

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS DE CAPTURA Y CONDENSACIÓN DE VAPOR DE AGUA PRESENTE EN EL AIRE ATMOSFÉRICO**

### **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN COLECTOR DE NIEBLA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA MECÁNICA**

**MELISSA ANAHÍ CHÁVEZ RAMOS**

**melissachavez1562@gmail.com**

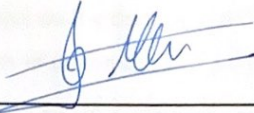
**DIRECTOR: ING. SANTIAGO DAVID VACA JIMENEZ, MSc., PhD**

**santiago.vaca@epn.edu.ec**

**DMQ, Febrero, 2023**

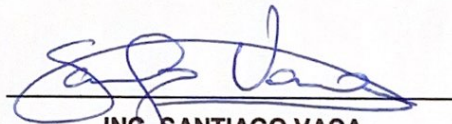
## CERTIFICACIONES

Yo, Melissa Anahí Chávez Ramos declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



MELISSA CHÁVEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Melissa Anahí Chávez Ramos, bajo mi supervisión.



ING. SANTIAGO VACA

DIRECTOR

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Melissa Anahí Chávez Ramos



Ing. Santiago David Vaca Jiménez, MSc., PhD



## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	1
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	2
RESUMEN.....	5
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	7
1.1 Objetivo general.....	7
1.2 Objetivos específicos .....	7
1.3 Alcance.....	7
1.4 Marco teórico.....	8
1.4.1 La escasez de agua a nivel global .....	8
1.4.2 La escasez de agua en el sitio de estudio .....	8
1.4.3 Captadores de agua atmosférica .....	9
1.4.4 Captadores de niebla.....	11
2. METODOLOGÍA.....	14
2.1 Caracterización climática .....	15
2.2 Diseño del prototipo .....	16
1.4.5 Casa de la Calidad .....	16
1.4.6 Definición y diseño conceptual.....	19
1.4.7 Diseño estructural.....	25
1.4.8 Desarrollo de elementos para medición de datos .....	28
2.3 Toma de datos y control de variables .....	31
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	32
3.1 Recopilación de datos atmosféricos.....	32
3.1.1 Casa de la Calidad .....	33
3.2 Selección de módulos.....	35
3.2.1 Selección de perfil a usar.....	37
3.2.2 Diseño y simulación del colector.....	39
3.2.3 Construcción e implementación del prototipo.....	40
3.2.4 Recolección y evaluación de resultados .....	41
3.2.5 Análisis de costos unitarios.....	43
3.2.6 Discusión.....	47
3.3 Conclusiones.....	48
3.4 Recomendaciones.....	49
4. BIBLIOGRAFÍA.....	49
5 ANEXOS.....	51

ANEXO I. Extractos de la entrevista con el señor Anelio, miembro de la comunidad Zapotal y encargado del cuidado y mantenimiento del bosque La Esperanza. ....	51
ANEXO II. Tablas para cálculo de carga de viento [17] [16].....	52
ANEXO III. Especificaciones técnicas del termohigrómetro digital. [21] .....	53
ANEXO IV. Especificaciones técnicas del termohigrómetro Govee. [22].....	54
ANEXO V. Recolección de datos climáticos acorde a la bitácora elaborada .....	55
ANEXO VI. Selección de módulos .....	56
ANEXO VII. Manual para el usuario.....	59
ANEXO VIII. Datos recolectados de diciembre 2022.....	61

## RESUMEN

El agua es un recurso fundamental para la vida, sin embargo, existen lugares donde, debido a su ubicación, no lo pueden obtener fácilmente como es el caso de la comunidad el Zapote, la cual no tiene conexión a la red pública de agua potable por lo que usan bombas conectadas a arroyos o ríos para acceder a este recurso. Este proyecto propone un diseño modular de colector de niebla que permite recolectar las gotas de agua presentes en la niebla cuando esta atraviesa una malla Raschel. El diseño propuesto permite realizar todos los pasos necesarios para la instalación de un sistema completo de captación de agua de niebla de una manera sencilla y acorde a las necesidades de cada sector. Para esto se implementa un colector estándar de niebla cuya área de captación es de 1 [m<sup>2</sup>] ubicada a 2 [m] de altura, enmarcada por una estructura metálica realizada con tubo cuadrado. El propósito del diseño modular es permitir que el colector estándar sea transformado en un gran colector al finalizar el periodo de evaluación de 1 mes.

En el sitio de estudio se determina que el captador de niebla estándar recolecta aproximadamente 7 [l/mes]. Debido a que la evaluación del desempeño del colector se realizó en diciembre, estación seca del sector, se dimensiona el colector en estas condiciones. Con base a esto se determina que, para suplir la necesidad de agua de una pequeña escuela de la comunidad, con un cuerpo estudiantil de 13 niños, se debe instalar un captador de niebla grande de aproximadamente 40 [m<sup>2</sup>].

**PALABRAS CLAVE:** Colector de Niebla, agua atmosférica, diseño modular, Manabí

## ABSTRACT

Water is a fundamental resource for life, however, there are places where, due to their location, they cannot easily obtain it, as is the case of the community of El Zapote, which has no connection to the public drinking water network, so they use pumps connected to streams or rivers to access this resource. This project proposes a modular design of a fog collector that collects the water droplets present in the fog when it passes through a Raschel mesh. The proposed design allows to perform all the necessary steps for the installation of a complete fog water collection system in a simple way and according to the needs of each sector. For this purpose, a standard fog collector is implemented with a collection area of 1 [m<sup>2</sup>] located at a height of 2 [m], framed by a metallic structure made with a square tube. The purpose of the modular design is to allow the standard collector to be transformed into a large collector at the end of the 1-month evaluation period.

At the study site it is determined that the standard fog collector collects approximately 7 [l/month]. Since the performance evaluation of the collector was carried out in December, the dry season of the sector, the collector is sized under these conditions. Based on this, it is determined that to supply the water needs of a small school in the community, with a student body of 13 children, a large fog collector of approximately 40 [m<sup>2</sup>] should be installed.

**KEYWORDS:** Fog Collector, atmospheric water, modular design, Manabi

# **1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

La escasez de agua es un problema que afecta a gran parte de la población y se ve agravado en comunidades rurales que no cuentan con acceso a redes de agua potable. Además, el cambio climático ha disminuido las fuentes de agua dulce en el planeta. Sin embargo, existe una fuente de agua que se ha empezado a aprovechar en las últimas décadas: el contenido de agua en la atmósfera.

Este trabajo se enfoca en el diseño, construcción, instalación y evaluación de un sistema de captación de microgotas de agua presentes en la niebla con el fin de generar una fuente pasiva de agua para consumo humano en el bosque La Esperanza, sector El Carmen, Manabí, debido a la falta de conexión a la red pública de agua potable de la comunidad.

## **1.1 Objetivo general**

Diseñar, construir y evaluar la operación de un colector de niebla con diseño modular que permita variar sus dimensiones para recolectar agua de uso doméstico en el bosque húmedo del Carmen, provincia de Manabí.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Estudiar la bibliografía existente referente a los colectores de humedad y su aplicación en zonas tropicales con condiciones climáticas similares a las del lugar de estudio.
- Caracterizar meteorológicamente el lugar de estudio y establecer la cantidad de un gran colector de niebla, por sus siglas en inglés, LFC necesarios acorde a la necesidad de agua de la comunidad cercana.
- Diseñar y construir el prototipo de colector de niebla que permita variar sus dimensiones.
- Determinar el desempeño de captación de agua del prototipo de colector de niebla estándar, SFC mediante un análisis costo/beneficio.

## **1.3 Alcance**

Este componente se encuentra dividido en cuatro fases:

1. Fase exploratoria, donde se revisará la bibliografía existente respecto a la captación de agua de niebla mediante colectores.



2. Fase de caracterización climática del lugar y determinación de la cantidad de colectores necesarios, mediante encuestas de uso de agua y seguimiento de temperatura, humedad relativa y cantidad de lluvia.
3. Fase de diseño y prototipaje del colector estándar y modificado.
4. Fase evaluativa, donde se determinará la factibilidad costo/beneficio del colector modificado frente al estándar.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 La escasez de agua a nivel global**

El cambio climático, así como el acelerado incremento poblacional han aumentado la demanda de agua a nivel mundial. Actualmente 2.4 billones de personas no cuentan con acceso a agua potable, lo cual ha generado 1.7 millones de muertes por enfermedades relacionadas al consumo de agua de mala calidad. Además, se estima que para 2025, dos tercios de la población sufrirá de escasez de este recurso [1].

Para mejorar el acceso al agua y garantizar una adecuada calidad de vida, en el 2017 se propuso como parte de la agenda 2030 el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 6: Agua limpia y saneamiento, mediante el cual se busca acceso universal y equitativo a agua segura para beber a un precio asequible para todos. Con esto queda establecido que el agua segura deberá ser accesible no solo en los hogares sino en escuelas, espacios públicos, etc. y tanto en áreas urbanas como en territorios rezagados o grupos vulnerables [2].

Al analizar el progreso del ODS 6 en la provincia de Manabí se detectó que el acceso a agua potable y a saneamiento es limitado, e incluso existen comunidades sin acceso a estos servicios básicos. Acorde a los datos presentados por la Agenda Zonal de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo & Subsecretaría de Seguimiento y Evaluación (SENPLADES), entre los años 2001 y 2010 el aumento de cobertura de agua por red pública en esta provincia ha sido mínima [3]

### **1.4.2 La escasez de agua en el sitio de estudio**

La comunidad El Zapote, en la provincia de Manabí no cuenta con conexión a la red pública de agua potable. Las personas de este lugar se abastecen de agua principalmente mediante el uso de bombas conectadas a pequeños arroyos o pozos. Otra opción de abastecimiento de agua es mediante la contratación de camiones tanqueros, pero debido a la distancia que estos deben recorrer, su costo es elevado por lo que su uso es poco frecuente. Adicional a estas fuentes de agua, la escuela de la comunidad y varios hogares

recogen agua de lluvia mediante canaletas conectadas en las cubiertas de sus edificaciones.

No obstante, se debe tomar en cuenta que tanto el agua de los ríos como el agua de la lluvia pueden estar contaminadas y por ende no ser aptas para el consumo humano. Esto va en contra del Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) número 6, que busca dar acceso a agua potable de manera equitativa y a un precio asequible a la población [4].

Es por esto por lo que este proyecto se enfocará en proporcionar una fuente de agua tanto para el Bosque La Esperanza como para la escuela del sector.

El Bosque La Esperanza nace como proyecto de la fundación Great Leaf para combatir la deforestación en el sector y de esta manera promover la recuperación tanto de fauna como de flora nativa del lugar. Se encuentra ubicado a una hora del centro del cantón El Carmen, a casi 200 metros sobre el nivel del mar. Su ubicación, mediante GPS es WGS 84: -0.37508967063848864, -79.6036896504561 como se puede observar en la figura 1.1. Este bosque es hogar de 85 especies de aves, 23 especies de anfibios y reptiles y alrededor de 5000 árboles. Además, colinda con una comunidad hogar de 11520 personas [5].

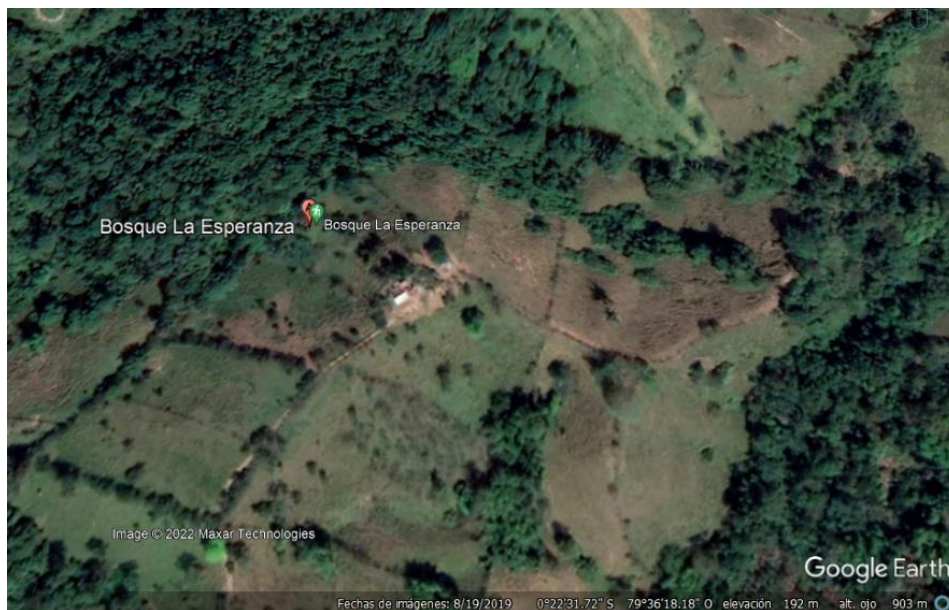


Figura 1.1: Imagen satelital del Bosque La Esperanza

### 1.4.3 Captadores de agua atmosférica

Debido a los problemas actuales relacionados a la obtención y repartición de agua, se ha optado por buscar nuevas fuentes de este recurso, entre ellas se tiene la captación del agua presente en la atmósfera o humedad del aire [6].

Es importante notar que solo el 3% del agua a nivel mundial es agua fresca y menos del 1% de este porcentaje es accesible a través de ríos, lagos, reservorios de agua, etc. [7]

La atmósfera contiene alrededor de 13 mil [km<sup>3</sup>] de agua, de los cuales, el 98% se encuentra en forma vapor y el 2% restante como líquido tanto en nubes como en niebla [6].

A pesar de que la captura de agua de niebla ha sido estudiada y puesta a prueba en las últimas décadas, este proceso ha resultado exitoso principalmente en lugares con condiciones climáticas específicas que cuenten con niebla frecuente [6].

