,44 m<sup>2</sup> en la base, y está formado por 250 segmentos de bambú, 91 uniones que difieren en los ángulos, y una altura y radio de 4 metros, y un área total de 98,63 m<sup>2</sup> de malla Rachel para la captación” (Cárdenas y García, 2019, p. 98). (véase la Figura 12), cuya eficiencia fue de 1.94L/m<sup>2</sup> día.

**Figura 12. Vista Frontal Domo Geodésico**

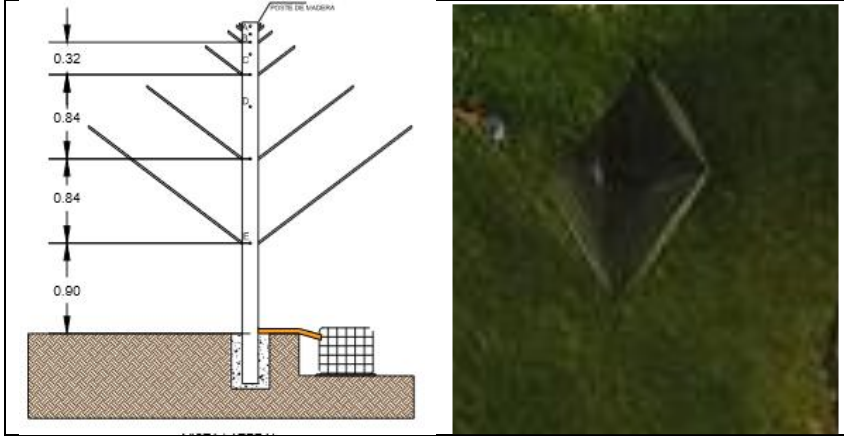


Fuente. Cárdenas y García (2019).

En el mismo trabajo de investigación se diseñó un colector tipo trampa de árbol, construido simulando la copa de un pino colombiano (*Retrophyllum rospigliosii*) elegido luego de realizar una observación y análisis de fisionomía. El diseño tuvo “una altura total de 3,6 m, de los cuales 2,20 m fueron destinados para las ramificaciones del árbol para postrar una polisombra, 0,6 m son la base y los 0,9 m restantes constituyen el tronco. Estas medidas, fueron distribuidas siguiendo la serie de Fibonacci tomando como unidad 0,03 m para su realización, tuvo un área total de 15,93 m<sup>2</sup> de malla raschel destinados para la captación de agua para un

rendimiento de 1.64 L/m<sup>2</sup> día” (Cárdenas y García, 2019, p. 98-99). (véase la Figura 13).

**Figura 13. Vista frontal del atrapanieblas con forma de árbol**

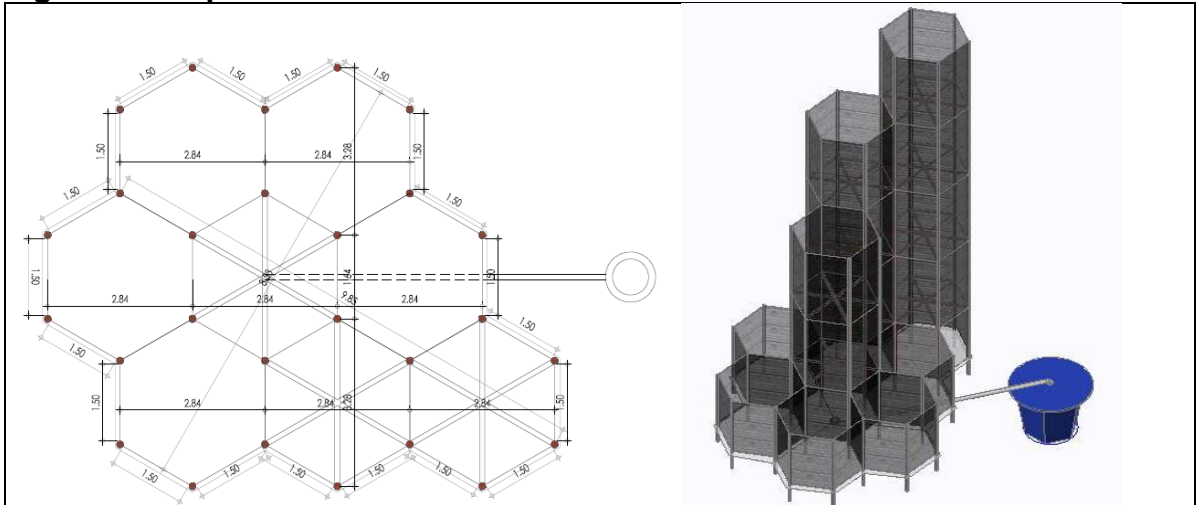


Fuente. Cárdenas y García (2019).

Estos captores fueron instalados y probados en el municipio de Zipacón Cundinamarca, pero como se mencionó anteriormente fueron prototipos para trabajos académicos su implementación definitiva no se ha llevado a cabo.

Por otro lado, se encontró un diseño de un sistema atrapanieblas que imita la forma geométrica de una colmena y la estructura molecular del diamante y el grafito de cuatro niveles, instalado en la dirección predominante del viento en la ciudad de Bogotá a una altura de 3165 msnm (véase la Figura 14).

**Figura 14. Captor Estilo Colmena**



Fuente. Castillo y Cabeza (2016)



Tiene una geometría hexagonal de paneles compuesto por 28 postes de madera inmunizada, para soportar las mallas tipo Raschel teniendo una superficie captadora de 450 m<sup>2</sup>, que permite captar la niebla y el rocío en las diferentes direcciones del viento; depositándola en su tejido, condensándola y enviándola a la parte inferior de todo el montaje por efecto de la gravedad; el líquido cae y es recolectado por láminas de policarbonato alveolar, laminas que serán moduladas y encajadas entre sí formando un gran embudo tubería con un filtro casero (piedras, grava, arena, carbón activo y algodón) que decanta y filtra el agua antes de su paso por la red de distribución, para ser almacenada en un tanque plástico de 1500L para la disposición de la comunidad (Castillo y Cabeza, 2016, p. 8)

Según los datos recolectados, la estructura y características físicas del modelo propuesto, capta aproximadamente 2,66 L/m<sup>2</sup>-día para un total de 1197 L/día para toda la estructura.

### **2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE FACTORES INTERNOS DE MODELOS, DISEÑOS Y RENDIMIENTO**

Como se pudo observar los diferentes modelos y sistemas de captación de agua niebla tienen características similares y diferencias notables, tanto en sus estructuras físicas, uso de materiales, formas etc., sin embargo, cada uno ofrece una alternativa para poder captar y coleccionar agua niebla como fuente hídrica complementaria, a continuación, se presenta un resumen de las principales características de los captadores (véase el Cuadro 3).

**Cuadro 3. Resumen Modelos para la Captación de Agua Niebla**

COLECTOR	TIPO ESTRUCTURA	MATERIALES	DIRECCION DEL VIENTO	EFICIENCIA	RESISTENCIA	RENDIMIENTO	IMPACTO SOCIAL
Colector de niebla estándar.	Bidimensional	Malla Rachel postes de madera	Perpendicular	Media	Media	3 L/m <sup>2</sup> por día	Alto
NRP 3.0 o huerto hídrico	Tridimensional, prisma rectangular	Malla Raschel postes metálicos	Todas	Alta	Alta	2-10 L/m <sup>2</sup> por día	Alto
Torre de bambú "Warka Tower"	Torre Cilíndrica	Malla Polietileno, postes bambú	Todas	Alta	Alta	40-80 L/por día	Alto
Escarabajo	Escarabajo	Malla Polietileno, láminas tubos metálicos	Perpendicular	Media	Baja	10 L/por día	Bajo
Dropnet o tienda de campaña	Tienda de Campaña	Malla Polietileno, tubos metálicos	Perpendicular	Media	Baja	10-20 L/por día	Bajo
Torre de recolección de niebla costera	Espiral	Malla Plástica, postes de madera	Todas	Alta	Alta	2-10 L/m <sup>2</sup> por día	Alto
Domo Geodésico	Domo	Malla Polietileno, postes bambú	Todas	Baja	Alta	1,94 L/m <sup>2</sup> por día	-
Forma de árbol	Árbol	Malla polisombra, postes madera	Todas	Baja	Alta	1,64 L/m <sup>2</sup> por día	-
Estilo Colmena	Molecular del diamante	Malla Rachel, postes de madera, láminas de policarbonato	Todas	Media	Alta	2,66 L/m <sup>2</sup> por día	-

Fuente. El Autor

**2.3.1 Procedimiento para valorar y comparar modelos y sistemas captación de agua niebla.** Para realizar el análisis comparativo de los modelos y diseños y rendimiento para captación de agua niebla, se realiza una matriz de evaluación de factores internos que se utilizará para valorar una serie de criterios establecidos por el autor en función de los componentes físicos, instalación, funcionamiento y rendimiento según la investigación realizada.

De acuerdo con lo anterior los criterios establecidos para hacer la valoración y comparación son:

**Cuadro 4. Criterios de valoración y Comparación de Modelos y Sistemas de captación de agua niebla**

<b>Criterio</b>	<b>Aspectos a tener en cuenta para su valoración</b>
<b>Diseño</b>	Innovación en el diseño Versatilidad de la estructura en general Tamaño total del sistema Resistencia a condiciones atmosféricas
<b>Materiales</b>	Tipo de materiales (renovables, biodegradables, reciclables) Impacto ambiental Adquisición y utilización
<b>Forma de captar el agua</b>	Niebla, lluvia, rocío Influencia de factores ambientales
<b>Rendimiento en la captación</b>	Cantidad de agua captada L/m <sup>2</sup> día y total según el tamaño de la estructura
<b>Instalación</b>	Facilidad de instalación Tiempo de instalación
<b>Mantenimiento</b>	Tipo de mantenimiento requerido Periodicidad de mantenimiento Formación requerida para el mantenimiento Tipo de personal para hacer mantenimiento
<b>Operación</b>	Uso de energía para su funcionamiento Tipo de almacenamiento requerido para la captación Mecanismo de transporte de agua captada Requerimiento de personal con formación técnica para su operación y manejo
<b>Posibilidad de ubicación geográfica</b>	Versatilidad para ser ubicados en diferentes zonas geográficas
<b>Impacto social</b>	Beneficios que ofrece el sistema Usos para el agua captada

Fuente. El Autor

**2.3.1.1 Escala de valoración de criterios.** Teóricamente la escala de valoración de criterios en una matriz de factores internos se da asignando un peso entre 0.0 (no importante) a 0.2 (absolutamente importante), para lo cual se establece la incidencia de cada criterio en el desempeño del modelo o sistema de captación de agua niebla, el total de los criterios debe dar una suma total de 1.0.

Ahora bien, cada uno de los criterios es evaluado de 1 a 5 según la percepción del autor de la presente investigación según los resultados de la investigación previa realizada sobre los modelos y sistemas de captación y sus características, a continuación, se muestra la asignación de la valoración cuantitativa y su correspondencia valoración cualitativa (véase el Cuadro 5).

**Cuadro 5. Escala de Valoración de Criterios**

Valoración cuantitativa de criterios	Valoración cuantitativa de criterios
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Deficiente

Fuente. El Autor

La calificación asignada a cada criterio debe ser multiplicada por el peso asignado a cada uno según nivel de importancia, con lo que obtendrá una evaluación ponderada para cada criterio, para finalmente hacer la sumatoria de cada resultado y tener una valoración total para cada modelo o sistema, la cual será interpretada según la siguiente clasificación (véase el Cuadro 6)

**Cuadro 6. Interpretación de Resultados Valoración General**

Valoración Total Obtenida	Interpretación
4.6 - 5.0	Los beneficios alcanzados son mayores a los beneficios esperados
4.0 – 4.5	Los beneficios alcanzados responden a los beneficios esperados
3.0 – 3.9	Los beneficios alcanzados son menores a los esperados, pero cubren las expectativas primordiales
1.9 - 2.9	Los beneficios alcanzados son menores a los esperados y no cubren las principales expectativas, o son muy bajos
1.0 – 1.8	No se alcanzaron beneficios

Fuente. El Autor

**2.3.2 Análisis de resultados.** Teniendo en cuenta el procedimiento establecido se realiza la valoración de criterios de cada sistema o modelo de captación de agua niebla relacionado en el número 2.1 aclarándose que no se tienen en cuenta los modelos académicos ya que éstos son prototipos que no hay sido implementados formalmente, cuyos resultados se presentan a continuación (véase el Cuadro 7 y el Anexo A):



**Cuadro 7. Evaluación Modelos y/o Sistemas de Captación de Agua Niebla**

Factores	Importancia	Colector de niebla estándar		Niebla NRP 3.0 o huerto hídrico		Torre de bambú "Warka Tower"		Escarabajo		Dropnet o tienda de campaña		Torre de recolección de niebla costera	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Diseño	0,1	3	0,3	5	0,5	4	0,4	4	0,4	4	0,4	5	0,5
Materiales	0,1	5	0,5	4	0,4	5	0,5	2	0,2	3	0,3	5	0,5
Forma de captar el agua	0,2	4	0,8	5	1	4	0,8	3	0,6	4	0,8	5	1
Rendimiento en la captación	0,2	3	0,6	5	1	5	1	3	0,6	3	0,6	5	1
Instalación	0,1	5	0,5	4	0,4	3	0,3	3	0,3	3	0,3	4	0,4
Mantenimiento	0,05	3	0,15	5	0,25	4	0,2	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Operación	0,05	4	0,2	5	0,25	5	0,25	3	0,15	4	0,2	5	0,25
Posibilidad de ubicación geográfica	0,1	5	0,5	5	0,5	4	0,4	4	0,4	<b>4</b>	0,4	3	0,3
Impacto social	0,1	5	0,5	5	0,5	5	0,5	3	0,3	3	0,3	5	0,5
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>4,1</b>		<b>4,8</b>		<b>4,35</b>		<b>3,2</b>		<b>3,5</b>		<b>4,7</b>

Fuente. El Autor

**Cuadro 8. Valoración Total e Interpretación del Resultado**

<b>Sistema de captación de agua Niebla</b>	<b>Valoración Total</b>	<b>Interpretación</b>
Colector de niebla estándar	4,1	Los beneficios alcanzados responden a los beneficios esperados
Niebla NRP 3.0 o huerto hídrico	4,8	Los beneficios alcanzados son mayores a los beneficios esperados
Torre de bambú "Warka Tower"	4,4	Los beneficios alcanzados responden a los beneficios esperados
Escarabajo	3,2	Los beneficios alcanzados son menores a los esperados, pero cubren las expectativas primordiales
Dropnet o tienda de campaña	3,5	Los beneficios alcanzados son menores a los esperados, pero cubren las expectativas primordiales
Torre de recolección de niebla costera	4,7	Los beneficios alcanzados son mayores a los beneficios esperados

Fuente. El Autor

Como se puede observar los resultados de la valoración muestran que los sistemas o modelos de captación de agua que tuvieron valoración fueron NRP 3.0 o huerto hídrico (4.8) y Torre de recolección de niebla costera, obteniendo calificaciones altas en la mayoría de los factores evaluados exceptuando en el segundo de Torre de recolección de niebla costera, ya que en el aspecto que evalúa la ubicación geográfica tuvo menor valoración dado que solo ha sido probado en zonas costeras, no se tiene evidencia de su eficiencia en zonas montañosas, además debido a su tamaño lo que podría ser una dificultad a la hora de ser instalado en este tipo de zonas. Así mismo se tiene que estos dos sistemas junto con el sistema Warka Water son los que tienen un mayor rendimiento en cuanto a la cantidad de agua niebla captada y el impacto social que generan, pues se ha documentado son utilizados por varias comunidades y se ha comprobado su utilizar como fuente hídrica complementaria para zonas de escasez.

