

Prototipo recolector de niebla en zonas rurales de Tuta - Boyacá

Paola Andrea Dueñas Rodríguez.

Universidad Católica de Colombia, Bogotá (Colombia)

Facultad de Diseño, Maestría en Diseño Sostenible.

Director:

Arquitecto, PhD. Rolando Arturo Cubillos González

Mayo 2021.



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 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

La licenciente 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 licenciente.



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



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

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](#).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Resumen.

El agua potable es un recurso de vital importancia, condicionado a la presencia de acueductos que permitan el acceso a este recurso, en comunidades alejadas, la única alternativa son sus propias represas, en el municipio de Tuta es recurrente encontrar cuerpos de agua contaminados, muchas de estos no logran la calidad para ser considerada agua potable, haciendo difícil el acceso de agua potable a el total de la población, cabe resaltar que diariamente para el consumo propio se requiere 3,9 lts/dia/persona de agua potable.

Hoy los sistemas de recolección de agua de niebla como el atrapanieblas, son una solución sostenible al acceso de agua en lugares apartados, por lo cual es necesario que nos preguntemos: ¿ Es posible diseñar un prototipo que permita captar el 50% de agua para el consumo propio de una persona en zonas rurales de Tuta, Boyacá?, el presente trabajo tiene como objetivo, “Diseñar un prototipo de recolección de agua que permita mitigar la problemática de suministro hídrico en las zonas rurales de Tuta, Boyacá”.

Para el diseño del prototipo se evaluaron los dos principales sistemas para la obtención de agua de la atmósfera, evidenciando cuál se adapta a las condiciones propias del municipio y conociendo su eficiencia, adaptándolo al diseño desde las formas de la naturaleza. Se concluye que estos sistemas de recolección de agua nos brindan una alternativa en zonas cuyas condiciones requieren implementar sistemas que no estén interconectados a una red, garantizando el acceso a agua potable a personas que viven en lugares apartados.

Palabras clave

Agua potable, Recolección de niebla, Colector de niebla, Consumo de agua, Abastecimiento de agua.

Abstract.

Drinking water is a resource of vital importance, conditioned to the presence of aqueducts that allow access to this resource, in remote communities, the only alternative are their own reservoirs, in the municipality of Tuta it is recurrent to find contaminated sources of water, many of these do not have the quality to be considered drinking water, making it difficult to access drinking water to the total population, it should be noted that daily for own consumption 3.9 lts/day/person of drinking water is required.

Today, fog water collection systems such as the fog catcher are a sustainable solution to access water in remote places, so it is necessary to ask ourselves: Is it possible to design a prototype that allows to capture 50% of water for the own consumption of a person in rural areas of Tuta, Boyacá? The objective of this work is "To design a water collection prototype that allows to respond to the problem of water supply in rural areas of Tuta, Boyacá".

For the design of the prototype, the two main systems for obtaining water from the atmosphere were evaluated, showing which one adapts to the conditions of the municipality and knowing its efficiency, adapting it to the design from the forms of nature. It is concluded that these water collection systems provide an alternative in areas whose conditions require the implementation of systems that are not interconnected to a network, ensuring access to drinking water for people living in remote areas.

Keywords

Drinking water, Fog collection, Fog collector, Water consumption, Water supply.

Tabla de contenido.

Resumen.....	3
Palabras clave	3
Abstract.....	4
Keywords	4
Introducción.....	12
Antecedentes.....	14
Justificación.....	16
Económico:	16
Social:	16
Ambiental:	17
Planteamiento del problema.....	18
Descripción del problema.....	18
Formulación del problema.....	19
Objetivos.....	20
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos.....	20
Hipótesis.....	20
Marco teórico.....	21
Estado del arte.....	28
Torres De Bambú Que Recogen Agua Potable Del Aire, Etiopía.....	28
Torre costera de recolección de niebla, Huasco – Chile.....	29

CloudBuster.	31
Marco Conceptual.	33
Atrapanieblas.	35
Marco Normativo.	37
Normativa Colombiana.	37
Resolución 64/292 - El derecho humano al agua y el saneamiento.	39
Resolución 18/1 - El derecho humano al agua potable y el saneamiento.	39
Marco Contextual.....	40
Localización.....	40
Cuerpos de agua en Tuta – Boyacá.	41
Demografía y población.	42
Consumo de agua por persona en Colombia.	43
Consumo de agua por persona en Clima frío.....	44
Condiciones meteorológicas.....	44
Metodología.....	46
Evaluación de materiales.	47
Prueba 1. Evaluación de materiales.....	48
Fase 1. Construcción de los marcos.....	48
Fase 2. Localización de los marcos.	51
Fase 3. Instalación de marcos.....	52
Fase 4. Toma de muestras, recolección y eficiencia de los Atrapanieblas.	54
Comportamiento de los materiales frente a la niebla.....	55
Fase 5. Observaciones.	56

Prueba 2	58
Fase 1. Localización de marcos.	58
Fase 2. Instalación de los sistemas en la nueva ubicación.....	59
Fase 3. Toma de muestras, recolección y eficiencia de los Atrapanieblas.	60
Fase 4. Observaciones.	65
Diseño de prototipo recolector de agua de niebla.....	67
CFD Exterior Prototipo.	72
Construcción e Instalación Prototipo.....	73
Toma de muestras, recolección y eficiencia del Prototipo Final.....	76
Resultados.....	78
Niveles de maduración.	81
Nivel 1.	81
Nivel 2.	82
Nivel 3.	82
Conclusiones.	84
Citas y referencias bibliográficas.....	87
Anexos.....	93

Lista de Figuras.

Figura 1. Árbol Garoe. Fuente: (Marzol-Jaén et al., n.d.)	14
Figura 2. Resumen de las especies animales y vegetales que se encuentran recolectando agua de la niebla. Fuente: (Brown & Bhushan, 2016)	23
Figura 3. Torres De Bambú Que Recogen Agua Potable Del Aire, Etiopía. Fuente: Archdaily (Franco, 2014)	28
Figura 4. Warka Water. Fuente: Archdaily (Franco, 2014).	29
Figura 5. Torre costera de recolección de niebla. Fuente: Fundación Holcim.	30
Figura 6. CloudBuster Fuente: Gómez Romero, I. C. Diseño y construcción de un dispositivo recolector de agua a través de la niebla, PDF Repositorio Uniandes.	31
Figura 7. Esquema de niebla de evaporación por aire frío. Fuente: Elaboración propia.	33
Figura 8. Esquema formación de niebla. Fuente: Propia.	34
Figura 9. Esquema de niebla de evaporación por lluvia.....	34
Figura 10. Esquema de formación de niebla por radiación. Fuente: Elaboración Propia.	35
Figura 11. Normas Colombianas Relacionadas al Agua Potable. Fuente: Elaboración Propia.	38
Figura 12. Mapa de localización. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 13. Mapa hidrográfico del municipio de Tuta - Boyacá. Elaboración propia.....	41
Figura 14. Demografía y población Tuta - Boyacá. Fuente: Cifras DANE.....	42
Figura 15. Población desagregada por área. Fuente: DANE.....	43

Figura 16. Consumo promedio mensual de agua en Colombia, Basado CRA (2015), Elaboración propia.	44
Figura 17. Datos Climatológicos. Fuente: Elaboración Propia Software AndrewMarsh.	45
Figura 18. Marco en Polisombra Tipo Raschel. Fuente: Elaboración Propia.	48
Figura 19. Marco en Nylon. Fuente: Elaboración propia.	49
Figura 20. Marco en Cabuya. Fuente: Elaboración Propia.	49
Figura 21. Marco en Hilo. Fuente: Elaboración Propia.	50
Figura 22. Marco en Tela - Toldillo. Fuente: Elaboración Propia.	50
Figura 23. Localización Prueba 1. Fuente: Elaboración Propia.	51
Figura 24. Instalación de Marcos. Fuente: Elaboración propia.	52
Figura 25. Instalación de Canaletas. Fuente: Elaboración Propia.	53
Figura 26. Toma de muestras. Fuente: Elaboración Propia.	54
Figura 27. Toma de muestras Prueba 1, Basados en la Tabla 10.. Fuente: Elaboración Propia.	55
Figura 28. Marcos Instalados. Fuente: Elaboración Propia.	57
Figura 29. Localización Prueba 2. Fuente: Elaboración Propia.	58
Figura 30. Visualización Localización. Fuente: Elaboración Propia.	59
Figura 31. Instalación de los sistemas nueva ubicación. Fuente: Elaboración Propia.	60
Figura 32. Toma de Muestras, Días Secos. Fuente: Elaboración Propia.	61
Figura 33. Toma de Muestras, Días con Lluvia. Fuente: Elaboración Propia.	62
Figura 34. Toma de Muestras, Durante un Mes, Basados en la Tabla 11. Fuente: Elaboración Propia.	63

Figura 35. Comparativo del Rendimiento de los materiales en la Prueba 1 y 2. Fuente: Elaboración Propia.	63
Figura 36. Toma de Muestras Recolección de agua. Fuente: Elaboración Propia.....	64
Figura 37. Registro Fotográfico Prueba 2. Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 38. Diseño prototipo. Fuente: Elaboración Propia.	69
Figura 39. Prototipo inspirado en la naturaleza. Fuente: Elaboración Propia.....	70
Figura 40. Materiales Prototipo. Fuente: Elaboración Propia.	71
Figura 41. CFD Exterior. Fuente: Elaboración propia en Design Builder.	72
Figura 42. Prototipo. Fuente: Elaboración Propia.	76
Figura 43. Recolección de Agua del Prototipo. Fuente: Elaboración Propia.	77
Figura 44. Comparativo m2 prototipos. Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 45. Registro Fotográfico.	93
Figura 46. Registro Fotográfico Bitácora Prueba 1. Fuente: Elaboración Propia.	95
Figura 47. Registro Fotográfico Bitácora Prueba 2. Fuente: Elaboración Propia.	97
Figura 48. Vista Planta. Fuente: Elaboración propia.	100
Figura 49. Fachadas Prototipo. Fuente: Elaboración propia.	101
Figura 50. Paso a paso - Armado prototipo. Fuente: Elaboración propia.	102

Lista de Tablas.

Tabla 1. Materiales y costo marco en polisombra.	48
Tabla 2. Materiales y costos marco en nylon.	49
Tabla 3. Materiales y costos marco en cabuya.....	49
Tabla 4. Materiales y costos marco en hilo.	50
Tabla 5. Materiales y costos marco tela - toldillo.....	50
Tabla 6. Tipos de mallas. Fuente: Elaboración Propia.	56
Tabla 7. Materiales y Costos Prototipo.	74
Tabla 8. Construcción prototipo. Fuente: Elaboración propia.	75
Tabla 9. Niveles de Maduración Unión Europea. Fuente: Elaboración propia, basada en (Ibáñez de Aldecoa Quintana, n.d.)	81
Tabla 10. Niveles de madurez tecnológica – Colciencias. Fuente: Elaboración propia, basada en (COLCIENCIAS, 2016).	83
Tabla 11. Toma de muestras de agua Prueba 1. Fuente: Elaboración Propia.	95
Tabla 12. Toma de muestras de agua Prueba 2. Fuente: Elaboración Propia.	96
Tabla 13. Toma de muestras de agua Prototipo Final. Fuente: Elaboración Propia.	99

Introducción.

El 70,94 % de la población del municipio de Tuta-Boyacá (6.002 personas), vive principalmente en zonas rurales. Una de las principales problemáticas de este municipio es el acceso de agua potable a sus áreas rurales, según un informe de Superservicios, en la zona rural no hay cobertura del servicio de acueducto a un 85% de la población rural, (SUPERINTENDENCIA DELEGADA PARA ACUEDUCTO ALCANTARILLADO Y ASEO, 2017), y aunque el 15% cuenta servicio de acueducto este no es continuo, así mismo, se observa que la infraestructura para el suministro de agua es precaria. Teniendo como principal alternativa los reservorios de agua, estos muchas veces sin la calidad requerida para el consumo propio. Por tanto, es de vital importancia implementar sistemas que permitan la accesibilidad de este recurso a estas comunidades que no requieran una red para el suministro de agua potable.

El consumo mensual de agua potable en municipios de clima frío en el departamento de Boyacá por familia es entre 10,43 m³ y 12,82 m³ según la revista U.distrital (Chacón M et al., 2011), el promedio de consumo de agua en 2010 fue 11,74 m³ en Tunja y 10,43 m³ en 2009 en Duitama por suscriptor, cabe resaltar que el promedio de personas por vivienda es de 4, lo que quiere decir que el consumo mensual por persona es de 3000 litros aproximadamente, es decir el consumo diario es de 100 lts/día/persona, solo el 3,9% de esta cantidad es para consumo propio, este contempla la preparación de alimentos, lavado de dientes y agua que usamos para beber, en resumen necesitamos para nuestro consumo 3,9 lts/día/persona de agua potable en municipios de Boyacá con clima frío.

Por estas razones es necesario que nos preguntemos: ¿Es posible diseñar un prototipo que permita captar el 50% de agua para el consumo propio de una persona en zonas rurales de Tuta, Boyacá? Ya que el diseño de un prototipo capaz de recolectar esta cantidad, puede convertirse en la única posibilidad para muchas familias obtener agua para consumo sin grandes inversiones. La

propuesta de una alternativa como ésta permitiría una mejora en la calidad de vida de estas comunidades.

El objetivo general de esta investigación es “Diseñar un prototipo de recolección de agua que permita mitigar la problemática de suministro hídrico en las zonas rurales de Tuta, Boyacá”. Por lo cual, se identificaron diferentes métodos y prototipos que existen actualmente para este fin. También, se evaluaron diferentes materiales que se pueden encontrar en los diferentes municipios de Boyacá para la elaboración de dicho prototipo. Finalmente, proponer alternativas para la obtención de agua potable.

Para el desarrollo de esta investigación se estudiaron dos tipos de sistemas, un atrapanieblas plano y un arpa de niebla, cada uno de 1 m². Se seleccionaron los materiales a utilizar, se construyeron e instalaron sistemas similares a los referentes encontrados en la investigación. Se evaluaron dichos modelos mediante la toma de muestras diarias, lo que permitió conocer la cantidad de agua captada y determinar la eficiencia de estos prototipos en el sitio. Los resultados permitieron observar que este tipo de tecnologías puede recolectar en días secos un promedio entre 1,91ml y 15,45 ml/día, y en días con lluvia un promedio entre 363,72ml y 1100 ml/día. Por último, se determinaron los materiales más adecuados en base a su rendimiento para ser implementados en el prototipo.

Finalmente, se evidenció cómo estos sistemas de recolección de agua nos brindan una alternativa en zonas cuyas condiciones requieren de la accesibilidad de agua potable. Por lo que es posible contribuir de una manera más eficiente al acceso de agua potable mediante un prototipo que no requiere grandes espacios ni altas inversiones. Garantizando la calidad de vida para habitantes de zonas rurales apartadas.

Antecedentes.

Durante años el acceso al agua o la escasez de la misma, se ha convertido en una de las grandes preocupaciones, esta problemática que aqueja a millones de personas, es una necesidad que ha llevado a múltiples investigaciones, buscando encontrar alternativas que nos permitan acceder a esta misma en lugares remotos o con condiciones extremas, haciendo que se creen nuevas fuentes para la obtención de agua, una de las técnicas óptimas más estudiada es la cosecha de agua de niebla, esta técnica ha facilitado la obtención de agua en zonas costeras principalmente, que dependiendo de las condiciones atmosféricas permite el abastecimiento parcial o total del agua para sus quehaceres diarios.

Para hablar del origen de la captación de niebla tenemos que remontarnos al “siglo XVI en la isla El Hierro del archipiélago de las Islas Canarias, España, los cronistas cuentan que había un árbol, ‘el garoe’, que abastecía a la población autóctona con el agua que recolectaban de la niebla”, (Marzol-Jaén et al., n.d.), esta isla solo podía aprovisionarse de agua dulce de las precipitaciones, no existía otra fuente de agua, estos árboles se convertían en la única fuente, y esta era almacenada en una laguna en el centro de la isla permitiendo tener agua en tiempos secos.

Figura 1. Árbol Garoe. Fuente: (Marzol-Jaén et al., n.d.)



Con el pasar de los años diferentes técnicas se han desarrollado especialmente en las zonas costeras, en Latinoamérica el desarrollo de estas técnicas lleva más de 50 años, pero en los últimos 20 años se ha podido evidenciar mucho más gracias al acceso a la información en internet, siendo Chile y Perú los principales desarrolladores de estas técnicas, podemos observar que los contextos estudiados principalmente son zonas costeras o desiertos, aunque el potencial de este tipo de prototipos pueden ser una alternativa también para zonas con condiciones más favorables, pero que por su lejanía no tienen acceso al servicio de agua potable mediante acueductos, por falta de infraestructura y el costo que esta conlleva, haciendo que la alternativa para la obtención de agua sea muchas veces insalubre o escasa, demandando alternativas que brinden tan preciado recurso sin importar dónde.

Justificación.

Encontrar alternativas que brinden la seguridad para el consumo de agua es una prioridad, pero es claro que en muchos espacios apartados se hace difícil garantizar este derecho, actualmente *“3 de cada 10 personas carecen de acceso a servicios de agua potable seguros”*, (ONU, 2019), esto nos muestra el estado actual en el que algunas personas deben subsistir sin la cantidad, ni la calidad de agua necesaria para gozar de una buena salud, es por esto que un sistema capaz de captar agua a través de la niebla, además de ser económico, práctico y eficiente, es necesario, haciendo que este adquiera un gran valor social al permitirnos beneficiar a personas de zonas en las que no es posible acceder a este recurso natural de otra manera.

Económico:

Es importante hacer usos de materiales de fácil acceso, preferiblemente propios del lugar y/o reciclados, con el fin de que este sea de bajo costo, fácil armado y replicable, con el objetivo de que estas comunidades rurales puedan tener acceso a este recurso sin grandes inversiones, además que pueda ser fabricado sin la necesidad de tener maquinarias complejas ni instrumentos especializados, y así ser replicado en más lugares con condiciones similares.

Social:

Brindar calidad de vida, así como garantizar la salud debería ser un esfuerzo general como sociedad, pero muchas veces la competencia y demanda de recursos hace que se individualice cada una de las necesidades, pero nuestro deber debe ser el de atender a todos sin importar que tan lejos o qué condición económica tengan, este proyecto principalmente, busca ser una solución para todos sin distingo alguno.

Ambiental:

Este prototipo tiene como principio fundamental ser un sistema pasivo que no demande electricidad ni tampoco combustible, que a su vez tenga una alta durabilidad, satisfaciendo el requerimiento de agua de quien lo utilice en gran parte, además busca generar poca ocupación y que las actividades propias de cada uno de los usuarios se vean mínimamente afectadas, garantizando que pueda ser implementado en cualquier lugar.

Planteamiento del problema.

Descripción del problema.

Abastecerse de agua en el sector rural no es nada fácil y mucho menos para aquellas personas que habitan en zonas más apartadas, en algunos casos por no contar con la red de acueducto y en otras porque cuentan con él, pero el servicio de este no es continuo, por lo general solo una a dos veces por semana tienen acceso a este y no en la cantidad suficiente, según cifras del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en las zonas rurales de Colombia más de 3 millones de campesinos no cuentan con el servicio de agua potable y el 28% de esta población no cuentan con acceso a acueducto y alcantarillado, (ASIR-SABA, 2019).

Todos los seres humanos tenemos “derecho al agua potable y saneamiento básico”, según la Asamblea General de las Naciones Unidas cada persona debe tener acceso a una cantidad de agua razonable “entre los 50 y 100 lts/persona/día”, para uso personal y doméstico, cabe resaltar que dicha fuente debe tener un acceso físico y que esta no debe estar a más de 1.000 mts de la vivienda, un recorrido que no deberá superar los 30 minutos, (ONU, 2020).

Por esta razón se debe garantizar que aquellos que por la condición geográfica donde viven y tienen mayores dificultades para la obtención del agua tengan una alternativa, o que por lo menos se les garantice el mínimo requerido para su consumo.

Pese a que Colombia es uno de los países más ricos en recursos hídricos, la pobreza, la contaminación y el acceso al agua, hace que haya una desigualdad social en el país, es por esto que tenemos que darle importancia y empezar a implementar soluciones sostenibles que nos permitan contribuir con estas comunidades, mejorando así sus alternativas para el acceso a este recurso.

Es necesario empezar a buscar métodos, alternativas y formas innovadoras para la recolección de agua, que sea práctico, sostenible, rentable y asequible para todas las personas en especial para aquellas que viven en lugares de difícil acceso.

Formulación del problema.

¿Es posible diseñar un prototipo que permita captar el 50% de agua para el consumo propio de una persona en zonas rurales de Tuta, Boyacá?

Objetivos.

Objetivo general.

1. Diseñar un prototipo de recolección de agua de niebla y agua lluvia que permita mitigar la problemática de suministro hídrico en zonas rurales de Tuta - Boyacá.

Objetivos específicos.

1. Identificar los diferentes métodos y prototipos que existen actualmente para la recolección de agua en zonas apartadas.
2. Evaluar los diferentes materiales que se pueden encontrar en los diferentes municipios de Boyacá para la elaboración de prototipos para captar agua.
3. Proponer alternativas para la obtención de agua potable para el consumo propio en zonas apartadas de Tuta - Boyacá.

Hipótesis.

Si, se diseña un prototipo que permita un 50% de agua apta para el consumo propio, entonces, se mejora la calidad de vida de las personas en zonas rurales de Tuta - Boyacá.

Es decir, desarrollar técnicas y mejores prácticas para el diseño de un prototipo que permita brindar un alto porcentaje de agua apta para el consumo propio. Equivale a la posibilidad de que las personas puedan utilizar este tipo de tecnologías de manera eficiente para recolección de agua para el consumo propio.

Marco teórico.

En la bibliografía revisada en bases de datos se encontraron múltiples estudios en los cuales se ha evidenciado la eficiencia de los materiales, el desarrollo de las técnicas y la constante búsqueda de mejoras en el desarrollo de la captación de agua a partir de niebla, y como hacer de esta una alternativa viable para el abastecimiento en lugares con condiciones que no permiten el acceso al agua potable de otra manera, o en los que el costo del acceso de la misma hacen poco viable satisfacer esta necesidad.