Entre los principales métodos de captación de agua atmosférica se tiene:

1. Condensación pasiva de vapor, en la cual se enfría el vapor del aire a una temperatura menor al punto de rocío mediante el contacto entre una superficie fría y dicho vapor. Estudios han demostrado que usando este método se puede obtener aproximadamente 0.8 [l/m<sup>2</sup>d], sin embargo, la tasa de recolección puede ser menor acorde a las condiciones del lugar donde es usado [6].

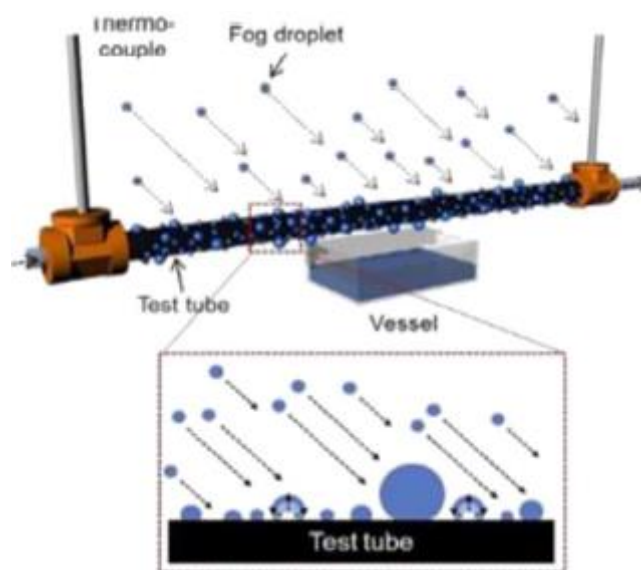


Figura 1.2: Diagrama de la condensación de vapor pasiva [8]

Debido a que la condensación del vapor está regida por las condiciones climáticas del lugar, se recomienda usar este método como una fuente de agua solamente en lugares con condiciones climáticas adecuadas [6].

2. Condensación activa de vapor, aplica el mismo principio que la condensación pasiva del vapor aumentando el uso de un dispositivo eléctrico de expansión compresión que incrementa la tasa de enfriamiento del aire como se muestra en la

figura 1.3. Sin embargo, la eficiencia de este método sigue estando ligada a las condiciones climáticas del lugar [6].

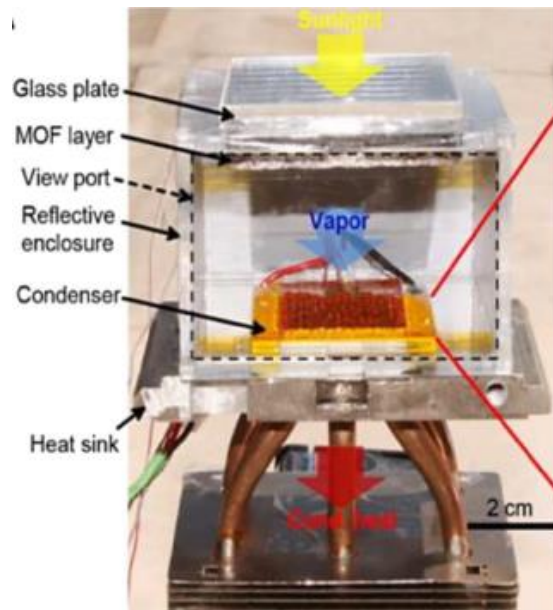


Figura 1.3: Colector de agua atmosférica por condensación activa de vapor

3. Captación de agua de niebla, método usado hace más de 2000 años en el cual se coloca una malla tensada entre dos parantes, la cual es atravesada por la niebla para capturar las gotas de esta, transportarlas a un canal y finalmente almacenarlas en tanques [6].

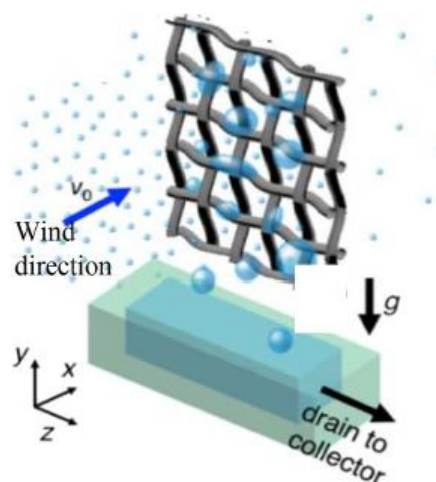


Figura 1.4: Diagrama de la captación de agua de niebla [8]

#### 1.4.4 Captadores de niebla

El sistema de captación de agua de niebla tiene como principio de funcionamiento la captura de microgotas de agua presentes en la niebla. Estas microgotas pueden medir

entre 1 a 40 [ $\mu\text{m}$ ] de diámetro, las cuales suman de 0.05 a 0.5 [g] de agua líquida por cada metro cúbico de niebla [9].

Existen varios factores climáticos de vital importancia para la captación de microgotas, entre ellos están el punto de rocío y la humedad relativa.

El punto de rocío es el equivalente al punto de saturación, por lo cual se encuentra relacionado con la humedad relativa. Cuando se tiene una alta humedad relativa, el punto de rocío se encuentra cercano a la temperatura del ambiente, el cual se encuentra saturado de agua [6].

Por otro lado, la humedad relativa representa la masa de vapor presente un cierto volumen de aire respecto a la máxima cantidad de vapor que podría existir en dicho volumen cuando este se encuentra saturado [6].

Sin embargo, una alta humedad relativa o la presencia de bruma no asegurarán la captación de microgotas. Es necesario que haya presencia de niebla y de vientos ligeros, razón por la cual el colector deberá ser colocado en un sitio con pocos o nulos obstáculos. De esta manera el viento empujará la niebla a través de la malla provocando que las microgotas se queden en esta [9].

Los captadores de niebla se clasifican acorde a su tamaño. Los captadores de niebla estándar, por sus siglas en inglés, SFC son cuadrados de malla que tienen 1 [ $\text{m}^2$ ] de área y se usan principalmente para evaluar las condiciones climáticas del lugar y la captación de agua previo a la instalación de un sistema completo. Por otro lado, los colectores de niebla grande, LFC son rectángulos de malla de dimensiones adecuadas a las necesidades determinadas con el SFC o típicamente de 6 [m] de alto por 12 [m] de largo. Sin embargo, se considera LFC a todo colector de dimensiones mayores al LFC [8].

El elemento principal de los captadores es la malla que se usa para atrapar las microgotas de agua. Debido al constante avance de la ciencia de materiales, diferentes tipos de malla se han creado y probado con el fin de aumentar la tasa de captación. Entre estos modelos se tienen malla Raschel o malla sombra, mallas metálicas con recubrimientos hidrofóbicos o MIT-14, textiles conocidos como FogHa-Tin, como se muestra a continuación [10].



*Figura 1.5: Tipos de malla usados en captadores de niebla [10]*

Fernández et al. [10] realizan la comparación del desempeño de las mallas mostradas en la figura 1.5, obteniendo que la malla metálica con recubrimiento capta entre 3 y 41 [%] más agua que la malla Raschel dependiendo de la velocidad del viento [10]. Sin embargo, fundaciones como FogQuest, Bayside Fog Collector, entre otras y varios proyectos independientes en varios lugares del mundo como Iran, Chile, Perú, etc., han implementado el uso de la malla Raschel con un coeficiente de sombra del 35 [%] debido a su bajo costo y accesibilidad [8].

A pesar de que los principales captadores de niebla son bidimensionales, existen modelos de captadores tridimensionales que se han probado, siendo uno de sus mayores exponentes la torre Warka Water ubicada en Etiopía.



*Figura 1.6: Torre Warka Water [11]*

Esta torre de 10 [m] de alto y 4.2 [m] de ancho fue diseñada en bambú y recolecta agua de lluvia, de niebla y de rocío, captando así hasta 99 [l/d] [8] [11]. Esta torre, al igual que otros modelos de captadores tridimensionales aplican el método de biomímesis, es decir,

implementan características de la naturaleza en los diseños que se realizan. En el caso de la torre Warka, su diseño exterior se encuentra inspirado en las colmenas de termitas mientras que los materiales de la malla se basan en la forma de captar agua de los escarabajos Namib, telas de araña, cactus, entre otros [8] [12].

No obstante, Pérez, en su estudio del 2022 determina que el Ecuador, los colectores tridimensionales tienen una menor captación de agua que los bidimensionales como se muestra a continuación [13].

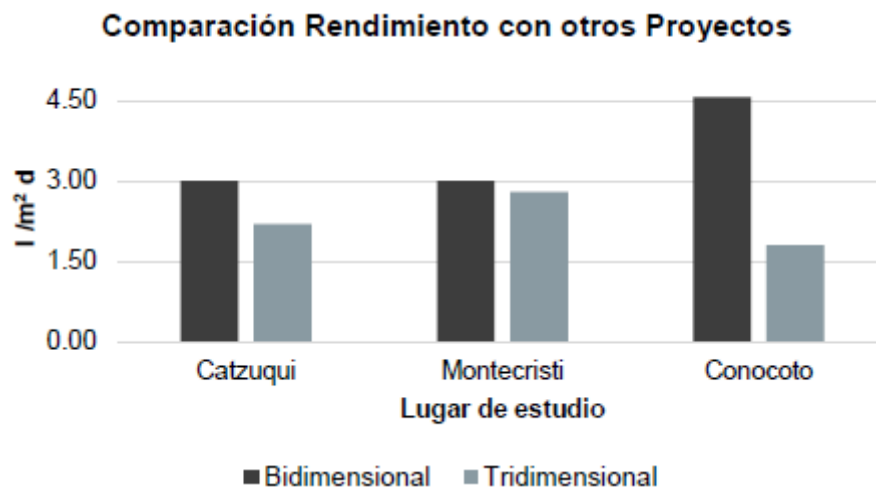


Figura 1.7: Comparación de captación- geometrías de los captadores [13]

## 2. METODOLOGÍA

A continuación, se detalla la metodología seguida para el desarrollo del proyecto.

Primero se determina la necesidad hídrica y el uso de agua que se tiene en la comunidad mediante la ejecución de entrevistas con un representante de la comunidad y encargado del cuidado del bosque La Esperanza, donde se implementará el proyecto. La entrevista se presenta en el anexo 1.

Posteriormente se realiza la caracterización climática del sector usando datos históricos de clima del INAHMI.

Para culminar, se determina el prototipo a instalarse, su ubicación e implementación, así como la evaluación de su desempeño durante un periodo de prueba de 30 días durante el mes de diciembre del 2022.

## 2.1 Caracterización climática

El clima del lugar donde se implementará el colector de niebla es crítico para el desempeño de este, razón por la cual se evaluarán los siguientes parámetros atmosféricos en el bosque La Esperanza:

1. Temperatura: Se monitorea la temperatura ya que para que el vapor presente en la niebla se condense, la temperatura del ambiente debe ser menor a la temperatura del punto de rocío [6]. Para obtener el punto de rocío se utiliza la siguiente ecuación:

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

**Ecuación 2.1:** Punto de rocío

Donde,

Pr: Punto de rocío [°C],

Hr: Humedad relativa [%],

Tamb: Temperatura ambiente [°C].

2. Humedad relativa: Este parámetro determina la cantidad de vapor de agua presente en la mezcla gaseosa de aire y vapor de agua [6].
3. Cantidad de lluvia: Debido a que el colector estará a la intemperie, recolectará tanto agua de la niebla como de la lluvia por lo que se deberán restar dichos valores para obtener la cantidad de agua neta de la niebla.

Dichos parámetros serán evaluados de dos maneras. Mediante datos históricos de 1990 a 2012 recopilados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMIH) a través de la estación meteorológica presentada en la tabla 2.1. Se debe tomar en cuenta que existen datos meteorológicos históricos referentes a precipitación, evaporación y temperatura, los cuales serán usados para determinar la viabilidad teórica del colector debido a que se requiere de una alta humedad, alta velocidad de viento y temperatura ambiental baja. [14]

**Tabla 2.1:** Datos estación meteorológica

NOMBRE	CÓDIGO	UBICACIÓN	TIPO Y ESTADO
El Carmen	M0160	Manabí, -0.259722, - 79.426944	Meteorológica, operativa



También se usarán datos recolectados de manera manual desde finales de noviembre del 2022 a enero del 2023 por parte del equipo de la fundación Great Leaf, haciendo uso de higrómetros y observación del sitio.

## 2.2 Diseño del prototipo

Debido a que los captadores de niebla requieren de una fase de prueba en la cual se implementa un SFC, se plantea un diseño modular que permita incrementar las medidas tanto de altura como de longitud del captador para minimizar el trabajo e inversión a realizarse una vez concluida dicha etapa.

### 1.4.5 Casa de la Calidad

La casa de la calidad, por sus siglas en ingles QFD (Quality Function Deployment), se elabora para establecer las necesidades y requerimientos del usuario en cuanto al prototipo a generarse, así como para planificar la calidad de este durante su ciclo de vida. En la figura 2.1 se presenta un modelo de casa de la calidad donde se reconocen las diferentes zonas que la conforma. A continuación, se explica cada zona con base a los criterios establecidos en el libro de Diseño Concurrente de Carles Riba Romeva, [15].