Por otro lado, y un factor importante para la implementación de estos sistemas es su diseño y los materiales usados para su construcción, dado que si bien, la eficiencia de los captadores de agua niebla ha sido probado constantemente, un factor terminante para su utilización tiene que ver con su construcción y para la población objetivo, que en su mayoría son poblaciones de bajos recursos, en este sentido las estructuras cuyos materiales pueden ser obtenidos fácilmente y a un bajo costo, y más aún si pueden ser sostenibles o que no atenten contra el medio ambiente, serán mucho más aceptados, razón por la cual la estructura Tridimensional y Espiral, presentan mejores resultados pues según Rivera y Holmes (2014), "optimizan el rendimiento de la colección de agua y, en algunos casos, optimizan la estabilidad estructural frente a los fuertes vientos" (p. 49). Contrario a lo anterior, los otros sistemas evaluados, aunque cumplen con su función de captar agua, presentan debilidades como grandes estructuras que demandan ubicación

específica, materiales más costosos y poco amigables con el ambiente, tecnologías adicionales, poca resistencia a factores como los vientos que generan roturas de las mallas o daños estructurales.

En cuanto a las formas de captar el agua con estos sistemas, se ha considerado un factor importado dado que, de esta manera el rendimiento es más alto, observándose nuevamente que el NRP 3.0 o huerto hídrico muestra mayor eficiencia, pues su diseño permite que capte agua a través de la niebla, la lluvia y el rocío, igual que los sistemas Warka Water y Torre de captación, la diferencia es que por su diseño y tamaño se puede instalar a diferentes metros sobre el nivel del mar y hace la captación de nieblas multidireccionales, ofreciendo varios frentes con superficies de colección del agua de niebla (Cereceda y otros, 2014), es decir, que se puede ajustar a diferentes condiciones meteorológicas no necesariamente relacionadas con el nivel del mar, como es el caso de otros sistemas, lo que lo hace una buena opción para el caso de estudio de esta investigación, dada la altitud que tiene el departamento de Cundinamarca.



### **3. ANÁLISIS DE FACTORES AMBIENTALES PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE FACTORES CLIMÁTICOS y METEOROLÓGICOS RELACIONADOS CON LA CAPTACION DE AGUA NIEBLA**

La niebla, como se mencionó anteriormente, de manera general, se forma bajo la fuerte influencia de factores orográficos, climáticos, variables meteorológicas locales, y las circulaciones atmosféricas. Así mismo, puede formarse en todas partes sobre superficies terrestres y acuáticas. De acuerdo con el profesor Joseph Cotruvo, “si bien no es un factor formador del clima, la niebla tiene una gran importancia meteorológica, particularmente por su carácter local de formación, su capacidad para reducir la amplitud de temperatura y el hecho de que está directamente relacionado con los parámetros de humedad o vapor de agua” (Water Technology, 2015, párr. 3).

Ahora bien, para implementar un programa de recolección de niebla, se debe en primera instancia, determinar el potencial para extraer agua de ésta, por lo cual hay que tener en cuenta los siguientes factores que afectan el volumen de agua que se puede extraer de las nieblas y la frecuencia con la que se puede recolectar:

- ” Frecuencia de aparición de niebla, que es función de la presión atmosférica y la circulación, la temperatura del agua oceánica y la presencia de inversiones térmicas.
- Contenido de agua de niebla, que es función de la altitud, las estaciones y las características del terreno.
- Diseño de sistema de recolección de agua de niebla, que es función de la velocidad y dirección del viento y las condiciones topográficas” (International Environmental Technology Centre UNEP, 1997).

Teniendo en cuenta esto a continuación se hace un recuento más detallado de los factores ambientales y meteorológicos a tener en cuenta para determinar si la captación de agua niebla es un complemento hídrico.

**3.1.1 Condiciones climáticas y meteorológicas que favorecen la generación de niebla.** El clima es “el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo, durante un período y un lugar o región dada, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático” (Pabón, y otros, 2001, p. 35), dado que la cantidad de vapor de agua en el aire se da en función al lugar, la estación y la hora del día, estas condiciones meteorológicas de las zonas en donde se quiera captar agua niebla tiene una influencia significativa en su eficiencia, pues como lo expresa Garcidueñas (2018)

“la captación de agua niebla tiene un mejor funcionamiento en lugares cuyos períodos de niebla son más prolongados como zonas costeras donde se puede recoger el agua cuando ésta se desplaza tierra adentro impulsada por el viento y, en áreas montañosas si el agua está presente en nubes, en altitudes de aproximadamente 400 a 1.200msnm” (Garcidueñas, 2018), esto ya que, el inicio de la condensación o aire saturado de vapor de agua, se da en el momento que se alcanza el punto de rocío, valor éste definido a la temperatura a la que debe ser enfriada, a presión constante, una masa de aire para que resulte saturada (Cereceda, y otros, 2014), siendo entonces la temperatura, la humedad y el punto de rocío los principales factores climáticos y meteorológicos para la generación de niebla, dado que “en un día caluroso y húmedo, el vapor de agua podría representar hasta el 6% del aire, mientras que en un día frío podría ser 0.07%” (Garcidueñas, 2018); por lo que la atmósfera mantiene un volumen de agua a la par con las reservas combinadas de fuentes superficiales y subterráneas. Así mismo según Carvajal de la Sota (2018) hay otros factores que se deben tener en cuenta para la elección de la zona en la que se desee captar agua niebla entre los que se tiene el viento y la humedad relativa.

**3.1.1.1 Temperatura atmosférica.** La temperatura atmosférica es “el estado de calor de la atmósfera, es decir, el grado de calor específico del aire en un lugar y momento determinado. Esta variable se determina como una magnitud física, que caracteriza el movimiento aleatorio medio y presenta una variabilidad en función de la elevación” (Portal Náutico MASMAR, 2013).

Así mismo, según con Mendoza y Castañeda (2014) la temperatura es considerada como la sensación de calor en el aire en una zona específica, y que depende principalmente de la distancia que hay entre cada punto de la tierra, en sentido norte o sur del ecuador terrestre; también es influenciada por la altura sobre el nivel del mar, observándose como las zonas más altas tiene temperaturas más bajas; de igual manera, se tiene que, existen otros factores que inciden en la temperatura como el viento y la presencia de elementos que generan sombra como montañas, construcciones, bosques etc.; destacándose que “el componente térmico atmosférico se distribuye por la atmósfera de 4 maneras: a) Radiación: Directamente del sol; b) convección: Ascensión vertical del calor; c) advección: Transporte del calor por medio de las corrientes atmosféricas horizontales y, d) conducción: Por contacto entre partículas”.

Igualmente, la temperatura se puede medir como máxima, mínima y media, donde la temperatura máxima del aire se alcanza en lugares en un día, un mes o un año (temperatura máxima diaria, mensual o anual) o de la obtenida durante mucho tiempo la cual es la temperatura máxima absoluta; por tanto, en condiciones normales, la temperatura máxima se alcanza durante las primeras horas de la tarde, mientras que las máximas mensuales se alcanzan generalmente durante julio o agosto en la zona templada del hemisferio norte y en enero o febrero en el hemisferio sur. Las máximas absolutas dependen de muchos factores, sobre todo

de la insolación, de la continentalidad, de la mayor o menor humedad, de los vientos y de otros. En cuanto a la temperatura mínima es aquella que se alcanza en un día, en un mes o en un año y también la mínima absoluta según los registros de temperaturas de un lugar determinado. Es así como, las temperaturas mínimas diarias generalmente se registran en horas del amanecer, obteniéndose las mínimas mensuales durante los meses de enero o febrero en el hemisferio norte y en julio o agosto en el hemisferio sur. Finalmente, la temperatura media, la cual se obtiene de promedios estadísticos entre las temperaturas máximas y las mínimas.

De acuerdo con lo anterior, en razón a la presente investigación, la temperatura se convierte en un factor determinante para la captación de agua niebla en determinado lugar, pues según Tejeda (2018) la cantidad de vapor de agua que puede ser absorbido por el aire depende de la temperatura del ambiente, de igual manera el vapor de agua es dependiente de la temperatura, por lo que la cantidad de agua recolectada dependerá de la hora del día y la estación del año. En la noche la temperatura es menor que en el día y la humedad será mayor en dicho momento de tiempo, y por tanto será mayor la cantidad de agua que se pueda recolectar

**3.1.1.2 Humedad.** La humedad como elemento climático es “la cantidad de vapor de agua en el aire, es decir, la cantidad o el número de moléculas de vapor de agua por unidad de volumen de aire” (IDEAM, 2018), según a una temperatura promedio de 30°C, el 4% del volumen del aire puede estar ocupado por moléculas de agua, pero, donde el aire es más frío, es decir a -40°C, menos de una quinta parte del 1% de las moléculas de aire puede ser agua. Aunque el contenido de vapor de agua puede variar de una parcela de aire a otra, estos límites se pueden establecer porque la capacidad de vapor está determinada por la temperatura y ésta tiene efectos profundos sobre algunos de los índices de humedad, independientemente de la presencia o ausencia de vapor.

Según lo anterior, cuando se alcanza el límite, se dice que el aire está saturado de humedad. Si se excede del límite, el exceso de vapor se condensa para convertirse en niebla o nubes. Entonces, el concepto de humedad tiene importancia en la climatología, porque es un factor en la determinación de los tipos de climas. Ahora bien, en cuanto a los parámetros para expresar cuantitativamente el contenido de humedad en la atmósfera, se tienen las siguientes:

➤ **Humedad absoluta (U)**, es la cantidad de masa de vapor de agua contenida en una unidad de volumen de aire, se mide en gr m<sup>-3</sup>. Por tanto, la humedad absoluta constituye la densidad del vapor de agua existente en el aire. Sus valores máximos de son del orden de 40 gr m<sup>-3</sup>

➤ **Humedad relativa, (HR)**. es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. La humedad relativa indica que tan próxima está el aire a la saturación, más que decir la cantidad real de vapor de agua en el aire. Se

mide en porcentaje entre 0 y 100%, donde el 0 significa aire seco y 100% aire saturado de humedad.

➤ **Humedad específica (q)**, Es la cantidad de gramos de vapor de agua contenidos en un kilogramo de aire húmedo; es decir, en una mezcla de aire seco y vapor de agua. Se mide en gr kg<sup>-1</sup>, sus valores máximos son del orden de 40 gr kg<sup>-1</sup>.

➤ **Presión de vapor (e)**, es la presión que ejerce sólo el vapor de agua contenido en la atmósfera, sin considerar la presión de todos los otros gases. La máxima presión de vapor es del orden de 50 hPa.

➤ **Relación de mezcla (r)**, es la cantidad de masa de vapor de agua contenida en una unidad de masa de aire seco, se mide en gr kg<sup>-1</sup>. Las mediciones indican que el valor de relación de mezcla máxima es del orden de 40 gr kg<sup>-1</sup>. (Flores, 2008)

La saturación se produce por un aumento de la humedad relativa con una misma temperatura o por el descenso de la temperatura con la misma humedad relativa, un aire saturado tiene humedad relativa de 100% llegando al punto de rocío (IDEAM, 2014), en este punto el agua niebla puede ser captada.

**3.1.1.3 Punto de rocío.** La temperatura del punto de rocío depende de la temperatura y la humedad del aire interior. “Cuanto más alta sea la humedad y la temperatura relativa del aire interior, más alta será la temperatura del punto de rocío, lo que significa que antes se empezará a formar condensación en las superficies frías” (Martínez, 2007, p. 38).

La condensación es el proceso mediante el cual el vapor de agua en la atmósfera vuelve a su estado líquido original. En la atmósfera, la condensación puede aparecer como nubes, niebla, neblina, rocío o escarcha, dependiendo de las condiciones físicas de la atmósfera. La condensación no es cuestión de una temperatura en particular, sino de la diferencia entre dos. La condensación del vapor de agua se produce cuando la temperatura del aire se reduce a su punto de rocío (Buchdahl , 2002).

Todo el aire contiene vapor de agua en cantidades variables, por tanto, cuanto menor sea la temperatura del aire, menor será la capacidad máxima posible de vapor y cuando el aire se enfría, la humedad relativa aumenta, hasta que, a una temperatura particular, llamada punto de rocío, el aire se satura. Un enfriamiento adicional por debajo del punto de rocío inducirá la condensación del exceso de vapor de agua.

La temperatura del punto de rocío dependerá del contenido absoluto de vapor de agua, es decir, la humedad absoluta, medida en g/m<sup>3</sup>. El punto de rocío del aire húmedo será más alto que el punto de rocío del aire seco. Tanto la temperatura del aire como la humedad absoluta determinarán qué tipo de condensación ocurrirá cuando el aire se enfríe. Si el aire en contacto con el suelo se enfría hasta su punto

de rocío, se formará rocío o escarcha, rocío si el punto está por encima de 0°C, o escarcha si está por debajo de 0°C. El enfriamiento de una capa más grande de aire cerca del suelo puede producir neblina, que se congela si el punto de rocío es inferior a 0°C. El aire que se enfría a su punto de rocío al elevarse y expandirse se condensará para formar nubes. Por encima de 0°C se forman pequeñas gotitas de agua. La condensación también puede producir cristales de hielo a temperaturas muy por debajo de 0°C. Cuando las temperaturas están cerca o un poco por debajo de los 0°C, se pueden formar gotitas de agua sobreenfriada (Buchdahl , 2002).

Para el propósito de esta investigación, se resalta que el punto de rocío es uno de los factores que se debe tener en cuenta al momento de evaluar la eficiencia de un sistema de captación de agua niebla permite determinar la cantidad de agua o de medir la capacidad hídrica mediante la condensación, esto teniendo en cuenta que, el vapor de agua es dependiente de la temperatura, por lo que la cantidad de agua recolectada dependerá de la hora del día y la estación del año. En la noche la temperatura es menor que en el día y la humedad será mayor en dicho momento de tiempo, y por tanto será mayor la cantidad de agua que se pueda recolectar (Tejeda, 2018).

**3.1.1.5 Vientos.** El viento es el movimiento de aire causado por diferencias de temperatura o presión (Buchdahl , 2002). En este sentido, se tiene que el viento es un factor que influye en el mayor o menor potencial durante el proceso de captación agua niebla, dado que las velocidades fomentan el transporte de gotas de agua que en conjunto se convierten en niebla, así mismo porque el viento permite que las gotas sean interceptadas por las mallas utilizadas para la captación (Cereceda, y otros, 2014), sin embargo, cabe destacar que, si bien es un factor importante, cuando las velocidades de éste son mínimas no es una condición que altere la permanencia de la niebla (Baquero; Delvasto y Mejía, 2018).

Por otro lado, las formas, como rellanos, es decir estribaciones o cordones de poca pendiente en su cima y largo trayecto que intercepta el paso de la nube, son de alto potencial de colecta, así como los valles o portezuelos entre cumbres, también serán buenos lugares para la instalación de sistemas de captación, pues todas estas variables del viento tienen relación con el tamaño de las gotas y de la malla que las intercepta. En relación con el relieve, es importante conocer las geoformas a barlovento y sotavento de una montaña. En las primeras, si un cerrillo obstaculiza el viento, no es favorable; en cambio, si al frente tiene una amplia y pareja terraza marina, será muy positivo. En las segundas, un valle, cuenca tectónica o depresión es bienvenida, porque actúa de centro de baja presión en relación al frío en la superficie del mar, por lo tanto, atrae las masas de aire o viento, el que aumenta su velocidad en la zona de colecta de agua de niebla. (Cereceda y otros, 2014, p. 23)

El viento por tanto, al ser aire moviéndose determina la dirección y velocidad con la que la niebla atraviesa las mallas para captación de agua, en este sentido, cabe mencionar que se debe tener en cuenta que “la dirección y velocidad del viento se altera de acuerdo con las diferentes horas del día, así como también con las

temporadas del año, las que crean cambios de temperatura, por tanto, cambios en el viento, por lo que, es un parámetro directamente proporcional a la eficiencia de recolección de agua niebla” (Carvajal de la Sota, 2018, p. 18).