La recolección de agua de niebla es una opción pasiva, de bajo mantenimiento y sostenible, que puede suministrar agua potable, debido al diseño relativamente simple de los sistemas de recolección de niebla, aunque, en ciertos casos donde los recursos hídricos están a gran distancia o provistos por fuentes costosas es la única alternativa, (Qadir et al., 2018). Los sistemas de recolección de niebla abastecerán entre el 1% y 5% del agua para actividades como el cultivo de maíz, (Carrera-Villacrés et al., 2017), pero estos sistemas no serán lo suficientemente robustos para brindar la totalidad del agua necesaria para las actividades humanas diarias, sino para un porcentaje de estas, razón por la cual se debe enfocar en agua para el consumo propio.

En las montañas secas se enfrentan especiales desafíos para la obtención y gestión del agua, un ejemplo, es el cambio climático que hace alterar “los regímenes hidrológicos”, haciendo que se aumente el déficit del agua, asimismo de la significativa reducción de las fuentes hídricas subterráneas, se calcula que el impacto climático significará la reducción del 70% en África y entre el 30% y 70% para la región de los Andes, Centroamérica y Estados Unidos, (Shahrokhian et al., 2020).

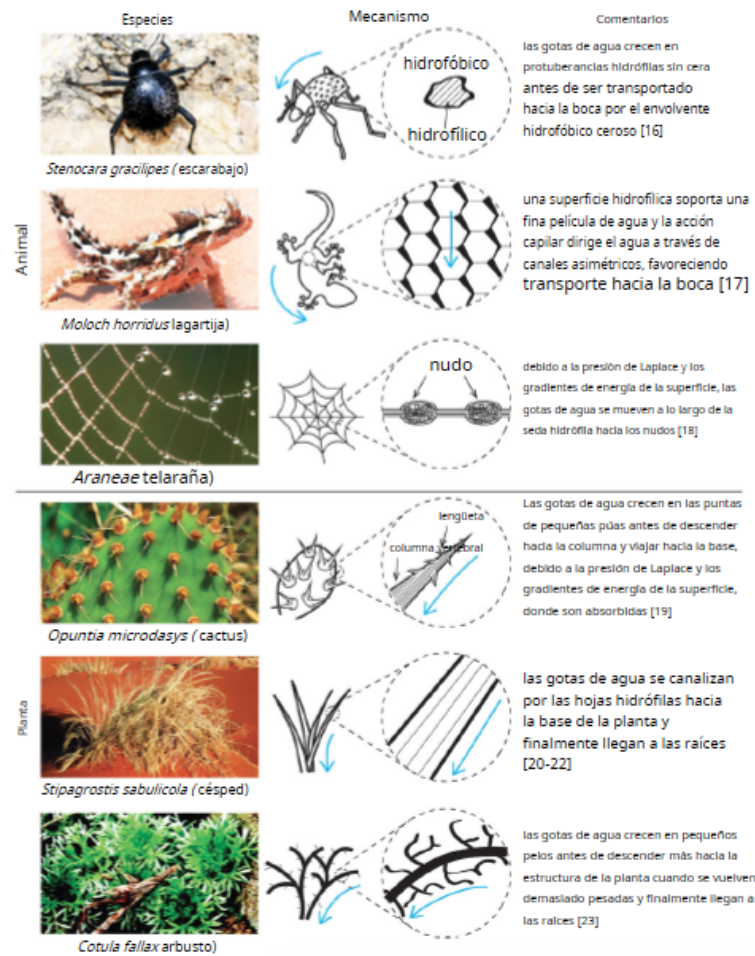
La recolección de agua nebulizada en zonas específicas donde las condiciones topográficas y geográficas impulsan la intensidad y duración de la niebla de manera sustancial se puede proporcionar agua a las comunidades locales, (Qadir et al., 2018), se encontró que el déficit hídrico es mayor en las elevaciones más bajas y más bajo en las tierras altas, también la velocidad del viento es una de las

variables que más influye en la recolección de niebla. La influencia de la dirección del viento en la interceptación de la niebla es insignificante, (Echeverría et al., 2020).

Gran parte del desarrollo de esta tecnología ha sido a través del estudio de las características que se encuentran en la naturaleza propia del desierto, las espinas de los cactus, pueden recolectar agua del aire debido al gradiente de presión, así como las sedas de araña, también pueden recolectar agua del aire húmedo gracias a los nudos de las mismas y no menos importante, los escarabajos del desierto utilizan las peculiaridades de su espalda; todos estos han sido fuente de inspiración para el desarrollo de sistemas de recolección de niebla, (An et al., 2020).

En los cactus, los grupos de espinas se distribuyen uniformemente en el tallo, cada espina tiene un ángulo de vértice alrededor de 10° . Las espinas en varias direcciones garantizan la eficiencia de recolección de agua, (Li et al., 2020), esto ha servido para continuar con el estudio del ángulo de los cuerpos en la naturaleza como el del escarabajo, que maximiza consistentemente el rango de inclinación de 35 a 45° para lograr una mayor captación, (Chakrabarti et al., 2019), no obstante las características tridimensionales encontradas como las protuberancias y la curvatura del cuerpo del escarabajo del desierto de Namib, ayudan a ser más eficiente el proceso de recolección y que lo puedan realizar en cualquier hora del día, no solo en presencia de neblina, (Song et al., 2017).

Figura 2. Resumen de las especies animales y vegetales que se encuentran recolectando agua de la niebla. Fuente: (Brown & Bhushan, 2016)



Aunque cabe resaltar que la hierba es el mejor recolector de niebla, esto sugiere que es gracias a la estructura tridimensional de la paja de la hierba, (Nørgaard et al., 2012), las irregularidades superficiales causadas por pelos espinosos y estructuras de cera parecidas a plaquetas previenen el desprendimiento de gotas que son demasiado pequeñas para un deslizamiento descendente y la presencia de ranuras paralelas al eje largo proporciona un deslizamiento descendente guiado de gotas más grandes, (Roth-Nebelsick et al., 2012).

Otra planta con particulares características son las rosetas, que poseen la morfología de recolector de niebla eficiente, para que se produzca la absorción foliar de agua, la superficie de la hoja

debe dejarse mojar, es decir, el ángulo de contacto entre la gota de agua y la superficie de la hoja debe ser inferior a 90° , (Jura-Morawiec & Marcinkiewicz, 2020). Por lo tanto, no es sorprendente que la recolección de agua atmosférica haya recibido una atención considerable por parte de los investigadores de todo el mundo desde que comenzó con el método tradicional de capturar agua de la niebla hace 50 años, (Jarimi et al., 2020).

Según estudios las características del área y su viabilidad para la recolección de niebla hace necesario que se analice: la dirección del viento, humedad relativa, altitud y recursos hídricos, se recomienda buscar un lugar donde las velocidades del viento estén entre 2 m/s y 7.5 m/s , así como que la humedad relativa sea del 90% al 100%, esto genera grandes cantidades de acumulación de agua de niebla, aunque el valor de la humedad no define la viabilidad del colector de niebla, (Tan et al., 2019).

Para mejorar la eficiencia de recolección del colector de niebla, se han realizado muchos trabajos, como la modificación de la superficie y la estructura 3D de las fibras del recolector de niebla, (Jia et al., 2020); otro aspecto importante es el coeficiente de sombra de la malla, este es uno de los factores que permite al captador capturar la niebla en la atmósfera. (Tan et al., 2019) o en su defecto que sea multicapa.

En un colector de una sola capa, el porcentaje de sombreamiento no debe ser total, ya que esto implicaría una obstrucción completa de la malla y, por lo tanto, no hay aire; mientras que el uso de varias capas desacopla al menos parcialmente los procesos mecánicos de los fluidos, gracias a esto, la eficiencia puede superar en un 40% la de los mejores colectores monocapa, (Azeem et al., 2020).

Es importante mencionar que en la literatura se encontró que una combinación de mallas Raschel con PVDF, produce más agua recolectada que la malla Raschel simple, mostrando un efecto sinérgico de combinar estos dos materiales, la combinación de Raschel y PVDF aumenta la superficie de condensación para las gotas de agua y también el espacio entre las fibras, por lo tanto, aumentando el

tamaño de los poros, estos son importantes en términos del paso de niebla a través de la malla construida. Además, es un sistema relativamente simple y económico de implementar, la incorporación de PVDF electrohilado orientado aleatoriamente mejoraron la tasa de recolección de agua de la malla Raschel en un 305%, (Knapczyk-Korczak et al., 2020).

Los sistemas a evaluar son el atrapaniebla y el arpa de niebla, cuya característica principal consiste en la exposición de una superficie de manera que choque el viento contra la misma, generando la condensación del rocío, la diferencia básica entre estos dos sistemas se basa en el tipo de superficie (malla o hilos), sobre la cual chocará el viento, ya que el atrapanieblas tiene como superficie para la recolección una malla generalmente, mientras que el arpa de niebla como su nombre lo indica tiene como superficie de contacto una serie de hilos ubicados de manera vertical, con el fin de aumentar la velocidad generada por la fuerza de gravedad con la que el agua condensada llega al canal de recolección, estos modelos son ampliamente estudiados en diferentes partes del mundo y han sido modificados y desarrollados especialmente en su materialidad.

Cabe resaltar que la malla Raschel se desempeña sustancialmente mejor en condiciones de baja velocidad del viento, aunque en pruebas al aire libre han revelado que un arpa de niebla puede recolectar de 2,3 a 19,5 veces más agua en promedio que las estructuras de malla convencionales, en condiciones de niebla ligera, el arpa de niebla obtuvo consistentemente 100 ml/m² de agua mientras que la cosechadora de malla no pudo recolectar una sola gota, (Shi, van der Sloot, et al., 2020).

Sorprendentemente, en otro estudio las arpas de niebla aún lograron recolectar de 1,5 a 11 veces más agua que la malla de control a pesar de los constantes enredos generados por los fuertes vientos en este sistema, este estudio también reveló un problema de que los cables del arpa se enredaban al mojarse. El enredo abre grandes espacios entre grupos de alambres aglomerados, lo que degrada la captura y eficiencia del sistema. Este problema de enredos se mitigó parcialmente mediante

el uso de un arpa de doble capa, ya que la segunda fila escalonada de cables ayudó a cerrar los huecos producidos por enredos, (Shi, de Koninck, et al., 2020).

Actualmente, en Marruecos 600 metros cuadrados de unidades de recolección rinde un promedio anual de 6.300 litros de agua dulce/día. La investigación actual se centra en el prototipo de materiales experimentales de recolección de niebla que consisten en: 6 redes de niebla experimentales de 2 y 3 capas, cada una con un área de 9m^2 (2,0 mx 4,5 m), rejilla de plástico resistente (HDPE), unida al lado de cada red experimental, redes atadas con cuerdas elásticas, ancladas con tubería de acero montada en puntales para soportar altas velocidades del viento, (Dodson & Bargach, 2015).

Se han desarrollado muchas superficies bioinspiradas, biomiméticas y se ha demostrado que tienen una capacidad excepcional de recolección de niebla basada en las combinaciones optimizadas de patrones superhidrófobos y superhidrófilos que tienen estructuras a micro y nanoescala. Actualmente, no hay muchos estudios que hayan intentado realizar dispositivos de recolección de niebla con alto rendimiento y los existentes enfrentan desafíos como alto costo de producción, (Sharma et al., 2019).

Estudios mostraron que la reducción de los diámetros de los alambres con campo eléctrico en arpas de niebla, aumentaron la eficiencia, así como la capa hidrófoba agregada al colector de malla aumentó la eficiencia en un 62%. El análisis energético del sistema mostró que el consumo de energía era aproximadamente 100 veces menor que el de los generadores de agua atmosférica actuales, lo que hace que esta técnica sea muy prometedora para su uso en la recolección de niebla, puede ser significativamente beneficioso para el costo de la unidad, (Sharifvaghefi & Kazerooni, 2021).

También se ha trabajado una tecnología que no ocupa un volumen aproximado al 1m^3 que es capaz con una humedad relativa (RH) tan baja como 20%, de producir 2,5 L / día. Como funciona con baja humedad relativa, el dispositivo es adecuado para entornos desérticos, (Ferwati, 2019).

Finalmente, podemos evidenciar que a lo largo de los últimos 100 años se han desarrollado el uso de tecnologías de manera empírica, y en los últimos 30 años se han estudiado el uso de materiales, las condiciones climáticas ideales, y la búsqueda constante de la mejora del rendimiento, en los últimos 10 años la forma ha sido la búsqueda principal de desarrollo para esta tecnología, así como los sistemas mecánicos.

Los modelos pasivos toman más relevancia con el pasar de los días, debido al cambio climático y los fuertes cambios que se producirán en los regímenes hidrológicos, cabe entender que mucho de este desarrollo se ha buscado hacer con la más alta tecnología y en algunos casos con un muy alto costo, haciendo que muchas de las comunidades que necesitan más de este tipo de proyectos no sean beneficiadas, es por esto que busco a través de la investigación recopilar la mayor cantidad de datos que permita el desarrollo de un prototipo altamente eficiente a un bajo costo.

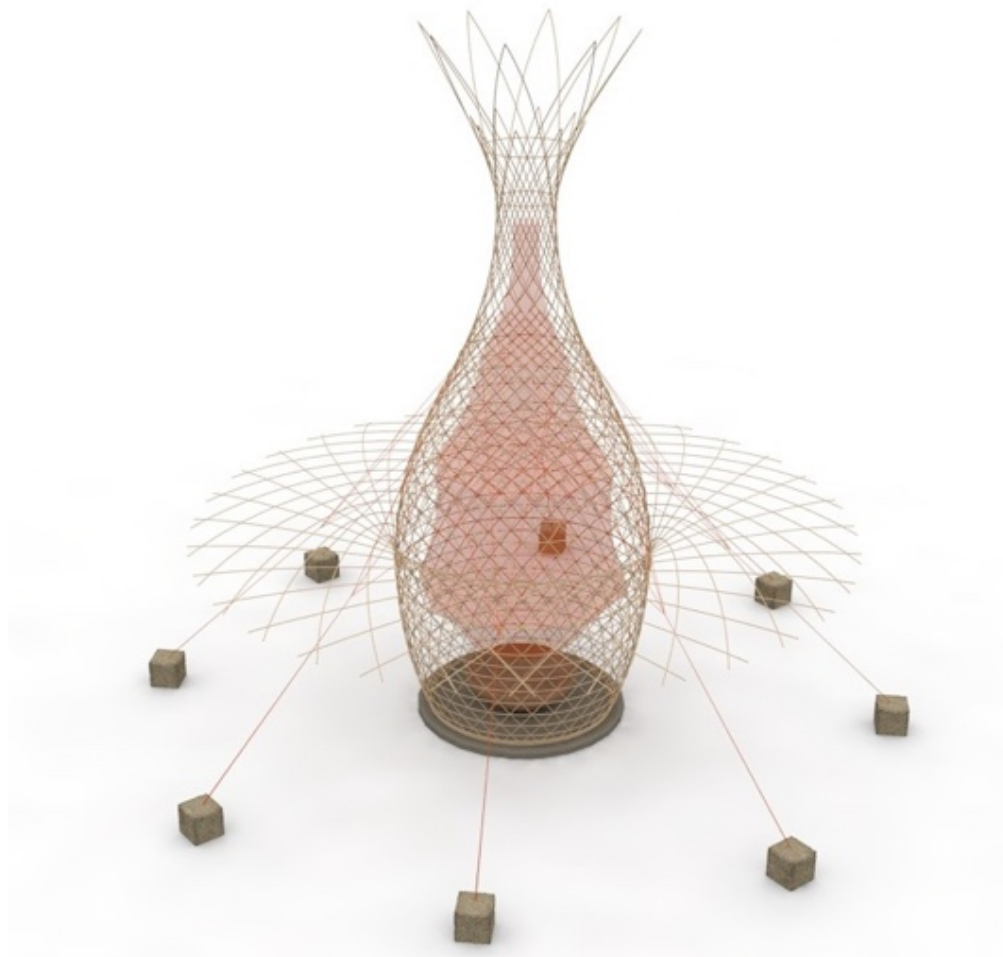
Los niveles de madurez tecnológica TLRs, es un concepto que nació desde la NASA y seguidamente se genera en la aplicación de proyectos, este nos permite conocer una tecnología concreta el nivel en el que se encuentra. Se contemplan 9 niveles, que parte de los principios básicos hasta un sistema probado con éxito en un entorno real, (Ibáñez de Aldecoa Quintana, n.d.). En Colombia, Colciencias define el alcance de las actividades asociadas a las I+D+i que corresponden a la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación, que se basa en las actividades de investigación básica, investigación aplicada, desarrollo tecnológico y por último la innovación, (COLCIENCIAS, 2016).

Estado del arte.

En los últimos años se han desarrollado diferentes técnicas alrededor del mundo, cuyo propósito es la recolección del agua de la atmósfera, estos proyectos buscan al igual que esta investigación brindar alternativas en lugares apartados para la obtención de agua de calidad para el consumo humano, es por esto que sirven como referentes no solamente técnicos, sino sociables, ya que el impacto de cada uno de ellos en sus comunidades ha permitido mejorar la calidad de vida, que es el fin último del objetivo de este trabajo.

Torres De Bambú Que Recogen Agua Potable Del Aire, Etiopía.

Figura 3. Torres De Bambú Que Recogen Agua Potable Del Aire, Etiopía. Fuente: Archdaily (Franco, 2014) .



Este proyecto fue realizado por un arquitecto italiano, que se inspira en la cultura local, sus artesanías, técnicas de construcción y tradiciones olvidadas, buscando de una manera innovadora, biodegradable y ecológica la solución a distintas necesidades de la comunidad, como lo son el refugio y la recolección de agua, su principal estructura es el “Warka Water” más que la fabricación de un elemento, busca mediante la arquitectura y el diseño, el desarrollo de una comunidad enfocado en la sostenibilidad de la misma, utilizando principalmente los materiales del lugar, (Franco, 2014).

Figura 4. Warka Water. Fuente: Archdaily (Franco, 2014).



Torre costera de recolección de niebla, Huasco – Chile.

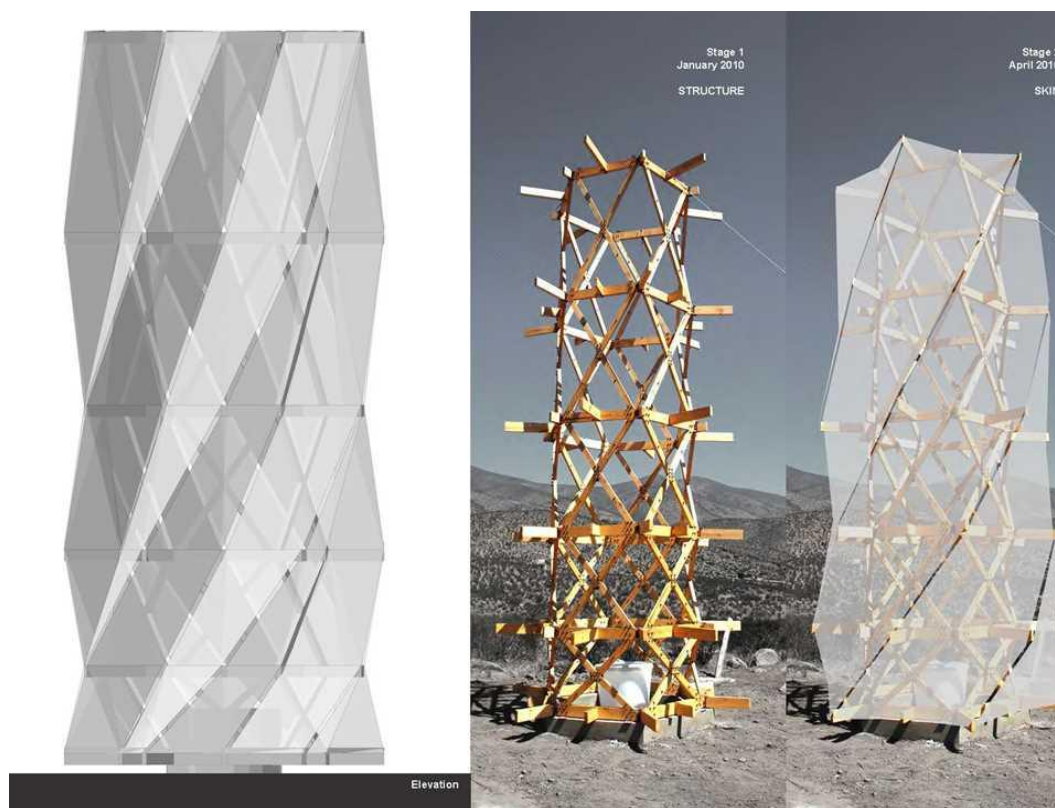
Prototipo a escala 1:10, este proyecto pretende utilizar la "Camanchaca", una niebla costera que se origina en el anticiclón del Pacífico y se condensa detrás de la costa. Las sorprendentes ideas consisten

en torres con una altura de 200 metros que atrapan las partículas de agua y las conducen a la base de la torre, donde el líquido se filtra a través de un proceso de ósmosis inversa para eliminar la sal.

Construcción: Estructura en espiral con una base de madera, malla de cobre que proporciona conductos y una cubierta de plástico. El sistema de captura de agua solo utiliza la energía eólica y la gravedad en su principal proceso de trabajo.

La torre es un hito impresionante en su entorno, y produce entre 140 y 700 litros de agua por día, (LafargeHolcim Foundation, 2010)

Figura 5. Torre costera de recolección de niebla. Fuente: Fundación Holcim.



Este prototipo realizado por la fundación Holcim en el año 2010 buscaba la recolección y el estudio de este tipo de prototipos en Chile buscando producir hasta 700 litros de agua al día, así como el desarrollo de estas técnicas en el sitio de estudio.

CloudBuster.

Este prototipo corresponde a un diseño cóncavo el cual pretende encapsular el viento con la neblina cuando este impacte en la malla y de esta forma que mayor cantidad de gotas queden adheridas al dispositivo. Para esto se construyó una estructura cóncava con láminas de policarbonato termoformadas donde se fijó la malla. El siguiente cambio fue en el tubo de PVC que recogía el agua de la malla, este se reemplazó por un embudo de acetato debido a que como la estructura cambió era más fácil y económico realizar un embudo que termo formar el PVC para que convergiera con el radio de la malla. Por último, se decidió añadir la capa hidrofóbica también al embudo para que el agua fluyera más eficientemente hacia el tanque, (Gómez Romero, 2018).

Figura 6. CloudBuster Fuente: Gómez Romero, I. C. Diseño y construcción de un dispositivo recolector de agua a través de la niebla, PDF Repositorio Uniandes.