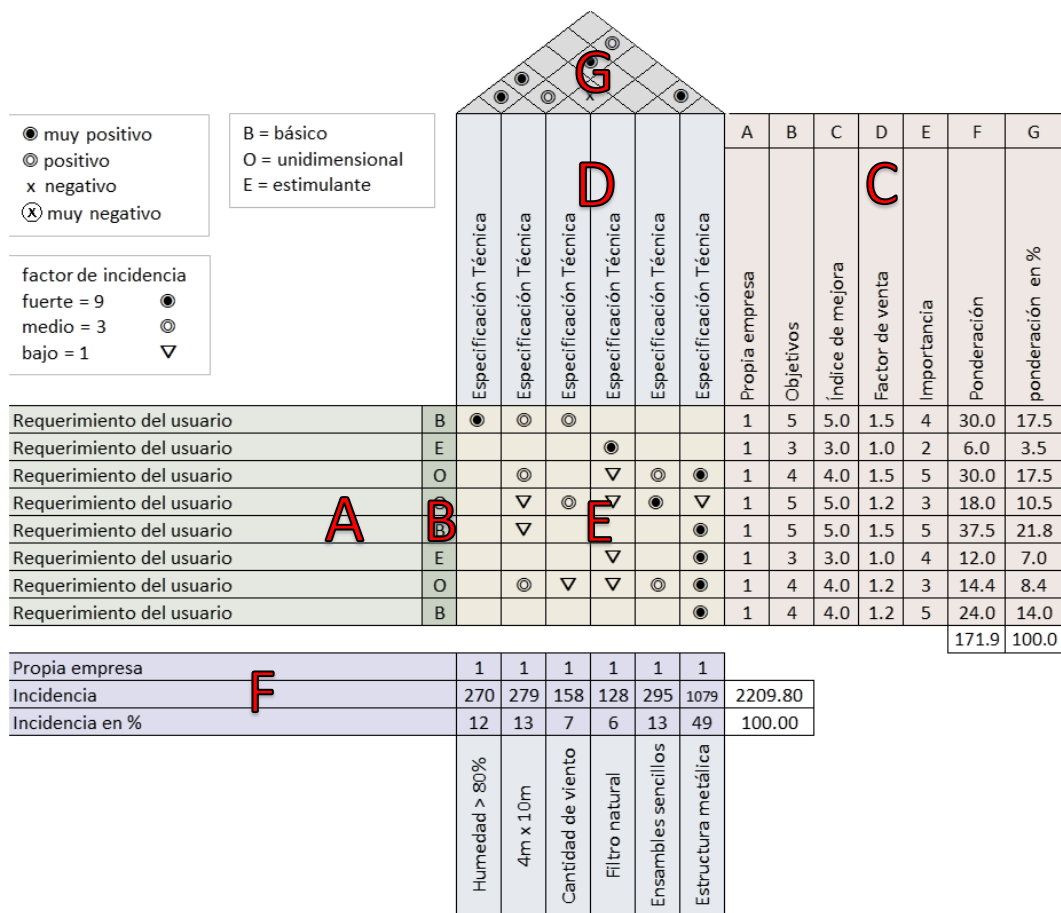


Figura 2.1: Modelo de Casa de la Calidad

Voz del usuario:

En la zona A de la QFD se registran las necesidades y expectativas que tiene el usuario respecto al producto en el que se trabaja. Para esto, se realiza una lluvia de ideas con potenciales usuarios para exponer las necesidades y expectativas de estos respecto al producto.

En la zona B se establece el impacto del requerimiento en la satisfacción del usuario. Así, si el requerimiento es algo indispensable, cuya ausencia generaría insatisfacción en el usuario, se lo marca con la letra B de básico. Si la presencia del requerimiento genera un plus en el producto al compararlo con su competencia, es estimulante por lo que se lo marca con la letra E. Finalmente, si la mejora del requerimiento aumenta la satisfacción del usuario, se la considera unidimensional y se la marca con la letra O.

Análisis de la competencia:

En la zona C se realiza el análisis de la competencia para lo cual se establece la importancia de cumplir con los requerimientos de la voz del usuario, el grado en que el producto cumple con estos requerimientos y el grado en que los productos de la competencia los cumplen. Estos datos son registrados en las columnas de evaluación del usuario en una escala del 1 al 5.

Para concluir con el análisis de la competencia se deben evaluar los siguientes parámetros:

1. **Objetivos:** Se establece la importancia de cumplir con cada objetivo mediante el uso de una escala del 1 al 5, siendo 1 el menos importante y 5 el más importante de cumplir.
2. **Índice de mejora:** Permite medir la mejora de los requerimientos mediante una relación entre los objetivos y la evaluación del cumplimiento de cada requerimiento dada mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{D}{A} \geq 1$$

**Ecuación 2.2:** Índice de mejora

Donde E es el índice de mejora, D los objetivos y A la evaluación del cumplimiento del requerimiento.

3. **Factor de venta:** Determina la manera en la que el cumplimiento del requerimiento influenciará las ventas calificándolo con 1, 1.2 y 1.5, siendo 1 los requerimientos menos relevantes y 1.5 aquellos que impulsarán las ventas del producto.

4. Importancia: Representa la importancia que los usuarios le dan al cumplimiento del requerimiento midiéndolo con una escala del 1 al 5.

Para finalizar se realiza una ponderación entre el índice de mejora, factor de venta y la importancia.

Voz del ingeniero:

En la zona D se traducen los requerimientos del cliente a características técnicas que deberá cumplir el producto, permitiendo que estas pasen de necesidades subjetivas a características objetivas, medibles y mejorables.

Correlaciones:

En la zona E se muestran las correlaciones existentes entre los requerimientos y las especificaciones técnicas. Si el requerimiento tiene una alta correlación con la especificación técnica se marca con un círculo y un punto relleno. Si la correlación es media, con un círculo. Si la correlación es baja, con un triángulo, y de no haber correlación alguna, se deja el espacio en blanco. Estas correlaciones tienen un valor numérico de 9, 3, 1 y 0 que será usado durante la evaluación técnica.

Evaluación técnica:

Para finalizar el desarrollo de la QFD, en la zona F se evalúa la influencia de las características técnicas en la satisfacción del usuario mediante factores de incidencia, los cuales son determinados con base en las correlaciones establecidas en la zona E.

La incidencia se obtiene multiplicando el factor de incidencia o correlación de cada característica técnica por la ponderación de cada requerimiento donde dicha característica está involucrada.

Compromisos técnicos:

La zona G o techo de la QFD está constituida por las relaciones existentes entre las características técnicas. La relación es positiva cuando mejorando una característica, la otra también mejora. Negativa, cuando la mejora de una característica influye de manera negativa en la otra. Nula, cuando la mejora de una característica no afecta a la otra.

Una vez concluida la casa de la calidad se tiene una idea global respecto a las expectativas del producto a desarrollar y su competencia en el mercado estudiado, lo cual permitirá continuar el proceso de manera objetiva gracias a los requerimientos planteados.

### 1.4.6 Definición y diseño conceptual

Se definen las funciones principales del prototipo, aquellas que cumplirán con las necesidades del usuario. Posterior a esto se definen las funciones secundarias, las cuales permiten el correcto desarrollo de las funciones principales.

Una vez realizado este proceso, aquellas funciones que estén relacionadas entre sí son agrupadas en módulos que permitan optimizar el tiempo de producción del prototipo, los materiales a usarse, y demás aspectos involucrados en su desarrollo, como se muestra en la figura 2.2.

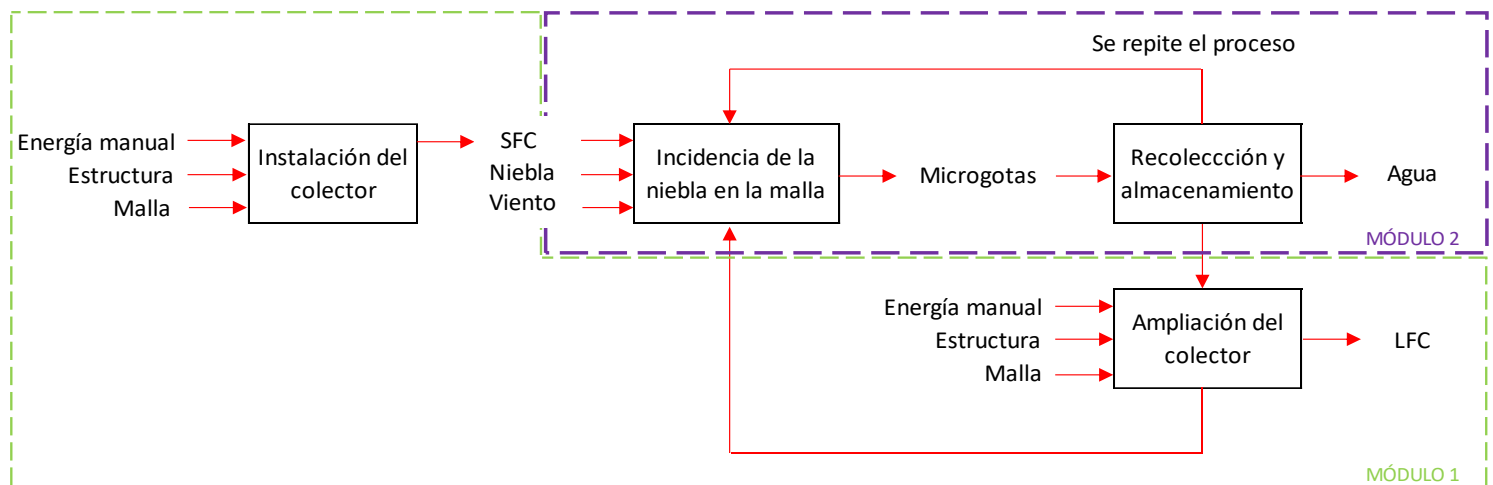


Figura 2.2: Diagrama funcional del colector de niebla

Debido a que se propone un modelo sencillo que no requiera de mayor intervención, se consideran dos módulos, uno con mínima intervención humana relacionado a la incidencia de la niebla en la malla y el proceso de recolección y almacenamiento de agua y otro módulo con mayor intervención relacionado a la instalación y ampliación de la estructura del captador.

A continuación, se exploran las soluciones para cada módulo, así como las ventajas y desventajas de las soluciones propuestas.

#### Módulo 1: Elaboración del colector

Este módulo explora las opciones relacionadas a los materiales a usarse para la elaboración del colector tomando en cuenta las expectativas del usuario en cuanto a la escalabilidad del proyecto, facilidad de adquisición de materiales, vida útil, costo y el tipo de mantenimiento que va a requerir.

**Estructura:** Comprende el cuerpo del colector, el cual actuará como marco tanto para la malla como para el canal de recolección de agua.

- a. *Estructura de madera:* El prototipo es realizado en madera con uniones sencillas lo cual facilita tanto el acceso a los materiales como la elaboración del producto final.

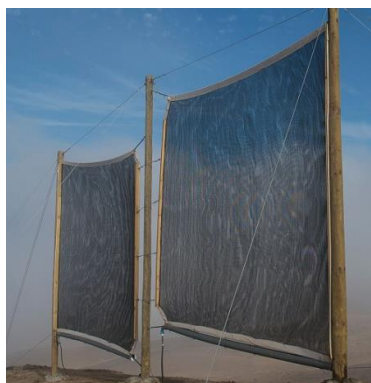


Figura 2.3: Estructura de madera

Ventajas:	Desventajas:
Facilidad de acceso al material.	Corta vida útil.
Facilidad de trabajo con el material.	Requiere de un proceso de curado adecuado.
Requiere de una baja inversión.	Se puede dañar a la intemperie.

- b. *Estructura con tubos PVC:* El marco es construido con tubos de PVC y las juntas se realizan con accesorios adecuados para dichos tubos.



Figura 2.4: Estructura con tubos PVC

Ventajas:	Desventajas:
Facilidad de acceso al material	Se deben usar pegamentos especiales
Facilidad de trabajo con el material	para tener conexiones fuertes y duraderas
Requiere de una inversión económica media	No adecuado para colectores grandes

- c. *Estructura metálica:* Se elabora el marco con estructura metálica con uniones empernadas o soldadas para asegurar una conexión adecuada.



Figura 2.4: Estructura metálica

Ventajas:	Desventajas:
Larga vida útil	Bajo acceso local al material
Adecuado para proyectos a gran escala	Alta inversión económica
Resiste a cargas a las que será expuesto	Requiere de maquinaria especial para elaborarlo

Requiere menor trabajo para incrementar sus dimensiones	Requiere transporte desde el lugar de fabricación al de instalación
---------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

**Anclajes:** Representan la manera de sujetar el marco y evitar que el colector se mueva o quede inestable debido a las cargas de viento a las que estará expuesto.

- a. *Anclajes de hormigón:* Estos anclajes requieren de un encofrado, hormigón y pernos de anclaje para realizar una adecuada instalación del colector.



Figura 2.6: Diagrama de un anclaje de hormigón

<p><b>Ventajas:</b></p> <p>Larga vida útil</p> <p>Mayor seguridad que otros métodos</p>	<p><b>Desventajas:</b></p> <p>Requiere materiales de difícil acceso para la comunidad</p> <p>Es más costoso que otros métodos</p> <p>Demanda mayor tiempo y mano de obra que otros métodos</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

- b. *Anclaje enterrado:* Este tipo de anclaje requiere de un hoyo de una profundidad considerable en el cual se enterrará parte de la columna del colector para que quede sujeto en el piso.



Figura 2.7: Anclaje enterrado

<p><b>Ventajas:</b></p> <p>Requiere de mínima maquinaria o herramientas.</p> <p>Es un método rápido y con el cual las personas de la comunidad están familiarizadas.</p> <p>Es económico.</p>	<p><b>Desventajas:</b></p> <p>Es menos seguro que otros métodos.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

**Malla:** Será la encargada de recolectar las microgotas de agua que se encuentran en la niebla y dirigirlas, sirviendo como camino, hacia el canal de recolección.

- a. *Malla elaborada con fundas PET:* Como una respuesta ante el problema del plástico se ha estudiado la posibilidad de realizar la malla de captación con plástico reciclado. (Malla con PET reciclado, 2015)

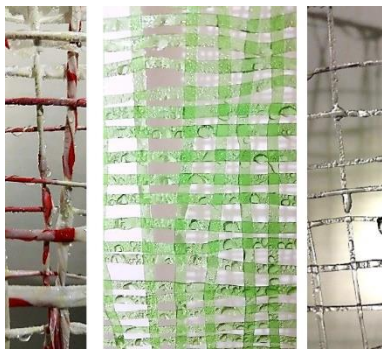


Figura 2.8: Mallas realizadas con plástico PET reciclado (Malla con PET reciclado, 2015)

Ventajas:	Desventajas:
<p>Eficiencia de captación similar a la de mallas comerciales usadas para la captación de agua</p> <p>Representa una opción más ecológica para la captación de agua</p> <p>Requiere de herramientas sencillas para su elaboración</p>	<p>Elaborar la malla requiere una cantidad considerable de tiempo y mano de obra</p>

- b. *Malla Raschel:* Malla comercial usada por diferentes organizaciones dedicadas a capturar agua en lugares con difícil acceso a este recurso.