### **3.2 ANÁLISIS DE INFLUENCIA Y RENDIMIENTO EN LA FORMACIÓN Y CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA, CON REFERENCIA A CASOS DE ESTUDIO**

De acuerdo con la información recopilada anteriormente, se tiene que los factores climáticos y meteorológicos tiene una alta influencia no solo para la generación de agua niebla sino en su proceso de colecta a través de sistemas de captación, ya que en lugares en donde se cuenta con alta humedad, bajas temperatura y velocidades de viento altas o bajas resulta eficiente el agua niebla como complemento hídrico, además, como Cereceda y otros (2000) exponen, un proyecto de extracción de niebla viable y eficiente debe cumplir con los siguientes criterios:

- ”La niebla debe ocurrir con frecuencia durante todo el año y debe persistir durante un tiempo relativamente largo.
- Las nieblas a gran altura, con un contenido de agua líquida relativamente alto, son de interés principal para proyectos de recolección de agua de niebla en tierras áridas.
- La recolección de niebla debe ir acompañada de viento para lograr una mayor eficiencia” (Cereceda y otros,2000)

Según esto, a continuación, se muestran los resultados de diferentes investigaciones en las cuales se evaluó la eficiencia de los sistemas de captación, sino que también analizaron la influencia de los componentes climáticos y meteorológicos.

- Estudio realizado en la vereda Agua Dulce del municipio de Choachí, Cundinamarca, implementó un prototipo para la captación de agua niebla con forma hexagonal, en el estudio se monitorearon las condiciones meteorológicas y geofísicas de la zona de estudio durante un mes, encontrándose que la vereda presentaba una temperatura promedio de 15.67°C, una humedad relativa promedio del 84.87%; una presión (PSI) promedio de 20.92, logrando así un punto de rocío promedio de 11.47°C con una velocidad del viento de 0.839 m/s, logrando con esto captar un promedio de 10,01 litros diarios (Baquero; Delvasto y Mejía, 2018), demostrando que la producción máxima de agua se presenta en la noche y la madrugada pues en este momento del día se presenta un más alto porcentaje y bajas temperaturas, baja temperatura de punto de rocío e intensidad media de vientos para lograr la captación ideal y eficiente, pues, la humedad relativa óptima para la captación de agua niebla debe oscilar entre el 80% y el 90%, pues estos valores indican que el agua acumulada en el aire es de 31,428gr/m<sup>3</sup>

aproximadamente, según las fuentes consultadas (Cereceda, y otros, 2014) (Cárdenas y García, 2019).

➤ Investigación realizada por Molina y Escobar (2005), donde se evaluó la captación de agua niebla en el sur de los Andes colombianos, para lo cual analizaron las condiciones atmosféricas de cuatro puntos diferentes de Roldanillo al norte de Cali, con diferentes condiciones de viento para un área comprendida entre los 1650 a 1850 msnm; encontrando que las características geográficas, topográficas y climatológicas crean condiciones óptimas para la presencia de una humedad atmosférica alta y de formación de neblina en zonas de ladera, mostrando una precipitación anual promedio de aproximadamente 700mm, una evaporación anual promedio de bandeja de 5mm/día; con una temperatura anual promedio de 21°C con una humedad relativa promedio del 70%, obteniéndose que el punto de captación de agua niebla ubicado a 1838 msnm tuvo un promedio por día en períodos secos (enero –marzo) de 4.53 L/m<sup>2</sup>, por cuanto en un escenario simulado con 50m<sup>2</sup> se podría captar alrededor de 4m<sup>3</sup> de agua lo que podría abastecer a una comunidad de 80 personas diariamente en zonas rurales, con características climatológicas similares.

➤ El trabajo de Ingeniería Ambiental de Muñoz (2020), evaluó la posibilidad de utilizar un sistema de captación de agua niebla en la ciudad de Villavicencio, instalado y monitoreado durante un el mes de noviembre de 2019, en la investigación teórica previa según datos obtenidos por entes encargados de la medición de estos factores se estableció que la ciudad tiene porcentajes de humedad altos que llegan hasta al 87.9% en una zona por terreno plano con poca vegetación; ya en el trabajo práctico con mediciones de temperatura y humedad tomadas in situ en cuatro visitas realizadas, se tuvo como resultados que en un momento de temperatura baja con 22,3°C, la humedad relativa fue muy alta con un 75% favoreciendo la obtención de 2 litros de agua. Mientras que, con una temperatura más alta es decir de 26.7°C y una humedad relativa del 70% se recolecta 1.2 litros de agua (véase el Cuadro 9), concluyendo entonces que a una temperatura promedio de 24°C y un promedio de humedad relativa del 72% se pueden recolectar seis litros de agua por día, siendo un resultado positivo debido al comportamiento de las variables climatológicas.

**Cuadro 9. Resultados Obtenidos de la Recolección de Agua**

Parámetro	Unidades	Muestras u resultados obtenidos			
		1	2	3	4
Agua recolectada	L	2	1.5	1.2	1.3
Humedad relativa	%	75	70	70	73
Temperatura	°C	22.3	23.1	26.7	24.4

Fuente. (Muñoz Cárdenas, 2020)

➤ El trabajo de Ingeniería Civil de Cabeza y Castillo (2016) llevado a cabo en la ciudad de Bogotá en el Barrio la Esperanza de la UPZ 89 San Isidro Patios al extremo nororiental de la localidad de Chapinero, zona de características rurales ubicada a 3181 msnm, presenta según datos del IDEAM una temperatura máxima promedio de 19.54°C mantenida en todo el año, presentaciones variaciones debido las heladas presentadas durante las madrugadas donde se ha llegado a tener una temperatura de hasta 2°C; así mismo el estudio reveló que la humedad relativa oscila entre el 80% y el 88% valores que indicaron que en la zona se presenta mayor formación de neblina debido a la carga de saturación del aire que evita que pueda almacenar el vapor de agua generando de este modo, la condensación situación óptima para la recolección de agua niebla, teniendo un punto de rocío de 11.73°C con la humedad más alta y de 10.66°C con la humedad más baja. Así mismo, se encontró que los vientos de la zona tienen dirección al este y que alcanza velocidades máximas de 6.50 m/s junio, julio y agosto, y mínimas de 3.50 m/s, durante los meses de enero, mayo, octubre y diciembre, lo que con una malla de captación al 35% permite un mejor traspaso del viento y por tanto un índice mayor de colección de agua niebla.

Ahora bien, la investigación mostró que la niebla se forma con mayor humedad, por tanto, para el caso de los cerros las mejores probabilidades para captar agua niebla es en las partes bajas cercanas al suelo que es donde el agua se condensa mejor, pues según los resultados un sistema de captación ubicado a 3165 msnm recolecta en promedio 2.66 L/m<sup>2</sup> en un día, mientras que un sistema ubicado a 3181 msnm recolecta en promedio 1.82 L/m<sup>2</sup> por día (Cabeza y Castillo, 2016).

➤ El trabajo de Ingeniería Química, de Juliao, y otros (2016), en el cual evaluó la eficiencia para la captación de niebla en la vereda de Leticia, corregimiento de Pasacaballos (Bolívar), a través del análisis de variables climáticas según datos recopilados en el portal Weather.com, escogiéndose como variables para el estudio velocidad del viento (2 m/s), temperatura (30,4°C) y humedad relativa (68,8%); determinándose con estos datos, en primera instancia que la dirección del viento predominante en la Vereda de Leticia es hacia el Sur (S), y que por tanto, la eficiencia de colección aumenta al aumentar la velocidad del viento, sin embargo, se obtienen los mayores valores de eficiencia cuando la velocidad del viento se encuentra en el rango de 2-4 m/s, teniéndose que con una velocidad predominante 2 m/s se obtiene un volumen de agua recolectado aumenta a mayor área y a mayor densidad de agua en la niebla, el rango de ésta es de 2,03 L/día, para un área de 4m<sup>2</sup>.

De acuerdo con los resultados de los casos de estudio mostrados anteriormente, se puede decir que, el proceso de condensación de agua niebla está limitado por las condiciones climáticas y propiedades de la superficie en donde se desee realizar la captación, sin embargo, como se pudo observar, en Colombia se han realizado varios estudios que han tenido resultados positivos en diferentes zonas que muestran temperaturas, altitudes y humedades relativas favorables, así como



dirección y velocidad del viento que teniendo en cuenta el materia de captación seleccionado también favorece la eficiencia de la captación.

Sin embargo, cabe resaltar que meteorológicamente cada día es un evento independiente por lo que los valores de la humedad relativa y la temperatura del aire cambian constante e inversamente uno respecto al otro durante el transcurso del día Schemenauer (2009), por lo cual se puede tener mayor condensación durante las noches y madrugadas que durante el día, esto hace que en un estudio de factibilidad se tengan en cuenta los datos o mediciones de estos factores en horas que abarquen tanto el día como la noche´.

#### 4. FAVORABILIDAD DE CONDICIONES CLIMÁTICAS Y METEOROLÓGICAS DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA PARA LA GENERACIÓN Y CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA

##### 4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS Y METEOROLÓGICOS DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

**4.1.1 Generalidades.** El departamento de Cundinamarca, se encuentra localizado sobre la cordillera Oriental y hace parte de la región Andina extendiéndose desde la margen oriental del río Magdalena hasta el piedemonte Llanero; está dividido en 15 provincias, dentro de los cuales se encuentran sus 116 municipios y la ciudad capital (véase el Cuadro 10), abarcando una extensión de 24.210 km<sup>2</sup>, de acuerdo con el más reciente censo demográfico, en el departamento habitan 2.280.037 personas, sin contar con los pobladores de la capital (Gobernación de Cundinamarca, 2013)

**Cuadro 10. Provincias y Municipios del departamento de Cundinamarca**

Provincia	Capital de la Provincia	Municipios
Almeidas	Chocontá	Machetá, Manta, Sesquilé, Suesca, Tibirita y Villapinzón.
Alto Magdalena	Girardot	Agua de Dios, Guataquí, Jerusalén, Nariño, Nilo, Ricaurte y Tocaima.
Bajo Magdalena	Guaduas	Caparrapí y Puerto Salgar.
Gualivá	Villeta	Albán, La Vega, La Peña, Nimaima, Nocaima, Sasaima, Quebradanegra, San Francisco, Supatá, Útica y Vergara.
Guavio	Gachetá	Gachalá, Gama, Guasca, Guatativa, Junín, La Calera y Ubalá.
Magdalena Centro	san juan de Rioseco	Beltrán, Bituima, Chaguaní, Guayabal de Siquima, Pulí y Vianí.
Medina	Medina	Paratebueno.
Oriente	Cáqueza	Chipaque, Choachí, Fómeque, Fosca, Guayabetal, Gutiérrez, Quetame, Ubaque y Une.
Rionegro	Pacho	El Peñón, La Palma, Paime, San Cayetano, Topaipí, Villagómez y Yacopí.
Sabana Centro	Zipaquirá	Cajicá, Cogua, Cota, Chía, Gachancipá, Nemocón, Sopó, Tabio, Tenjo y Tocancipá.
Sabana Occidente	Facatativá	Bojacá, El Rosal, Funza, Madrid, Mosquera, Subachoque y Zipacón.
Soacha	Soacha	Sibaté.
Sumapaz	Fusagasugá	Arbeláez, Cabrera, Granada, Pandi, Pasca, San Bernardo, Sylvania, Tibacuy y Venecia.
Tequendama	La Mesa	Anapoima, Anolaima, Apulo, Cachipay, El Colegio, Quipile, San Antonio del Tequendama, Tena y Viotá.
Ubaté	Ubaté	Carmen de Carupa, Cucunubá, Fúquene, Guachetá, Lenguaque, Simijaca, Susa, Sutatausa y Tausa.

Fuente. (Gobernación de Cundinamarca, 2013)

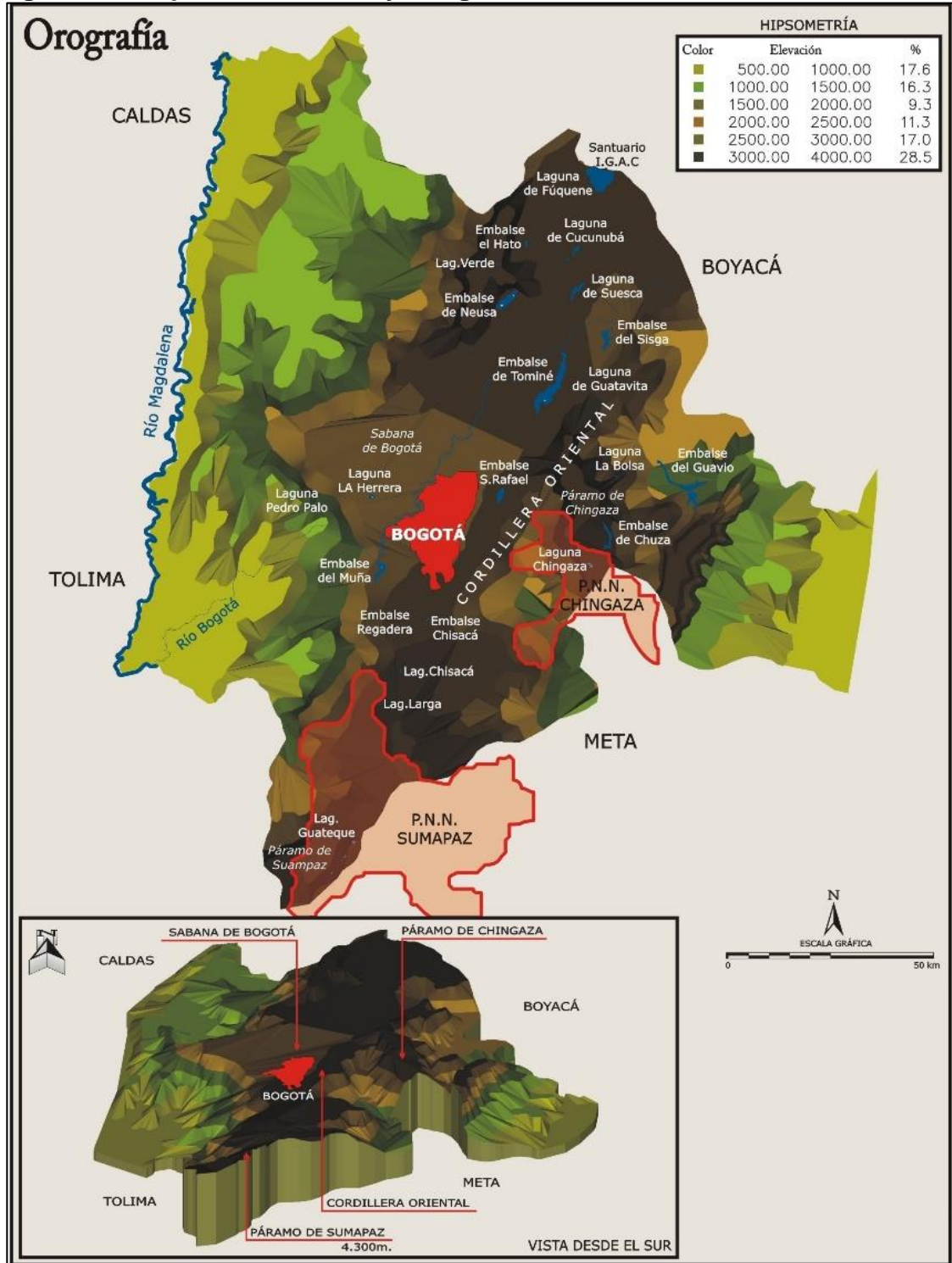
El territorio tiene un paisaje físico-geográfico esencialmente andino con relieves bajos, planos y montañosos, en el cual se distinguen cuatro grandes conjuntos morfológicos, por el sur formando el Páramo de Sumapaz; su parte media presenta la altiplanicie de la Sabana de Bogotá; y más al norte el valle de Ubaté y Simijaca. Los sectores planos y cálidos del departamento son el valle del Magdalena y la parte de los Llanos Orientales. (véase la Figura 15). Su relieve, explica las diferencias de altura y de pendiente, el paisaje físico y las grandes unidades de la superficie terrestre; identificándose relieves estructurales y de erosión, en las siguientes unidades como se explica a continuación (véase el Cuadro 11 y la Figura 15).