Este proyecto realizado en el páramo de Sumapaz, nos muestra como el desarrollo de estos prototipos cada vez se desarrollan en lugares diferentes a desiertos y zonas costeras, este proyecto además innovó con su forma y su manera de recolectar el agua mostrando que se puede recoger hasta medio litro diario gracias a su forma curva.

En general podemos concluir que aun cuando de manera acelerada se han desarrollado materiales que permiten mayor captación de agua a partir de niebla, estos no son lo suficientemente robustos para satisfacer las necesidades en muchos casos, sin embargo, el uso de formas genera impactos significativos en la cantidad de agua recolectada.

Marco Conceptual.

Para este proyecto se deberán tener en cuenta dos fenómenos muy importantes como lo son la evaporación y evapotranspiración y cómo estos inciden en la formación de niebla que serán más adelante nuestro insumo principal para el prototipo recolector de niebla al igual que lo es el agua de lluvia cabe resaltar que estos fenómenos están directamente relacionados con la temperatura y la humedad, así como la presencia de cuerpos de agua cerca y como estas condicionantes aumentan la nubosidad.

Es importante entender que hay diferentes tipos de nubosidades que estas presentan diferentes características y están influyen directamente en el “goteo de niebla”, estas presencialmente influenciadas por la niebla de montaña y niebla caliente presentes en el municipio de Tuta – Boyacá, este concepto es con el que se denominará el fenómeno que ocurrirá en el prototipo los días que no hay presencia de lluvias, los principales fenómenos relacionados en la formación de nubosidad está principalmente relacionada con la evaporación, advección, lluvia y radiación, del municipio de Tuta son representados en los siguientes esquemas:

La niebla por evaporación, es un fenómeno que ocurre cuando una corriente de aire frío circula o perdura sobre una superficie de agua, como podemos observar en la Figura 7.

Figura 7. Esquema de niebla de evaporación por aire frío. Fuente: Elaboración propia.



La formación de niebla es un fenómeno en el cual una corriente de aire más cálido y húmedo es desplazada sobre una superficie fría en la cual se satura dicha corriente por el cambio de temperatura generando neblina.

Figura 8. Esquema formación de niebla. Fuente: Propia.



Otra forma en la cual se genera niebla se debe a la humedad en el ambiente luego de la presencia de lluvias, debido a que se satura el aire por la evaporación del agua lluvia, como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Esquema de niebla de evaporación por lluvia.



También se genera niebla por la radiación, esta se presenta debido al enfriamiento nocturno de superficies con el aire adyacente que al entrar en contacto y por la diferencia de temperatura causa la condensación del vapor de agua dentro del aire.

Figura 10. Esquema de formación de niebla por radiación. Fuente: Elaboración Propia.



Atrapanieblas.

Es un sistema que se encarga de captar las gotas que se encuentran suspendidas en la atmósfera, al tener un elemento en la cual chocan las nubes y generan un goteo de niebla al condensarse para formar agua, estos elementos han sido desarrollados especialmente en zonas costeras, zonas semiáridas y cada vez más en zonas que no cuentan con sistemas de acueducto y se encuentran alejadas de una fuente de agua cercana, es por esto que estos sistemas cada vez toman más relevancia a la hora de brindar a todas las personas acceso a agua potable.

A su vez existen varios tipos de atrapanieblas cada vez más desarrollados y con mayor tecnología.

Se encuentran los tradicionales que se han desarrollado en zonas costeras, sus características principales son que tienen grandes dimensiones, elaborados con una malla y canaleta para conducir al

sistema de almacenamiento, estos se han enfocado en el desarrollo de sus mallas y en las estructuras que brindan soporte, existe también las arpas de niebla que han sido desarrolladas en los Estados Unidos están compuestas por filamentos metálicos delgados posicionados de manera vertical con el fin de que las gotas de agua caigan por gravedad, estos aún se encuentran en desarrollo y se han enfocado en especial en generar mayor eficiencia mediante la implementación de sistemas electrónicos.

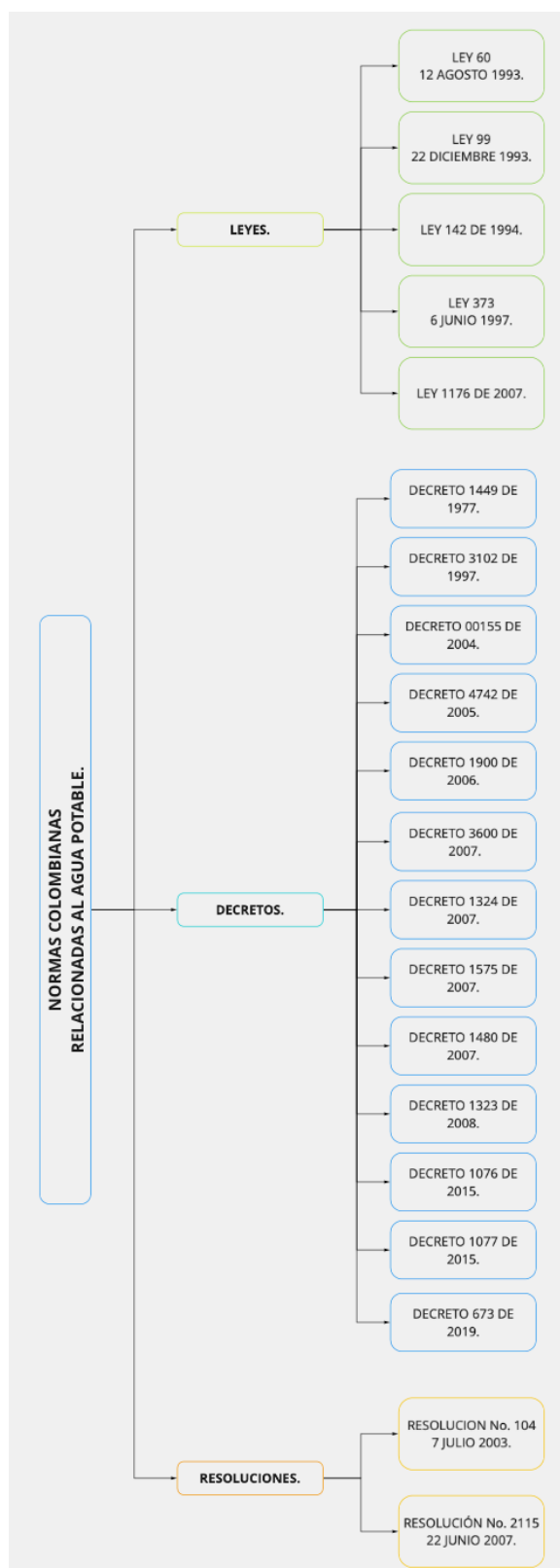
También se pueden encontrar elementos complejos como el Warka Water, que buscan condensar agua en zonas desérticas. Estos entre muchos otros que cada día son desarrollados en diferentes contextos, es importante reconocer proyectos como Nebulón que son prototipos, con la mezcla de elementos complejos y atrapanieblas tradicionales, a su vez son un prototipo exitoso que ha sido desarrollado y replicado en múltiples municipios de Cundinamarca.

Marco Normativo.

Normativa Colombiana.

De acuerdo a las normas colombianas se establece y reglamenta el agua como un derecho, así como su uso eficiente y el ahorro, así mismo la creación de entidades responsables del cuidado del agua, de igual manera en estas normas también se puede evidenciar la creación de entidades para la evaluación de la calidad del agua, como podemos observar en la *Figura 11*, pero en esta normativa poco se establece sobre la recolección del agua a partir de lluvia o de niebla, si es verdad que la calidad de agua en este tipo de recolecciones es de alta calidad no hay ningún tipo de incentivo ni guía que permita desarrollar a las personas que se encuentran demasiado alejados para que el estado les garantice mediante la prestación de servicios públicos (acueducto) el acceso a agua potable.

Figura 11. Normas Colombianas Relacionadas al Agua Potable. Fuente: Elaboración Propia.



Resolución 64/292 - El derecho humano al agua y el saneamiento.

Para nosotros como seres humanos “Reconoce que el derecho al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos”, (Resolución 64/292 - El Derecho Humano al Agua y El Saneamiento., 2010).

Resolución 18/1 - El derecho humano al agua potable y el saneamiento.

Los seres humanos tenemos derecho a una salud mental y física, a vivir una vida idónea, pero sobre todo a tener un saneamiento y un acceso a agua potable, (Resolución 18/1 - El Derecho Humano al Agua Potable y El Saneamiento., 2011).

Podemos evidenciar que el agua es un derecho fundamental y que la reglamentación para el uso y el ahorro es bastante robusta, pero esto no ha garantizado que el total de la población colombiana ni del mundo tengan acceso a este derecho, y muchas veces su salud se ve afectada por el acceso a agua de mala calidad, además actualmente la normativa para la recolección de agua ya sea de niebla o de lluvia es muy poca o inexistente, en la mayoría de los territorios no se ha permitido la estandarización ni la creación de normas que mejoren las prácticas para estos fines, ni tampoco la evaluación de los mismos.

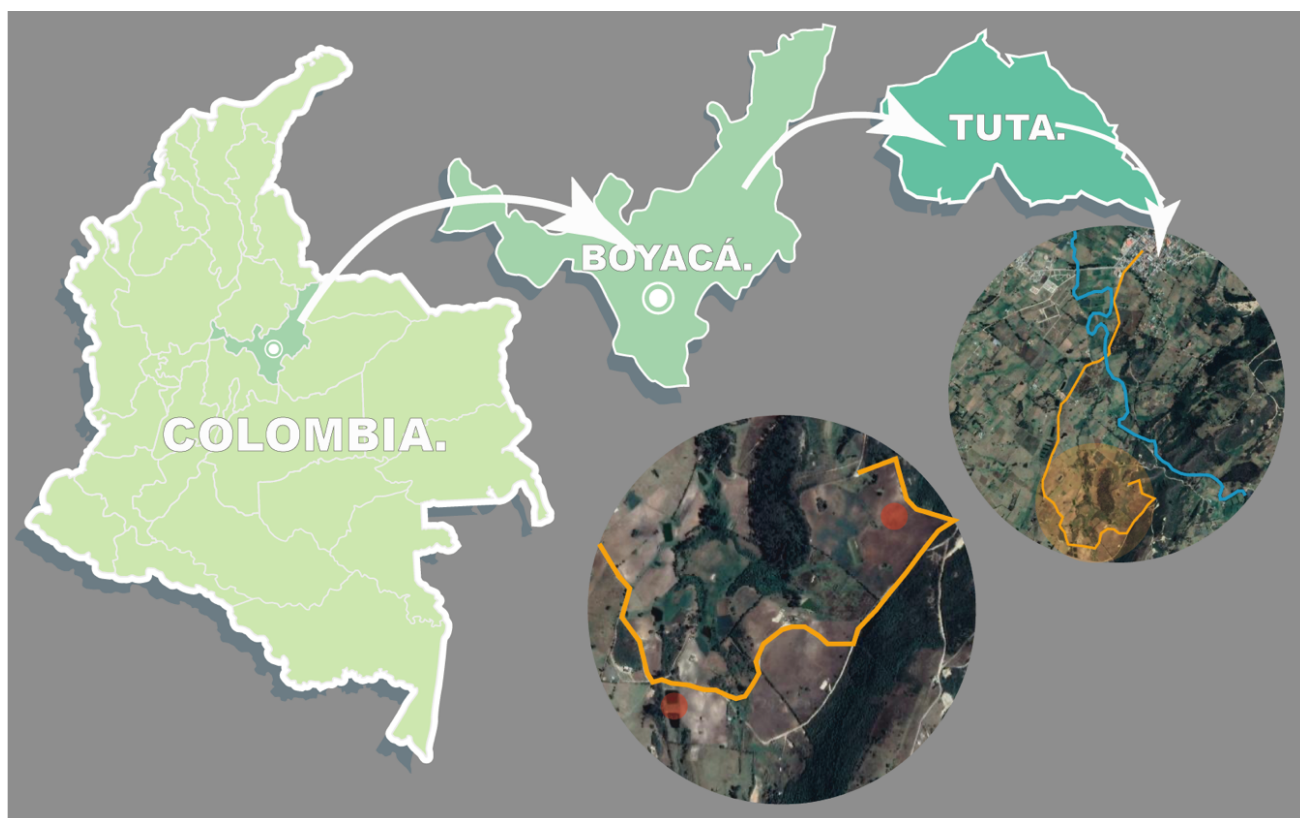
Marco Contextual.

Localización.

El municipio de Tuta, se encuentra en el departamento de Boyacá como se aprecia en la Figura 12, ubicado en las coordenadas geográficas 05° 42' latitud norte, 73° 14' longitud oeste, a 26 km de la ciudad de Tunja. Cuenta con una población de 8.461 habitantes.

Región: Centro Oriente.

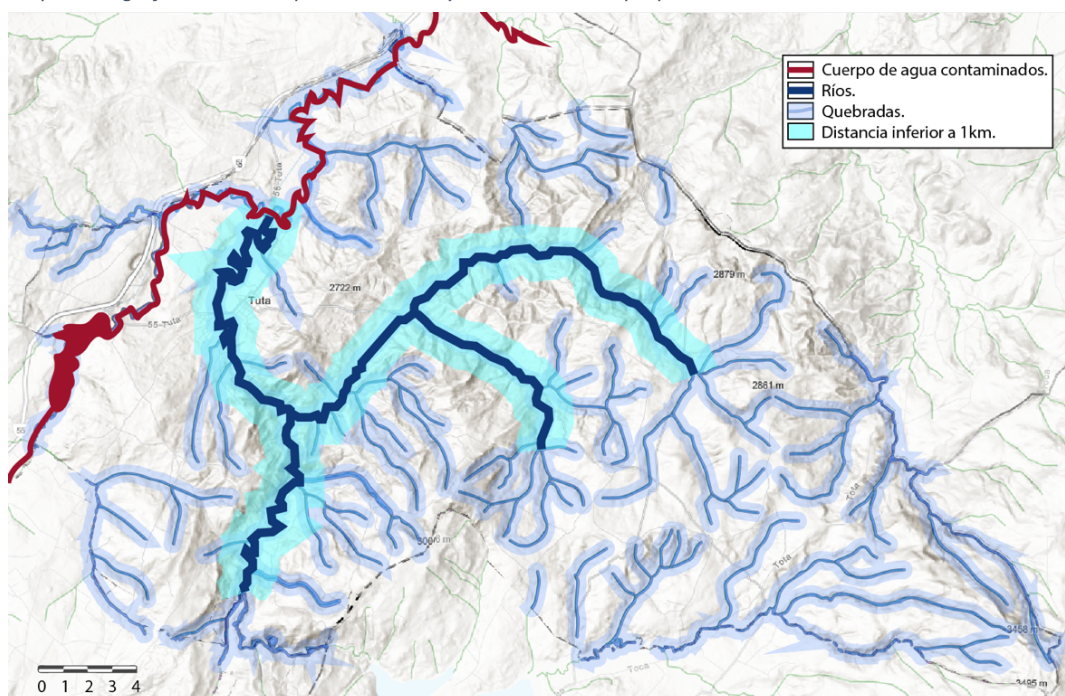
Figura 12. Mapa de localización. Fuente: Elaboración propia.



Cuerpos de agua en Tuta – Boyacá.

En el municipio de Tuta hay varios cuerpos de agua como se observa en la Figura 13, entre ellos hay ríos y quebradas, cabe resaltar que las quebradas son pequeños hilos de agua que crecen en temporadas invernales, muchas de estas no llegan a superar las 4 pulgadas/segundo, además de esto en el embalse de la playa que esta subrayado en color rojo muestra este cuerpo de agua contaminado, y como este contamina de ahí en adelante, ya que contiene las aguas residuales del municipio de Tunja y de los siguientes a este, antes de llegar a Tuta, lo que por supuesto descarta estos cuerpos de agua para el consumo humano, podemos observar que aptas para el consumo humano y con suficiente caudal, existen pocos ríos, además de esto si analizamos el derecho al agua según la ONU que indica “la distancia no debe superar 1 km a la fuente de agua”, señaladas con el color azul claro, lo que nos muestra claramente que se deben buscar alternativas para el acceso al agua potable de las zonas que no se encuentran a menos de 1 km con respecto a la fuente de agua potable (ríos), es decir más del 90 % del municipio de Tuta – Boyacá.

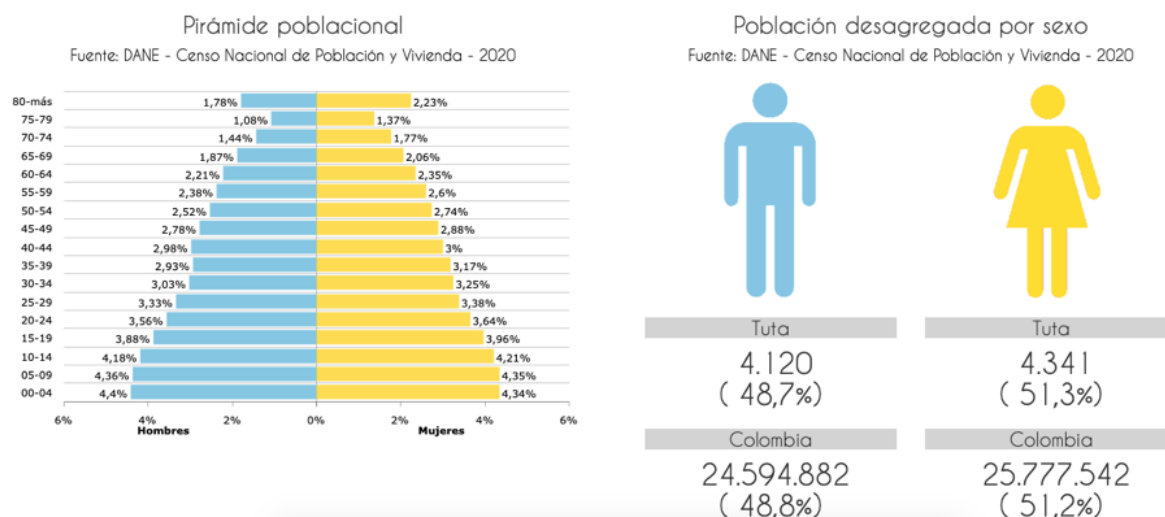
Figura 13. Mapa hidrográfico del municipio de Tuta - Boyacá. Elaboración propia.



Demografía y población.

Como podemos observar en la *Figura 14* según las cifras del (DANE., 2020), Tuta es un municipio con una población mayormente joven, a su vez con una predominancia de mujeres.

Figura 14. Demografía y población Tuta - Boyacá. Fuente: Cifras DANE.

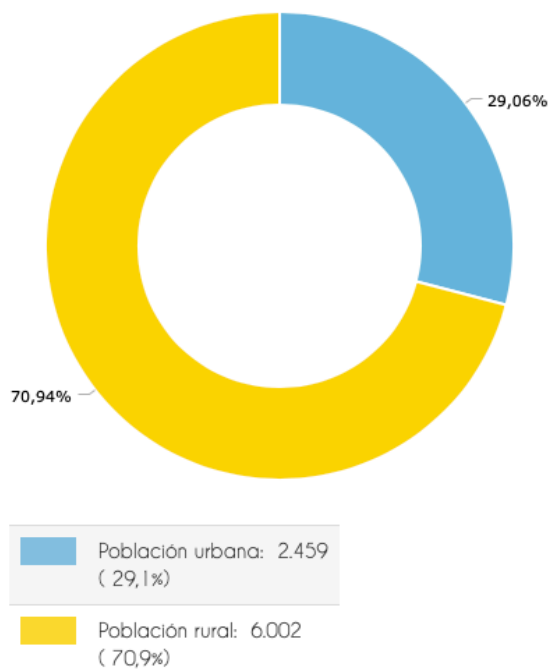


La distribución de la población por área como muestra la *Figura 15* están situados en mayor porcentaje en la zona rural del municipio, es decir por las características de distribución del municipio necesitan mayor cobertura en zonas rurales, pero al ser un municipio de categoría 6 donde el más del 30% de su presupuesto se va en gastos de funcionamiento, hace difícil la tarea de asignar recursos suficientes para atender muchas de estas necesidades, por esta razón se deben proponer alternativas que puedan ser implementadas por muchas de las personas sin altas inversiones. Además, al estar en la zona rural su principal fuente de trabajo es la agricultura y ganadería, estas actividades como bien sabemos demandan altas cantidades de agua, lo cual muchas veces limita el uso de este recurso para actividades diferentes a la producción agropecuaria.

Figura 15. Población desagregada por área. Fuente: DANE.

Población desagregada por área

Fuente: DANE - Censo Nacional de Población y Vivienda - 2020



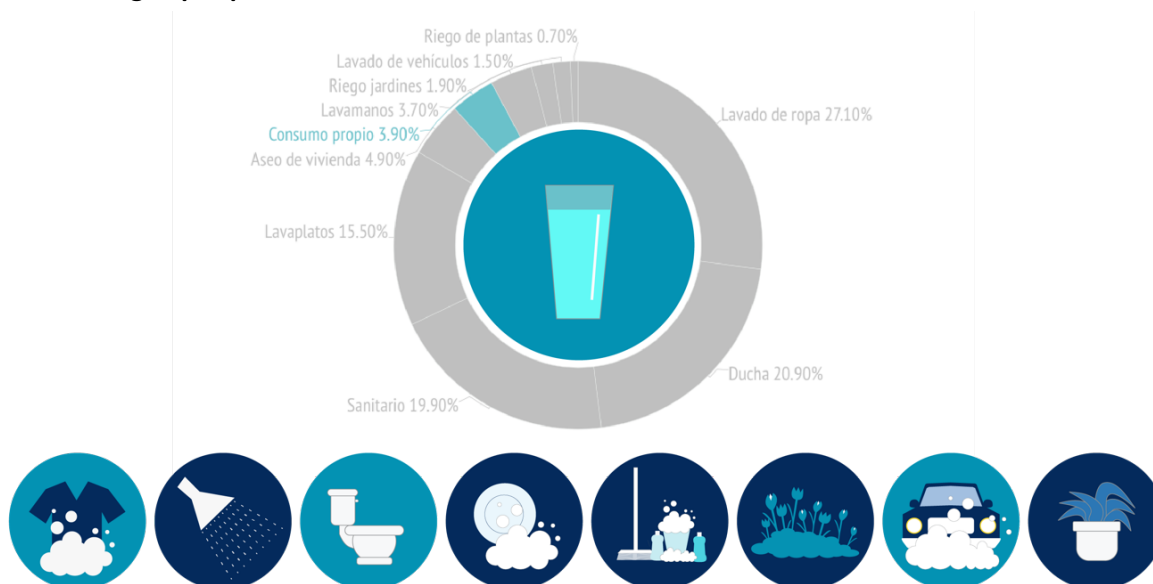
Consumo de agua por persona en Colombia.