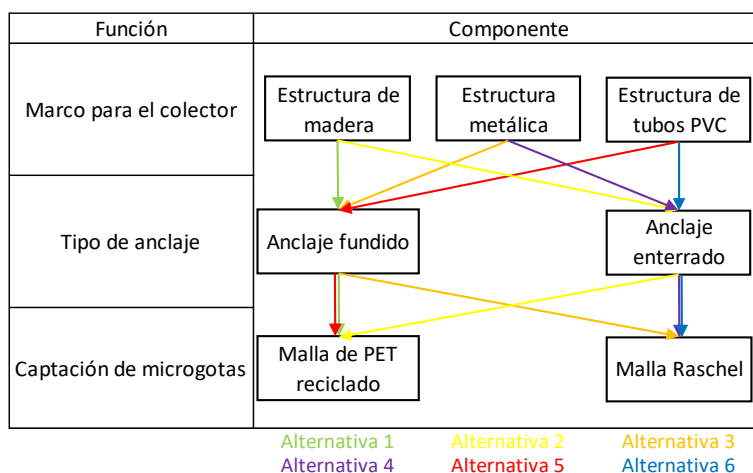
Figura 2.9: Malla Raschel

Ventajas:	Desventajas:
<p>Usada a nivel mundial por diferentes organizaciones</p> <p>Permite la comparación del desempeño del proyecto con respecto a otros</p> <p>Se puede adquirir de manera comercial</p>	<p>Dependiendo del lugar donde se trabaje puede ser difícil conseguir la malla con el porcentaje adecuado</p>

## Alternativas del módulo 1:

A continuación, se presenta una tabla con las posibles combinaciones entre las soluciones propuestas y las funciones de cada una a modo de resumen, lo cual permitirá seleccionar la más adecuada.

**Tabla 2.2:** Alternativas módulo 1



## Evaluación y selección de alternativa para el módulo 1

Los criterios para tomarse en cuenta durante la evaluación de las alternativas son:

- Vida útil de los materiales: Es necesario que los materiales tengan una larga vida útil para evitar incurrir en gastos de mantenimiento o cambio de elementos.
- Costo: Debido a que el proyecto busca ayudar a comunidades de bajos recursos, el costo de este deberá ser bajo o tener una adecuada relación costo-beneficio.
- Facilidad de adquisición y trabajo: Se espera que los materiales y los trabajos a realizarse puedan involucrar a las personas de la comunidad por lo que se deben usar materiales fáciles de conseguir y de maquinar.
- Escalabilidad: Los materiales usados deben permitir que el colector cambie de dimensiones de manera sencilla y sin requerir de elevados recursos ni trabajo.

## Módulo 2: Captación de agua

En este módulo, la función principal del sistema es que exista incidencia entre la niebla y la malla, para lo cual se busca que el ángulo de impacto entre ellas sea perpendicular y que el viento local impulse a la niebla a atravesar la malla, permitiendo la captura de microgotas de agua en esta para que se deslicen por la malla, llegando al canal y finalmente al sistema de recolección. Es así como se proponen las siguientes soluciones:



**Canal:** Elemento en el cual se recibe el agua que cae de la malla y la dirige hacia el sistema de recolección.

- a. *Tubo PVC:* Tubo de PVC cortado por la mitad que permite la recolección de agua, sirviendo como canal.



Figura 2.10: Canal de tubo PVC

Ventajas:	Desventajas:
Bajo costo. Fácil accesibilidad al material.	Se deben usar pegamentos especiales para tener conexiones fuertes y duraderas.

- b. *Canaleta:* Canaleta de acero galvanizado diseñada para redirección de agua lluvia.



Figura 2.11: Canaleta de aluminio

Ventajas:	Desventajas:
Resistente a altos niveles de lluvia. Mayor facilidad para realizar conexiones entre elementos.	Alto costo. Accesibilidad media-baja al material.

**Sistema de recolección y almacenamiento:** Contenedor dedicado a recolectar y almacenar el agua obtenida por el colector.

- a. *Tanque de almacenamiento:* Tanques de polietileno diseñados para el almacenamiento de grandes volúmenes de agua.



Figura 2.12: Tanques plásticos para almacenamiento de agua

Ventajas:	Desventajas:
Gran volumen de almacenamiento. Resistentes a la intemperie.	Alto costo.

b. *Tarros reciclados*: Botellas y tanques reciclados para almacenar agua.



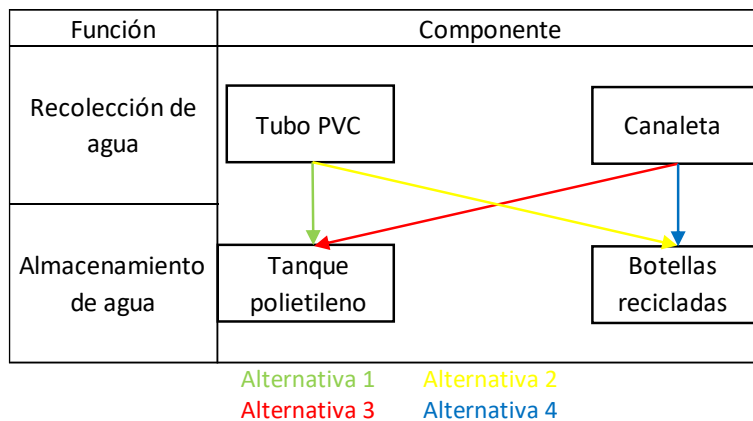
Figura 2.13 Botellas recicladas

Ventajas:	Desventajas:
Fáciles de adquirir Fáciles de manipular	Limitado volumen de almacenamiento

### Alternativas del módulo 2

Una vez definidas las posibles soluciones para el módulo de recolección y almacenamiento, se proponen las siguientes alternativas:

**Tabla 2.3:** Alternativas módulo 2



#### 1.4.7 Diseño estructural

Una vez seleccionado el material para el marco, se calcula la carga de viento a la que será expuesto el colector para poder escoger el perfil adecuado para este. Dichos cálculos se constatan con la simulación del sistema.

##### *Cálculo de la carga de viento*

La fuerza que ejerce el viento sobre la estructura se calcula tomando en cuenta los datos históricos referentes a la velocidad del viento en el lugar de estudio mediante la siguiente fórmula:

$$W_{load} = P * C_d * A$$

**Ecuación 2.3:** Carga de viento

Donde,

P: Presión de cálculo [N/m<sup>2</sup>]

Cd: Coeficiente de arrastre, obtenido con:

$$C_d = \frac{P}{A \frac{\rho V_b^2}{2}}$$

**Ecuación 2.4:** Coeficiente de arrastre

Donde,

A: Área de contacto entre el viento y la estructura [m]

El valor de P se consigue mediante:

$$P = \frac{1}{2} \rho * V_b^2 * C_e * C_f$$

**Ecuación 2.5:** Presión de cálculo

Donde,

$\rho$ : Densidad del aire<sup>1</sup> [kg/m<sup>3</sup>], se toma el valor promedio de 1.19 [kg/m<sup>3</sup>].

Vb: Velocidad corregida del viento [m/s]

Ce: Coeficiente de entorno/altura [16]

Cf: Coeficiente de forma [17]

Finalmente, la velocidad corregida del viento se obtiene con:

$$V_b = V * \sigma$$

**Ecuación 2.6:** Velocidad corregida del viento

---

<sup>1</sup> El sitio de estudio se encuentra a aproximadamente 200 msnm, cuenta con una presión atmosférica cercana a 1 [atm] y su temperatura, acorde a datos históricos, varía entre 20 y 25 [°C]. Con base a la tabla A-15 del libro de transferencia de calor y masa de Yunus A. Cengel, 4ta edición, a una temperatura promedio de 23.1 [°C], la densidad del aire es de 1.19 [kg/ m<sup>3</sup>]

Donde,

V: Velocidad instantánea del viento a 10 [m] de altura sobre el terreno

$\sigma$ : Coeficiente de corrección [17]

Los coeficientes antes mencionados se obtienen de las tablas mostradas en el anexo 2.

### Selección del perfil

Una vez calculada la carga de viento, se la usa como carga máxima debido a que es la que mayor incidencia tiene en el sistema. Con esto en consideración, se determina el tipo de perfil a utilizar.

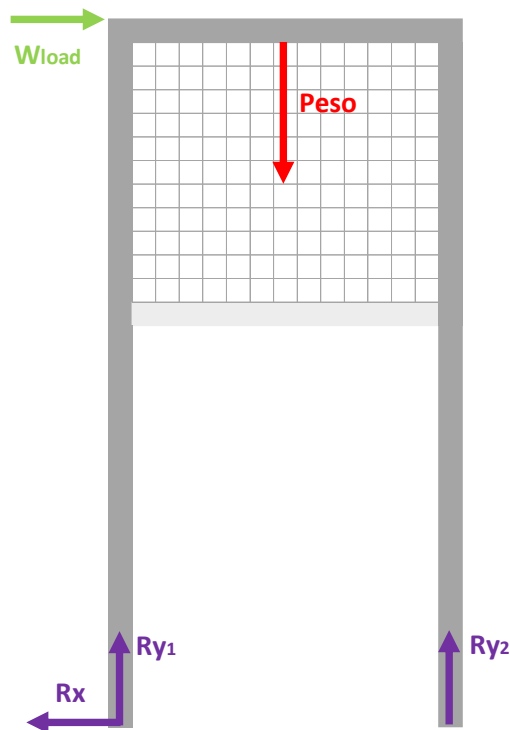


Figura 2.14: Diagrama de cuerpo libre

Se trabaja con el método de factor de seguridad y se determina el área mínima requerida para que la estructura soporte las cargas a las que es sometida. Dicha área se encuentra mediante el despeje de la siguiente fórmula:

$$P_p = \frac{F}{A_{min}} \leq \frac{S_y}{FS}$$

**Ecuación 2.7:** Esfuerzo

Donde,

Pp: Esfuerzo que soporta el perfil [ksi]

F: Fuerza a la que es sometida la estructura [klb]

Amin: Área mínima del perfil a usar [in<sup>2</sup>]

Sy: Límite de fluencia del material del perfil [ksi]

FS: Factor de seguridad. Se asume un valor estándar para estructuras de 2.2

Al determinar el área mínima del perfil, se escoge un perfil que cumpla con dicho requisito en el manual de construcción con acero de la AISC. Además de cumplir con el área mínima, este deberá cumplir con el criterio de esbeltez el cual indica que la longitud del perfil sobre el radio de giro de este deberá ser menor a 240, es decir:

$$\lambda = \frac{L}{r} < 240$$

#### **Ecuación 2.8: Esbeltez**

Donde,

L: Longitud del elemento crítico de la estructura [in]

r: Radio de giro del perfil [in]

Una vez que el perfil seleccionado cumpla con las condiciones de factor de seguridad y esbeltez, se trabaja con dicho perfil.

#### *Diseño del sistema de recolección y almacenamiento de agua:*

Finalmente, para la recolección de agua se debe tomar en cuenta que el canal por donde fluirá el agua hacia el sistema de almacenamiento necesita tener una inclinación para evitar el estancamiento y evaporación de esta. Es así como se coloca el canal con una caída mínima del 1%. Al final del canal, en la parte más baja, se realiza una conexión entre este y el sistema de almacenamiento mediante elementos como accesorios de PVC, mangueras, reducciones, entre otros.

#### **1.4.8 Desarrollo de elementos para medición de datos**

Una vez que se han diseñado los elementos principales del colector, se establecen los instrumentos con los cuales se controlará la cantidad de agua recolectada por este.

### *Pluviómetro:*

Debido a que la cantidad de lluvia juega un papel importante al determinar la eficiencia del colector de humedad, se desarrolla un pluviómetro casero que permita medir diariamente la cantidad de agua proveniente de esta.

Se debe tomar en cuenta que la lluvia es medida acorde a los litros de agua que caen en un metro cuadrado. Si estos litros son colocados en un cubo con lados de 1 metro, su altura en milímetros será igual a la cantidad de litros. Es decir, si se tiene una lluvia de 5 [l/m<sup>2</sup>] y estos 5 litros son colocados en un cubo de 1x1x1 [m], la altura del agua dentro del cubo será de 5 milímetros. [18]

Para el desarrollo del pluviómetro se selecciona una botella con perfil regular y se realiza un corte en la parte superior por el cual ingresará el agua de lluvia. Posterior a esto, con la ayuda de una regla, se marcan diferentes niveles a las alturas de nuestro interés. Finalizados estos trabajos, se obtiene un pluviómetro como el mostrado en la figura 2.15.



*Figura 2.152: Pluviómetro casero<sup>2</sup>*

El pluviómetro usado en el proyecto se realizó con una botella plástica. Debido a que la parte inferior es cónica, se vertió agua hasta llegar a la zona regular de la botella, una vez ahí se colocó una regla junto a esta y se retiró agua hasta que el nivel descendiera un centímetro. El agua retirada se midió y se tomó como referencia para saber qué volumen

---

<sup>2</sup> La medida de [cm<sup>3</sup>] en la ilustración 2.15 referente al pluviómetro es herrada ya que como se describe en el proceso de elaboración, lo que se mide es altura, por lo que la unidad correcta a usarse es [cm].

de agua podía entrar en la zona cónica. Es así como se lograron las dos primeras marcas a los 0.5 y 1 [cm] de altura, equivalentes a 0.5 y 1 [mm] de lluvia.