**Cuadro 11. Relieve Departamento de Cundinamarca**

<b>Relieve</b>	<b>Descripción</b>
Montaña	Sobre esta unidad se localiza la mayor parte del departamento, pues se extiende de oriente a occidente sobre la cordillera Oriental, sus pendientes van desde fuertemente onduladas (12 y 25%) a fuertemente quebradas (25 y 50%). Dentro de esta gran unidad se pueden diferenciar áreas que se caracterizan por colinas y lomas, ubicadas principalmente en las provincias del Alto Magdalena y Tequendama, en tanto los relieves de montaña caracterizados por presentar formas de crestas estructurales, crestas ramificadas, lomas, colinas y espinazos se distribuyen más ampliamente.
Relieve de Lomerío	A diferencia de la anterior unidad, en esta las pendientes pueden ser onduladas a fuertemente onduladas (7 y 25%). Las principales formas son lomeríos, lomas y colinas, localizadas especialmente en inmediaciones de los municipios de Puerto Salgar y Yacopí en el extremo norte y en el piedemonte llanero a lo largo de la serranía de Palomas en el municipio de Medina.
Relieve de Piedemonte	Se encuentra en la región del piedemonte Llanero, se caracteriza por presentar relieve relativo bajo a moderado, con laderas de pendientes suavemente inclinadas a muy inclinadas y sus principales formas son lomas, colinas y abanicos los cuales tienen diferentes niveles de terrazas.
Relieve de Planicie	Se identifican con extensas áreas en las cuales predominan relieves planos, ligeramente planos, inclinados y ligeramente ondulados con pendientes que oscilan entre 0 y 7%, y desarrollo de patrones de drenaje de baja densidad. La mayor parte de esta unidad se halla en el altiplano Cundiboyacense.
Relieve de Valle	Son áreas que se caracterizan por ser planas a suavemente inclinadas, producto de la acumulación de material arrastrado por los ríos; por lo que se localizan a lo largo de los ríos Magdalena y Bogotá.

Fuente. (Gobernación de Cundinamarca, 2013)

Figura 15. Mapa de Ubicación y Orografía de Cundinamarca

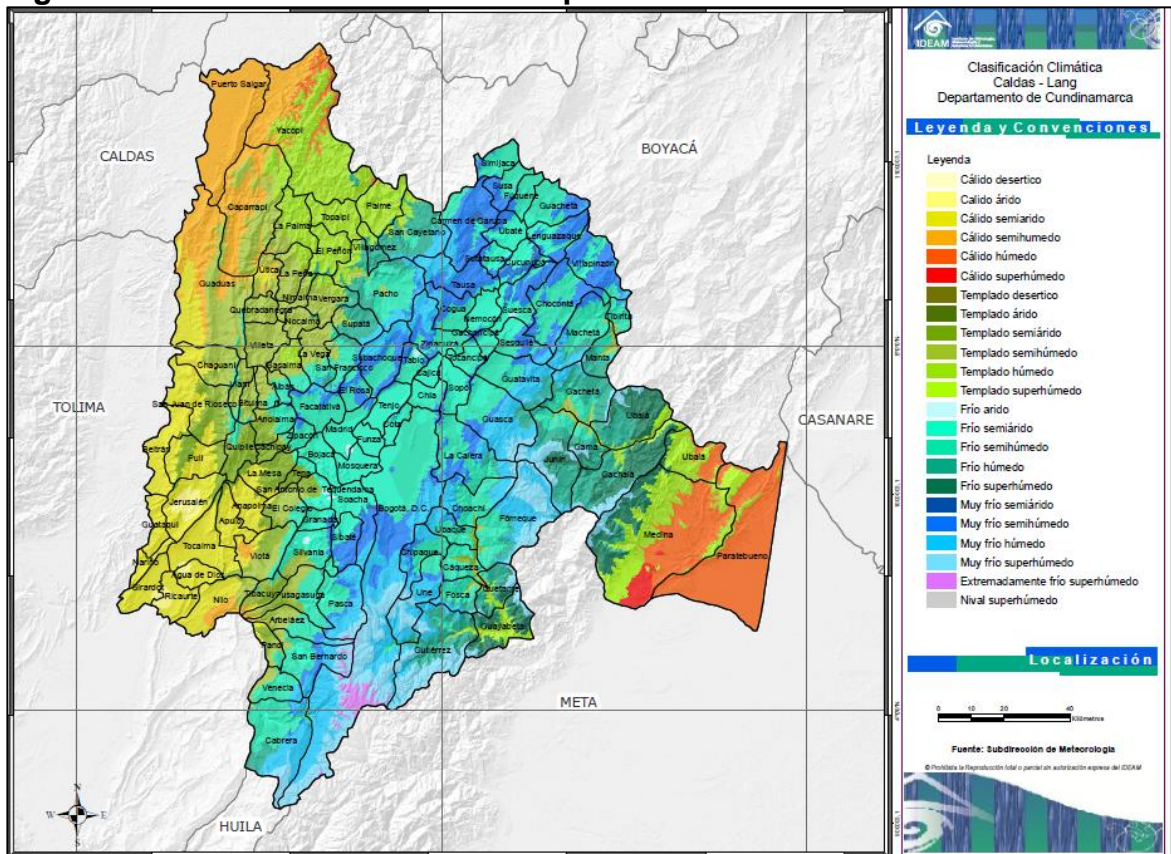


Fuente. (Escuela Nacional de Geografía , 2011)

**4.1.2 Clima y Temperatura.** Debido a su posición geográfica, el departamento cuenta con diversidad pisos térmicos; posee todos los climas, con temperaturas que oscilan entre 12 °C y 28 °C. observándose como en la mayor parte del predominan los pisos térmicos fríos y muy fríos. Al oriente las temperaturas aumentan hasta cerca de 26°C en Paratebueno. Al occidente, se registran temperaturas medias de alrededor de 28°C en sectores localizados sobre las riberas del Magdalena.

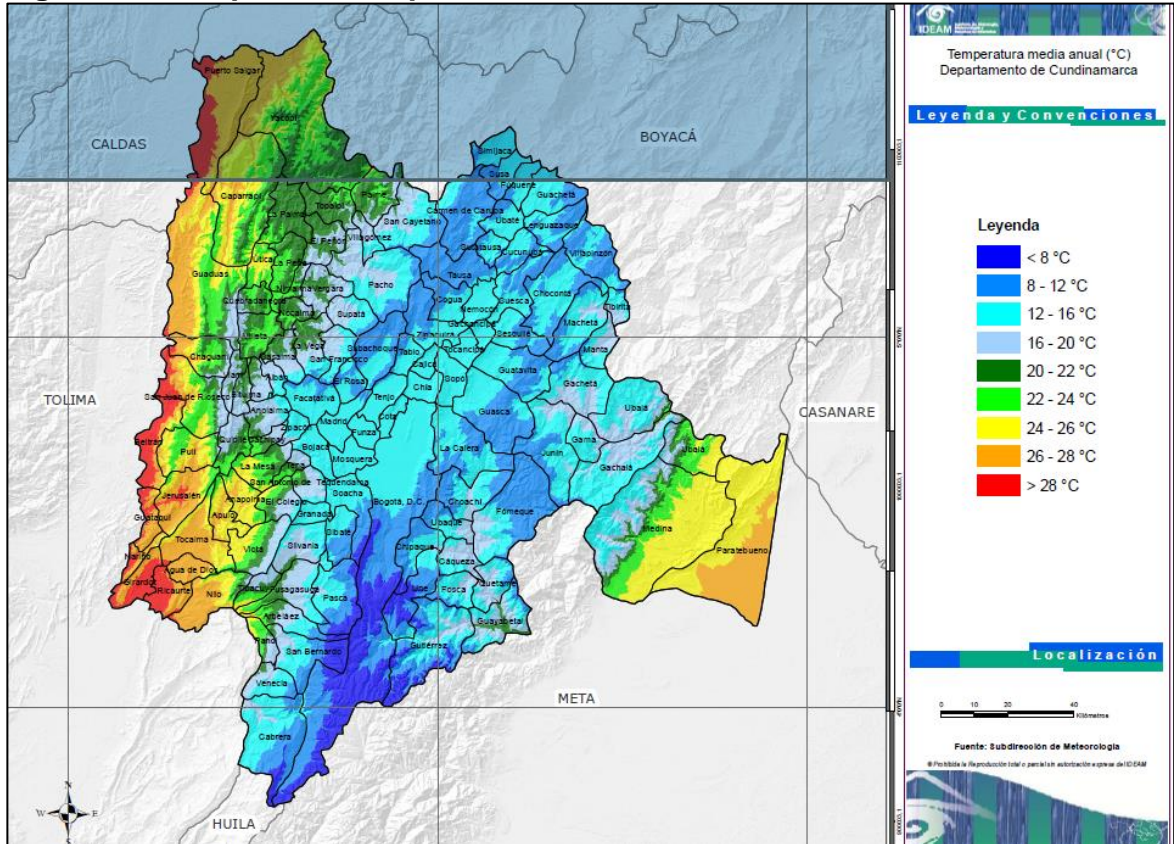
“El piso térmico cálido cubre, aproximadamente, el 27% del departamento y se presenta tanto en el valle del río Magdalena como en el piedemonte llanero; el piso térmico templado se extiende en un 28% de la región, hasta cubrir los flancos oriental y occidental; el piso térmico frío se encuentra en la sabana de Bogotá y alrededores; el páramo, con temperaturas iguales o menores a 12 °C, abarca buena parte de la región del Sumapaz y las montañas que rodean el altiplano de la capital” (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, s.f.) (véase las Figura 16 y 17).

**Figura 16. Clasificación Climática Departamento de Cundinamarca**



Fuente. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, s.f.)

**Figura 17. Temperatura Departamento de Cundinamarca**

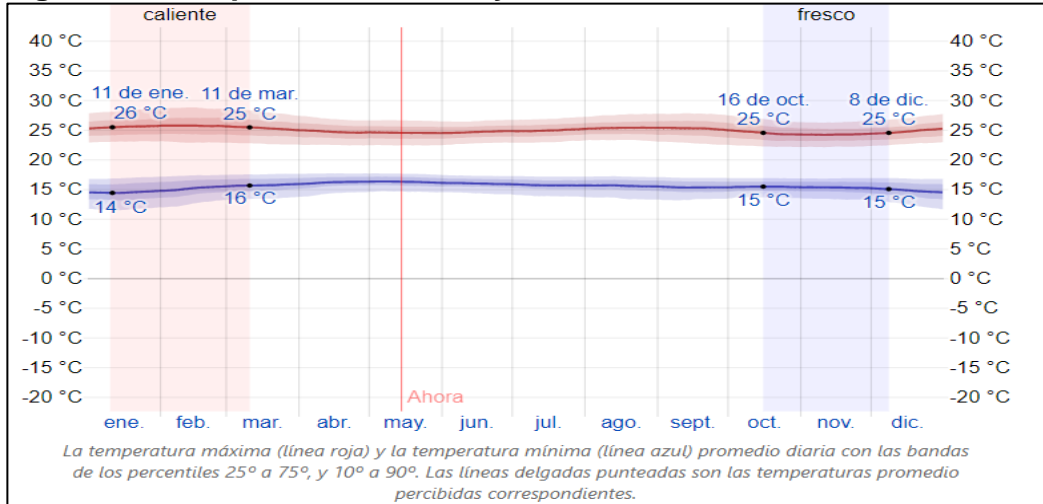


Fuente. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, s.f.)

La temporada templada dura 2 meses aproximadamente, de enero a marzo, donde la temperatura máxima promedio diaria es más de 25°C., siendo el día más caluroso del año el 4 de febrero, alcanzando hasta 26°C, mientras que la temperatura más baja en promedio llega a 15 °C (Weather Spark, 2020)

Por otro lado, la temporada fresca dura 1,8 meses, de octubre a diciembre, teniendo una temperatura máxima promedio al día menor de 25 °C. El día más frío del año es el 11 de enero, llegando a tener una temperatura mínima promedio de 14°C y máxima promedio de 26°C (véase la Figura 18).

**Figura 18. Temperatura Máxima y Mínima Promedio**



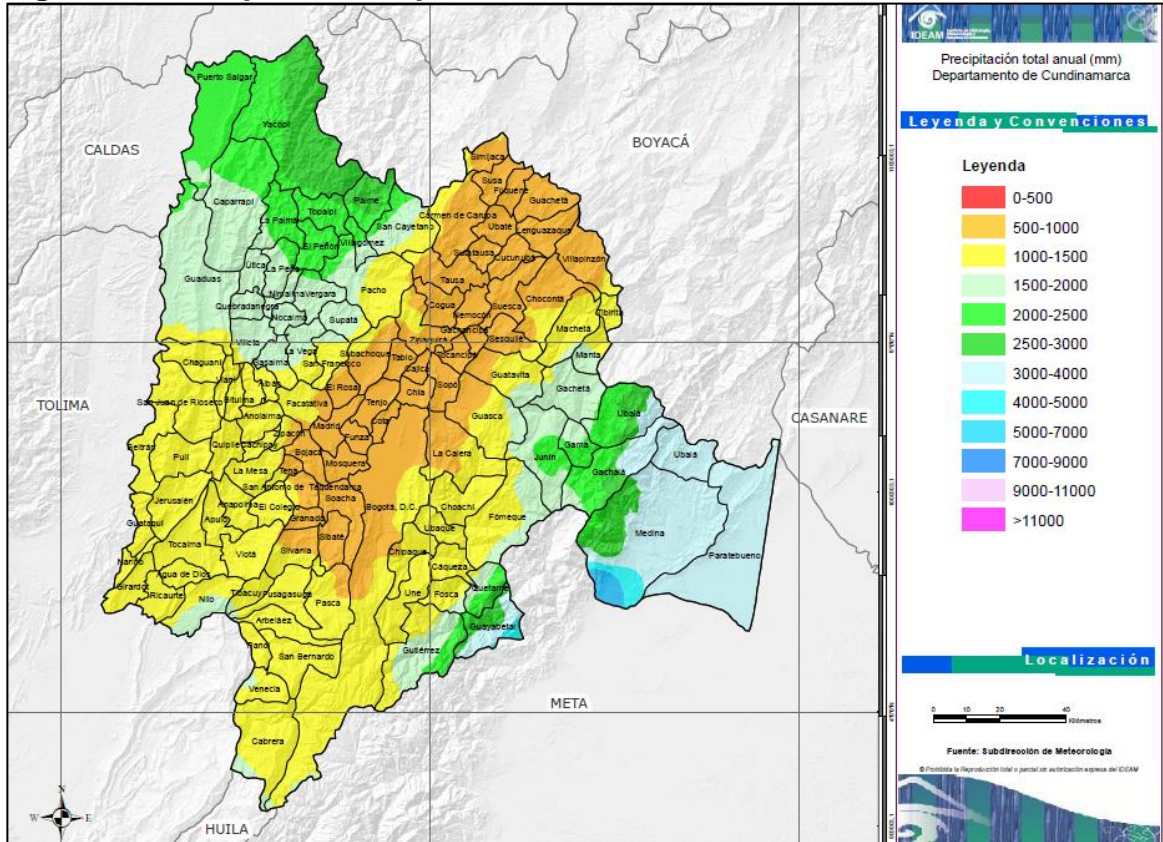
Fuente. (Weather Spark, 2020)

**4.1.3 Precipitación.** El departamento presenta un patrón muy variado en cuanto a volúmenes de lluvia se refiere. El núcleo de menores lluvias ocupa la franja central, correspondiente a la Sabana de Bogotá, con cantidades anuales menores a los 1000 mm. Las lluvias se incrementan hacia el oriente y occidente en dirección a las vertientes de la cordillera oriental. En la vertiente oriental las lluvias alcanzan los mayores valores del departamento con valores cercanos a los 4000 mm en los municipios de Ubalá, Medina y Paratebueno. Hacia la vertiente occidental se registran alrededor de 3000 mm en Yacopí y Paimé.