El agua es el recurso más importante para la supervivencia del ser humano, este cumple un papel importante en nuestras vidas y en nuestro diario vivir, se debe de dar una solución, actualmente el consumo promedio por familia mensual es de 20.000 litros, (Santana et al., 2015), pero de estos solo el 3,9% corresponde a consumo propio que equivale a 780 litros, es decir que diariamente se requieren 26 litros por familia, si analizamos esto y que las familias Colombianas en promedio están constituidas por cuatro personas, es decir 6,5 litros por persona diariamente.

Cabe resaltar que en consumo propio se contempla la que bebemos, la elaboración de alimentos y la limpieza de los mismos, siendo una de las más demandantes, ya que requiere más del 50%, es decir se requiere cerca de 3 litros de agua de alta calidad diarios por persona.

Figura 16. Consumo promedio mensual de agua en Colombia, Basado CRA (2015), Elaboración propia.

Consumo de agua por persona en Clima frío.



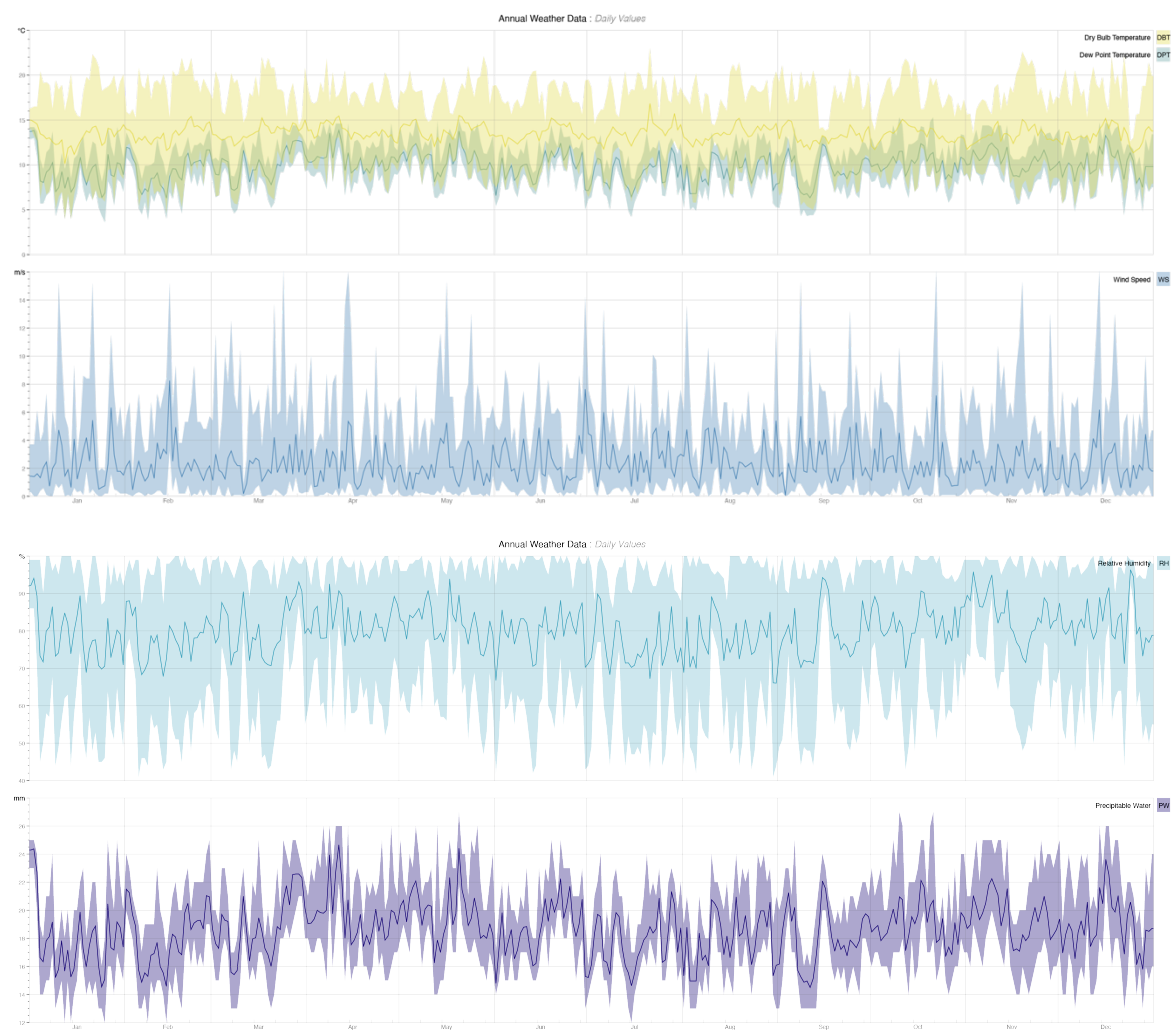
El consumo de agua mensual promedio en municipios de clima frío en el departamento de Boyacá por familia es entre 10,43 m³ y 12,82 m³ según la revista Udistrital, (Chacón M et al., 2011), el promedio de consumo de agua en 2010 fue 11,74 m³ en Tunja y 10,43 m³ en 2009 en Duitama por suscriptor, cabe resaltar que el promedio de personas por vivienda es de 4 lo que quiere decir que el consumo mensual por persona es de 3000 litros, si esto lo dividimos en 30 días nos da un consumo de 100 litros/día/persona, pero debemos entender que solo el 3,9% es para consumo propio, cabe resaltar que como consumo propio se contempla la preparación de alimentos, lavado de dientes y agua que usamos para beber, es decir que necesitamos para nuestro consumo 3,9 lts/día/persona de agua de alta calidad en municipios de Boyacá con clima frío.

Condiciones meteorológicas.

Con la ayuda de un archivo epw en la página <http://andrewmarsh.com/software/data-view2d-web/> observamos las siguientes condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, punto de rocío, precipitación, y velocidad del viento), (Marsh, 2018).

Observamos en la *Figura 17*, que Tuta es un municipio en el cual la temperatura máxima es de 23°C y la mínima de 5°C, con una humedad relativa promedio entre el 67% y 92%, alcanzando el punto de rocío generalmente en horas de la madrugada desde 3°C menos que la temperatura de bulbo seco y a las 4 am generalmente existe solo una diferencia de 1°, posterior a las 7 am ya se empieza alejar la temperatura de punto de rocío de la de bulbo seco con unos vientos promedio del 1 a 7 m/s con dirección predominante de sur a norte, por último podemos observar que hay temporadas secas muy marcadas en los primeros meses del año donde solo se lograban 12 mm de agua lluvia, aunque también hay otros meses en el año donde se logra recolectar hasta de 27 mm de agua lluvia.

Figura 17. Datos Climatológicos. Fuente: Elaboración Propia Software AndrewMarsh.



Metodología.

Esta investigación es de desarrollo exploratorio. Cuyo fin es el diseño de un prototipo de recolección de agua de niebla para Tuta - Boyacá, mediante un orden lógico y con ayuda de una previa investigación hecha a una revisión bibliográfica en bases de datos, se observaron los diferentes sistemas que se han implementado en el mundo. Además, se busca ratificar lo evidenciado en la investigación, el uso de estos sistemas en condiciones meteorológicas como las de Tuta, su comportamiento y funcionamiento.

Para este fin se hizo un análisis previo de las condiciones climatológicas de Tuta-Boyacá, del mismo modo de investigar el consumo de agua potable para consumo por persona y las fuentes de agua a las cuales estas tienen acceso, de acuerdo a esto se realizó una revisión bibliográfica para conocer las necesidades y así saber los requerimientos que tendrán los sistemas de recolección de agua de niebla, a su vez testear los materiales de los modelos que se están implementando y son referentes a nivel mundial y local, con el fin de conocer y evaluar cuáles de estos sistemas se tienen un mejor rendimiento en dicho contexto.

Se realizó una selección de la revisión bibliográfica, encontrando que los modelos más utilizados se conocen como atrapanieblas y arpa de niebla, estos fueron evaluados en la ubicación geográfica seleccionada, contruidos con las mismas medidas, pero diferentes materiales, con el fin de que el prototipo a proponer sea de fácil acceso en nuestro entorno, y a su vez conocer cuáles de estos presentan mayor eficiencia en la recolección.

Se construyeron cinco de los sistemas de recolección de agua de niebla de los cuales dos fueron de atrapanieblas y tres de arpa de niebla con dimensiones de 1m², en los cuales se hará uso de cinco materiales, (tela toldillo, polisombra cabuya, hilo y nylon), se tomaron registros diariamente durante un mes con el fin de conocer el rendimiento de cada material. Con esta información determinar los

materiales implementados en la construcción de estos sistemas que se adaptan a las condiciones propias del entorno, se toma la decisión basada en cuáles tiene mayor captación y así implementarlo en el diseño del prototipo.

El siguiente paso será buscar formas en la naturaleza que permitan servir de referente en el diseño del prototipo recolector de agua niebla, y que este mismo me permita lograr captar el agua de la misma forma que la naturaleza logra captar el agua, para la implementación de las mismas en el diseño de la recolección del prototipo. Se procederá a construir dicho elemento con los materiales seleccionados por su mayor rendimiento.

Por último, se evaluará este prototipo y su rendimiento. Para esto se realizará un registro según la metodología encontrada en el trabajo *“The potential of fog harvesting in tropical highlands as an alternative water resource: the case of Atok, Benguet, Philippines”* (Tan et al., 2019) y así determinar qué cantidades de agua puede recolectar este prototipo.

Evaluación de materiales.

Para la evaluación de los materiales se realizaron dos pruebas de campo, con diferente ubicación, con características topográficas diferentes, en la primera prueba se busca evidenciar el comportamiento de los cinco prototipos y realizar mejoras a estos, la segunda prueba se buscará evidenciar si hay diferencia en el comportamiento de los materiales en diferentes condiciones topográficas, la primera ubicación tendrá una característica de cercanía a un cuerpo de agua, y media montaña rodeada de vegetación, para la segunda ubicación se busca un lugar sin obstáculos en la parte alta de la montaña.

Prueba 1. Evaluación de materiales.

Para estas pruebas se realizará cinco fases en las cuales se busca evaluar el comportamiento de cinco prototipos con diferente materialidad, con un tamaño similar, en condiciones similares, mediante la recolección de datos diariamente durante periodos de tiempo que permita evidenciar diferencias en el comportamiento de los materiales de estos prototipos, así poder evidenciar las fortalezas y su pertinencia en esta ubicación geográfica.

Fase 1. Construcción de los marcos.

Se realizó la construcción de 5 prototipos de recolección de agua, en el sistema de atrapanieblas tradicional (polisombra, tela - toldillo) y el arpa de niebla (cabuya, nylon e hilo), cada uno de 1m2, con su respectiva canal para la recolección y una botella para el almacenamiento del agua, en donde se tiene en cuenta materiales y costos, con las siguientes características:

Figura 18. Marco en Polisombra Tipo Raschel. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 1. Materiales y costo marco en polisombra.

COSTOS MARCO EN POLISOMBRA.			
MATERIAL.	VALOR UNITARIO.	CANTIDADES.	TOTAL.
POLISOMBRA 1M2.	\$5.900	1	\$5.900
GUAYA	\$450	3	\$1.350
GRAPAS	\$800	1	\$800
TUBO PVC ½".	\$1.333	4	\$5.332
CODO ½"	\$420	2	\$840
TEE ½"	\$520	2	\$1.040
TUBO 2".	\$2.366	1	\$2.366
TAPONES 2".	\$850	2	\$1.700
MANGUERA QUIRÚRGICA	\$700	1	\$700
BOTELLA PET	\$0	1	\$0
PALOS ESTRUCTURA	\$5000	2	\$10.000
		TOTAL.	\$30.028

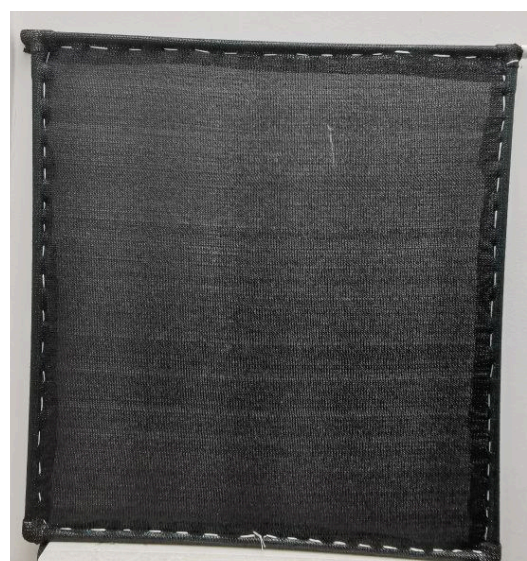


Tabla 2. Materiales y costos marco en nylon.

COSTOS MARCO EN NYLON.			
MATERIAL.	VALOR UNITARIO.	CANTIDADES.	TOTAL.
NYLON.	\$1.500	9	\$13.500
GUAYA	\$450	3	\$1.350
GRAPAS	\$800	1	\$800
TUBO PVC ½".	\$1.333	4	\$5.332
CODO ½"	\$420	2	\$840
TEE ½"	\$520	2	\$1.040
TUBO 2".	\$2.366	1	\$2.366
VARILLA ROSCADA.	\$4.500	2	\$9.000
TAPONES 2".	\$850	2	\$1.700
MANGUERA QUIRÚRGICA	\$700	1	\$700
BOTELLA PET.	\$0	1	\$0
PALOS ESTRUCTURA	\$5000	2	\$10.000
		TOTAL.	\$46.628

Figura 19. Marco en Nylon. Fuente: Elaboración propia.



Tabla 3. Materiales y costos marco en cabuya.

COSTOS MARCO EN CABUYA.			
MATERIAL.	VALOR UNITARIO.	CANTIDADES.	TOTAL.
CABUYA.	\$3.500	1	\$3.500
GUAYA	\$450	3	\$1.350
GRAPAS	\$800	1	\$800
TUBO PVC ½".	\$1.333	4	\$5.332
CODO ½"	\$420	2	\$840
TEE ½"	\$520	2	\$1.040
TUBO 2".	\$2.366	1	\$2.366
TAPONES 2".	\$850	2	\$1.700
MANGUERA QUIRÚRGICA	\$700	1	\$700
BOTELLA PET.	0	1	\$-
PALOS ESTRUCTURA	\$5000	2	\$10.000
		TOTAL.	\$27.628

Figura 20. Marco en Cabuya. Fuente: Elaboración Propia.



Tabla 4. Materiales y costos marco en hilo.

COSTOS MARCO EN HILO.			
MATERIAL.	VALOR UNITARIO.	CANTIDADES.	TOTAL.
HILO	\$2.500	2	\$5.000
GUAYA	\$450	3	\$1.350
GRAPAS	\$800	1	\$800
TUBO PVC ½".	\$1.333	4	\$5.332
CODO ½"	\$420	2	\$840
TEE ½"	\$520	2	\$1.040
TUBO 2".	\$2.366	1	\$2.366
TAPONES 2".	\$850	2	\$1.700
VARILLA ROSCADA.	\$4.500	2	\$9.000
MANGUERA QUIRÚRGICA	\$700	1	\$700
PALOS ESTRUCTURA	\$5000	2	\$10.000
BOTELLA PET.	0	1	\$-
		TOTAL.	\$38.128

Tabla 5. Materiales y costos marco tela - toldillo.

COSTOS MARCO EN TELA TOLDILLO.			
MATERIAL.	VALOR UNITARIO.	CANTIDADES.	TOTAL.
TELA TOLDILLO	\$3.500	1	\$3.500
GUAYA	\$450	3	\$1.350
GRAPAS	\$800	1	\$800
TUBO PVC ½".	\$1.333	4	\$5.332
CODO ½"	\$420	2	\$840
TEE ½"	\$520	2	\$1.040
TUBO 2".	\$2.366	1	\$2.366
TAPONES 2".	\$850	2	\$1.700
MANGUERA QUIRÚRGICA	\$700	1	\$700
PALOS ESTRUCTURA	\$5000	2	\$10.000
BOTELLA PET.	0	1	\$-
		TOTAL.	\$27.628

Figura 21. Marco en Hilo. Fuente: Elaboración Propia.



Figura 22. Marco en Tela - Toldillo. Fuente: Elaboración Propia.



Fase 2. Localización de los marcos.

Se ubican los 5 marcos de atrapanieblas en dirección al viento de sur a norte, en un sector donde predomina la niebla y está rodeada de vegetación, en medio de dos reservorios de agua, aunque se observa que la corriente de viento es leve en comparación con otros lugares, *Figura 23.*

Figura 23. Localización Prueba 1. Fuente: Elaboración Propia.

**Coordenadas.**

5°39'58.8"N 73°14'01.3"W

5.666332, -73.233685

2640 metros de altitud.

Fase 3. Instalación de marcos.

Cada marco se ubicó en un eje lineal, para su instalación se utilizaron tres postes de madera de 2 metros como soporte o estructura, los cuales se enterraron a 50 cm y se ubicaron a 3,50 metros de distancia, se utilizó una guaya metálica, que paso por medio de las TEE de cada marco y posteriormente fue templada para brindar estabilidad a los marcos.

Figura 24. Instalación de Marcos. Fuente: Elaboración propia.



Luego de tensar y con grapas sujetar la guaya metálica, se procede a instalar las canaletas a las cuales es importante dejarle una pendiente para garantizar la circulación del agua, para la fabricación de estas se utilizó un tubo PVC de 2" de diámetro, partido a la mitad, luego se procede abrir un agujero al tubo y a la tapa de la botella PET, con el fin de ingresar la manguera por estas aberturas, asegurarlas con

silicona para que nos permita recoger el agua condensada y transportarla a la botella PET que nos servirá como almacenamiento, a su vez no debe estar expuesta a la radiación directa para evitar la evaporación.

Figura 25. Instalación de Canaletas. Fuente: Elaboración Propia.



Fase 4. Toma de muestras, recolección y eficiencia de los Atrapanieblas.

Para la medición de agua acumulada se utilizó la misma metodología que usó, (Tan et al., 2019), la cual consiste en la medición en campo del volumen de agua recolectada, para la evaluación de los materiales en Tuta-Boyacá se determinó hacer las mediciones cada 24 horas en cada uno de estos sistemas *Figura 26*, se realizaron diariamente durante una semana, a las 6:00 de la mañana, en donde se observó la eficiencia de cada material, su comportamiento y resistencia.

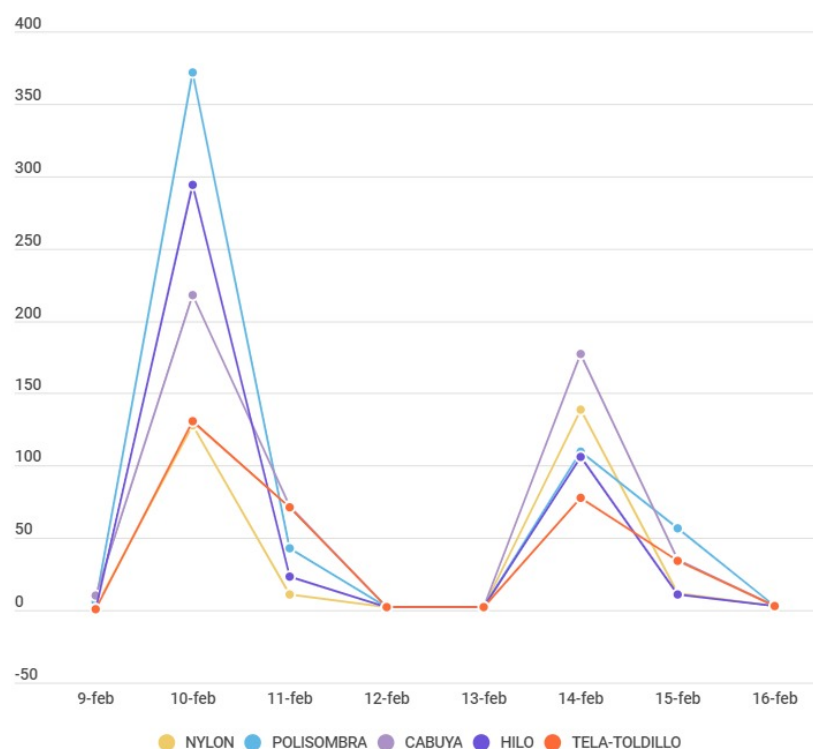
Figura 26. Toma de muestras. Fuente: Elaboración Propia.



Durante la primera semana se observó que los materiales que tuvo un mejor comportamiento fueron el hilo y al nylon, sin embargo, la canaleta presentó fallas debido a su pequeño tamaño y no estar fija a un soporte, debido a esto en ocasiones por el viento esta era desprendida del prototipo; como podemos observar en la *Figura 27*, el día 10 de febrero donde se presentó una pequeña lluvia, el agua recolectada fue superior al resto de los días, de igual manera el día 12 y 13 de febrero no se recolectó agua, sin embargo, los días siguientes mostraron un promedio de 75 ml, sumando y dividiendo todos los materiales, cabe resaltar que los materiales que más recolectaron fueron el hilo y el nylon, pero a su vez el día de lluvia el que más recolectó fue la polisombra, también se pudo evidenciar que con vientos

relativamente bajos se presentaban enredos en los marcos del hilo y del nylon, por lo cual se decidió realizar las pruebas en un lugar con mayor velocidad del viento.

Figura 27. Toma de muestras Prueba 1, Basados en la Tabla 10.. Fuente: Elaboración Propia.