La cantidad de agua lluvia recolectada por el colector se determina usando la medición del pluviómetro en [cm] y el área de captación, es decir el área transversal del canal. Así,

$$V_{\text{agua lluvia}} = A_t * h$$

**Ecuación 2.9:** Volumen de agua lluvia

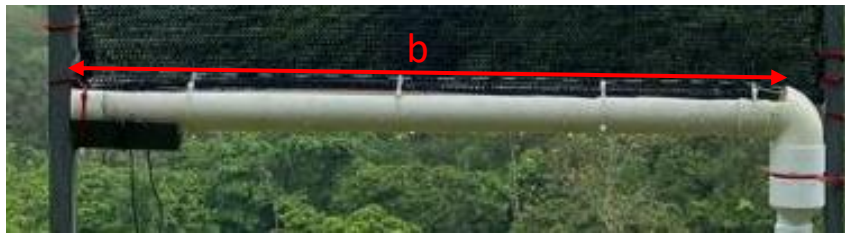
Donde,

V agua lluvia: Volumen de agua lluvia [l]

At: Área transversal del canal [m<sup>2</sup>]

h: Medición pluviómetro [l/m<sup>2</sup>]

El área de captación se asume como el rectángulo formado por a longitud del canal y su diámetro, como se muestra en la figura, y se determina con:



*Figura 2.36: Medidas del canal*

$$A_t = a * b$$

**Ecuación 2.10:** Área transversal

Donde,

a: Diámetro del canal [m]

b: Longitud del canal [m]

*Almacenamiento de agua del colector:*

Se desarrolla un sistema de medición en la botella de almacenamiento con el fin de facilitar la medición de la cantidad de agua recolectada por el prototipo. Para definir la escala se usa una jeringuilla o un instrumento de medición de líquidos con el cual se llena la botella poco a poco realizando marcas en las medidas necesarias.



*Figura 2.47: Sistema de almacenamiento de agua con escala*

Se usó una botella reciclada a la cual se le realizaron mediciones cada 50 [ml]. Para esto se llenó una jeringuilla con 50 [ml] de líquido, se lo vació en la botella y se marcó el nivel. Este procedimiento fue realizado hasta alcanzar los 500 [ml].

### **2.3 Toma de datos y control de variables**

Finalmente, al haber instalado tanto el colector como los instrumentos de medición, se empiezan a registrar los datos de temperatura y humedad a diario, de manera manual, acorde a las mediciones de un sensor analógico cuyas características se encuentran en el anexo 3 y de manera mensual se descargarán de un sensor Govee, con características detalladas en el anexo 4, el cual permite almacenar datos y descargarlos mediante bluetooth.

La cantidad de agua recogida tanto por el SFC como por el pluviómetro serán anotados dos veces al día, a las 6am durante la mañana y a las 6pm durante la tarde, a través de una bitácora como se presenta en el anexo 5.



### 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de haber implementado el prototipo en el sitio escogido y haber tomado datos de manera periódica, se realiza la evaluación de los resultados obtenidos en el periodo de finales de noviembre a enero.

#### 3.1 Recopilación de datos atmosféricos

Gracias a los datos recopilados por la estación meteorológica mencionada, se obtienen las siguientes gráficas:

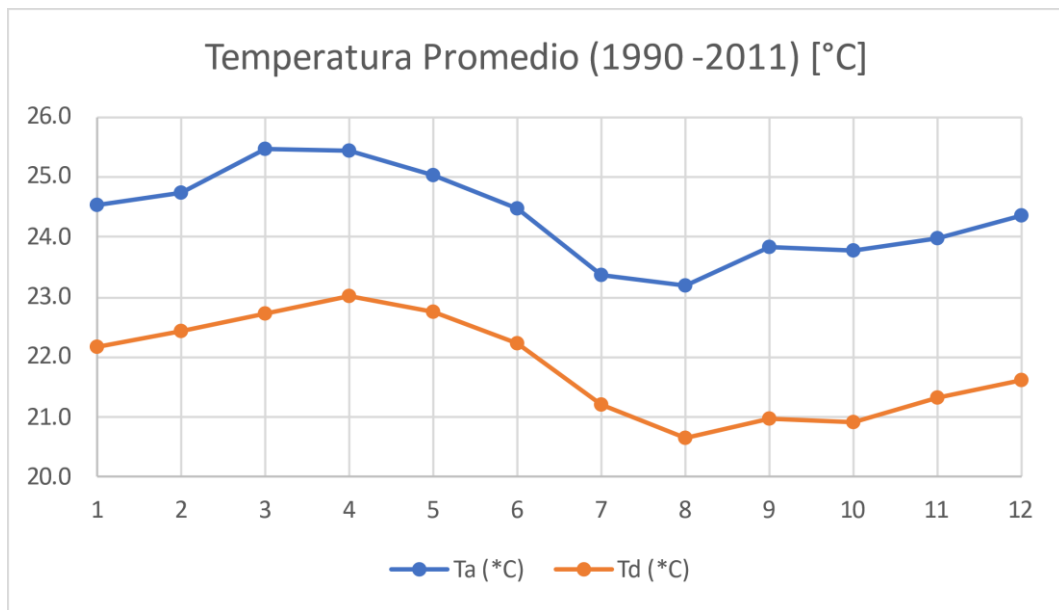


Figura 3.1: Temperatura promedio entre 1990 y 2011

Acorde a la figura 3.1, la temperatura fluctúa a lo largo del año, durante el día, desde el punto más bajo en agosto, aproximadamente a 23 [°C], hasta marzo a más de 26 [°C]. Por la noche se alcanzan temperaturas pico en temporadas similares que, en el día, de más de 20 [°C] hasta 23 [°C].

Estas condiciones indican que el momento óptimo para la recolección de agua será por la noche y madrugada ya que al alcanzar temperaturas más bajas que en el día, se facilitará la formación de niebla y por tanto aumentará la cantidad de agua a recolectarse.

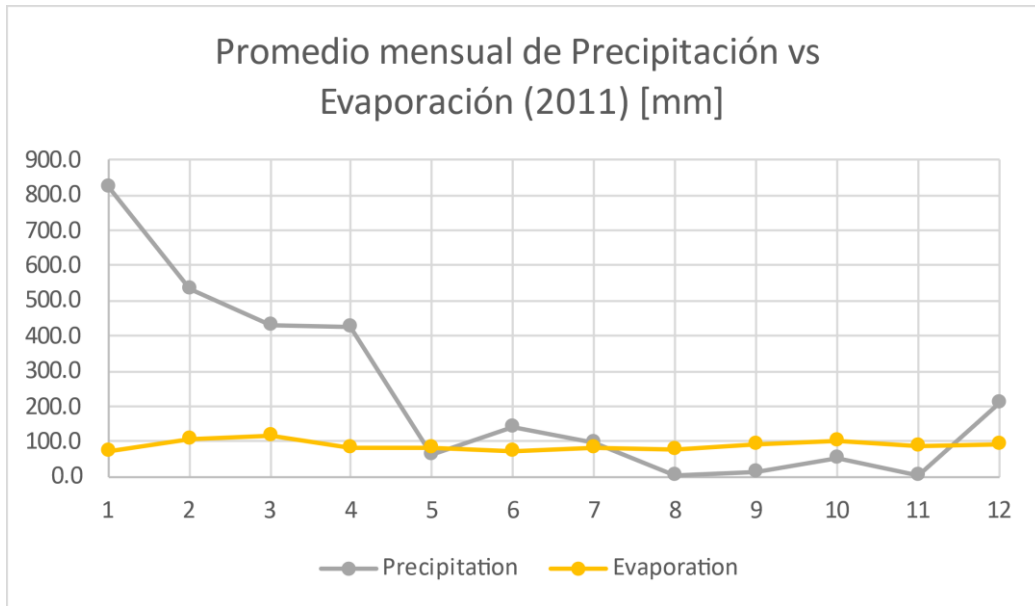


Figura 3.2: Precipitación vs evaporación

Debido a que solo se tiene datos de evaporación correspondientes al año 2011, el análisis de precipitación vs evaporación se verá limitado a los mismos. Es así como otro factor a considerar para determinar el funcionamiento de colector de niebla es la cantidad de lluvia y la evaporación que existen en el sitio de estudio. Como se observa en la figura 3.2, los primeros meses del año son los que mayor precipitación tienen, lo cual incurre en una baja tasa de evaporación. Durante la segunda mitad del año, correspondiente a la temporada seca, a pesar de que la evaporación no presenta grandes variaciones respecto a la primera mitad del año, esta puede llegar a ser mayor que la precipitación debido a las escasas lluvias.

Por ende, la evaporación es un factor que se debe tener en cuenta durante la segunda mitad del año para evitar pérdidas en el agua acumulada por el colector. También se debe tomar en cuenta que el colector de niebla recogerá una gran cantidad de agua de lluvia durante el primer semestre del año.

### 3.1.1 Casa de la Calidad

Mediante reuniones con personas de la comunidad donde se implementará el prototipo se establecen los requerimientos que este deberá cumplir. Posteriormente, se traducen dichos requerimientos a especificaciones técnicas y se les asigna una característica medible. Finalmente, se evalúa el cumplimiento de los requerimientos del prototipo. Esta información es resumida en la casa de la calidad mostrada a continuación:

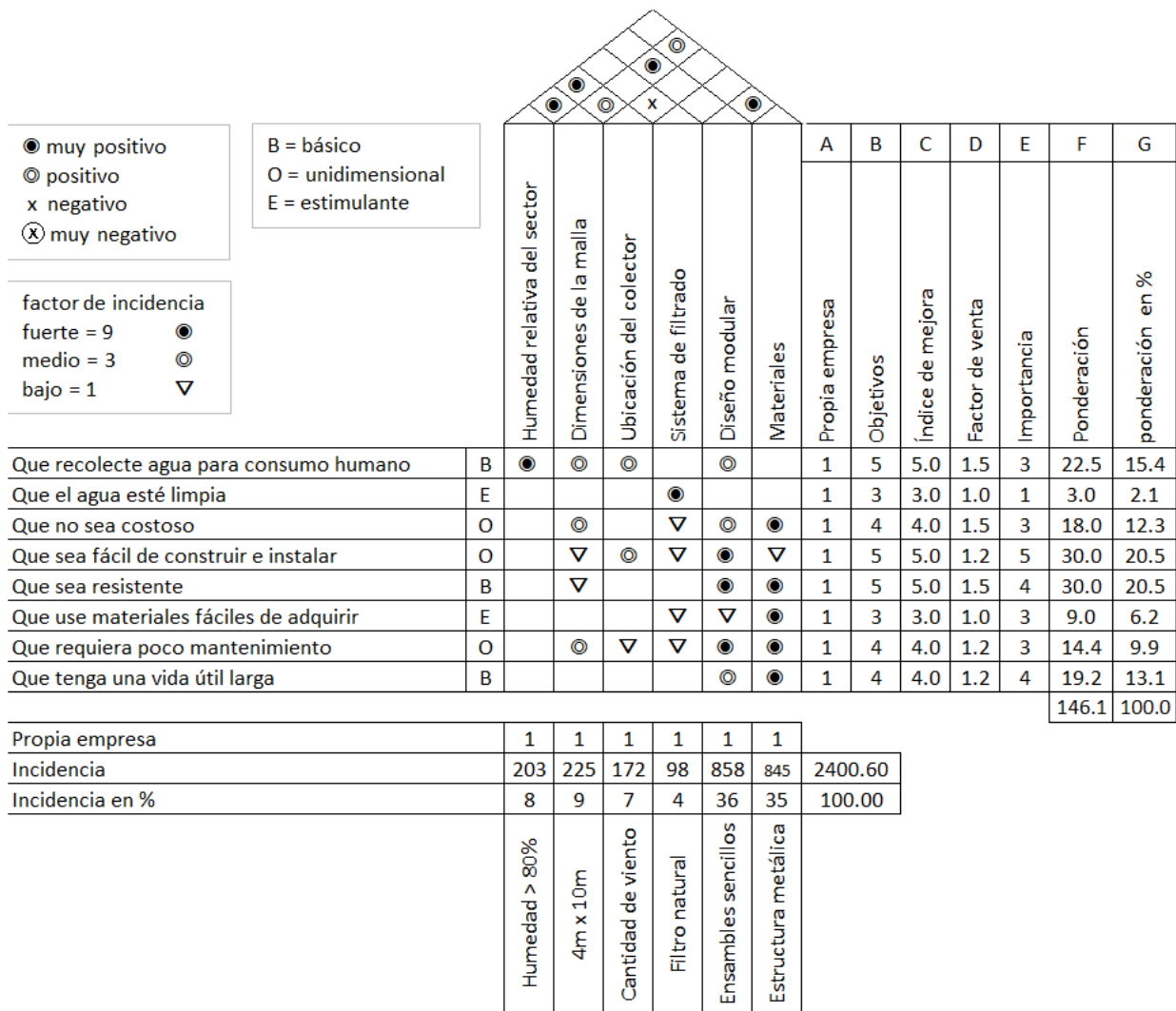


Figura 3.3: Casa de la calidad del colector de agua

Finalizada la casa de la calidad se pueden identificar 3 factores predominantes en cuanto a la ponderación de la importancia:

Que recolecte agua, que sea fácil de construir e instalar y que sea resistente. Es así como el prototipo apuntará a cumplir de mejor manera con dichos requerimientos. Para esto se deberá tomar en cuenta el material de la malla, el material de la estructura y el diseño de esta para permitir una instalación y escalabilidad sencilla.

Dichos requerimientos se ven respaldados por el factor de incidencia. Es así como un ensamble sencillo y la estructura metálica tienen la mayor incidencia en la satisfacción del usuario acorde a sus necesidades.

Con base en la casa de la calidad, se realiza el detalle de las especificaciones técnicas, las cuales serán de vital importancia durante la construcción, instalación, uso y mantenimiento del colector de niebla.