Así mismo, el régimen de lluvias en la franja central es de tipo bimodal con dos temporadas secas en diciembre-marzo y junio-agosto. Al oriente, en los municipios localizados sobre la vertiente del Orinoco, el régimen es de tipo monomodal con una temporada seca de diciembre a marzo y máximos de lluvia en los meses de junio y julio, con una leve disminución al final del mes de agosto.

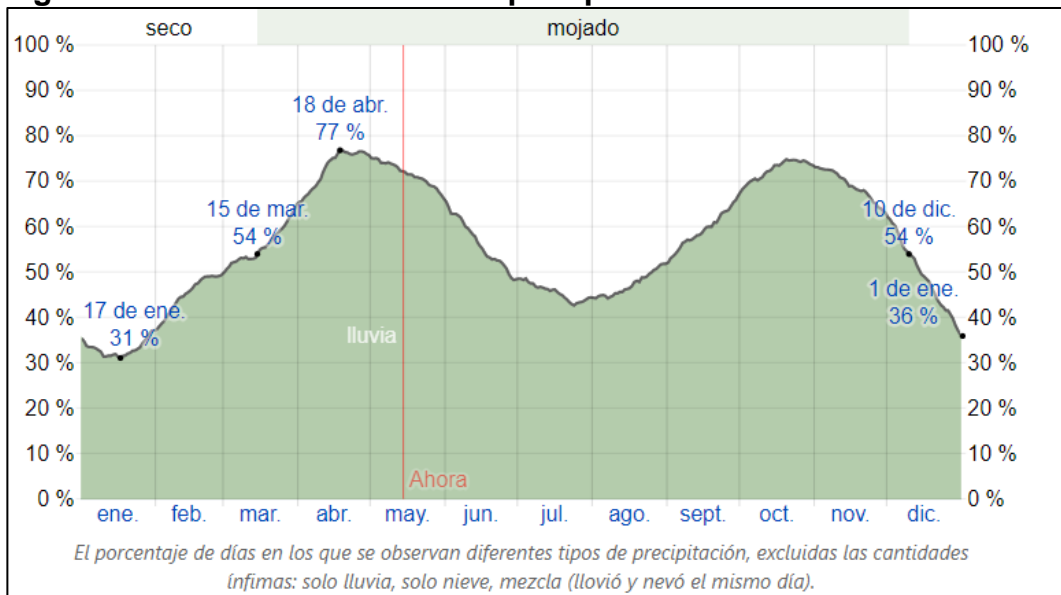
Dado lo anterior, el número de días con lluvia oscila entre 100 y 150 sobre la Sabana de Bogotá. Al oriente se llega a más de 200 días en las laderas de la cordillera. Al occidente, los valores descienden a menos de 100 días en lugares como Nariño y Beltrán (véase las Figuras 19 y 20).

**Figura 19. Precipitación Departamento de Cundinamarca**



Fuente. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, s.f.)

**Figura 20. Probabilidad diaria de precipitación**

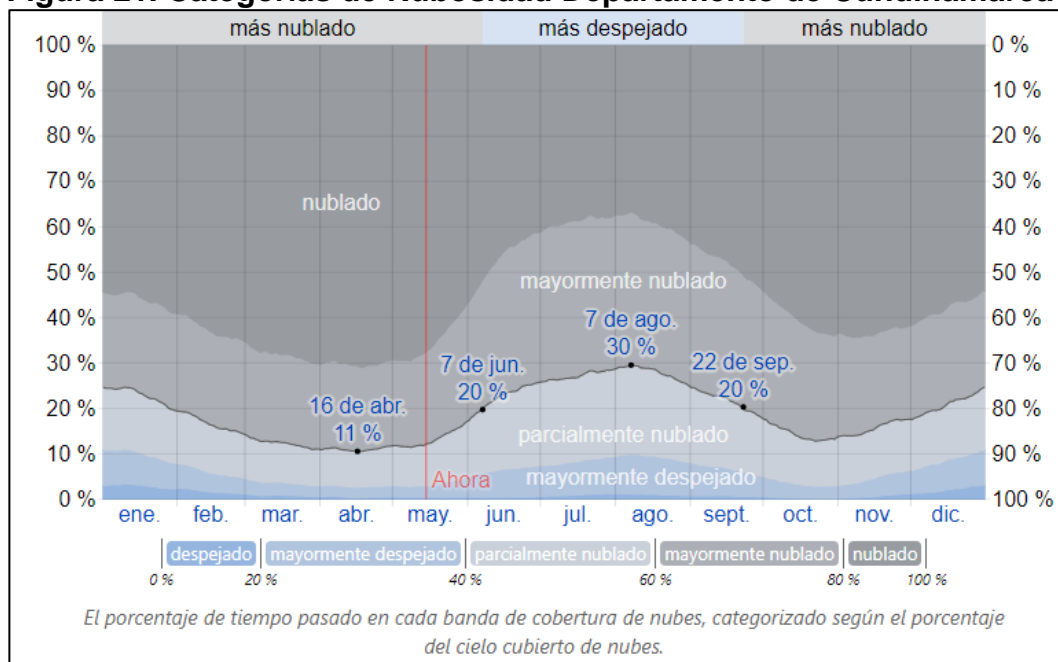


Fuente. (Weather Spark, 2020)



**4.1.4 Nubosidad.** El departamento a nivel general presenta un promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes que tiene pocas variaciones durante el año. Comenzando aproximadamente los primeros días de junio teniendo una duración de 3,5 meses, es decir, terminando aproximadamente en septiembre. Así mismo, el cielo se ve despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 30% del tiempo y nublado o mayormente nublado el 70 % del tiempo (véase la Figura 21).

**Figura 21. Categorías de Nubosidad Departamento de Cundinamarca**

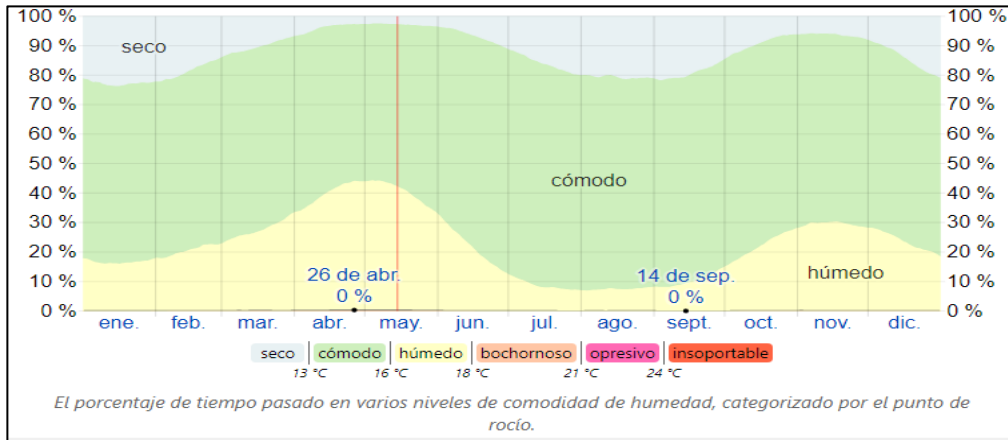


Fuente. (Weather Spark, 2020)

Finalmente se tiene que la sección con mayor nubosidad inicia aproximadamente a finales del mes de septiembre con una duración de 8,5 meses terminando los primeros días del mes de junio, entonces el cielo está nublado o mayormente nublado el 89% del tiempo (Weather Spark, 2020)

**4.1.5 Humedad.** La humedad se analiza desde el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, cuando éstos son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo, en este sentido, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, por tanto, a pesar que la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda. De acuerdo con esto, el nivel de humedad percibido en el Departamento, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante alrededor del 80% (Weather Spark, 2020) (véase la Figura 22)

**Figura 22. Niveles de Comodidad de la Humedad Departamento de Cundinamarca**

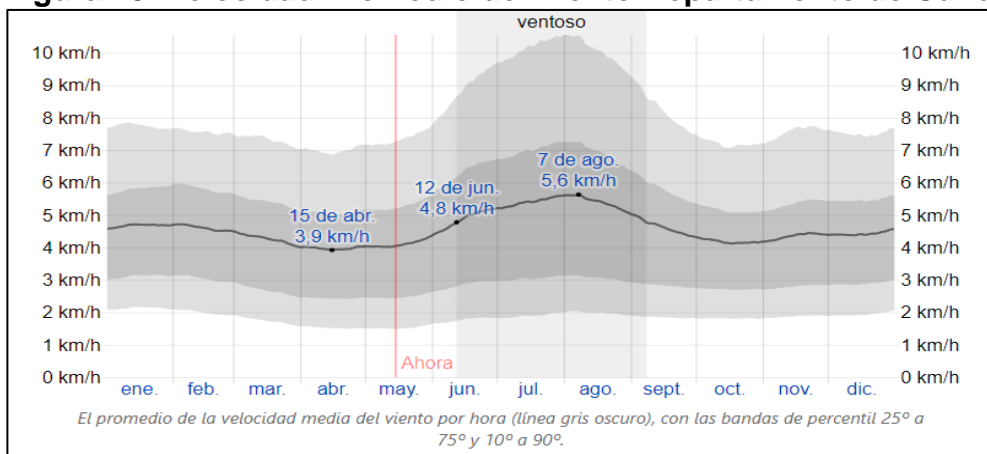


Fuente. (Weather Spark, 2020)

**4.1.6 Viento.** La medición del vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) se hace a 10 metros sobre el suelo; sin embargo, cabe mencionar que el comportamiento del viento de determinada ubicación depende en gran medida de su topografía además de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora (Weather Spark, 2020). Según esto, la velocidad promedio del viento por hora en Cundinamarca tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

De acuerdo con el IDEAM en Cundinamarca en general “prevalecen vientos débiles en la mayor parte del año. No obstante, vale la pena mencionar algunas épocas para las cuales el viento alcanza valores cercanos a 5 m/s, caso mes de enero y a mitad de año entre julio y agosto entre la 1 y 4 p.m” (IDEAM, s.f.) (véase la Figura 23).

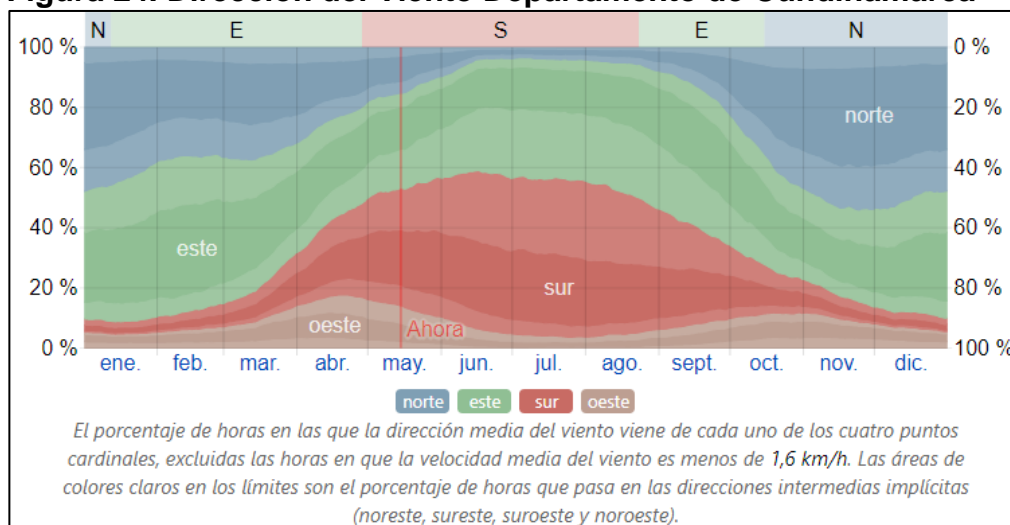
**Figura 23. Velocidad Promedio del Viento Departamento de Cundinamarca**



Fuente. (Weather Spark, 2020)

En cuanto a la dirección del viento que predomina en el departamento, ésta puede variar durante el año. La dirección predominante de donde sopla el viento es mayormente del noreste, sin embargo, observando la rosa de vientos, las intensidades más altas se logran cuando el viento sopla mayormente del oeste. Así mismo, como se observa en la Figura 24 durante 3,5 meses, es decir, entre enero y abril y durante 1,7 meses, de agosto a octubre el viento que viene del este, con un porcentaje máximo del 52% en los primeros días de febrero. Por otro lado, durante 3,8 meses, es decir, desde finales de abril a finales de agosto el viento con más frecuencia viene del sur, con un porcentaje máximo del 53% los últimos días del mes de junio. Por último, durante 2,9 meses, de mediados de octubre a mediados enero, el viento con más frecuencia viene del norte con un porcentaje máximo del 48% para los primeros días de enero (véase la Figura 24).

**Figura 24. Dirección del Viento Departamento de Cundinamarca**



Fuente. (Weather Spark, 2020)









Lo anterior permite determinar que el viento que pasa por el Departamento de Cundinamarca se origina desde diferentes direcciones durante épocas determinadas del año por lo que el sistema de captación de agua niebla más recomendable es aquel que permita captar niebla y rocío en las diferentes direcciones del viento para que éste sea más eficiente.

Como se puede observar el Departamento de Cundinamarca, presenta condiciones favorables para la generación y captación de agua niebla, teniendo en cuenta las factores climáticos y meteorológicos que presenta y su constancia a lo largo del año, en relación a los valores de la temperatura, nubosidad y humedad, destacándose como el departamento presenta índices de precipitaciones y nubosidad en la mayor parte del año lo que sugiere las condiciones propias para tener una eficiencia considerable del sistema atrapa nieblas.

## 4.2 ANÁLISIS DE LA FAVORABILIDAD QUE PRESENTA EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA PARA LA FORMACIÓN Y CAPTACIÓN DE AGUA NIEBLA

En el numeral anterior se describieron los factores climáticos y meteorológicos que presenta el departamento de Cundinamarca relacionados con la generación de agua niebla, resultado en su favorabilidad, sin embargo, a continuación se hace una relación más detallada de los factores determinantes para calcular el punto de rocío información que permite comprobar la condensación que, como se mencionó, es el proceso mediante el cual el vapor de agua en la atmósfera vuelve a su estado líquido original. Para esto se seleccionaron datos para el año 2020 calculados según promedios diarios de los últimos años por el Portal Tiempo3 (véase la Figura 25 y el Anexo B) en el cual se pudo encontrar la información relacionada con las variables de estudio requeridas; esto teniendo en cuenta que, debido a la coyuntura vivida actualmente por la Pandemia Covid 19, los datos solicitados al IDEAM no pudieron ser suministrados en el tiempo de realización de esta investigación. Cabe mencionar que los datos tomados del portal se consideran confiables, dada la semejanza que éstos presenta en relación con información recopilada en el numeral 4.1.