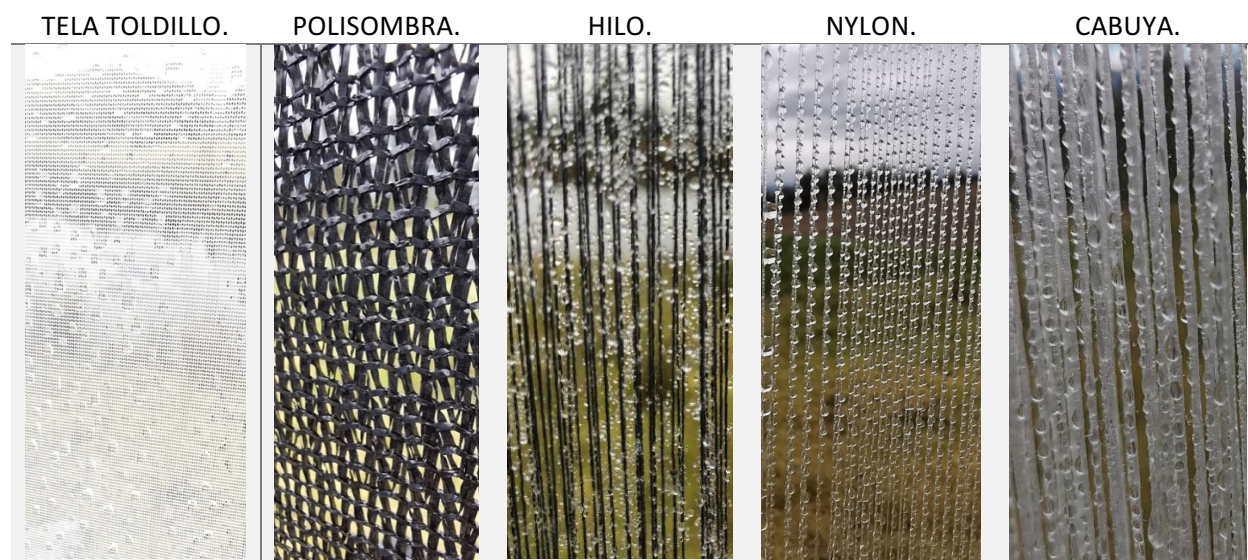


Comportamiento de los materiales frente a la niebla.

En la *Tabla 6*, podemos observar cómo se adhieren las gotas de agua a cada uno de los materiales evaluados, se evidencia que materiales como el nylon y la cabuya, logran tener un buen comportamiento, sin embargo, durante la toma de estas muestras se evidencia que los materiales que mayor cantidad de agua lograron condensar fue el hilo y nylon, aunque estos frente a las condiciones climatológicas como el viento tienden a enredarse, por último se evidenció que la polisombra y cabuya, presentaron un buen comportamiento en días con presencia de lluvia, mientras que la tela de toldillo fue el material que menos recolectó, es importante resaltar la importancia de una buena canaleta y que

este fija, cuente con el tamaño adecuado y que está a su vez cuente con un desagüe de buen tamaño para evitar pérdidas por empozamiento o rebosamiento en ciertas circunstancias (presencia de lluvias).

Tabla 6. Tipos de mallas. Fuente: Elaboración Propia.



Fase 5. Observaciones.

1. Se evidencia que el tubo no tiene la forma o el tamaño adecuado para el marco de un atrapaniebla, debido a que cuando el agua se está desplazando hacia la canal, el tubo hace que se disperse y gran parte no caiga en la canaleta.
2. Un material como el tubo en la parte inferior no brinda la estabilidad ni el soporte para colocar la canaleta.
3. La canaleta debe ser amplia y debe estar cerca al material para tener menos pérdidas, además es importante que tenga una inclinación adecuada para que el agua no quede empozada y se evapore fácilmente.

4. Materiales como el hilo y la tela tiene una gran capacidad para recoger agua sin embargo no permite la circulación rápida, lo que hace que se evapore y esta no llegue al canal.
5. En este ambiente se observa que cuando hay neblina no se generan corrientes de viento lo que hace que sea más difícil recolectar agua.
6. Es importante que el sitio de almacenaje se ubique en un lugar en donde no dé el sol, con el fin de evitar que se evapore el agua recolectada.
7. Es importante el uso de una manguera que sea flexible y tenga una buena dimensión para mejor circulación del agua.

Figura 28. Marcos Instalados. Fuente: Elaboración Propia.



Prueba 2

Para esta prueba los marcos ya estaban contruidos, por lo cual solo se realizó la instalación en la nueva ubicación y la toma de muestras de los mismos, para su evaluación en una ubicación diferente, esta vez en la parte alta de una montaña sin cuerpos de agua cercanos, ni barreras vegetales a menos de 20 metros, esto con el fin de ver el comportamiento en una zona con mayor velocidad de viento y las condiciones anteriormente descritas, además en esta prueba se buscó evaluar los dos materiales que habían tenido un mayor comportamiento tanto en cantidad de agua recolectada como menor mantenimiento, por lo cual se decide implementar dos nuevos prototipos sin marco (arpa de niebla - cabuya, atrapanieblas - polisombra).

Fase 1. Localización de marcos.

Figura 29. Localización Prueba 2. Fuente: Elaboración Propia.



Coordenadas:

5°40'14.3"N 73°13'42.0"W /5.670646, -73.228334 –
2640 metros de altura.

En esta nueva ubicación se continúan manejando los cinco marcos de atrapanieblas y se involucran dos nuevos sistemas de recolección, un atrapanieblas en polisombra y un arpa de niebla en cabuya, para estos nuevos sistemas no se hace el uso del marco, sino que se usa la guaya para reemplazar este, la guaya se instala directamente a los postes que van a brindar soporte y se hace uso de una nueva canal en lámina metálica de 1 mts por 25 cm, además de generar una estructura fija, que nos permitirá garantizar mayor recolección, se ubican en dirección al viento de sur a norte, en un sector despejado donde la característica principal es la constante corriente de viento *Figura 30*, además a la hora de almacenar el agua de niebla se aumenta el tamaño de las botellas a 1,5 Lts, que posteriormente serían cambiadas cuando se evidenció que rebasaban el límite de almacenamiento por las de 3Lts.

Figura 30. Visualización Localización. Fuente: Elaboración Propia.



Fase 2. Instalación de los sistemas en la nueva ubicación.

Se instalan los marcos *Figura 30* en un eje lineal, para esto se usaron 8 postes cada uno de 2 mts, los cuales se enterraron 50 cm y se ubicaron a 1,50 mts, se tensó una guaya y por medio de esta se instaló cada marco, para la canaleta, con postes de madera inclinados y fijados, se hizo el soporte para la

ubicación de las canaletas, esta vez hechas en lámina metálica, a la cual se le adicionó un embudo, hecho de una botella y a esta se le sujetó la manguera que va sujeta a la botella de almacenamiento.

Figura 31. Instalación de los sistemas nueva ubicación. Fuente: Elaboración Propia.

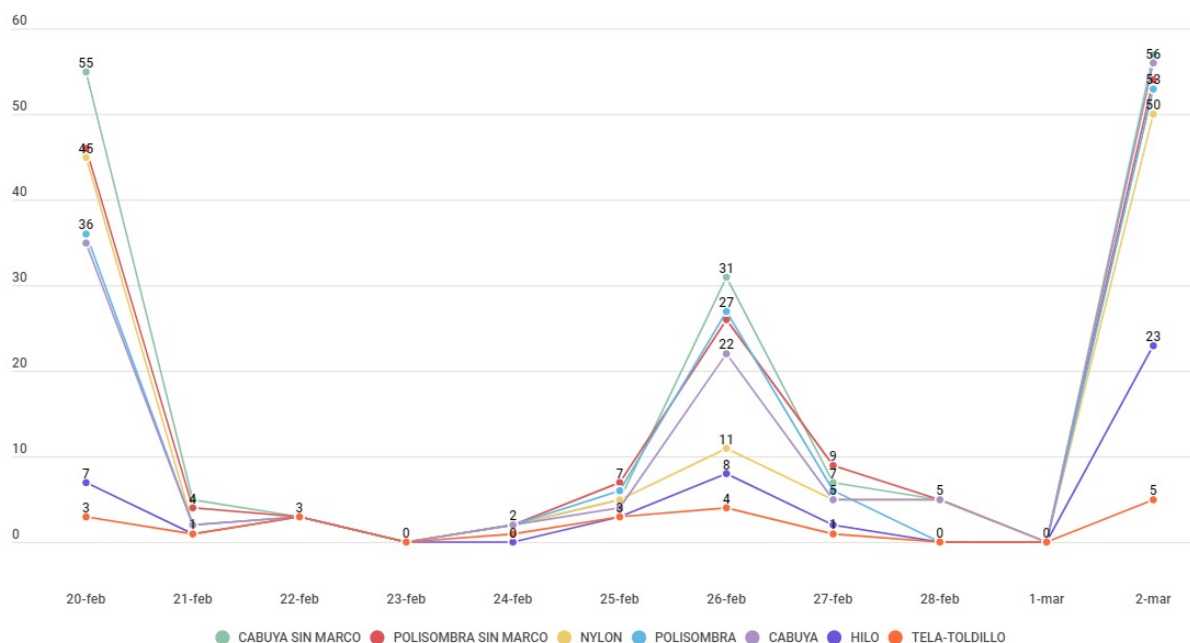


Fase 3. Toma de muestras, recolección y eficiencia de los Atrapanieblas.

Para esta prueba se realizó la recolección durante un mes, la primera semana como podemos observar la *Figura 32*, se realizó la recolección de datos de todos los días para saber cuál fue el material con mayor rendimiento en este periodo de tiempo, lo cual nos demostró que la cabuya y la polisombra con y sin marco fueron los que mayor rendimiento tuvieron, esta semana no tuvo presencia de lluvias, además al mejorar la canaleta para la recolección aumentó considerablemente la cantidad de agua

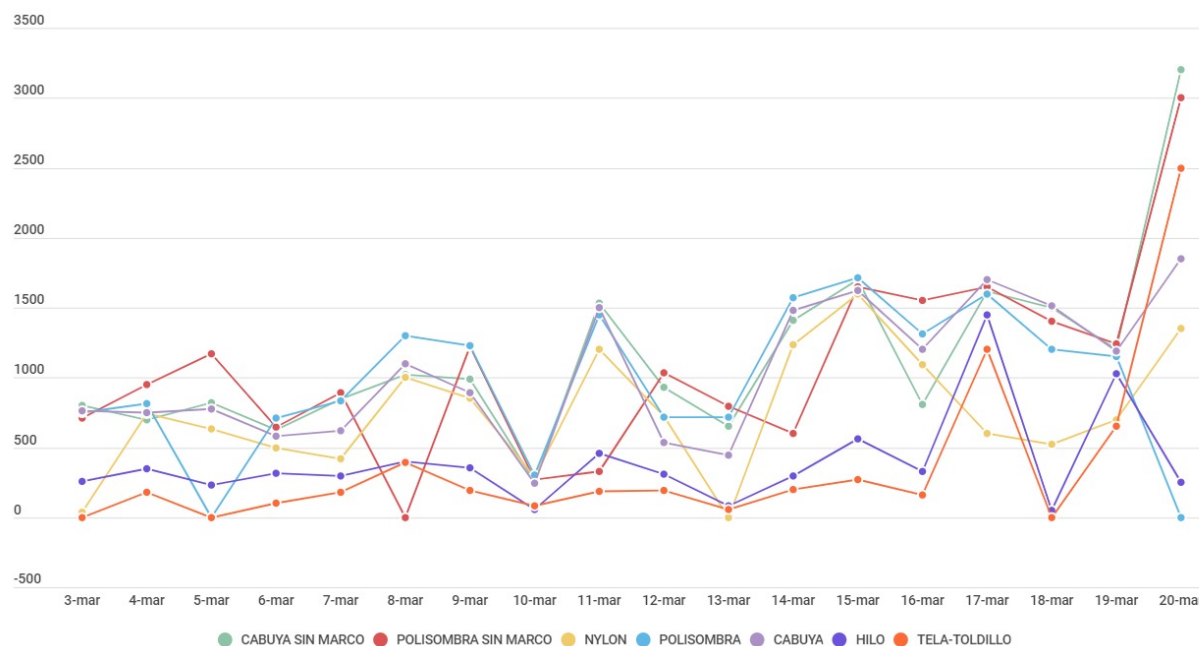
recolectada lo cual nos indica que esta variable es determinante a la hora de captar agua, además se pudo observar que el hilo y el nylon manejaban un buen comportamiento en la primera prueba, pero en esta al aumentar la velocidad del viento se deterioró rápidamente descartándolos como un material óptimo para la implementación en el municipio de Tuta.

Figura 32. Toma de Muestras, Días Secos. Fuente: Elaboración Propia.



En la Figura 33, se puede observar el comportamiento entre el 3 de marzo y 20 de marzo en el cual se pudo evidenciar que con la presencia de lluvias aumentó considerablemente la recolección de agua, además de esto con el aumento de la velocidad del viento los materiales que mejor se comportaron fueron la polisombra y cabuya con y sin marco, lo que nos mostró que para ser más eficientes en el municipio de Tuta se deben usar estos materiales, debido a que por la topografía irregular se pueden presentar diferentes velocidades del viento lo que hace que esta variable debe ser considerada para que el prototipo funcione bien y su durabilidad sea buena.

Figura 33. Toma de Muestras, Días con Lluvia. Fuente: Elaboración Propia.

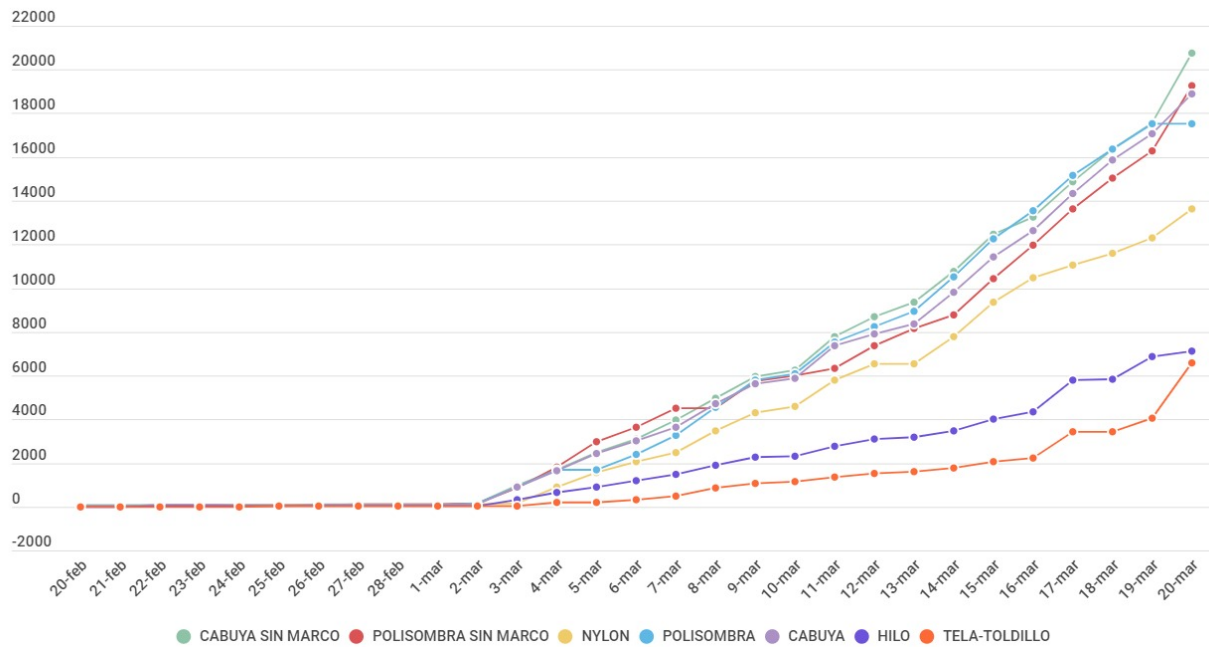


Nota:

1. El día 5 y el 20 de marzo la polisombra no registró datos por fallas en la manguera que transportaba al almacenamiento.
2. El día 8 de marzo la polisombra sin marco no registró datos por fallas en la manguera que transportaba al almacenamiento.
3. El día 13 de marzo el nylon no registra datos porque el marco se desarmó por los fuertes vientos.
4. El 5 y 18 de marzo la tela toldillo no registró datos por fallas en la manguera que transportaba al almacenamiento.
5. El marco del hilo después del 18 de marzo estaba considerablemente dañado.

En la Figura 34, podemos apreciar que según la sumatoria manejando la técnica tradicional de atrapanieblas en 1m2 se pudo recolectar agua de niebla, siendo la cabuya la que mayor recolección obtuvo, seguida de polisombra y la cabuya sin y con marco, cada uno recolectó entre 21 lts y 17 lts.

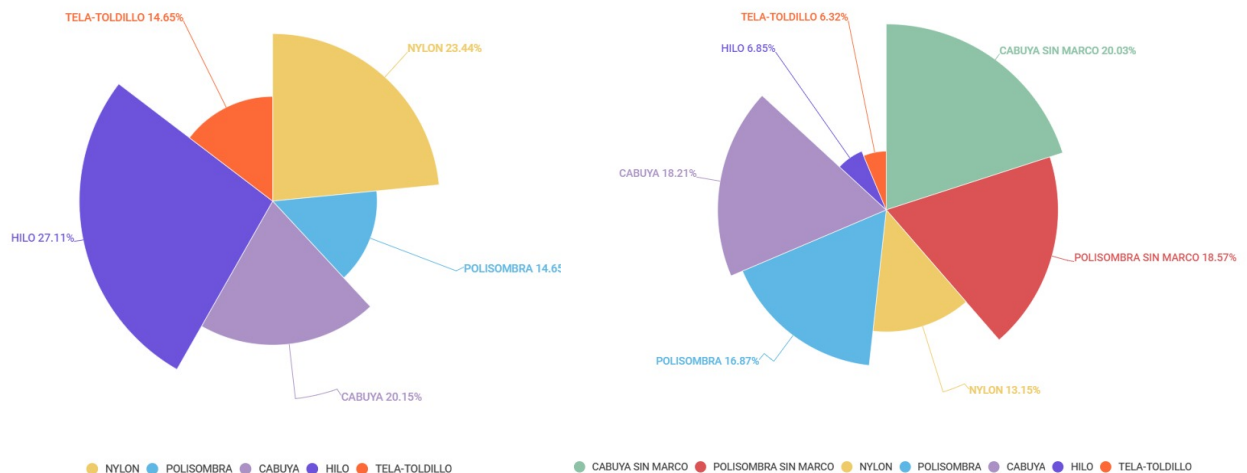
Figura 34. Toma de Muestras, Durante un Mes, Basados en la Tabla 11. Fuente: Elaboración Propia.



Nota: En este gráfico podemos observar el acumulado de la recolección durante el mes de marzo del 2021, la unidad de medida del mismo es ml.

En la Figura 35, podemos observar el comparativo del rendimiento de la prueba 1 y 2, en donde la prueba 1 se comportaron mucho mejor, el hilo y el nylon, mientras que en la prueba 2 se comportó mucho mejor la cabuya y la polisombra, cabe resaltar que en la prueba 2 se modificó la canaleta para la recolección de agua lo que incide de manera positiva.

Figura 35. Comparativo del Rendimiento de los materiales en la Prueba 1 y 2. Fuente: Elaboración Propia.



La recolección de agua se realizaba tomando la medida del agua contenida dentro de las botellas usadas como dispositivo de almacenamiento como podemos observar en la *Figura 36*.

Figura 36. Toma de Muestras Recolección de agua. Fuente: Elaboración Propia.



En este periodo de muestreo se pudo evidenciar que con la nueva canaleta se recogía mayor cantidad de agua, ya que al ser un material metálico con una alta conductividad térmica lograba una menor temperatura y a su vez condensaba agua, además que en días con lluvia aumentaba significativamente la cantidad recolectada, se pudo evidenciar también que el viento era muy fuerte y no permitía que la neblina fuera condensada en los sistemas de recolección, aun así, recogía cantidades mínimas.

Fase 4. Observaciones.

1. Se observó que un sistema de recolección de agua de niebla como el atrapanieblas y el arpa de niebla necesita de una estructura fija que sirva de soporte para las condiciones climáticas del lugar como lo es el viento.
2. Soportar los diferentes tipos de malla en la parte superior e inferior con una guaya nos permite un buen direccionamiento del agua hacia la canal.
3. Materiales como el hilo y el nylon su durabilidad en el tiempo no es la adecuada para ambientes exteriores, ya que al estar expuestos a condiciones de viento tienden a enrollarse y romperse.
4. Materiales como la polisombra y la cabuya muestran un buen rendimiento, además de ser los más constantes.
5. Materiales como la tela de toldillo tienen un comportamiento fluctuante.
6. Se observó que soportar la canaleta a la estructura y con la pendiente adecuada nos permite tener una mejor recolección de agua.
7. El manejo de la canaleta en lámina metálica permitió condensar agua, sin necesidad de la malla.
8. Es importante manejar una manguera o tubo con una buena dimensión que permita una fácil circulación del agua al tanque de almacenamiento.
9. En días donde se presentan precipitaciones se incrementó la recolección de agua, además se evidenció que los materiales que más recolectaron agua de niebla también eran constantes con el agua de lluvia.

Para la prueba 2 se buscó un lugar donde la corriente de viento aumentará la velocidad con la cual chocará la neblina con los elementos utilizados para la evaluación de los materiales, como muestra la *Figura 37*, pero se logró evidenciar que en este lugar la neblina muchas veces no permanecía el tiempo suficiente para que se condense en los materiales evaluados.

Figura 37. Registro Fotográfico Prueba 2. Fuente: Elaboración propia.



Diseño de prototipo recolector de agua de niebla.

De las alternativas existentes para obtener recursos hídricos, la recolección de agua del aire ha sido uno de los sistemas más estudiados en los últimos años, y el sistema más conocido es el Atrapanieblas, una técnica que nos permite captar pequeñas gotas de agua que se encuentran suspendidas en la atmósfera, a través de una malla Raschel que está soportada a una estructura expuesta a las condiciones climáticas del lugar, en la parte inferior cuenta con una canaleta que recibe el agua para luego transportarla por medio de una manguera a un tanque de almacenamiento, (Tan et al., 2019).

Estudios en Filipinas han llegado a la conclusión que aunque la capacidad que tiene la malla para la recolección, es un material que no resiste a fuertes condiciones de clima, (Tan et al., 2019), sin embargo en pruebas realizadas en campo se encontró que la malla polisombra o Raschel y tela toldillo, tienen una alta resistencia y pueden resistir al estar expuestas a la intemperie, pero a su vez requieren como lo hicieron en Marruecos una estructura rígida que no la deje deformar, (Dodson & Bargach, 2015; Shi et al., 2018), algunas alternativas que se encuentran disponibles en nuestro territorio y son de bajo costo pueden ser la malla de gallinero o las mallas plásticas antipájaros, para ser usadas como soporte, pero para nuestro caso se usará una cabuya distribuida a lo largo de la parte superior del prototipo que brinde soporte a la malla propuesta.