**Tabla 3.1:** Especificaciones técnicas del colector de niebla

Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C	R	Capturar mínimo 4 litros de agua al día
	C+I	D	Purificación del agua recolectada al día
Dimensiones	I	MR	SFC durante el análisis de captación
			LFC para uso final
Fuerza	I	R	Que soporte las cargas de viento del lugar a instalarse

**Propone** C = Cliente, I = Ingeniería

**R/D** R = Requerimiento, D = Deseo, MR = Modific. Requerimiento

Dichas especificaciones técnicas responden a las siguientes necesidades:

1. Capturar 4L de agua al día: La escuela a la cual se busca beneficiar con el proyecto cuenta con un cuerpo estudiantil de 13 niños. Para mantener los niveles de hidratación adecuados, los niños deben beber entre 1.8 y 2.4 [l] de agua al día [19]. Debido a que los niños pasan 6 horas en la escuela, lo cual equivale a  $\frac{1}{4}$  del día, cada niño debe beber entre 400 y 600 [mL] de agua. Al recolectar mínimo 4 [l] de agua se suplirá esta necesidad aproximadamente en un 77%.
2. Purificar el agua recolectada al día: Debido a la falta de implementos de cocina en la escuela que permitan hervir el agua para purificarla, se deberá implementar un filtro natural que permita beber el agua directamente desde el sistema de almacenamiento del colector.
3. SFC y LFC: Debido a la fase de prueba y evaluación de condiciones climáticas que requiere este tipo de sistemas, se deberá implementar un colector estándar de 1 [m<sup>2</sup>] el cual permitirá determinar las dimensiones necesarias para el colector final de dimensiones largas.
4. Que soporte las cargas de viento: La resistencia del material a utilizarse en la estructura es importante ya que este se encontrará a la intemperie, principalmente expuesto a altas cargas de viento acorde al sector. Es por esto por lo que se busca trabajar con un material que soporte dichos factores.

### 3.2 Selección de módulos

Al finalizar el análisis de la casa de la calidad, se proponen diferentes materiales y soluciones a los elementos que conformarán el prototipo. Estas soluciones son

comparadas entre sí acorde a los criterios establecidos en la metodología, generando así las siguientes tablas de ponderación:

*Evaluación del peso específico de cada criterio*

Para determinar el peso relativo de cada criterio se realiza una comparación entre ellos como se muestra en las tablas a continuación:

Para el módulo 1:

**Tabla 3.2:** Evaluación del peso específico de cada criterio

escalabilidad > vida útil > disponibilidad = costo						
Criterio	Escalabilidad	Vida útil	Disponibilidad	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Escalabilidad	1	1	1	1	4	0.40
Vida útil	0	1	1	1	3	0.30
Disponibilidad	0	0	0.5	0.5	1.5	0.15
Costo	0	0	0.5	1	1.5	0.15
				Suma	10	1

Para el módulo 2:

Para la evaluación de las alternativas en este módulo se tomarán en cuenta los mismos criterios que en el módulo 1 con diferente nivel de prioridad.

**Tabla 3.3:** Evaluación del peso específico de cada criterio

escalabilidad > costo > vida útil > disponibilidad						
Criterio	Escalabilidad	Vida útil	Disponibilidad	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Escalabilidad	1	1	1	1	4	0.40
Vida útil	0	1	1	0	2	0.20
Disponibilidad	0	0	1	0	1	0.10
Costo	0	1	1	1	3	0.30
				Suma	10	1

Las tablas son generadas analizando si el criterio de la columna es mejor que el de la fila. De esta manera, si la Escalabilidad es más deseable que la vida útil, tendrá un puntaje de 1, en caso de ser menos deseable, 0 y si son igualmente deseables, 0.5

La evaluación del desempeño de las diferentes alternativas tanto para el módulo 1 como para el módulo 2, con base a cada criterio determinado en la tabla 6 se presenta en el anexo 6.

Una vez que se ha evaluado el desempeño de cada alternativa respecto a los criterios propuestos, se obtiene el producto de la ponderación de estas por la ponderación de los criterios detallados en la tabla 5, lo cual se resume en la tabla 7.

**Tabla 3.4:** Tabla de conclusiones

Criterio	Escalabilidad	Vida útil	Disponibilidad	Costo	$\Sigma$	Prioridad
Alt. 1	0.03	0.03	0.04	0.04	0.13	5
Alt. 2	0.08	0.01	0.04	0.04	0.18	3=4
Alt. 3	0.10	0.09	0.01	0.01	0.20	2
Alt. 4	0.11	0.06	0.03	0.01	0.22	1
Alt. 5	0.03	0.04	0.01	0.02	0.10	6
Alt. 6	0.06	0.06	0.03	0.03	0.18	3=4

Así, al realizar la sumatoria se obtiene que la alternativa 4 es la que mejor se acopla a los criterios planteados para cumplir con los requerimientos del usuario. Por tanto, se diseña el colector con un marco de estructura metálica cuyos anclajes serán enterrados y estará equipado con malla Raschel.

Finalmente se opera al igual que en el módulo 1, obteniendo así la siguiente tabla de conclusiones para el módulo 2:

**Tabla 3.5:** Tabla de conclusiones

Criterio	Escalabilidad	Vida útil	Disponibilidad	Costo	$\Sigma$	Prioridad
Alt. 1	0.04	0.07	0.03	0.06	0.20	4
Alt. 2	0.10	0.03	0.04	0.12	0.29	1
Alt. 3	0.16	0.07	0.01	0.03	0.27	2
Alt. 4	0.10	0.03	0.02	0.09	0.24	3

Por ende la alternativa 2, instalar un canal de tubo PVC y usar botellas recicladas, es la idónea para realizar el trabajo requerido aprovechando y optimizando los recursos económicos y materiales disponibles.

### 3.2.1 Selección de perfil a usar

Para seleccionar el perfil, se calcula la carga de viento mediante las fórmulas explicadas en la metodología. En el sector donde será colocado el colector la velocidad máxima del viento, acorde a los registros del año 2022, es de 24 [km/h] y para obtener el resultado deseado se realizan las siguientes consideraciones:

- Coeficiente de corrección  $\sigma = 0.91$  acorde a la tabla 5 del Código NEC SE CG debido a que el colector tiene una altura menor a 5 [m] y no presenta obstrucciones en la circulación del aire.

- Coeficiente de entorno/altura  $C_e = 1.6$  acorde a la Tabla 3.4 del Documento básico SE-AE dado que el colector será ubicado en una zona rural accidentada con obstáculos aislados como árboles y una altura menor a 3m.
- Coeficiente de forma  $C_f = 1.5$  acorde a la tabla 7 del Código NEC SE CG en vista de que el colector será ubicado en una ladera de fuerte inclinación o desfiladeros.

Aplicando esta información en la fórmula para la carga de viento, se determina que esta es de aproximadamente 332 [N] o 0.03 [T].

El marco será realizado con acero A36 cuyo esfuerzo a la fluencia ( $S_y$ ) es de 36 [ksi]. Se despeja la fórmula de esfuerzo nominal y se obtiene el área mínima del perfil a usar. Es importante notar que se trabaja en medidas inglesas por lo que se deben tener todas las variables en dichas unidades.

$$A_{min} \geq \frac{F}{\frac{S_y}{FS}} = \frac{0.03 [T] * 2.2}{\frac{36}{2}} = 3.66 \times 10^{-3} [in^2] = 0.024 [cm^2]$$

Por tanto, para el SFC se necesita un perfil cuya área debe ser igual o mayor a 0.039 [cm<sup>2</sup>]

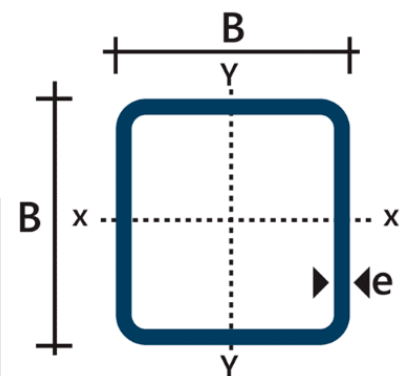
Para terminar la selección del perfil se debe cumplir también con el criterio de esbeltez por lo que se considera la longitud del brazo horizontal del marco. Con esto se determina el radio de giro mínimo que deberá tener el perfil.

$$r_{min} > \frac{L}{240} = \frac{2.5 [m] * 39.36}{240} = 0.41 [in] = 1.04 [cm]$$

Una vez determinada el área y el radio de giro mínimo, se buscan estas propiedades en las tablas del tipo de perfil a usar.

**Tabla 3.6:** Características geométricas de tubo rectangular de acero A36 (Import Aceros)

Designaciones		Área	Peso	Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	I
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13



De esta tabla se selecciona el tubo cuadrado de lado 30 [cm] y espesor 2mm, cuya área es de 2.14 [cm<sup>2</sup>] y su radio de giro de 1.13 [cm]. Estas propiedades frente a la carga de viento del lugar tienen una esbeltez de 223.69 [ksi] menor que 240, lo cual indica que el perfil tiene una adecuada relación entre su longitud y sección transversal.

### 3.2.2 Diseño y simulación del colector

Una vez seleccionado el perfil cuadrado de 30x30x2mm se procede con el diseño de la estructura. Para cumplir con los requerimientos del cliente en cuanto a la facilidad de instalación se propone un colector modular que permita su ensamble mediante piezas que encajan entre sí, simulando la acción que se tiene al colocar la tapa de un esfero.

Para esto se diseñan los diferentes miembros con las siguientes denominaciones y medidas, los cuales serán representados en el modelo a simular:

**Tabla 3.7:** Elementos que conforman el colector

DENOMINACIÓN	MATERIAL	DIMENSIÓN [m]	USO
Pata	TC 30x2mm	3.5	Columna principal del colector
Horizontal 1	TC 30x2mm	0.15	Elemento que une la columna principal con la viga principal
Horizontal 2	TC 30x2mm	0.5	Viga principal del colector
Junta	TC 25x2mm	0.1	Elemento de unión entre las piezas principales de la estructura.
Extensión	TC 30x2mm	1	Elemento adicional que permitirá incrementar las dimensiones del colector

Una vez dibujados y extruidos los diferentes miembros acorde a las especificaciones del material, se asignan las cargas tanto del peso de la estructura como del viento y se realiza el análisis estático.



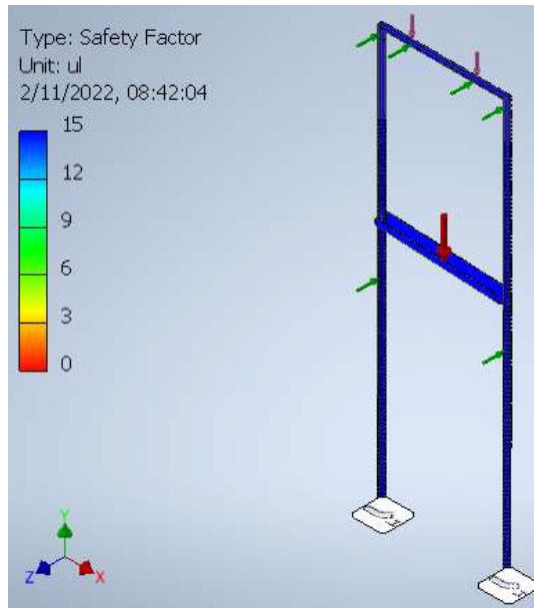


Figura 3.4: Simulación del modelo del colector

Con ayuda de la simulación estática de la estructura se determina que todos los miembros trabajan con un factor de seguridad correcto, como se muestra en la figura 3.4.

### 3.2.3 Construcción e implementación del prototipo

Acorde al análisis de los módulos, el prototipo es elaborado de tal manera que cuente con un marco de tubo cuadrado con los acoples necesarios para realizar las conexiones entre elementos, doble malla desfazada entre sí y un sistema de recolección de agua elaborada con tubos y reducciones de PVC, conexiones de plástico y manguera para conectar a la botella de almacenamiento. El proceso de instalación del colector se detalla en el manual para el usuario presentado en el anexo 7.

El principio de funcionamiento de los colectores de niebla implica que el sistema sea ubicado en una zona abierta donde no existan obstáculos para el paso de la niebla. Es por esto por lo que una vez recorrido el bosque se escoge la loma del ingreso principal debido a su elevación, ausencia de árboles altos y cercanía al centro de investigación de la fundación Great Leaf lo cual facilitará la toma de datos.



*Figura 3.5: Ubicación de los prototipos de SFC*

Se colocó un prototipo de madera (figura 3.5, izquierda) en el sitio escogido para probar la recolección de agua en dicha ubicación, la tensión de la malla, la inclinación de la canaleta y la longitud de la manguera que conecta el canal con la botella. Una vez definidos dichos parámetros se los aplicó al prototipo final (figura 3.5, derecha) en el cual se corrigió la longitud de la manguera y la implementación de la malla.

### **3.2.4 Recolección y evaluación de resultados**

Los datos referentes a humedad relativa, temperatura y cantidad de agua obtenida de la niebla, recolectados durante diciembre del 2022 se presentan en el anexo 8.

Durante este mes la temperatura ambiente en la mañana es, en promedio, de 22.8 [°C] y la humedad relativa de 89.8 [%]. Mientras que, por la tarde, se tiene una temperatura promedio de 24.68 [°C] y humedad relativa de 75.76 [%]. Es decir que en promedio la mañana es más fría y húmeda que la tarde, lo cual tendrá un impacto directo en los resultados de captación de agua.