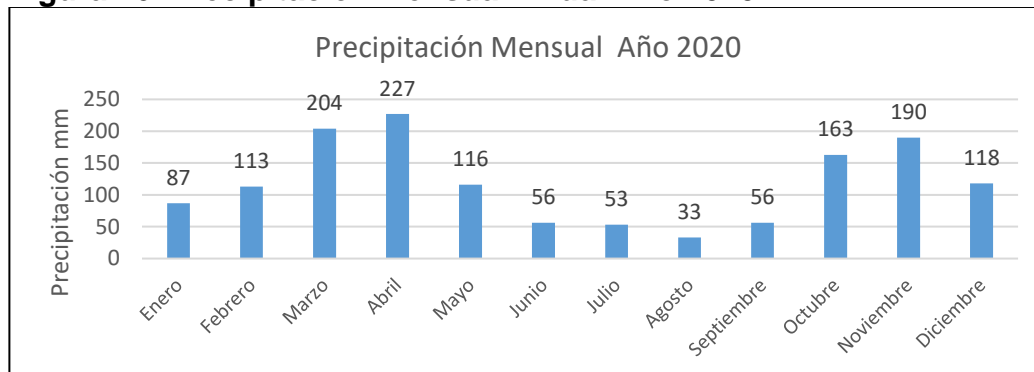
**Figura 25. Información sobre factores climáticos del departamento de Cundinamarca año 2020 del Portal Tiempo3**

Tiempo Para Cundinamarca - 15 Junio 2020 (Clima Histórico)								
	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
Temperatura	10° C	10° C	12° C	14° C	15° C	16° C	14° C	12° C
Tiempo	 Parcialmente nublado	 Parcialmente nublado	 Parcialmente nublado	 Parcialmente nublado	 Llovizna	 Parcialmente nublado	 Lluvia moderada a intervalos	 Parcialmente nublado
Probabilidad de lluvia	0%	0%	0%	48%	24%	62%	31%	0%
Nubosidad	25%	45%	51%	72%	67%	66%	57%	53%
Visibilidad	10%	10%	10%	5%	7%	9%	10%	10%
Humedad	90%	90%	88%	84%	81%	78%	85%	88%
Probabilidad de nevada	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Velocidad del viento	7 Km/h	6 Km/h	5 Km/h	5 Km/h	6 Km/h	5 Km/h	4 Km/h	5 Km/h
Ráfaga de viento	12 Km/h	11 Km/h	7 Km/h	6 Km/h	7 Km/h	6 Km/h	5 Km/h	7 Km/h
Ángulo del viento	93°	94°	97°	138°	147°	124°	122°	110°
Dirección del viento	E	E	E	SE	SSE	ESE	ESE	ESE

Fuente. Portal Tiempo3 (2020).

**4.2.1 Precipitación promedio año 2020 Departamento de Cundinamarca.** El promedio de lluvia en el departamento de Cundinamarca del año 2020 es de 118 mm, observándose que los meses de mayor precipitación son marzo, abril, octubre y noviembre con niveles entre 163 y 227 mm, consecuente con los periodos de lluvias normales para Colombia; destacándose abril como el mes con mayor índice de lluvias 227 mm, así mismo, junio, julio, agosto y septiembre fueron los meses con menores precipitaciones entre 33 y 56 mm (véase la Figura 25).

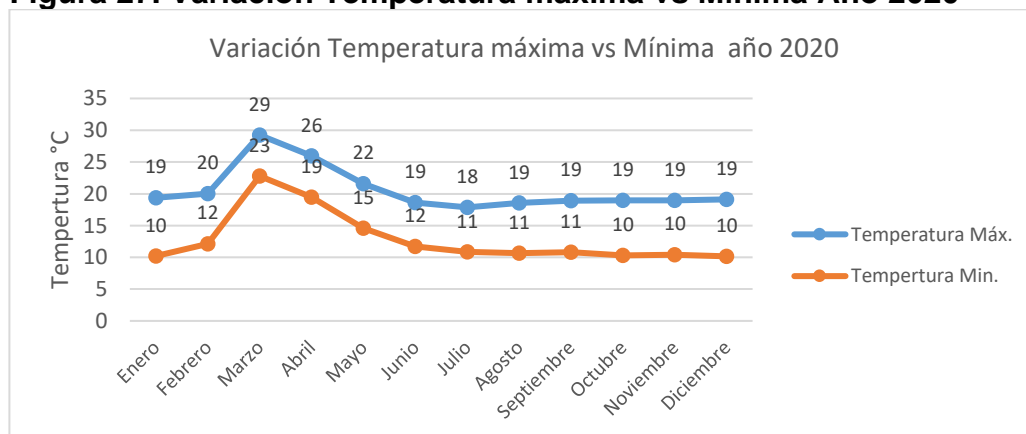
**Figura 26. Precipitación Mensual Anual Año 2020**



Fuente. El Autor, adaptado de Portal Tiempo3

**4.2.2 Temperatura promedio año 2020 Departamento de Cundinamarca.** El promedio de temperatura máxima para el departamento de Cundinamarca durante el año 2020 fue de 19°C, manteniendo el promedio la mayor parte del año, presentándose variaciones durante los meses de marzo con 29°C, abril con 26°C; este mismo comportamiento se observa para las temperaturas mínimas, las cuales se mantienen sin variaciones considerables teniendo un promedio de 10°C (véase la Figura 27), sin embargo cabe mencionar que estas temperaturas pueden variar teniendo en cuenta los fenómenos del niño y de la niña, y la variedad de climas presentes las diferentes provincias del departamento.

**Figura 27. Variación Temperatura máxima vs Mínima Año 2020**

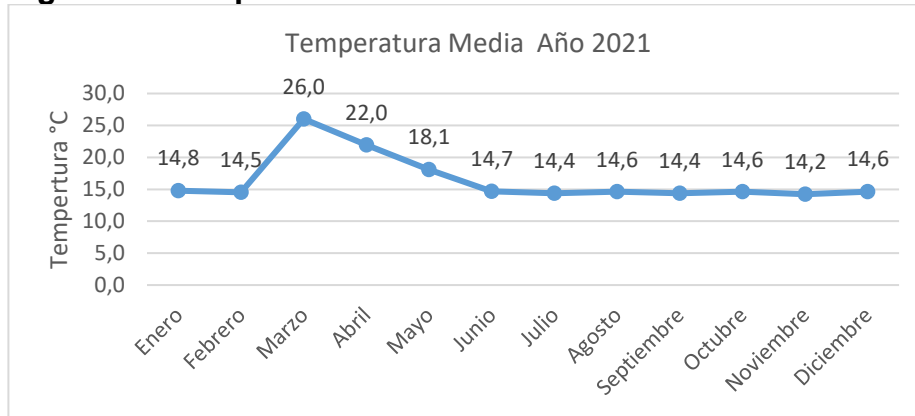


Fuente. El Autor adaptado de Portal Tiempo3

### 4.2.3 Temperatura media promedio año 2020 Departamento de Cundinamarca.

En cuanto a la temperatura media promedio para el año 2020, para el departamento de Cundinamarca no se presentó mayor variación durante la mayor parte del año, teniendo entonces un promedio de 14°C – 15°C, a excepción del mes de marzo que tuvo una temperatura mínima de 26°C y abril con 22°C (véase la Figura 28).

**Figura 28. Temperatura Media Año 2021**

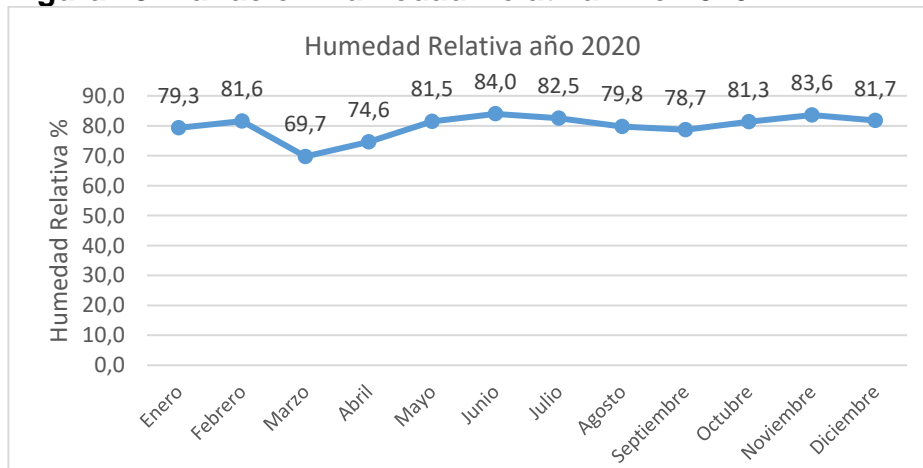


Fuente. El Autor adaptado de Portal Tiempo3

### 4.2.4 Humedad relativa promedio Departamento de Cundinamarca.

De acuerdo con los datos recopilados los valores de humedad relativa que se presenta en el departamento de Cundinamarca, están cercanos al 100% durante la mayor parte del año a excepción de los meses de abril y mayo que tienen temperaturas relativas de 69,1% y 72,4% respectivamente (véase la Figura 29). Por tanto, al tenerse una humedad relativa por encima del 80% indica una mayor formación de neblina, es decir, que el aire se encuentra saturado casi al máximo de su capacidad para almacenar vapor de agua, generándose de este modo la condensación lo que permite captar agua niebla.

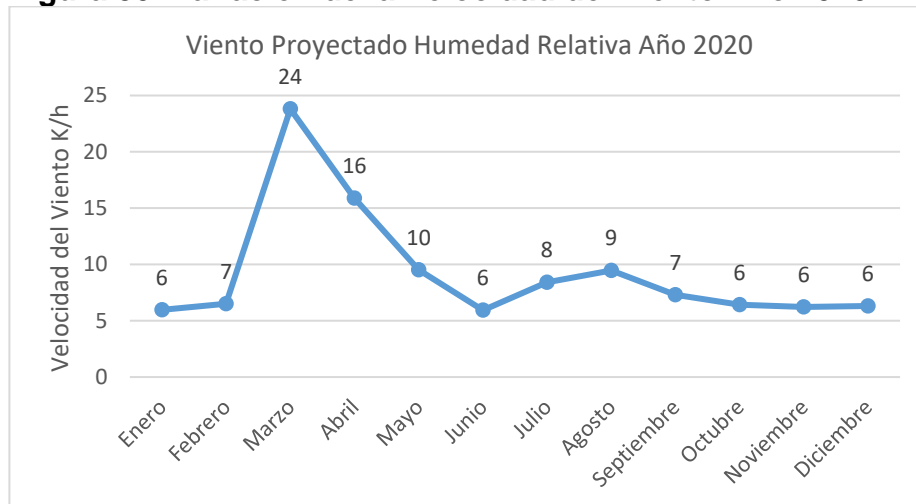
**Figura 29. Variación Humedad Relativa Año 2020**



Fuente. El Autor adaptado de Portal Tiempo3

**4.2.5 Viento promedio Departamento de Cundinamarca.** Teniendo en cuenta los datos obtenidos, la velocidad del viento que se registra en el departamento osciló en promedio en 6 Km/h, generándose en mayor medida en dirección al este, las velocidades máximas se registran durante el mes de mayo. Septiembre y noviembre (véase la Figura 30).

**Figura 30. Variación de la Velocidad del Viento Año 2020**



Fuente. El Autor adaptado de Portal Tiempo3

**4.2.6 Punto de rocío Departamento de Cundinamarca.** Teniendo los datos de las variables de temperatura y humedad relativa, se hace el cálculo del punto de rocío aplicando la fórmula propuesta por González del Carpio en el libro Navegando en la atmosfera: Meteorología aeronáutica la cual se muestra a continuación:

**Ecuación 1. Fórmula Punto de Rocío**

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} * [112 + (0.9 * T)] + (0.1 * T) - 112$$

Donde:

- Pr = Punto de rocío
- T = Temperatura
- H = Humedad relativa

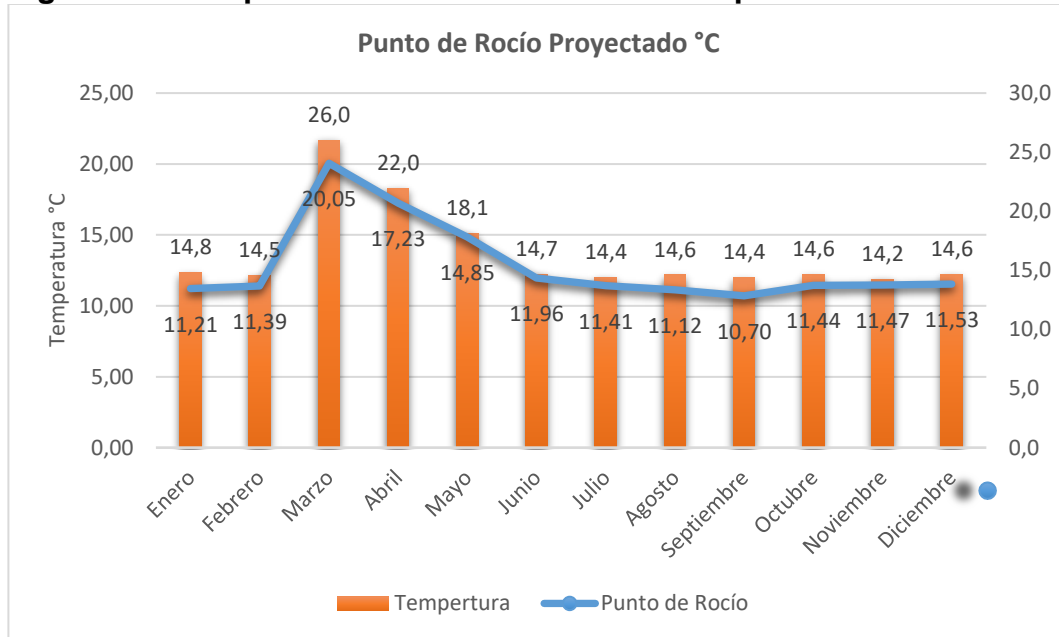
Al aplicar la fórmula para cada mes del año proyectado se tiene los siguientes resultados (véase el Cuadro 12 y la Figura 31)

**Cuadro 12. Punto de Rocío Año 2020**

Mes	Temperatura Media °C	Humedad Relativa %	Punto de Rocío
Enero	14,8	79,3	11,21
Febrero	14,5	81,6	11,39
Marzo	26,0	69,7	20,05
Abril	22,0	74,6	17,23
Mayo	18,1	81,5	14,85
Junio	14,7	84,0	11,96
Julio	14,4	82,5	11,41
Agosto	14,6	79,8	11,12
Septiembre	14,4	78,7	10,70
Octubre	14,6	81,3	11,44
Noviembre	14,2	83,6	11,47
Diciembre	14,6	81,7	11,53

Fuente. El Autor

**Figura 31. Temperatura Punto de Rocío vs Temperatura Media Año 2020**



Fuente. El Autor

Como se puede observar la temperatura del departamento de Cundinamarca debe estar alrededor de los 12°C promedio para que el vapor de agua se condense y forme el rocío y de esta manera se pueda captar agua niebla, pues según González del Carpio (2006), cuanto más cerca se encuentre la temperatura de la zona al punto de rocío, mayor es la probabilidad de condensación, y como se puede observar en el Cuadro 12 y la Figura 31 la temperatura media se encuentra alrededor de 2.5°C por encima de la temperatura del punto de rocío, sin embargo, esto no significa que no se produzca la condensación, sino que el vapor de agua condensando pueda ser menor, y por tanto, la captación de agua niebla no tenga la eficiencia esperada.