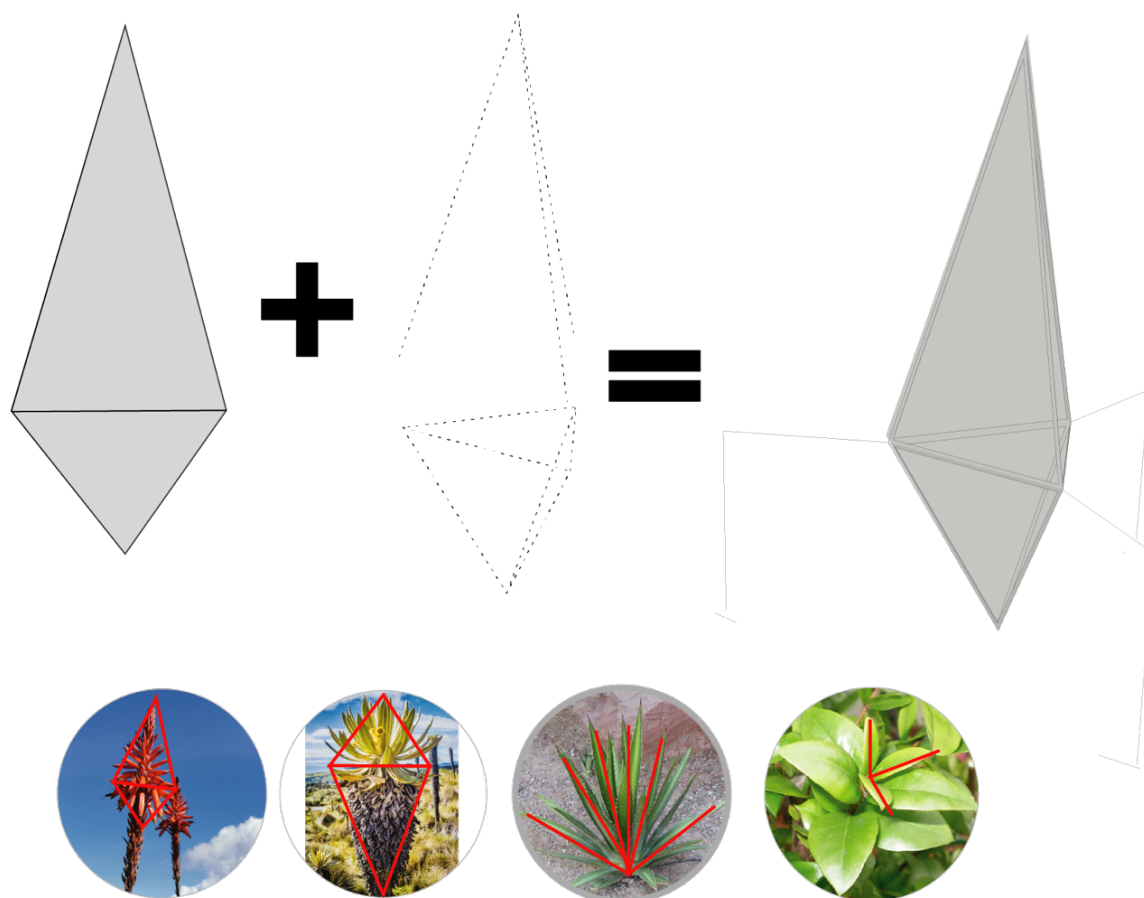
El Arpa de niebla encontrada en la bibliografía, está compuesta por una matriz de alambres de forma vertical enrollado en un tornillo roscado, lo que permite que el drenaje del agua sea más rápido y su eficiencia en la recolección tenga mejores resultados, sin embargo según estudios hechos en Kentland Farm (Blacksburg, VA, EE.UU.) y las pruebas que se han realizado es un sistema eficiente, ha demostrado que en condiciones en que la niebla se encuentra ligera puede recolectar agua mientras que la malla no, (Shi et al., 2018).

Pero los elementos verticales al chocar con la niebla tienden a enredarse, en materiales como el hilo, que aunque tiene gran absorción las gotas de agua son atrapadas, pero quedan suspendidas y tienden a evaporarse, ya que es un material que no permite que las gotas de agua resbalen fácilmente, en materiales como el nylon tiende a ceder y a unirse uno sobre otro en el tornillo, sin embargo, sin importar su comportamiento sigue manejando su misma eficiencia, finalmente, materiales como la cabuya se mantiene muy bien, pues este es enrollado sobre el marco y no tiende a estirarse ni a unirse, permite que las gotas de agua caigan rápidamente y sea eficiente en la recolección.

El desarrollo de este proyecto inspirado en la naturaleza para el diseño del prototipo, a través de la utilización de ángulos, formas y la combinación de materiales buscando emular las características encontradas en la naturaleza, rediseñando a través de la forma la tecnología desarrollada originalmente como los llamados “atrapanieblas”, partiendo de los prototipos previamente estudiados, los materiales con mayor eficiencia en las condiciones propias del municipio de Tuta - Boyacá, se procede al diseño de la forma y su estructura basada en los parámetros anteriormente analizados, respondiendo a los factores meteorológicos de la zona, buscando como referente la naturaleza propia del entorno inmediato.

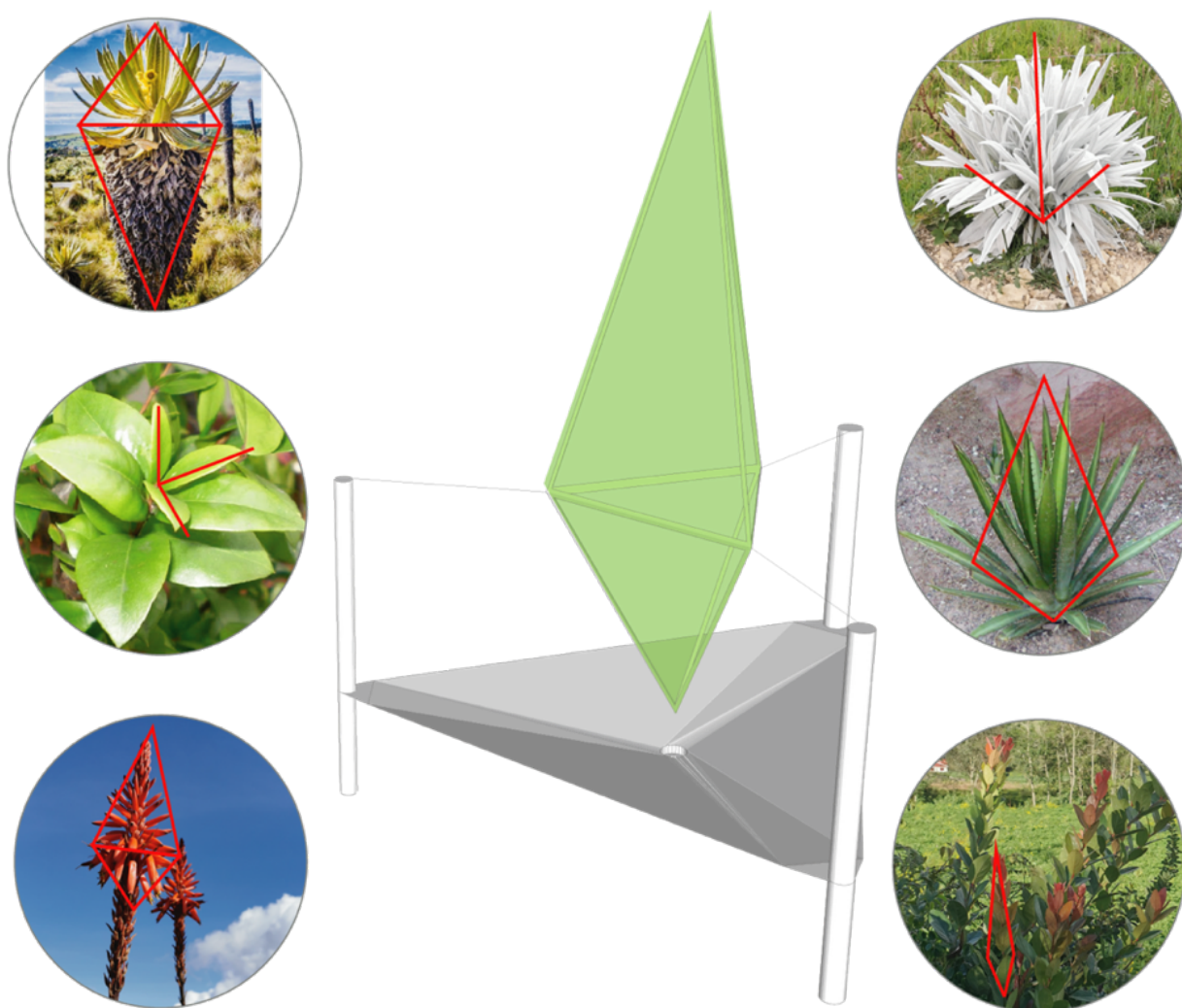
Este diseño está inspirado en las formas que encontramos en la naturaleza *Figura 38*, en especial en las plantas que ubicamos en el departamento de Boyacá, plantas como los frailejones, el fique y los arrayanes, que tienen la capacidad de captar y almacenar la humedad del ambiente. Debido a su forma, esta genera direccionamiento hacia sus raíces, se diseñó una estructura tridimensional, con caras expuestas en diferentes direcciones, lo que nos permitirá tener mayor superficie de captación, la inclinación de sus caras inferiores permitirá que el agua capturada caiga por gravedad hacia el centro de la estructura, y que a su vez gracias a su materialidad condense agua que sirva para aumentar la cantidad recolectada.

Figura 38. Diseño prototipo. Fuente: Elaboración Propia.



Generalmente en los sistemas de recolección se hace uso de una canaleta para el direccionamiento del agua hacia el tanque de almacenamiento, sin embargo en este diseño inspirado en las plantas se buscó manejar la forma que a su vez se integre tanto en la recolección como en el almacenamiento, por este motivo la forma triangular que se maneja en cada una de sus caras que forman un prisma romboidal como se evidencia en *Figura 39*, permite direccionar el agua a la superficie recolectora que terminara transportando el agua al tanque de almacenamiento, esta se encuentra en la parte inferior del sistema de recolección, lo que nos evita tener pérdidas durante la recolección.

Figura 39. Prototipo inspirado en la naturaleza. Fuente: Elaboración Propia.



En la búsqueda de la forma del prototipo inspirada en la naturaleza también se pudo observar que tanto las plantas como los frailejones tienen vellosidades en sus hojas, vellosidad que inciden en la captación del agua, es por esto que en los materiales que se utilizarán en la fabricación del prototipo se hará uso de la guata con el fin de imitar estas vellosidades que contienen las plantas, además de implementar los materiales con mayor eficiencia que se seleccionaron luego de hacer las pruebas de materiales, cabuya y polisombra, en donde se pretende hacer un sandwich con estos tres materiales con el fin de mejorar la eficiencia del prototipo propuesto, *Figura 40*.

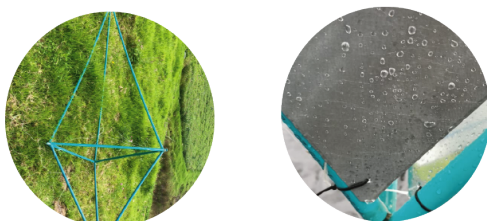
Figura 40. Materiales Prototipo. Fuente: Elaboración Propia.

MALLA ATRAPANIEBLA.

Malla tipo sandwich: Cabuya + Guata + Polisombra.



ESTRUCTURA - LAMINA PARA CONDENSACIÓN.



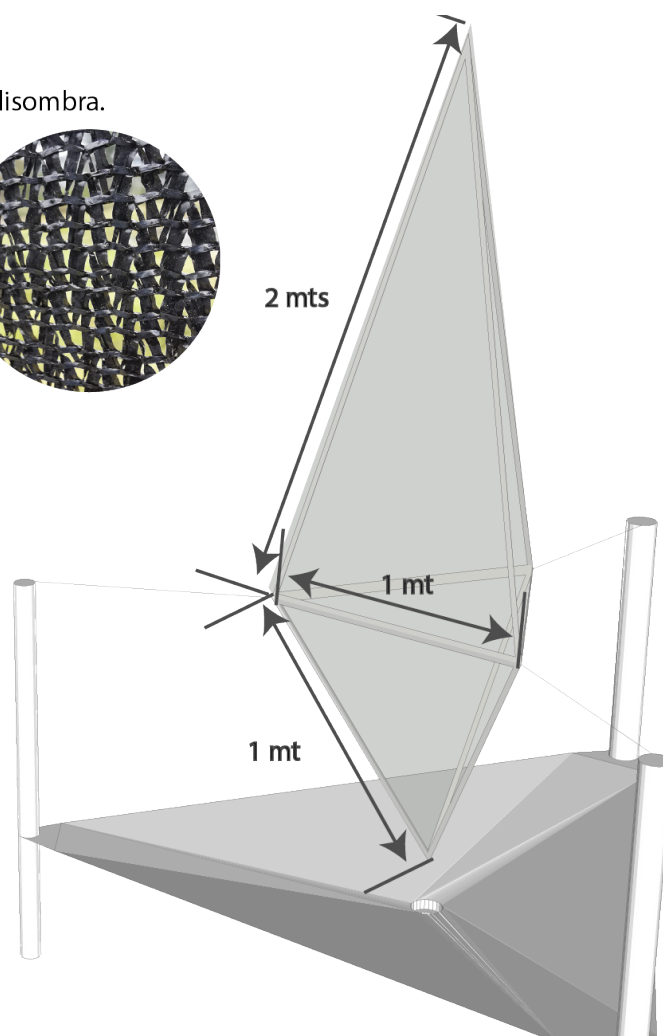
Tubo pvc 1/2 Electrico.

Lámina Metálica.

ALMACENAMIENTO.



Caneca Plástica 60 Lts.

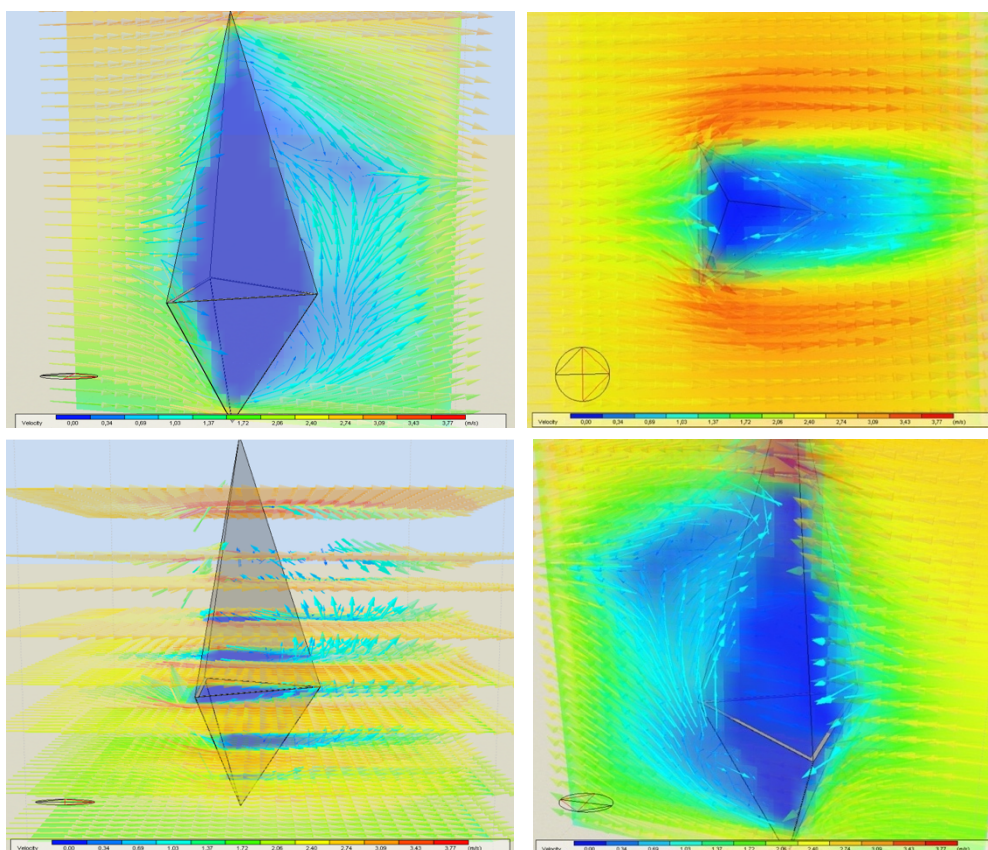


Para captar agua por condensación la parte inferior del prototipo se propone usar el mismo material que se usó como canaleta en las pruebas de los materiales, esta es una lámina metálica que además de permitirnos direccionar el agua captada, esta también cuenta con una alta conductividad térmica, que, al estar expuesta a diferentes condiciones climáticas, también nos permitirá condensar agua. Finalmente, para el almacenamiento del agua captada ya sea de niebla o de agua lluvia se hace uso de plástico para que este direcciona el agua, a una caneca plástica que almacenará el agua recolectada.

CFD Exterior Prototipo.

Para el desarrollo de este prototipo se realizó una simulación con el fin de ver el comportamiento del viento con la forma, en condiciones exteriores, en donde se observó el direccionamiento del viento sobre la estructura y el comportamiento que esta tiene, *Figura 41*. El viento choca sobre las superficies y se envuelve de forma ascendente sobre la forma generando que el viento tenga un mayor recorrido sobre las superficies del prototipo, haciendo que este a su vez tenga una mayor recolección, por esto se decide realizar el prototipo con la forma anteriormente mencionada.

Figura 41. CFD Exterior. Fuente: Elaboración propia en Design Builder.



Construcción e Instalación Prototipo.

En la *Tabla 7*, podemos observar que 1m² por superficie para la recolección de este prototipo tendría un valor de \$ 37.670, que comparativamente con los sistemas tradicionales evaluados en los cuales se evidencia que estos tienen un costo entre \$27.628 hasta \$46.628 en la primera prueba, lo que nos indica que comparativamente tiene un valor m² competitivo con los tradicionales, cabe resaltar que la superficie superior del prototipo es tipo sándwich de tres materiales y la parte inferior son láminas metálicas en forma triangular.

Además de esto podemos analizar que aun cuando este prototipo tiene 4 m² de superficie para la condensación de agua, el mismo no ocupa más de un metro cuadrado de área, lo que lo hace eficiente a la hora de ocupar espacio, sin embargo, para aumentar la cantidad de agua recolectada se usa una superficie hidrofóbica que además de recoger el agua condensada por el prototipo está también recolectar agua lluvia, así lograr captar el total requerido para consumo propio de agua potable por persona con este prototipo, ya que en días de lluvia logró recolectar entre 20 y 35 litros mientras que un día sin lluvia recogió entre 6 y 9 litros.

Cabe mencionar que la superficie que recolecta el agua tiene un área de 4 m², materiales como los postes de madera para la estructura no se tuvieron en cuenta, ya que estos no los provee este lugar, además de ser reutilizados los que se usaron en las anteriores pruebas; el tanque o caneca de almacenamiento no necesariamente debe ser un tanque, se puede hacer uso de botellones de agua, garrafones, botellas plásticas, baldes, etc., que garanticen almacenar por lo menos la cantidad necesaria para una semana, ya que en días con presencia de lluvias se puede suplir los requerimientos de agua con días de baja recolección, este es un prototipo que se puede fabricar con materiales reciclados en cuanto a su estructura y fabricación, lo único que es importante seguir manejando es la malla tipo sándwich que nos dará la garantía de que captará el agua.

Tabla 7. Materiales y Costos Prototipo.

MATERIAL.	VALOR UNITARIO.	CANTIDADES.	TOTAL.
POLISOMBRA	\$6.000	1	\$6.000
GUATA	\$7.000	1	\$7.000
CABUYA	\$3.500	1	\$3.500
TUBO PVC ½"	\$5.000	4	\$20.000
LAMINA METALICA	\$29.000	3	\$87.000
AMARRADERAS PLASTICA	\$2.500	1	\$2.500
PLASTICO	\$1.266	2	\$2.532
CANECA PLASTICA	\$20.000	1	\$20.000
GUAYA	\$450	3	\$1.350
GRAPAS	\$800	1	\$800
		TOTAL	\$150.682

De acuerdo a la evaluación de los materiales anteriormente estudiados, en la prueba 1 y 2, se observó que en los lugares donde la velocidad de viento era constante no permitía que la niebla se condensa al chocar con los elementos del atrapanieblas, por esta razón se toma la decisión de construir el prototipo en el primer lugar de prueba.

Para la instalación y fabricación del prototipo *Tabla 8*, se procede a armar la estructura del prototipo, esta se elaboró con tubo PVC de ½" eléctrico, en la parte superior con una medida de 2mts y en la inferior de 1,1 mts y en su interior de 1,1 mts; en la parte inferior del prototipo se aseguraron las láminas metálicas con la ayuda amarres plásticos, posteriormente se colocó la cabuya en forma vertical cruzándose entre sí generando una malla que a su vez le daría el soporte a la guata, para finalmente colocar la malla de polisombra, formando así un sándwich de estos tres materiales, una vez fabricado el prototipo se procede armar la estructura que soportara el mismo, para esto se utilizarán 3 postes de 2 mts, que se distribuirán de forma triangular y se enterraran a 50 cms, con la ayuda de una guaya metálica se sujetarán los tres extremos del prototipo con el fin de que este quede suspendido en el aire,

finalmente se sujeta el plástico a los postes y se genera una inclinación la cual nos permitirá que el agua captada se desplace al lugar de almacenamiento final, en este caso una caneca plástica.

Tabla 8. Construcción prototipo. Fuente: Elaboración propia.

CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO.



A continuación, se puede apreciar el prototipo final instalado, a una escala real *Figura 42*.

Figura 42. Prototipo. Fuente: Elaboración Propia.