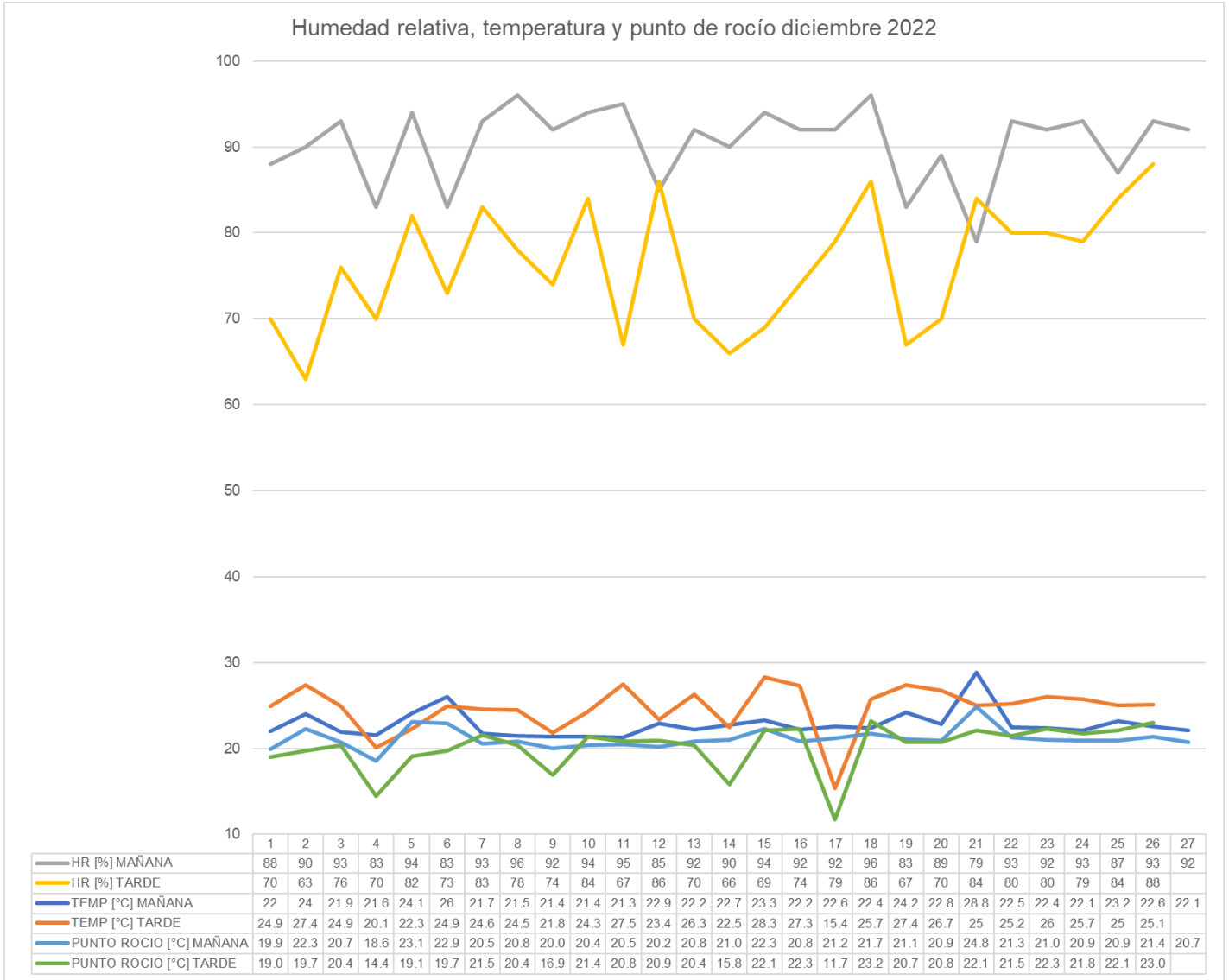


Figura 3.6: Resumen datos meteorológicos de diciembre

En la figura 3.6 se grafican los datos de temperatura, humedad relativa y punto de rocío tanto de la mañana (06:00) como de la tarde (18:00). La cantidad de agua recolectada tanto de la niebla como de la lluvia se presentan en la figura 3.7.

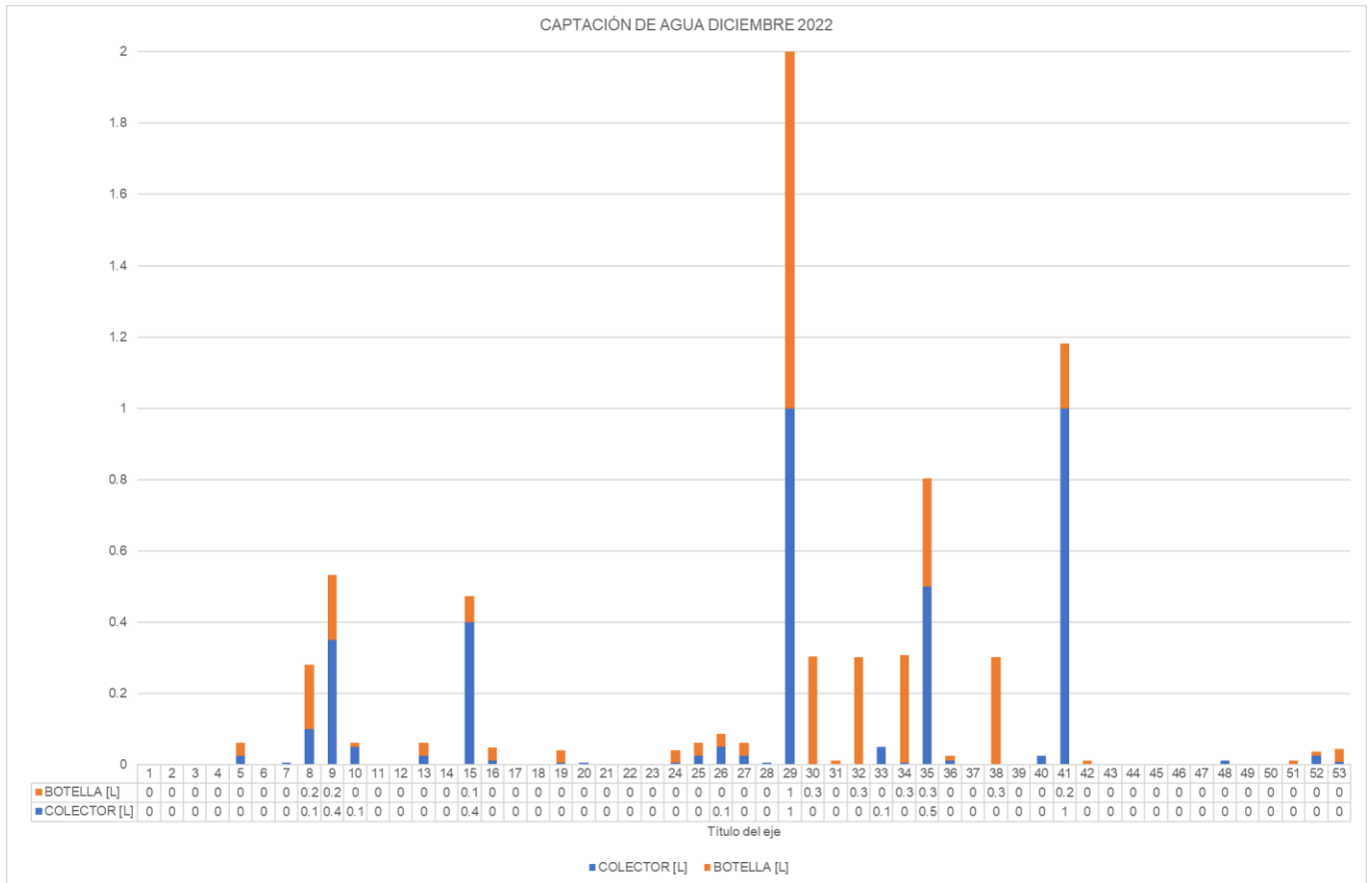


Figura 3.7: Resumen captación de agua

Como se presenta en la figura 3.7, existen días durante los cuales se obtiene una alta cantidad de agua tanto de lluvia como de niebla, pero también hay días donde no se recolecta agua de ninguna estas fuentes. Este fenómeno es producto de las condiciones climáticas ya que se requieren parámetros específicos para la formación y crecimiento de las microgotas presentes en la niebla. Entre estos se encuentra la presencia de neblina, una temperatura ambiental menor al punto de rocío, una alta humedad relativa y una velocidad de viento adecuada. Debido a que la captación de agua de niebla es un método pasivo, estos resultados son normales y se pueden encontrar en proyectos similares.

### 3.2.5 Análisis de costos unitarios

Finalmente, al concluirse la etapa de prueba del SFC, se determina el costo que tendrá la fabricación del LFC según las medidas que este requiera para cumplir con las necesidades del usuario.

Para esto se consideran dos rubros. El primero referente a la elaboración del marco metálico y el segundo a la instalación de la malla, sistema de recolección y almacenamiento e implementación del prototipo en sitio. Obteniendo así los siguientes APUs:

**Tabla 3.6:** Rubro 1: Elaboración de marco metálico

<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>						
<b>PROYECTO:</b>	Colector de humedad				<b>UNIDAD:</b>	m2
<b>RUBRO:</b>	Elaboración de marco metálico para colector				<b>RENDIMIENTO:</b>	0.8571
<b>EQUIPOS</b>						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Herramienta Menor 5% de M.O.					0.27000	
Moladora	1.00000	1.00000	1.00000	0.05000	0.05000	
Soldadora eléctrica	1.00000	2.85000	2.85000	0.05000	0.14000	
Compresor	1.00000	1.50000	1.50000	0.05000	0.08000	
<b>SUBTOTAL (M)</b>					<b>0.54000</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL / HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Soldador	1.00000	3.35000	3.35000	0.85714	2.87000	
Ayudante de soldador	1.00000	2.90000	2.90000	0.85714	2.49000	
<b>SUBTOTAL (N)</b>					<b>5.36000</b>	
<b>MATERIALES</b>						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
Tubo cuadrado negro de 30x2mm	U	0.37900	11.00000	4.16895		
Tubo cuadrado negro de 25x2mm	U	0.01370	8.18000	0.11205		
Electrodos 6011	Kg	0.02740	3.77000	0.10329		
Pintura anticorrosiva	Lt	0.01000	6.67000	0.06670		
<b>SUBTOTAL (O)</b>					<b>4.45099</b>	
<b>TRANSPORTE</b>						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
<b>SUBTOTAL (P)</b>					<b>0.00000</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>10.35000</b>	
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES:</b>				<b>10.00%</b>	<b>1.04000</b>	
<b>OTROS INDIRECTOS:</b>						
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO SIN IVA:</b>					<b>11.39000</b>	

**Tabla 3.7:** Rubro 2: Instalación del colector de humedad

<u>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</u>						
<b>PROYECTO:</b>	Colector de humedad				<b>UNIDAD:</b>	U
<b>RUBRO:</b>	Instalación del colector				<b>RENDIMIENTO:</b>	0.3300
<b>EQUIPOS</b>						
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>	
Herramienta Menor 5% de M.O.					0.04000	
<b>SUBTOTAL (M)</b>					<b>0.04000</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>						
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL / HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>	
Peón	1.00000	2.50000	2.50000	0.33000	0.83000	
<b>SUBTOTAL (N)</b>					<b>0.83000</b>	
<b>MATERIALES</b>						
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO</b>		
Malla raschell 50% 4.20x1m	M	1.00000	2.18750	2.18750		
Canaleta PVC Ø110	U	0.36667	10.56250	3.87292		
Codo 90° PVC Ø110	U	1.00000	2.96429	2.96429		
Reducción 3" a 2"	U	1.00000	2.23214	2.23214		
<b>SUBTOTAL (O)</b>					<b>11.25685</b>	
<b>TRANSPORTE</b>						
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>		
<b>SUBTOTAL (P)</b>					<b>0.00000</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>12.13000</b>	
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES:</b>				<b>10.00%</b>	<b>1.21000</b>	
<b>OTROS INDIRECTOS:</b>						
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO SIN IVA:</b>					<b>13.34000</b>	

Por tanto, la elaboración e instalación del colector de niebla de tamaño estándar tendrá un costo casi de \$55. Una vez determinado el tamaño del colector final se tendrán los gastos presentados en el siguiente rubro adicional:

**Tabla 3.8:** Rubro 3: Extensión del colector

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
PROYECTO:		Colector de humedad			
RUBRO:		Extensión metálica del colector		UNIDAD:	m2
				RENDIMIENTO:	0.5000
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Menor 5% de M.O.					0.08000
Moladora	1.00000	1.00000	1.00000	0.50000	0.50000
Soldadora eléctrica	1.00000	2.85000	2.85000	0.50000	1.43000
Compresor	1.00000	1.50000	1.50000	0.50000	0.75000
<b>SUBTOTAL (M)</b>					<b>2.76000</b>
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL / HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Soldador	1.00000	3.35000	3.35000	0.50000	1.68000
Peón	1.00000	2.50000	2.50000	0.50000	1.25000
<b>SUBTOTAL (N)</b>					<b>1.68000</b>
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Tubo cuadrado negro de 30x2mm	U	0.07150	15.80000	1.12970	
Tubo cuadrado negro de 25x2mm	U	0.00313	11.65000	0.03641	
Electrodos 6011	Kg	0.00100	3.77000	0.00377	
Pintura anticorrosiva	Lt	0.01000	72.35000	0.72350	
Malla raschell 50% 4.20x1m	M	0.23800	2.45000	0.58310	
<b>SUBTOTAL (O)</b>					<b>2.47648</b>
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
<b>SUBTOTAL (P)</b>					<b>0.00000</b>
				<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>	<b>6.92000</b>
				<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES:</b>	<b>10.00%</b>
				<b>OTROS INDIRECTOS:</b>	
				<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO SIN IVA:</b>	<b>7.61000</b>

Los rubros presentados son resumidos en la tabla de cantidades presentada a continuación:

**Tabla 3.9:** Tabla de cantidades de la elaboración del colector

TABLA DE CANTIDADES					
#	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P UNITARIO	P TOTAL
1	Elaboración de marco metálico para colector	m2	3.65	\$ 11.39	\$ 41.57
2	Instalación del colector	U	1	\$ 13.34	\$ 13.34
3	Extensión metálica del colector	m2	39	\$ 2.23	\$ 86.97
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 141.88</b>

Por ende, el proceso de elaborar e instalar el SFC, así como la transición al LFC tendrá un costo total del casi \$142. Esta inversión se debe comparar con la inversión de una bomba de agua para obtener este recurso desde un arroyo o río cercano.