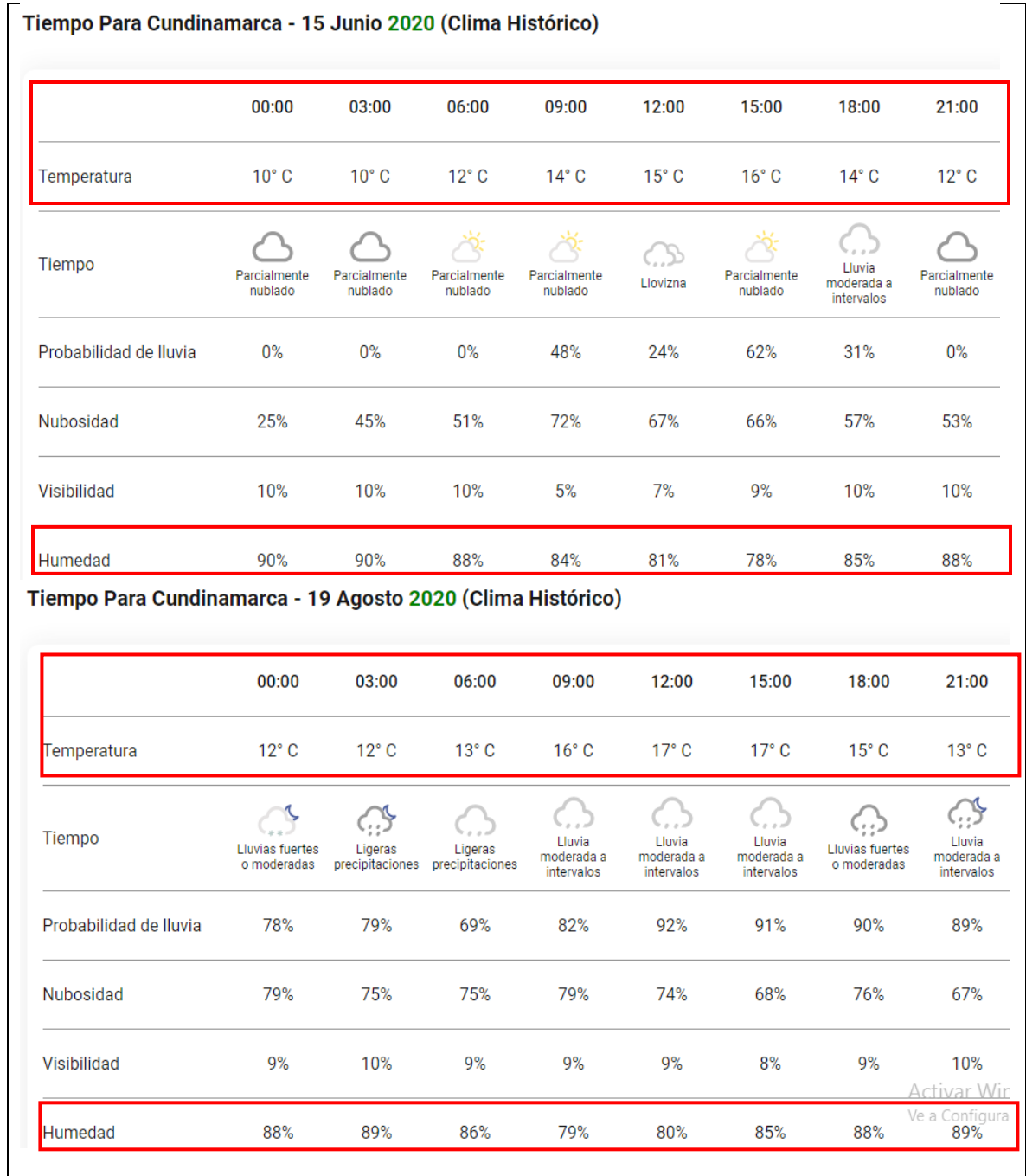


### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con la información recopilada sobre las condiciones que favorecen la condensación del aire y por tanto la generación de niebla, se tiene que el departamento de Cundinamarca presenta una buena favorabilidad para la captación de agua niebla pues, según datos meteorológicos recopilados la humedad relativa promedio del departamento se encuentra alrededor del 80% durante la mayor parte del año, y según estudios e investigaciones recopiladas la eficiencia para la recolección de agua niebla se presenta en lugares donde la humedad relativa está entre el 80 y el 90% (Cereceda y otros, 2000; Domen y otros, 2014; Klem y otros, 2012) y ya que según Pérez y Merino (2013) “la humedad relativa es el vínculo entre la cantidad de vapor de H<sub>2</sub>O en el aire y la cantidad máxima de H<sub>2</sub>O que podría haber con la misma temperatura”, en este sentido, se pudo determinar que la temperatura media del departamento se mantiene constante durante la mayor parte del año, es decir sobre los 14°C según datos recopilados de las proyecciones climática (véase el Cuadro 12 y el Anexo A), con estos resultados tanto de la humedad relativa como de la temperatura al ser constantes, se puede determinar entonces que, se puede llegar al punto de rocío requerido para que el agua del aire se condense, generando las gotas en la atmósfera (niebla) y en la superficie (rocío), y aunque si bien las gota de agua en suspensión o sobre la superficie no reemplazan la eficiencia de las precipitaciones (lluvia) para la recolección de agua, si se presentan como un complemento hídrico para zonas que presentan escasez.

En relación a los resultados del cálculo de la temperatura del punto de rocío, se obtuvo que el departamento de Cundinamarca, muestra favorabilidad, pues si bien es cierto, que su temperatura promedio es del 14°C y que la temperatura para alcanzar el punto el rocío debe estar alrededor de los 11°C y 12°C para tener el nivel óptimo de saturación, se debe considerar que el promedio de temperatura mínima que alcanza el departamento se encuentra alrededor de los 11°C durante la mayor parte del año (véase la Figura 27), por tanto, se puede decir que durante los momentos del día en los que se presente la temperatura mínima se puede llevar al punto de rocío más eficiente para que se genere la niebla y por tanto se pueda recolectar agua atmosférica a través de un sistema de captación, esto teniendo en cuenta además que la humedad relativa del departamento durante un día a diferentes horas, se mantiene constante en los índices alrededor o por encima del 80%, favorables para que se dé la saturación correctamente, según datos históricos recopilados como se muestra para dos días de meses diferentes del año 2020 (véase la Figura 32), esto teniendo en cuenta lo expuesto por Pabón, y otros (2001) quienes explican que la cantidad de vapor de agua en el aire se da en función al lugar, la estación y la hora del día, y según Garcidueñas (2018), la captación de agua niebla tiene un mejor funcionamiento en lugares cuyos períodos de niebla son más prolongados.

**Figura 32. Temperatura y Humedad Diaria Junio y agosto 2020 Departamento de Cundinamarca**











Fuente. (Portal Tiempo3, 2020)

Ahora bien, en cuanto a la precipitación, los resultados de los datos obtenidos mostraron que el departamento de Cundinamarca a nivel general presenta probabilidades de lluvia constantes durante todo el año entre el 50% y el 80% (véase la Figura 20), con precipitaciones superiores a los 1400 mm anuales, y como se

pudo observar en la Figura 26 durante 8 de los 12 meses del año se generan precipitaciones, mientras que a diario las probabilidades de lluvia están por encima del 60% especialmente en las horas de la tarde noche (véase la Figura 33) lo que muestra una favorabilidad para que se genere la evaporación es decir que el agua en su estado líquido ingrese a la atmosfera y se forme el vapor (Buchdahl , 2002) que como se dijo anteriormente al tener condiciones de humedad relativa por encima del 80% genera la niebla cargada de agua.

Finalmente, en cuanto a las condiciones del viento (velocidad y dirección) según la literatura revisada, es factor a tener en cuenta dado que el agua niebla también se recoge cuando ésta se desplaza impulsada por el viento (Garcidueñas, 2018), permitiendo de este modo que la niebla atraviese las mallas de los sistemas de captación, resultando en una mayor eficiencia para la recolección Cereceda y otros (2000), sin embargo, cuando las velocidades de éste son mínimas no es una condición que altere la permanencia de la niebla (Baquero; Delvasto y Mejía, 2018). Según esto, y de acuerdo con los datos obtenidos se tiene que la velocidad del viento en el departamento de Cundinamarca oscila en promedio entre los 6 y 9 km/h mensualmente (véase la Figura 30), y diariamente entre los 4 y 6 km/h (véase la Figura 33) manteniéndose constante durante la mayor parte del día, según esto se puede decir que el departamento presenta favorabilidad en este factor para tener una mayor eficiencia a la hora de recolectar agua niebla con sistemas de captación.

**Figura 33. Probabilidad de Lluvia y Vientos en un día departamento de Cundinamarca 2020**

Tiempo Para Cundinamarca - 15 Agosto 2020 (Clima Histórico)								
	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
Temperatura	12° C	13° C	13° C	16° C	17° C	17° C	15° C	13° C
Tiempo	 Lluvia moderada a intervalos	 Parcialmente nublado	 Lluvia moderada a intervalos	 Parcialmente nublado	 Lluvia moderada a intervalos	 Lluvia moderada a intervalos	 Lluvia moderada a intervalos	 Ligeras precipitaciones
Probabilidad de lluvia	21%	34%	17%	66%	81%	82%	73%	77%
Velocidad del viento	6 Km/h	4 Km/h	2 Km/h	3 Km/h	4 Km/h	3 Km/h	5 Km/h	6 Km/h
Ráfaga de viento	11 Km/h	5 Km/h	3 Km/h	3 Km/h	5 Km/h	5 Km/h	9 Km/h	11 Km/h
Ángulo del viento	97°	88°	59°	173°	259°	260°	165°	111°
Dirección del viento	E	E	ENE	S	WSW	W	SSE	ESE

Fuente. (Portal Tiempo3, 2020)

En cuanto a la dirección del viento según los resultados en el departamento de Cundinamarca se presentan vientos en todas las direcciones durante el día (véase la Figura 33) por tanto, es favorable, especialmente si la captación de agua niebla se hace a través de un sistema que permita la recolección con diferentes direcciones del viento.

Entonces, según todos los datos recopilados la favorabilidad que presenta el departamento de Cundinamarca para la generación y captación de agua niebla según el análisis de los factores climáticos y meteorológicos es alta, cumpliendo así con los criterios establecidos expertos según la literatura revisada, es decir, que la generación de niebla se da durante todo el año y de manera frecuente y durante periodos de tiempo ( horas/día) prolongados; que la zona de captación tenga humedades relativas por encima del 80% y temperaturas que permitan alcanzar el punto de rocío necesario para alcanzar la condensación, así como vientos con velocidades y direcciones que permitan lograr una mayor eficiencia en la recolección mediante sistemas de captación de agua niebla.

## 5. CONCLUSIONES

Una vez concluida la investigación se puede concluir que la captación de agua niebla es una alternativa viable de llevar a cabo en zonas que presentan las condiciones climáticas y meteorológicas para que se genere condensación al punto en que se generen gotas de agua en las nubes que puede ser recolectada a través de sistemas de captación, convirtiéndose de esta manera en un complemento hídrico renovable y sostenible ya que la humedad atmosférica se renueva de forma natural a través de la evaporación y que el proceso no genera ningún efecto secundario ni subproductos nocivos para el medio ambiente.

Ahora bien y para responder a la pregunta de investigación, se concluye por un lado que las condiciones físicas para la captación de agua niebla tienen que ver con las características de los diferentes diseños de sistemas de captación (atrapanieblas) y como éstos se interrelacionan con las condiciones ambientales para el proceso; pues si bien, a nivel general, y según los modelos de captación analizados en el capítulo 2, todos tienen un nivel de eficiencia en la captación, algunos sobresalen dadas sus condiciones de diseño, permitiendo por ejemplo, que se pueda captar niebla desde diferentes direcciones gracias a las condiciones del viento como es el caso de los sistemas NRP 3.0 o huerto hídrico, Torre de bambú "Warka Tower" y Torre de recolección de niebla costera espiral y que fácilmente, pueden ser tecnológicas adoptadas para instalarlas en el Departamento de Cundinamarca. En cuanto a las condiciones ambientales, se pudo establecer que los factores que sobresalen además del viento, son la temperatura y la humedad relativa, pues con estas dos variables se genera el punto de rocío que es la temperatura a partir de la cual se produce la condensación y por tanto, se generan gotas de agua que pueden ser captadas, las cuales según datos recopilados y cálculos realizados son ideales en el Departamento de Cundinamarca, por cuanto éste presenta un nivel de favorabilidad para la generación y captación de agua niebla alto.

Así mismo, se puede concluir que los sistemas de captación de agua niebla han sido utilizados desde hace varias décadas, especialmente en lugares donde se presentan altos índices de escasez de agua, sin embargo, las tecnologías para captar agua niebla han evolucionado y se han empezado a implementar en diferentes países como alternativas para complementar los recursos hídricos normales, es así que, estos sistemas han avanzado hasta el punto que en la actualidad se encuentran diversos diseños orientados a tener la mejor eficiencia no solo en la recolección de agua niebla, sino en cuanto a resistencia y sostenibilidad. Por lo que a lo largo de la revisión literaria se pudieron encontrar desde tecnologías básicas como los sistemas de colección tradicionales bidimensionales, hasta diseños altamente innovadores como la torre de espiral, el estilo colmena y la tienda de campaña entre otros.

En este sentido, se pudo concluir que, los diseños que presentan mayor eficiencia son aquellos que permiten la captación de agua niebla desde diferentes direcciones,

dado que, las direcciones del viento no son siempre las mismas por lo que un sistema que se adapte a las condiciones climáticas de las zonas generan mayor rendimiento, así mismo, se pudo concluir que, al ser sistemas que buscan generar un impacto social relevante y que no atente con el cuidado del medio ambiente, los mejores sistemas deben tener componentes físicos que sean amigables con el planeta, como por ejemplo estructuras a base de materiales sostenibles como el bambú o maderas renovables, en este sentido los sistemas NRP 3.0 o huerto hídrico, Torre de bambú "Warka Tower" y Torre de recolección de niebla costera espiral son los que presentan las mejores características físicas para tomarlos como referencia para una posible implementación en el departamento de Cundinamarca.

En cuanto a los factores climáticos y meteorológicos que intervienen en la generación y captación de agua niebla, como se dijo anteriormente son la temperatura, la humedad relativa, las precipitaciones y el viento, de estos los de mayor incidencia son la temperatura y la humedad relativa, en este sentido, se pudo concluir que el departamento de Cundinamarca presenta condiciones óptimas en todos los factores ambientales, por cuanto hay una buena favorabilidad en cuanto a la generación de agua niebla, para ser considerada como complemento hídrico en zonas donde se presente escasez de agua, o en donde los sistemas públicos de suministro sean deficientes o no lleguen, como son las áreas rurales del municipio.

## 6. RECOMENDACIONES

Una vez finalizado el trabajo se observa la necesidad de ampliar esta investigación para analizar más profundamente aspectos como el papel exacto de la circulación del aire en los patrones de humedad, el balance hídrico de la atmosfera en la zona de estudio según los resultados encontrados.

Por otro lado, se recomienda realizar investigaciones centradas en el análisis de los factores climáticos y meteorológicos para la generación de agua niebla en las diferentes provincias del departamento de Cundinamarca, esto teniendo en cuenta que éste presenta diversidad de climas, por tanto, se pueden presentar variaciones en cuanto a la favorabilidad y eficiencia de los sistemas de captación.

Así mismo, y tomando como base los resultados de la presente investigación, se sugiere realizar pruebas piloto de captación de agua niebla mediante la instalación de sistemas como el NRP 3.0 o huerto hídrico, en las zonas rurales del departamento que presentan índices de escasez o falta de abastecimiento de agua para el uso doméstico o agrícola, con las cuales se puede determinar con mayor eficiencia si estas tecnologías de captación son realmente viables para el Departamento y si en la práctica real, las condiciones ambientales son favorables para la recolección de agua niebla.

## BIBLIOGRAFÍA

*A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions.* **Schemenauer, Robert S y Cereceda, Pilar. 1994.** 33, 1994, Appl Meteorol, págs. 1313–1322.

*Aerodynamic collection efficiency of fog water collectors.* **Rivera, Juan de Dios. 2011.** 3, 2011, Atmospheric Research, Vol. 102, págs. 335-342.

**Bernal Castro , Jesús David y Cárdenas Contreras, Fernando Enrique. 2017.** *Diseño de invernadero que captura y utiliza la lluvia horizontal como fuente de abastecimiento del recurso hídrico en la producción de material vegetal, para proyectos de recuperación y restauración en zonas de compensación de áreas degradadas ambientalme.* Trabajo de grado especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería. Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería, 2017.