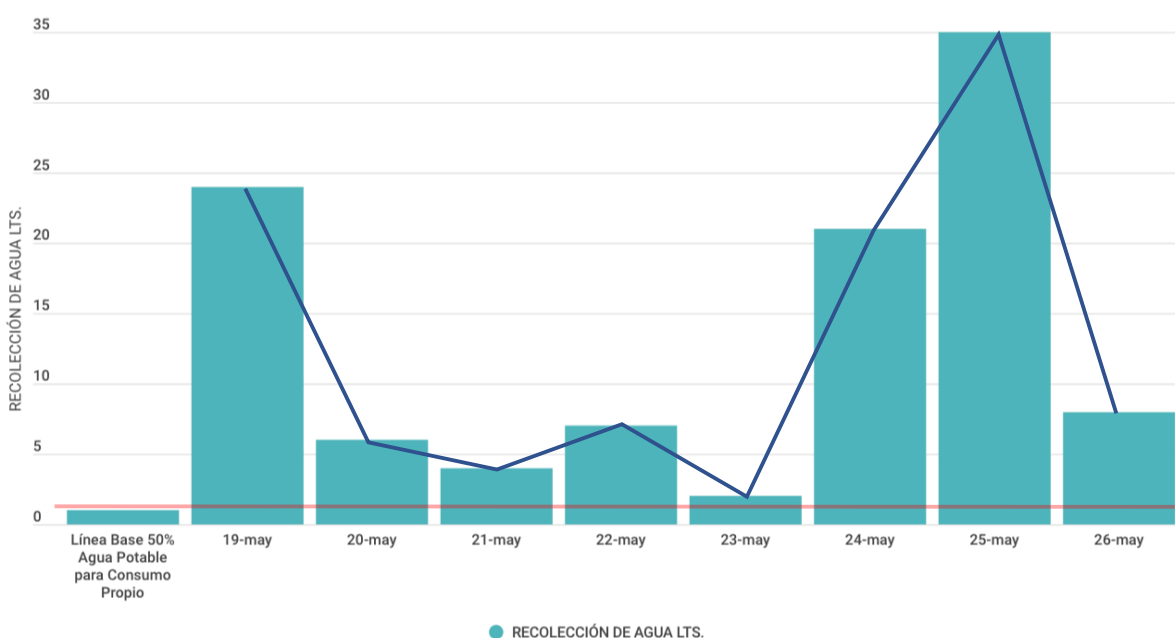


Toma de muestras, recolección y eficiencia del Prototipo Final.

Esta prueba se realizó durante una semana, en la *Figura 43*, se observan los datos recolectados durante estos días, esto con el fin de saber el rendimiento del prototipo, lo cual nos demostró que la malla tipo sándwich presentó un buen comportamiento, aumentó considerablemente la cantidad de agua recolectada, ya que esta semana se logró recolectar un total de 110,25 litros, lo que nos lleva a un promedio diario de 13,78 litros, cabe resaltar que se presentaron tres días con lluvias, el mínimo recolectado durante este periodo fue de 2,5 litros, lo que garantiza que en el día crítico se puede brindar el 64% del agua potable necesaria para el consumo propio de una persona, sin embargo, si revisamos el promedio de este periodo, se puede atender el total del agua potable necesaria para el consumo propio de una vivienda de 3 personas en clima frío en el municipio de Tuta Boyacá.

Es importante tener en cuenta que esta prueba se realizó en medio de dos represas, es decir, en un escenario ideal, gracias a la presencia de neblina altamente cargada de pequeñas partículas de agua, formada por la cercanía a estos cuerpos de agua, es decir que para que la evaluación de este prototipo sea concluyente se debe realizar en otros escenarios con otras características.

Figura 43. Recolección de Agua del Prototipo. Fuente: Elaboración Propia.



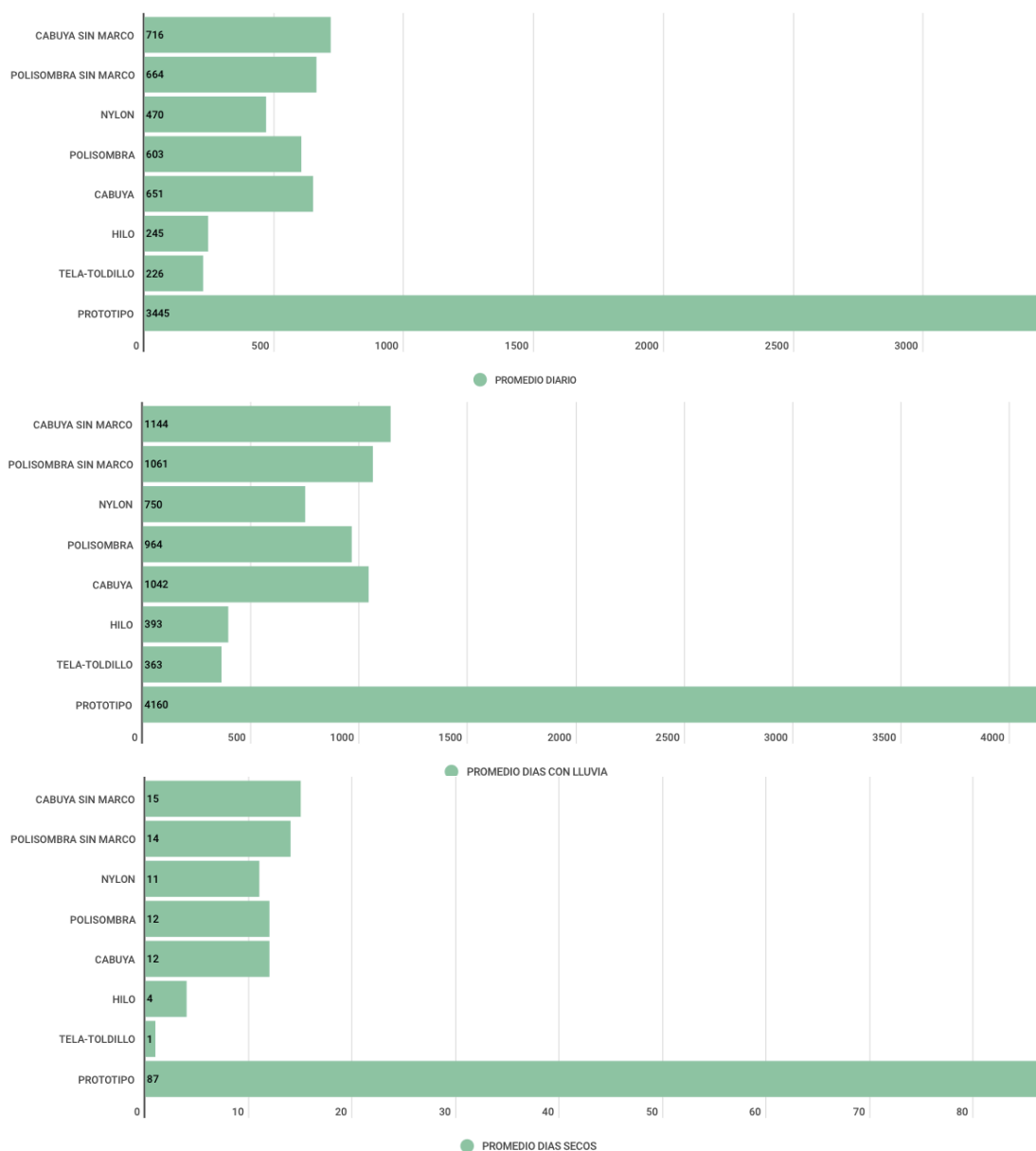
Resultados.

El resultado de esta investigación es la propuesta del diseño de un prototipo de recolección de agua de niebla para zonas rurales de Tuta - Boyacá, el cual según datos obtenidos brinda más del 50% del agua potable para consumo propio diario para una persona, gracias a investigaciones en las que abordaban el tema se logró identificar y conocer los diferentes métodos y sistemas de recolección de agua de niebla que existen actualmente y que se han desarrollado e implementado en zonas apartadas.

El desarrollo de los dos sistemas que se estudiaron, el atrapanieblas y el arpa de niebla nos permitieron conocer las características de los materiales, la facilidad para su fabricación, el acceso que se tiene a cada uno de ellos en el municipio de Tuta – Boyacá, para la elaboración de un prototipo, además a partir de la evaluación de cada uno de estos materiales, se pudo observar su resistencia, absorción y captación de agua, logrando determinar cuál tiene mayor rendimiento en este contexto, buscando siempre que el modelo propuesto sea de bajo costo comparándolo con los modelos encontrados en la investigación.

Se logró observar que el rendimiento por metro cuadrado de los prototipos usados para la prueba y el prototipo final tienen grandes diferencias, siendo el prototipo final mucho más eficiente en las pruebas en sitio, además se logra evidenciar que la forma tiene gran influencia, se nota que se logra un rendimiento hasta de un 400% por encima del promedio de los otros prototipos, como se logra evidenciar en la Figura 44, se superó el objetivo trazado del 50%, cabe resaltar que el prototipo solo pudo ser evaluado en temporada de lluvia y requiere un muestreo más grande para definir si a lo largo del año continúa recolectando esta cantidad de agua.

Figura 44. Comparativo m2 prototipos. Fuente: Elaboración propia.



Durante la investigación se observó como las precipitaciones en la toma de muestras generan un aumento considerable en la cantidad de agua captada en estos sistemas, debido a que logran captar la lluvia y aumentar el rendimiento en más de un 75%, por eso es pertinente que el sistema tenga una mayor capacidad para captar aguas lluvias, esto con el fin de lograr aumentar la cantidad de agua recolectada con el prototipo, y así garantice que este cumpla con su función.

Proponer este tipo de alternativas en lugares donde no tienen fácil acceso a este recurso que es fuente de vida para los seres humanos nos permite brindar una solución a la demanda de agua potable en lugares apartados en las zonas rurales.

Este proyecto más que buscar dar un prototipo definitivo para estas zonas, sirvió para evaluar diferentes materiales para la captación de agua a partir de niebla en este contexto, sin necesidad de una alta inversión, sin sacrificar su permanencia en el tiempo, ni rendimiento, esto claramente con el fin de que a futuro este prototipo sea replicable, siendo parte de un emprendimiento en el cual se desarrolle aún más el prototipo haciéndolo de fácil montaje y producción, de manera tal que se pueda dar una solución a esta problemática a la mayor cantidad de personas posible.

A su vez este proyecto busca generar en las personas preguntas en cuanto al agua potable, como se logra captar mediante la condensación, la calidad que se puede obtener mediante estos métodos y cómo esto puede mejorar la vida de quienes residen en estas zonas apartadas y muchas veces parecen olvidadas, y en cierta manera quienes demandan nuestro compromiso como profesionales a cargo del diseño de las viviendas y las condiciones óptimas para habitar en ellas.

Niveles de maduración.

Se puede definir los niveles de maduración como las etapas en las que se avanza en el desarrollo de un prototipo en este caso se logró llegar al nivel 3 completamente como observamos en la *Tabla 9*.

Tabla 9. Niveles de Maduración Unión Europea. Fuente: Elaboración propia, basada en (Ibáñez de Aldecoa Quintana, n.d.) .

NIVELES DE MADURACIÓN		
TECNOLOGIA DISPONIBLE EN ENTORNO REAL MAXIMA DISPONIBILIDAD.	9	INNOVACIÓN
TECNOLOGIA VALIDADA Y CERTIFICADA EN ENTORNO REAL	8	
TECNOLOGIA VALIDADA EN ENTORNO REAL	7	
TECNOLOGIA VALIDADA EN ENTORNO RELEVANTE	6	DESARROLLO.
COMPONENTES VALIDADOS EN ENTORNO RELEVANTE	5	
COMPONENTES VALIDADOS EN LABORATORIO	4	INVESTIGACIÓN
PRUEBA DE CONCEPTO	3	
CONCEPTO O TECNOLOGIA	2	
IDEA BASICA	1	

Nivel 1.

Como idea básica se concibe el aprovisionamiento de agua para las comunidades más apartadas caso de estudio Tuta-Boyacá, se busca dar una posibilidad a las personas que viven con esta

problemática, ya que en gran medida por el difícil acceso a servicios básicos debido a las largas distancias no es viable económicamente las instalaciones de un acueducto para quienes más lo requieren, pero se encuentran apartados.

Nivel 2.

En la investigación realizada buscando brindar una oportunidad se pudo observar que en los lugares que hay más difícil acceso se ha implementado hace muchos años la tecnología que se conoce como atrapanieblas, y una que tiene poco tiempo en comparación es el arpa de niebla, estos conceptos se enfocan especialmente en la recolección de agua que se encuentra en el aire, y de esta manera poder satisfacer las necesidades de diferentes comunidades, especialmente en Perú y Chile se ha estudiado por más de veinte años el atrapanieblas, así como el desarrollo del arpa de niebla en laboratorios de Estados Unidos y como aumentar su eficiencia.

Nivel 3.

Se probaron estas tecnologías mediante la evaluación de su materialidad en el entorno real, para este fin se utilizaron dos lugares con características diferentes, como lo fue la parte alta de la montaña y la otra cerca de una vivienda en medio de dos represas, con coordenadas y a una altura totalmente diferente, así como sus condiciones de viento y vegetación cercana, con lo que se logró evidenciar que aunque afectaba su estructura y la estabilidad de la misma en ambos lugares se pudo recolectar agua a partir de niebla.

Niveles de madurez tecnológica - Colciencias.

Tabla 10. Niveles de madurez tecnológica – Colciencias. Fuente: Elaboración propia, basada en (COLCIENCIAS, 2016).

Actividades de I+D+i	TLR	
INNOVACIÓN	Despliegue del desarrollo	9
	Desarrollo completo y certificado	8
DESARROLLO TECNOLÓGICO	Demostración del desarrollo en entorno real	7
	Demostración del desarrollo en entorno pertinente	6
	Validación del desarrollo en entorno pertinente	5
INVESTIGACIÓN APLICADA	Validación del desarrollo en entorno laboratorio	4
	Prueba experimental del concepto	3
INVESTIGACIÓN BÁSICA	Formulación del concepto	2
	Observación de los principios básicos	1

Luego de terminar la revisión bibliográfica para encontrar las mejores prácticas que permitieran aumentar la recolección y de superar las etapas anteriores, la simulación de materiales de manera individual y encontrar cuál funcionaba mejor en este entorno, se buscó desde el diseño innovar y crear una forma inspirada en la naturaleza propia del lugar, simplificando sus formas para que estas fueran el eje central para el diseño, a su vez validar que variables permitían o aumentaban la eficiencia, se procede a elaborar un prototipo en escala real y ubicarlo para ser evaluado.

Conclusiones.

Al diseñar un prototipo que pueda brindar la cantidad de agua necesaria para el consumo propio, se encontró que para las características propias del municipio de Tuta se debía buscar el balance entre la recolección de agua de niebla y agua de lluvia.

A partir del análisis realizado en la investigación se llegó a la conclusión que las alternativas que se brinden para personas que habitan en zonas alejadas deben responder a tres características fundamentales, estas son la durabilidad en el tiempo, su bajo costo y mínimo mantenimiento, con el fin de garantizar en el tiempo agua potable, esto a través de la propuesta de diseño de un prototipo con las características anteriormente descritas.

Se identificó que en Colombia y el mundo se han desarrollado diferentes métodos para la recolección de agua niebla y lluvia, cada vez más desarrollados en su materialidad y forma, como lo son el Atrapaniebla, el Arpa de niebla, Warka Water, Nebulón y Cloudbuster, estos a su vez sirvieron como inspiración para el diseño de este prototipo.

Se encontró que en Boyacá hay materiales similares a los utilizados en los atrapanieblas en diferentes partes del mundo, aunque para el arpa de niebla se tuvo que utilizar un material como la cabuya para reemplazar los alambres que sirven para este fin, de todos los materiales encontrados y evaluados se vio que la polisombra, guata y la cabuya, fueron los que presentaron mayor rendimiento y por esta razón se seleccionaron para el prototipo.

El prototipo brinda una alternativa clara a los largos desplazamientos y al uso de represas contaminadas, ya que gran parte del municipio de Tuta ha tenido que abastecerse de agua de esta manera, y además de brindar alternativas también garantiza la calidad de la misma.

Se encontró que una de las formas en las que podemos dar soluciones a la problemática y mejorar las dinámicas sociales para el acceso a agua potable a comunidades apartadas, es el uso de nuevos sistemas que cumplen la función de captar agua de la atmósfera.

Se logra evidenciar que sistemas como el atrapanieblas, maneja una forma plana que requiere grandes áreas, sin embargo es un sistema que ha logrado una eficiencia a la hora de captar agua, mientras que el arpa de niebla, es un sistema que gracias a la ubicación de elementos verticales permite que las gotas de agua caigan por gravedad más rápido y de igual manera sean altamente eficientes, muchas de estas han tenido un alto desarrollo tecnológico en su materialidad haciéndolas costosas, es por esto que el prototipo tiene especial validez al buscar hacer un prototipo con similar eficiencia, pero que no sea de un alto costo.

El prototipo propuesto, no solo responde a la capacidad para recolectar agua sino también no ocupa demasiado espacio, debido a que este es utilizado para el desarrollo de sus actividades económicas diarias, también en algunos casos el espacio es utilizado para la obtención de su propio alimento, como resultados de lo anterior se diseña un prototipo que no ocupa más de 1m² y que a su vez suple el 50% del agua potable para consumo propio de una persona.

La innovación en el diseño de un prototipo de recolección de agua de niebla nos permite hacer más eficiente estos sistemas, su forma, geometría, su construcción y materiales fáciles de adquirir, hace que sean más las personas que puedan ser beneficiadas, puesto que no solo les va a prestar un servicio, sino que estos sistemas se convierten en parte del entorno, de su arquitectura, un prototipo económico y en los cuales la comunidad podrá obtener mucho más que agua.

En una futura investigación se buscará evaluar este prototipo en otras condiciones climatológicas y geográficas, con el fin de poder evidenciar el comportamiento del mismo en diferentes escenarios, sin embargo, según las investigación, este prototipo tendrá un rendimiento similar en

diversos municipios que cuenten con contextos similares a las de Tuta – Boyacá, en la revisión bibliográfica se encontró que estos prototipos tienen mayor rendimiento en zonas costeras y en regiones desérticas, pero para confirmar esto se requiere de un estudio a profundidad en estas condiciones, por ende se buscará la implementación de nuevos materiales en la parte inferior del prototipo para la recolección del agua, tales como la lámina de policarbonato o la lámina metálica y un filtro que permita garantizar la calidad del agua para estas comunidades, así mismo como el costo de estos prototipos para su comercialización.

Citas y referencias bibliográficas.

- An, Q., Wang, J., Zhao, F., & Wang, L. (2020). Fog collection on a superhydrophobic/hydrophilic composite spine surface. *RSC Advances*, 10(16). <https://doi.org/10.1039/D0RA00239A>
- Resolución 64/292 - El derecho humano al agua y el saneamiento., Pub. L. No. Resolución 64/292, ONU 1 (2010). https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S
- Resolución 18/1 - El derecho humano al agua potable y el saneamiento., Pub. L. No. Resolución 18/1, ONU (2011). https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/HRC/RES/18/1&Lang=S
- ASIR-SABA. (2019, February 6). *La realidad del acceso al agua en zonas rurales de Colombia*. ASIR-SABA. <https://asirsaba.com.co/2019/02/la-realidad-del-acceso-al-agua-en-zonas-rurales-de-colombia/>
- Azeem, M., Guérin, A., Dumais, T., Caminos, L., Goldstein, R. E., Pesci, A. I., de Dios Rivera, J., Torres, M. J., Wiener, J., Campos, J. L., & Dumais, J. (2020). Optimal Design of Multilayer Fog Collectors. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(6). <https://doi.org/10.1021/acsami.9b19727>
- Brown, P. S., & Bhushan, B. (2016). Bioinspired materials for water supply and management: water collection, water purification and separation of water from oil. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2073). <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0135>
- Carrera-Villacrés, D. v., Robalino, I. C., Rodríguez, F. F., Sandoval, W. R., Hidalgo, D. L., & Toulkeridis, T. (2017). An Innovative Fog Catcher System Applied in the Andean Communities of Ecuador. *Transactions of the ASABE*, 60(6). <https://doi.org/10.13031/trans.12368>

Chacón M, G., Lizcano, I., & Aspillá Lara, Y. (2011). Consumo básico de agua potable en Colombia.

Tecnogestión: Una Mirada al Ambiente., 8(1), 14–23.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/4379>

Chakrabarti, U., Paoli, R., Chatterjee, S., & Megaridis, C. M. (2019). Importance of Body Stance in

Fog Droplet Collection by the Namib Desert Beetle. *Biomimetics*, 4(3).

<https://doi.org/10.3390/biomimetics4030059>

COLCIENCIAS. (2016). *ANEXO 13 NIVELES DE MADUREZ TECNOLÓGICA*.

<https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo-13-niveles-madurez-tecnologica-conv.pdf>

DANE. (2020). *Demografía y población Tuta, Boyacá*. [https://terridata.dnp.gov.co/index-](https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/15837)

[app.html#/perfiles/15837](https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/15837)

Dodson, L. L., & Bargach, J. (2015). Harvesting Fresh Water from Fog in Rural Morocco: Research

and Impact Dar Si Hmad's Fogwater Project in Aït Baamrane. *Procedia Engineering*, 107.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.073>

Echeverría, P., Domínguez, Ch., Villacís, M., & Violette, S. (2020). Fog harvesting potential for

domestic rural use and irrigation in San Cristobal Island, Galapagos, Ecuador. *Cuadernos de*

Investigación Geográfica, 46(2). <https://doi.org/10.18172/cig.4382>

Ferwati, M. S. (2019). Water harvesting cube. *SN Applied Sciences*, 1(7).

<https://doi.org/10.1007/s42452-019-0730-y>

Franco, J. T. (2014, April 10). *Proyecto WARKA: Torres de bambú que recogen agua potable del aire*.