**Buchdahl , Joe . 2002.** Weather & Climate . *Weather & Climate Teaching Pack: KS4 & A.* [En línea] 2002. [Citado el: 2 de Mayo de 2021.] [https://www.lordgrey.org.uk/~f014/usefulresources/aric/Resources/Teaching\\_Packs/Key\\_Stage\\_4/Weather\\_Climate/pdf/Weather\\_&\\_Climate.pdf](https://www.lordgrey.org.uk/~f014/usefulresources/aric/Resources/Teaching_Packs/Key_Stage_4/Weather_Climate/pdf/Weather_&_Climate.pdf).

**Carvajal de la Sota , R. A. 2018.** *Diseño de un Sistema de Refrigeración para un Atrapanieblas Tridimensional.* Trabajo de grado. Quito : Colegio de Ciencias e Ingeniería. Universidad San Francisco de Quito, 2018.

**Cereceda, Pilar, y otros. 2014.** *Agua Niebla. Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas.* Santiago de Chile : Pontificia Universidad Católica de Chile, 2014.

**Dansie, Mark . 2015.** The fog catchers. *Revolution Green.* [En línea] 25 de Jan de 2015. [Citado el: 20 de Marzo de 2021.] <https://revolution-green.com/fog-catchers/>.

**Del Cid, A., Méndez, R. y Sandoval, F. 2011..** *Investigación. Fundamentos y metodología.* 2. México : Pearson Educación, 2011.

*Diseño de un sistema de recolección de agua por rocío y niebla para el abastecimiento de agua en la comunidad del barrio La Esperanza, Localidad de Chapinero.* **Castillo Vargas, Yudy Katherine y Cabeza García, Cony Gizell . 2016.** Cartagena : Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI), 2016. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI .

*El agua en la atmósfera.* **Martínez Arroyo, Amparo . 2007.** 3, México : Academia Mexicana de Ciencias, 2007, Ciencia, Vol. 58, págs. 36-44.



**Escuela Nacional de Geografía . 2011.** Cundinamarca. *Geografía de Colombia* . [En línea] 2011. [Citado el: 5 de Mayo de 2021.] <https://www.sogeocol.edu.co/cundinamarca.htm>.

*Evaluación de la calidad de agua de niebla recolectada en Choachí, Colombia.* **Baquero Palacios, Sandra Viviana, Delvasto Reyes, Angie Lorena y Mejía Hoy, Sandra Milena. 2018.** 25, Bogotá : Corporación Universitaria Minuto de Dios , 2018, Inventum, Vol. 13.

**Flores, Jaime A. 2008.** Humedad . *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro* . [En línea] 2008. <http://www.uaaan.mx/~jaflores/humedad/humedad.pdf>.

*Fog as a Fresh-Water Resource: Overview and Perspectives.* **Klemm, Otto, y otros. 2012.** 3, 2012, AMBIO, Vol. 41.

*Fog harvesting: An alternative source of water supply on the West Coast of South Africa.* **Olivier, Jana. 2004.** 61, 2004, GeoJournal.

*Fog water as an alternative and sustainable water resource.* **Domen, Jeremy, y otros. 2014.** 1, 2014, Clean Techn Environ Policy, págs. 235 - 249.

*Fog Water Collection Evaluation in Asir Region–Saudi Arabia.* **Al-Hassan, Ghassan A. 2009.** 2009, Water Resources Management, Vol. 23, págs. 2805–2813 .

*Fog water harvesting providing stability for small Bedwe communities lives in North cost of Egypt.* **Harb, O.M., y otros. 2016.** 1, s.l. : Universidad del Cairo, 2016, Annals of Agricultural Sciences, Vol. 61, págs. 105-110.

**Foundation Lafarge Holcim. 2017.** Coastal fog-harvesting tower, Huasco, Chile. [En línea] 2017. [Citado el: 21 de Marzo de 2021.] <https://www.lafargeholcim-foundation.org/projects/coastal-fog-harvesting-tower>.

**Garcidueñas, P. 2018.** ¿Qué es un atrapanieblas? . *Expo Knews*. [En línea] Agosto de 2018. [Citado el: 27 de Abril de 2021.] <https://www.expoknews.com/que-es-un-atrapanieblas/>.

**Gobernación de Cundinamarca. 2013.** *Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud*. Bogotá : Oficina de Planeación Sectorial y de Salud, 2013.

**Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. . 2014.** *Metodología de la Investigación* . 5. México : Mc Graw Hill, 2014.

**Hidalgo Quinga, Deisy Liliana. 2016.** *Captación de agua por medio de la técnica de atrapanieblas en las comunidades campesinas de Galte, Cantón Guamote,*

*Provincia de Chimborazo, Ecuador. Modalidad trabajo de grado. Sangolqui : Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas, 2016.*

**Hobson , Benedict. 2016.** Las torres de agua Warka de Arturo Vittori recolectan agua potable limpia del aire. [En línea] 11 de Octubre de 2016. [Citado el: 20 de Marzo de 2021.] <https://www.dezeen.com/2016/11/10/video-interview-arturo-vittori-warka-water-tower-ethiopia-sustainable-clean-drinking-water-movie/>.

**Ingraham, Neil L. 1998.** Chapter 3 - Isotopic Variations in Precipitation. *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Ámsterdam : Elsevier, 1998.

**Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. s.f..** Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia . [En línea] s.f. [Citado el: 10 de Mayo de 2021.] <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019813/Capitulo4.pdf>.

—. **s.f..** Clima Cundinamarca. [En línea] s.f. [Citado el: 6 de Mayo de 2021.] [http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/cundinamarca\\_texto.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/cundinamarca_texto.pdf).

—. **2018.** *Metodología de la operación estadística variables meteorológicas*. Bogotá : IDEAM, 2018.

**Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. 2018.** *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá : IDEAM, 2018.

**International Environmental Technology Centre UNEP. 1997.** *Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean*. Washington : Unit of Sustainable Development and Environment, 1997.

**Juliao Vélez , Mónica Paola, León Díaz , Jessica Paola y Polo Elles , Randy Xavier . 2016.** *Diseño Mediante Modelos Matematicos De Un Prototipo Para La Captación De Niebla En La Vereda De Leticia, Corregimiento De Pasacaballos (Bolívar), Como Método De Recolección De Agua* . Tesis de Grado. Cartagena De Indias : Universidad De San Buenaventura. Programa De Ingeniería Química. , 2016.

**Khan Academy. 2014.** El ciclo del agua. [En línea] marzo de 2014. [Citado el: 20 de febrero de 2021.] <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-water-cycle>.

*La Neblina como fuente de agua: Evaluación de su colección en el sur de los Andes colombianos usando mallas de polipropileno.* **Molina, José M. y Escobar,**

**Concepción M. 2005.** 12, Medellín : Universidad Nacional de Colombia , 2005, Avances en Recursos Hidráulicos, págs. 33-41.

*La Niebla, Agua Potable para Zonas Rurales.* **Cereceda, P., y otros. 2000.** Santiago de Chile : s.n., 2000, Revista Geográfica de Chile Terra Australis, Vol. 45, págs. 143 – 160.

**Lumen Learning. 2012.** Procesos y sistemas meteorológicos. Clima y agua atmosférica . [En línea] octubre de 2012. [Citado el: 19 de febrero de 2021.] <https://courses.lumenlearning.com/geophysical/chapter/weather-and-atmospheric-water/>.

*Medición de la condensación de lluvia horizontal con tres estructuras: el caso del municipio de Zipacón (Cundinamarca, Colombia).* **Cárdenas Vargas, Myriam Carolina y García Valbuena, César Augusto. 2019.** 1, Bogotá : s.n., 2019, Revista Producción + Limpia , Vol. 14, págs. 94-109.

**Mendoza Palacio, Blanca Cecilia y Castañeda Alvarez, Fredy Rolando. 2014.** *Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal.* Tesis de Especialización en Recursos Hídricos. Bogotá : Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Colombia, 2014.

**Mercado Sánchez, David Felipe y Prada García, Diego Felipe. 2018..** *Water collector 1.0: desarrollo de un sistema recolector de agua.* Tesis de práctica social. Bogotá : Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Colombia, 2018.

**Muñoz Cárdenas, Lina María. 2020.** *Evaluación de la Viabilidad de la Utilización del Agua Atmosférica en la Ciudad de Villavicencio, Meta.* Tesis de Ingeniería Ambiental. Villavicencio : Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Ambiental, 2020.

**Naciones Unidas. 2006.** La escasez de agua El desafío del Siglo XXI . [En línea] 2006. [Citado el: 4 de Febrero de 2021.] <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>.

**Nelson, Robert . 2012.** Colector de niebla Theo OLMO / Ricardo GIL. *Rex Research.* [En línea] 2012. [Citado el: 20 de Marzo de 2021.] <http://www.rexresearch.com/olmofog/omo-gil.html>.

*Novel Applications for Fog Water Harvesting.* **Morichi, Gloria, Bandeira , Calixto y Zanelli, Alessandra. 2018.** 3, s.l. : Politecnico di Milano, 2018, Journal of Geoscience and Environment Protection, Vol. 6, págs. 26-36.

**Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 2007.** *Alternative Ways of Providing Water Emerging Options and Their Policy Implications*. Paris : OECD, 2007.

**Organisation for Economic Co-Operation and Development OECD. 2015.** *Water Resources Allocation: Sharing Risks and Opportunities* . Paris : OECD Publishing, 2015.

**Organización de Estados Americanos OEA. 2010.** Recolección de niebla. [En línea] 2010. <https://www.oas.org/usde/publications/unit/oea59e/ch12.htm>.

**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. 2013.** *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile : Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 2013. ISBN 978-92-5-307580-5 .

**Organización de las Naciones Unidas Para La Alimentación y la Agricultura FAO. 2013.** *Tecnologías para el uso sostenible del agua. Una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático*. Tegucigalpa : Asociación Mundial para el Agua, 2013.

**Organización Warka Water. 2017.** Torre Warka. [En línea] 2017. [Citado el: 20 de Marzo de 2021.] <https://www.warkawater.org/warkatower/>.

**Pabón, José Daniel, y otros. 2001.** La atmósfera, el tiempo y el clima. [aut. libro] Pablo Leyva. *El medio ambiente en Colombia*. Bogotá : Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM , 2001.

**Paul, Rebecca . 2008.** Fog & Dew Collectors for clean drinking water. *Inhabitat*. [En línea] 26 de Junio de 2008. [Citado el: 20 de Marzo de 2021.] <https://inhabitat.com/harvest-water-from-the-air-with-fog-dew-collectors/>.

**Paz Cardona, Antonio José. 2019.** Calidad, abastecimiento y saneamiento: los grandes retos del agua en Colombia. [En línea] marzo de 2019. [Citado el: 6 de febrero de 2021.] <https://es.mongabay.com/2019/03/colombia-estudio-nacional-agua-ideam>.

**Portal Náutico MASMAR. 2013.** La temperatura en la atmósfera. *Metereología*. [En línea] 21 de Octubre de 2013. [Citado el: 2 de Mayo de 2021.] <https://www.masmar.net/index.php/esl/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/Temperatura.-la-temperatura-en-la-atm%C3%B3sfera>.

**Portal Tiempo3. 2020.** Promedio Histórico Del Tiempo En Cundinamarca . [En línea] 2020. <https://www.tiempo3.com/south-america/colombia/cundinamarca?page=past-weather#day=15&month=6>.

**Poveda Lancheros, Julián y Sanabria Infante, Juan Carlos. 2017.** *Evaluación de la eficiencia de cinco materiales de malla para el sistema de atrapanieblas en el Municipio de Siachoque – Departamento de Boyacá.* Tunja : Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente CEAD. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD , 2017.

**Quinche Bautista, Manuel Sebastián. 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.* Trabajo de grado. Bogotá : Facultad de Ingeniería. Universidad El Bosque, 2019.

—. **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.* Trabajo de grado. Bogotá : Facultad de ingeniería. Universidad El Bosque, 2019.

**Revista Catorce 6. . 2019.** Alerta por déficit de agua en varios municipios de Cundinamarca. [En línea] 13 de septiembre de 2019. [Citado el: 6 de febrero de 2021.] <https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/17602-alerta-por-deficit-de-agua-en-varios-municipios-de-cundinamarca>.

**Rivera , J.D. y Holmes , R. 2014.** Diseño y eficiencia de atrapanieblas. Capítulo III. [aut. libro] Pilar Cereceda. *Agua de Niebla. Nuevas Tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiáridas.* Santiago de Chile : Corporación de Fomento de la Producción, 2014.

*Simplified Modeling and Analysis of the Fog Water Harvesting System in the Asir Region of the Kingdom of Saudi Arabia.* **Gandhidasan, Palanichamy, Abualhamayel, Habib I. y Patel, Faheemuddin. 2018.** 18, Taiwan : Taiwan Association for Aerosol Research, 2018, Aerosol and Air Quality Research., págs. 200-2013. 1680-8584 print / 2071-1409 online.

*Tecnología para “atrapar” el agua: una experiencia exitosa y su impacto socioeconómico – ambiental.* **Vértiz Osoreo, Ricardo Iván y Vertiz, Joaquin. 2020.** s.l. : University Cesar Vallejo, 2020, Revista inclusions, Vol. 7.

*Tecnología para la recolección de agua de niebla.* **Pascual Aguilar, Juan Antonio, Payano, Reynaldo y Medrano Perez, Ojilve Ramón. 2011.** Chiapas, México :

Centro para el Conocimiento del Paisaje, 2011. IV Simposio Internacional TecnohistoriaAt.

**Tejeda Martínez, Adalberto. 2018.** *La humedad en la atmósfera.* México : Universidad de Colima, 2018.

**Unión Europea. 2012.** El ciclo del agua agua. [En línea] 2012. [Citado el: 18 de febrero de 2021.] [http://www.cma.gva.es/areas/educacion/educacion\\_ambiental/educ/publicaciones/ciclo\\_del\\_agua/cicag/1/1\\_3\\_2/index.html](http://www.cma.gva.es/areas/educacion/educacion_ambiental/educ/publicaciones/ciclo_del_agua/cicag/1/1_3_2/index.html).

**United Nations. 2018.** *Nature-Based Solutions For Water. The United Nations World Water Development Report 2018.* Paris : UNESCO, 2018.

**USGS Escuela de Ciencias del Agua. 2016.** La atmósfera y el ciclo del agua. [En línea] 2016. [Citado el: 18 de febrero de 2021.] [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/atmosphere-and-water-cycle?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/atmosphere-and-water-cycle?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects).

**USGS Escuela de Ciencias del Agua. . s.f..** El Ciclo del Agua. [En línea] s.f. [Citado el: 20 de febrero de 2021.] [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects).

**Vera Zaragoza, Rubén. 2018.** *Tecnologías de oferta para incrementar la disponibilidad de agua en la Región de Murcia: estudio de viabilidad de captadores de nieblas.* Cartagena : Modalidad Trabajo de Grado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena, 2018.

**Water Technology. 2015.** Professor POU/POE: Condensing water vapor from air for drinking and bulk water. [En línea] december de 2015. [Citado el: 20 de Abril de 2020.] <https://www.watertechonline.com/water-reuse/article/15549699/professor-poupoe-condensing-water-vapor-from-air-for-drinking-and-bulk-water>.

**Weather Spark. 2020.** El clima promedio en Cundinamarca. [En línea] 2020. [Citado el: 10 de Mayo de 2021.] <https://es.weatherspark.com/y/23326/Clima-promedio-en-Cundinamarca-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B>.

**World Bank Group. 2016.** *Private Sector Provision of Water and Sanitation Services in Rural Areas and Small Towns: The Role of the Public Sector. Country Report: Colombia.* New Hampshire : WBG, 2016.

**World Wildlife Fund. s.f..** Escasez de agua, vision general. [En línea] s.f. [Citado el: 6 de febrero de 2021.] <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>.

**Yoneda, Yuka . 2010.** El colector de niebla DropNet recolecta la niebla para crear agua potable pura. [En línea] 10 de Febrero de 2010. [Citado el: 20 de Marzo de 2021.] <https://inhabitat.com/dropnet-fog-collector-harvests-the-mist-to-create-pure-drinking-water/fog-collectors/>.