Archdaily. <https://www.archdaily.co/co/02-351457/proyecto-warka-torres-de-bambu-que-recogen-agua-potable-desde-el-aire>

Gómez Romero, I. C. (2018). *Diseño y construcción de un dispositivo recolector de agua a través de*

la niebla. <http://hdl.handle.net/1992/40129>

- Ibáñez de Aldecoa Quintana, J. M. (n.d.). *NIVELES DE MADUREZ DE LA TECNOLOGÍA TECHNOLOGY READINESS LEVELS.TRLS*. 165–170. Retrieved May 23, 2021, from <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/393/NOTAS.pdf>
- Jarimi, H., Powell, R., & Riffat, S. (2020). Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(2). <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz072>
- Jia, Z., Zuo, Z., & Liu, S. (2020). Effect of the Angle of the Crossed Fibres of a Fog Harvester on its Collection Efficiency. *Journal of Physics: Conference Series*, 1600. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1600/1/012085>
- Jura-Morawiec, J., & Marcinkiewicz, J. (2020). Wettability, water absorption and water storage in rosette leaves of the dragon tree (*Dracaena draco* L.). *Planta*, 252(2). <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03433-y>
- Knapczyk-Korczak, J., Szewczyk, P. K., Ura, D. P., Bailey, R. J., Bilotti, E., & Stachewicz, U. (2020). Improving water harvesting efficiency of fog collectors with electrospun random and aligned Polyvinylidene fluoride (PVDF) fibers. *Sustainable Materials and Technologies*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00191>
- LafargeHolcim Foundation. (2010, November 1). *Coastal fog-harvesting tower, Huasco, Chile*. LafargeHolcim Foundation. <https://www.lafargeholcim-foundation.org/media/news/projects/coastal-fog-harvesting-tower-huasco-chile>
- Li, X., Yang, Y., Liu, L., Chen, Y., Chu, M., Sun, H., Shan, W., & Chen, Y. (2020). 3D-Printed Cactus-Inspired Spine Structures for Highly Efficient Water Collection. *Advanced Materials Interfaces*, 7(3). <https://doi.org/10.1002/admi.201901752>

- Marsh, A. (2018, June 6). *Data View 2D*. AndrewMarsh. <http://andrewmarsh.com/software/data-view2d-web/>
- Marzol-Jaén, M. v., Bruijnzeel, L. A., Scatena, F. N., & Hamilton, L. S. (n.d.). Historical background of fog water collection studies in the Canary Islands. In *Tropical Montane Cloud Forests*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511778384.039>
- Nørgaard, T., Ebner, M., & Dacke, M. (2012). Animal or Plant: Which Is the Better Fog Water Collector? *PLoS ONE*, 7(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034603>
- ONU. (2019). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. ODS. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- ONU. (2020). *El derecho al agua*. ONU. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Qadir, M., Jiménez, G., Farnum, R., Dodson, L., & Smakhtin, V. (2018). Fog Water Collection: Challenges beyond Technology. *Water*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/w10040372>
- Roth-Nebelsick, A., Ebner, M., Miranda, T., Gottschalk, V., Voigt, D., Gorb, S., Stegmaier, T., Sarsour, J., Linke, M., & Konrad, W. (2012). Leaf surface structures enable the endemic Namib desert grass *Stipagrostis sabulicola* to irrigate itself with fog water. *Journal of The Royal Society Interface*, 9(73). <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0847>
- Santana, M. del C., Bonilla Tovar, J. F., & Castillo Sotomayor, C. A. (2015). *RANGO DE CONSUMO BÁSICO*. https://www.cra.gov.co/documents/Documento_de_Trabajo_y_Participacion_Ciudadana_750.pdf
- Shahrokhian, A., Feng, J., & King, H. (2020). Surface morphology enhances deposition efficiency in biomimetic, wind-driven fog collection. *Journal of The Royal Society Interface*, 17(166). <https://doi.org/10.1098/rsif.2020.0038>

Sharifvaghefi, S., & Kazerooni, H. (2021). Fog harvesting: combination and comparison of different methods to maximize the collection efficiency. *SN Applied Sciences*, 3(4).

<https://doi.org/10.1007/s42452-021-04518-3>

Sharma, V., Yiannacou, K., Karjalainen, M., Lahtonen, K., Valden, M., & Sariola, V. (2019). Large-scale efficient water harvesting using bioinspired micro-patterned copper oxide nanoneedle surfaces and guided droplet transport. *Nanoscale Advances*, 1(10).

<https://doi.org/10.1039/C9NA00405J>

Shi, W., Anderson, M. J., Tulkoff, J. B., Kennedy, B. S., & Boreyko, J. B. (2018). Fog Harvesting with Harps. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10(14). <https://doi.org/10.1021/acsami.7b17488>

Shi, W., de Koninck, L. H., Hart, B. J., Kowalski, N. G., Fugaro, A. P., van der Sloot, T. W., Ott, R. S., Kennedy, B. S., & Boreyko, J. B. (2020). Harps under Heavy Fog Conditions: Superior to Meshes but Prone to Tangling. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(42).

<https://doi.org/10.1021/acsami.0c12329>

Shi, W., van der Sloot, T. W., Hart, B. J., Kennedy, B. S., & Boreyko, J. B. (2020). Harps Enable Water Harvesting under Light Fog Conditions. *Advanced Sustainable Systems*, 4(6).

<https://doi.org/10.1002/adsu.202000040>

Song, Y., Liu, Y., Jiang, H., Li, S., Kaya, C., Stegmaier, T., Han, Z., & Ren, L. (2017). Bioinspired Fabrication of one dimensional graphene fiber with collection of droplets application.

Scientific Reports, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12238-1>

SUPERINTENDENCIA DELEGADA PARA ACUEDUCTO ALCANTARILLADO Y ASEO. (2017).

EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS DEL MUNICIPIO DE TUTA.

[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Acueducto%2C%20alcantarillado%](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Acueducto%2C%20alcantarillado%20y%20aseo.pdf)

20y%20aseo/Pequeños%20prestadores/2018/Sep/evaluacionintegraldeprestadorestutaparaimprimir.pdf

Tan, F. J., Estanislao, M. A. P., Gregorio, A. M. A., & Navea, I. J. D. (2019). The potential of fog harvesting in tropical highlands as an alternative water resource: the case of Atok, Benguet, Philippines. *E3S Web of Conferences*, 117. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911700007>

Anexos.

Figura 45. Registro Fotográfico.





Tabla 11. Toma de muestras de agua Prueba 1. Fuente: Elaboración Propia.

	DIA	MATERIAL	NYLON	CABUYA	HILO	POLISOMBR A	TELA TOLDILLO
1	9-feb	CANTIDAD ml	2	10	1	6	1
2	10-feb	CANTIDAD ml	128	218	294	372	131
3	11-feb	CANTIDAD ml	11	72	23	43	71
4	12-feb	CANTIDAD ml	2	2	2	2	2
5	13-feb	CANTIDAD ml	2	2	2	2	2
6	14-feb	CANTIDAD ml	139	177	106	110	78
7	15-feb	CANTIDAD ml	12	35	11	57	34
8	16-feb	CANTIDAD ml	3	3	3	3	3
TOTAL			299	519	442	595	322
PROMEDIO DIARIO			37,375	64,875	55,25	74,375	40,25

Figura 46. Registro Fotográfico Bitácora Prueba 1. Fuente: Elaboración Propia.



Tabla 12. Toma de muestras de agua Prueba 2. Fuente: Elaboración Propia.

	DIA	MATERIAL	CABUYA SIN MARCO	POLISOMBRA SIN MARCO	NYLON	POLISOMBRA	CABUYA	HILO	TELA TOLDILLO
1	20-feb	CANTIDAD ml	55	46	45	36	35	7	3
2	21-feb	CANTIDAD ml	5	4	2	2	2	1	1
3	22-feb	CANTIDAD ml	3	3	3	3	3	3	3
4	23-feb	CANTIDAD ml	0	0	0	0	0	0	0
5	24-feb	CANTIDAD ml	2	2	2	2	2	0	1
6	25-feb	CANTIDAD ml	5	7	5	6	4	3	3
7	26-feb	CANTIDAD ml	31	26	11	27	22	8	4
8	27-feb	CANTIDAD ml	7	9	5	6	5	2	1
9	28-feb	CANTIDAD ml	5	5	5	0	5	0	0
10	1-mar	CANTIDAD ml	0	0	0	0	0	0	0
11	2-mar	CANTIDAD ml	57	54	50	53	56	23	5
12	3-mar	CANTIDAD ml	800	710	40	746	760	260	0
13	4-mar	CANTIDAD ml	700	950	745	815	750	350	180
14	5-mar	CANTIDAD ml	818	1169	633	0	778	232	0
15	6-mar	CANTIDAD ml	628	644	497	712	581	313	105
16	7-mar	CANTIDAD ml	846	890	420	836	622	298	180
17	8-mar	CANTIDAD ml	1020	0	1000	1300	1100	400	390
18	9-mar	CANTIDAD ml	990	1222	855	1230	894	353	195
19	10-mar	CANTIDAD ml	260	270	290	300	245	56	85
20	11-mar	CANTIDAD ml	1530	330	1205	1450	1500	460	187
21	12-mar	CANTIDAD ml	930	1035	725	715	535	310	190
22	13-mar	CANTIDAD ml	650	795	0	720	448	83	55
23	14-mar	CANTIDAD ml	1410	600	1235	1570	1480	295	200
24	15-mar	CANTIDAD ml	1700	1650	1600	1715	1620	560	270
25	16-mar	CANTIDAD ml	810	1554	1090	1310	1200	330	160
26	17-mar	CANTIDAD ml	1615	1650	600	1600	1700	1450	1200
27	18-mar	CANTIDAD ml	1500	1400	520	1200	1510	50	0
28	19-mar	CANTIDAD ml	1200	1240	700	1150	1190	1030	650
29	20-mar	CANTIDAD ml	3200	3000	1350	0	1850	250	2500
TOTAL			20777	19265	13633	17504	18897	7127	6568
PROMEDIO			716,45	664,31	470,10	603,59	651,62	245,76	226,48
PROMEDIO DÍAS SECOS			15,45	14,18	11,64	12,27	12,18	4,27	1,91
PROMEDIO DÍAS CON LLUVIA			1144,83	1061,61	750,28	964,94	1042,39	393,33	363,72

Figura 47. Registro Fotográfico Bitácora Prueba 2. Fuente: Elaboración Propia.



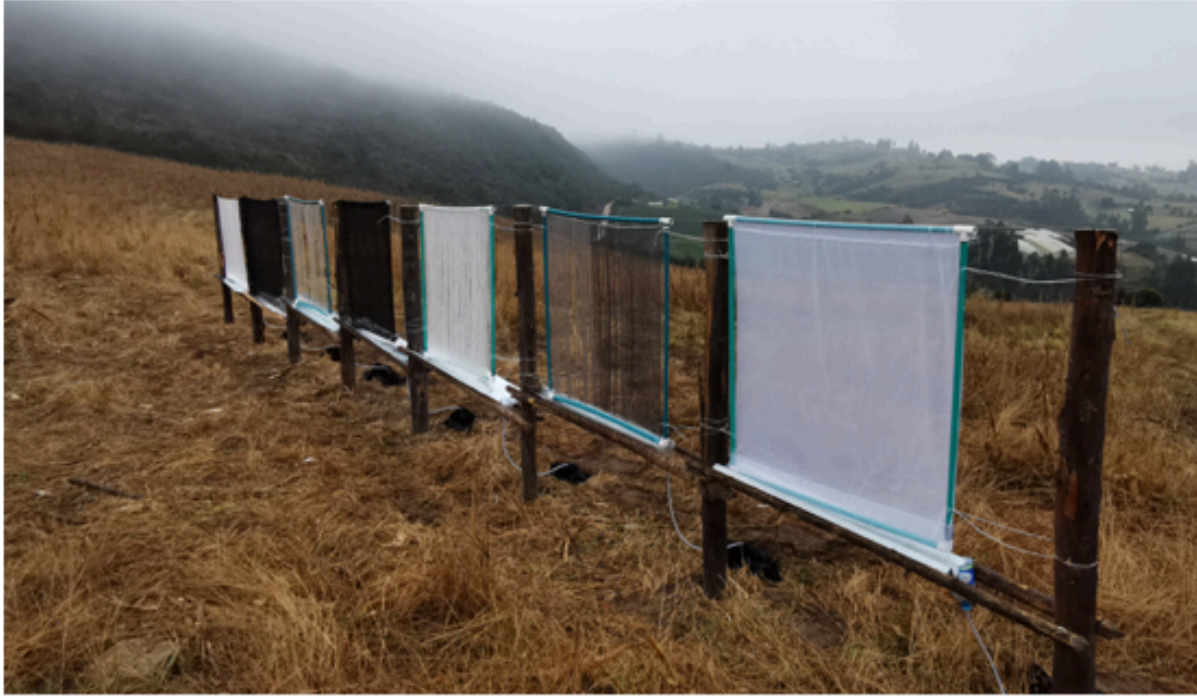


Tabla 13. Toma de muestras de agua Prototipo Final. Fuente: Elaboración Propia.

	DÍA	RECOLECCIÓN DE AGUA LTS.
1	19-may	24,3
2	20-may	6,8
3	21-may	4,9
4	22-may	7
5	23-may	2,5
6	24-may	21,2
7	25-may	35,1
8	26-may	8,45
	TOTAL	110,25
	PROMEDIO DIARIO	13,781
	PROMEDIO DIAS SECOS	11,850
	PROMEDIO DIAS CON LLUVIA	17,142

Figura 48. Vista Planta. Fuente: Elaboración propia.

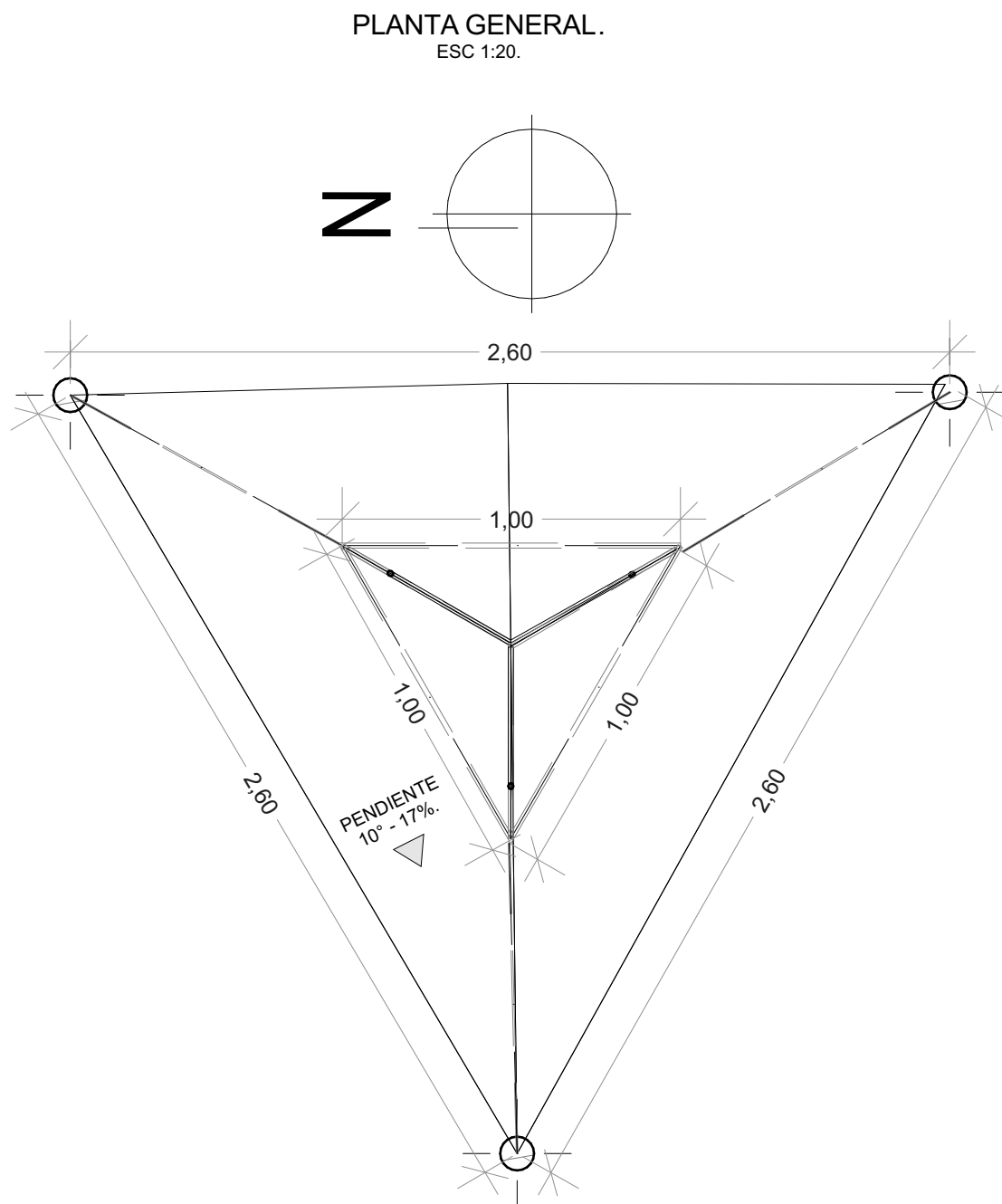


Figura 49. Fachadas Prototipo. Fuente: Elaboración propia.

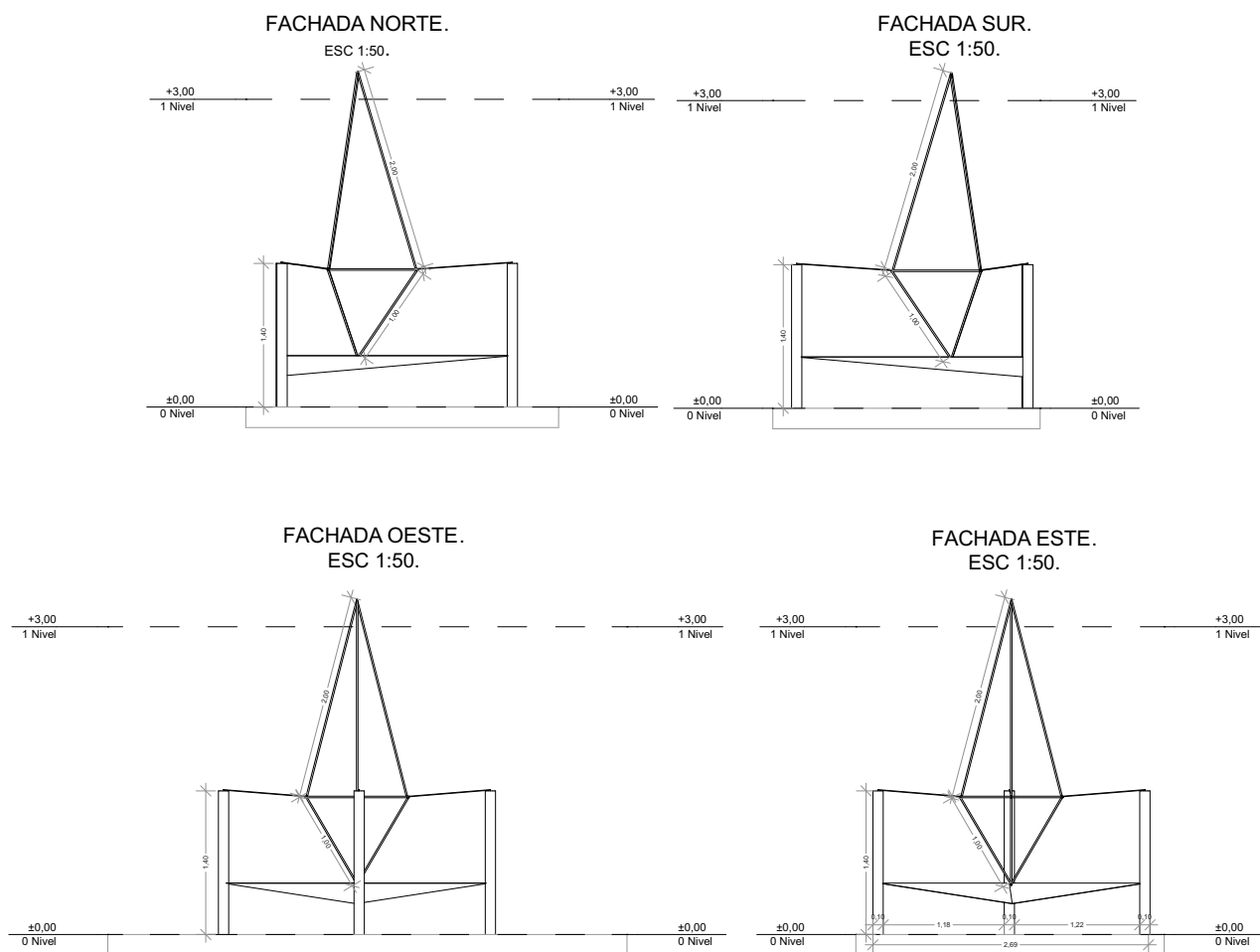
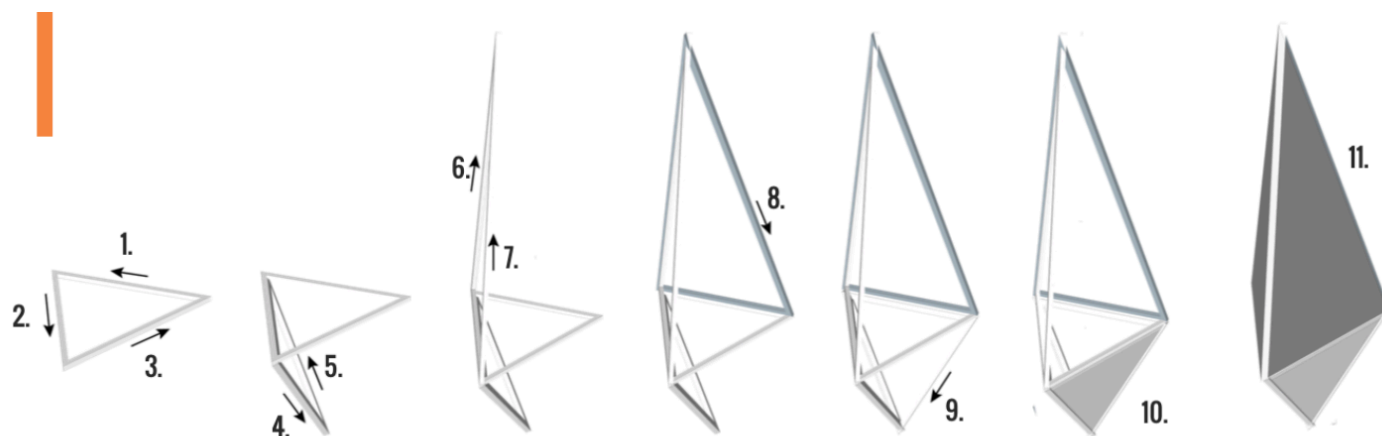


Figura 50. Paso a paso - Armado prototipo. Fuente: Elaboración propia.



Armado Prototipo. Paso a paso.