### **3.2.6 Discusión**

Acorde a la figura 3.6, el punto de rocío se encuentra más cercano a la temperatura ambiente en la mañana que en la tarde por lo cual la tasa de recolección de agua de niebla es mayor durante la madrugada. Otro factor que influye en esto es la humedad relativa. En la mañana se tiene una mayor humedad relativa que en la tarde, razón por la cual la tasa de recolección en la tarde es menor.

Como se puede observar en la figura 3.7, la tasa de recolección de agua tiene una mayor presencia de agua de niebla en la mañana que en la tarde, sin embargo, la cantidad de agua recolectada durante la tarde se atribuye al inicio de la estación húmeda, durante la cual se incrementa la cantidad y frecuencia de lluvia.

Otro factor que considerar es que la malla usada tiene un coeficiente de sombra del 50%, es decir que el espacio existente entre cada hilera es mayor que el de la malla con coeficiente del 35%. Para obtener mejores resultados de captación, se recomienda realizar el estudio con la segunda malla mencionada.

El colector, durante el mes de diciembre, logró capturar 7.256 [l] de agua, de los cuales 3.727 [l] corresponden a agua de niebla, es decir el 51.37% mientras que el restante se obtuvo de la lluvia.

Las bombas usadas en la comunidad tienen un costo cercano a los \$140, dos dólares por debajo del costo de instalar el SFC. Sin embargo, la bomba, con el tiempo, incurrirá en gastos tanto de electricidad como de mantenimiento mientras que el colector de niebla no. El tiempo de vida de la malla es de aproximadamente 10 años [20], es decir que durante ese tiempo solo se deberán hacer pequeños mantenimientos en caso de que esta se rompa o se afloje.

Es importante recalcar que la instalación del LFC ayudará también en la recolección de agua lluvia como se mostró en la figura 3.7, por lo cual la cantidad de agua que se obtendrá en total será mayor al contar con ambas fuentes de agua.

También se debe considerar que el colector de niebla es un método de captación de agua pasivo, es decir que no altera el medio en el cual es colocado. Contrario al colector, las bombas usadas por la comunidad requieren, en algunos casos, gasolina para funcionar, lo



cual trae consigo un gran impacto ambiental debido a la manera de obtención de los productos refinados del petróleo.

### 3.3 Conclusiones

- Acorde a los datos históricos de temperatura y humedad relativa del cantón El Carmen, se establecen dos temporadas: Seca, de julio a diciembre y Húmeda, de enero a junio. Debido a que el colector fue probado en diciembre, a finales de temporada seca, el cálculo de LFC proveerá el agua requerida por el usuario en temporada seca y tendrá una mayor tasa de recolección de agua en la temporada húmeda ya que también se le sumará la recolección de agua lluvia.
- Gracias al diseño modular del colector de niebla se facilita la transición entre un colector de niebla estándar a uno de las dimensiones requeridas. Es así como una vez terminada la etapa de recolección de datos, se suelta la malla, se desentierra y reubica un parante, se colocan los miembros extensores, se teje la extensión de la malla, se coloca la extensión del canal y queda listo para continuar con el proceso sin tener que construir el colector desde cero.
- Durante el mes de diciembre se recolectó 3.5 [l/mes] de agua de niebla con un SFC, es decir que para cubrir los 4 [l/d] que requiere la escuela para el consumo de los niños, de lunes a viernes durante 1 mes, se debe instalar un LFC de aproximadamente 25 [m<sup>2</sup>] o 5 colectores pequeños de 5 [m<sup>2</sup>]. Adicional a esto se debe implementar un filtro para purificar el agua recolectada previo a su consumo.
- La instalación del SFC durante diciembre, uno de los meses más secos del año, concluyó en la recolección de aproximadamente 3.5 [l/mes] de agua de niebla, es decir que la implementación de un LFC de 40 [m<sup>2</sup>] ayudará a obtener aproximadamente 140 [l/mes] en esta época.
- Para cubrir la necesidad hídrica de la escuela en un 77% se requiere un LFC de 25 [m<sup>2</sup>], cuyo costo bordea los \$111. Debido a que es una inversión a largo plazo, la instalación de un LFC de 40 [m<sup>2</sup>] resultaría mejor ya que se podría llegar a obtener casi 150 [l/mes] o aproximadamente 4.8 [l/d] y así aumentar el nivel de cobertura de esta necesidad. La instalación de un LFC de 40 [m<sup>2</sup>] tendría el mismo valor inicial que el de una bomba de agua como las que se usan actualmente pero a largo plazo, no requeriría de mayor inversión contrario a las bombas que demandan electricidad o gasolina, mantenimiento, una larga conexión de tubería hasta el arroyo/río, entre otros gastos. Así, a largo plazo, el LFC tendrá un menor costo.

### 3.4 Recomendaciones

- Se recomienda armar un marco para la malla con alambre para evitar que esta se rompa al momento de tensarla. Para esto se atraviesa la malla con el alambre a manera de costura. Es preferible usar alambre galvanizado con el fin de evitar la contaminación del agua con óxido del metal.
- Si el prototipo va a ser instalado en un lugar con altas temperaturas o gran incidencia solar, es preferible trabajar con una manguera pequeña que conecte el canal al sistema de almacenamiento para evitar pérdidas por evaporación.
- Si el agua recolectada es para consumo humano se debe implementar un filtro posterior al sistema de almacenamiento para evitar enfermedades por la posible generación de hongos en los tanques de almacenamiento.
- Si el agua recolectada es para riego, se recomienda conectar el canal a un sistema de goteo ya que así se aprovechará toda el agua captada sin la necesidad de constante intervención humana.
- Se recomienda realizar un análisis de pureza del agua recolectada para determinar el nivel de contaminación del agua de niebla en esta zona y establecer si es apta para el consumo humano sin necesidad de un proceso de purificación o no.
- Debido a la cantidad de agua lluvia que se recolectó en el sitio de estudio, se recomienda analizar la viabilidad de un sistema de captación de nubes o *cloud harvester*.

## 4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. E. B. H. Mousa Maleki, «Hydrometeorological Water Harvesting,» de *Handbook of water harvesting and conservation*, 2021.
- [2] INEC, de *Agua, saneamiento e higiene: Medición de los ODS en Ecuador*, Quito, 2018.
- [3] ODS Territorio Ecuador, de *ODS 11 Manabí*, 2018.
- [4] Naciones Unidas, «AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO: POR QUÉ ES IMPORTANTE».
- [5] Great Leaf, «Bosques La Esperanza,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.great-leaf.org/productos>.
- [6] S. E. B. H. Mousa Maleki, *Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals*, 2021.

- [7] M. Mousavi-baygi, «The implementation of fog water collection systems in Northeast of Iran,» *International Journal of Pure and Applied Physics*, 2008.
- [8] H. Jarimi, *Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting*, 2019.
- [9] FogQuest, «FogQuest: Sustainable Water Solutions,» 2022.
- [10] D. M. Fernandez, «Fog Water Collection Effectiveness: Mesh Intercomparisons,» 2018.
- [11] EcolInventos, «Warka Water. La torre de bambú que produce hasta 100 litros de agua al día,» 8 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://ecoinventos.com/warkawater/>. [Último acceso: 23 11 2022].
- [12] S. K. Jun Kyu Park, *Three-Dimensionally Structured Flexible Fog Harvesting Surfaces Inspired by Namib Desert Beetles*, 2019.
- [13] E. Perez, *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE DOS PROTOTIPOS DE CAPTADORES DE NIEBLA PARA OBTENER AGUA PARA RIEGO EN EL BARRIO CATZUQUI DE MONCAYO*, Quito, 2022.
- [14] F. Patel, *Simplified Modeling and Analysis of the Fog Water Harvesting System in the Asir Region of the Kingdom of Saudi Arabia*, *Aerosol and Air Quality Research*, 2017.
- [15] C. R. Romeva, «Diseño Concurrente,» *Edicions UPS*, 2002.
- [16] *Código Técnico de la edificación, Documento básico SE-AE Seguridad Estructural Acciones en la edificación*, 2009.
- [17] *Norma Ecuatoriana de la construcción, Código NEC-SE-CG*, 2014.
- [18] EducaconBigBang, «Fabrica un pluviómetro casero con una botella de plástico,» Enero 2016. [En línea]. Available: <https://educaconbigbang.com/2016/01/fabrica-pluviometro-casero-una-botella-plastico/>.
- [19] *Instituto de investigación, agua y salud, Guía de hidratación*, Madrid, 2018.
- [20] FogQuest: Sustainable Water Solutions, «F.A.Q.,» 2 11 2022. [En línea]. Available: <https://www.fogquest.org/>.
- [21] Importaciones Total, «Termohigrometro Digital Sonda Termo Higrometro,» 2022. [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516653278-termohigrometro-digital-sonda-termo-higrometro-\\_JM#position=1&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=9d80fbc5-d0c0-411a-8283-2d918c4bad1e](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-516653278-termohigrometro-digital-sonda-termo-higrometro-_JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=9d80fbc5-d0c0-411a-8283-2d918c4bad1e). [Último acceso: 02 02 2023].
- [22] Govee, «Govee Bluetooth Hygrometer Thermometer H5075,» [En línea]. Available: <https://us.govee.com/products/govee-bluetooth-hygrometer-thermometer-h5075>. [Último acceso: 02 02 2023].

## 5 ANEXOS

**ANEXO I.** Extractos de la entrevista con el señor Anelio, miembro de la comunidad Zapotal y encargado del cuidado y mantenimiento del bosque La Esperanza.

Melissa: ¿Cuál es la principal manera de obtener agua en la comunidad?

Anelio: Las mayoría de las personas tienen una pequeña bomba conectada a una vertiente o pozo cercano a su casa. Algunos también recolectan agua de lluvia, especialmente en estas épocas (noviembre-enero). Anteriormente acostumbraban a ir hasta el río a traer agua, pero era un esfuerzo físico muy grande y con la ayuda de las bombas eso ya no es necesario.

M: ¿Usan tanqueros en el sector? ¿Qué tan costoso es el servicio?

A: Casi no se usan tanqueros porque preferimos usar las bombas. Debido a que el pueblo se encuentra alejado de la ciudad, el costo de traer un tanquero es excesivo. Se los contrata raramente, pero para otros fines. Cuando se tienen eventos en la comunidad y se quiere mojar las calles para evitar que se alce el polvo, por ejemplo.

M: ¿Qué tipo de bombas ocupan? ¿Son accesibles?

A: Las bombas son pequeñas, en su mayoría eléctricas. Pocas personas tienen bombas a gasolina o Diesel. Las bombas más comunes están entre 140 y 240 dólares, pero las de 140 son las más comunes.

M: ¿Cómo afecta el uso de las bombas en su consumo eléctrico?

A: Las bombas no consumen mucha electricidad. Mi hermano tiene dos medidores, uno para las cosas de la casa y otro para la bomba. El de la bomba le marca entre unos 2 y 5 dólares al mes. Las familias del sector pagan alrededor de 20 dólares mensuales de luz, de esos, 5 son de la bomba.

M: ¿Cuántos niños van a la escuela aquí? (Referente a la escuela 4 de octubre que se busca beneficiar con el proyecto)

A: Es una escuela primaria donde asisten 13 niños. Tienen una sola clase (Respecto al espacio) donde todos reciben las diferentes clases. La escuela también cuenta con una bomba y recogen agua de lluvia en uno de los tumbados.

## ANEXO II. Tablas para cálculo de carga de viento [17] [16]

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)	Construcción	Coefficiente $C_f$
5	0.91	0.86	0.80	Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
10	1.00	0.90	0.80	Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
20	1.06	0.97	0.88		
40	1.14	1.03	0.96		
80	1.21	1.14	1.06	Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
150	1.28	1.22	1.15	Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Tabla 5: Coeficiente de corrección  $\sigma$

Tabla 7: Determinación simplificada del factor de forma  $C_f$

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición  $c_e$

Entorno (grado de aspereza)		Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

### ANEXO III. Especificaciones técnicas del termohigrómetro digital. [21]



*Figura 1: Termohigrómetro adquirido*

- Rango de temperatura: -50 °C ~ + 100 °C
- Resolución de visualización de temperatura: 0,1 °C
- Precisión de medición de temperatura:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Medición de la humedad: 10% RH-99 % RH
- Precisión de la humedad:  $\pm 5\%$
- Resolución de la pantalla de humedad: 1% RH
- Fuente de alimentación: dos botones LR44 alimentados con batería incluidos
- Línea de sonda larga: Sonda de caja moldeada de 1,5 metros

#### ANEXO IV. Especificaciones técnicas del termohigrómetro Govee. [22]



Figura 2: Termohigrómetro usado

- Rango de temperatura: -20 °C ~ 60 °C
- Resolución de visualización de temperatura: 0.1 °C
- Precisión de medición de temperatura:  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
- Medición de la humedad: 0% RH - 100% RH
- Precisión de la humedad:  $\pm 3\%$
- Resolución de la pantalla de humedad: 1% RH
- Fuente de alimentación: Batería recargable

ANEXO V. Recolección de datos climáticos acorde a la bitácora elaborada

N°	FECHA dd/mm/aaaa	HORA hh:mm	TEMPERATURA [°C]	HUMEDAD RELATIVA	NIEBLA		LLUVIA		AGUA RECOLECTADA		OBSERVACIONES
					SI	NO	SI	NO	COLECTOR	BOTELLA	
30	18/11/2022	18:00	22.2	92	✓						
31	19/12/2022	6:25	22.2	92	✓				10 gotas	Tapa mojada	Poquita lluvia
32	20/12/2022	18:31	22.3	92	✓				50 gotas	75	agua
33	20/12/2022	18:43	22.6	92	✓				50 gotas	75	agua
34	20/12/2022	18:47	22.4	92	✓				50 gotas	75	agua
35	21/12/2022	6:22	22.4	93	✓		*		1/2	25	
36	21/12/2022	18:25	25.7	86	✓		*		12.5	6 gotas	
37	22/12/2022	6:52	24.2	83	✓		*		30 gotas	N	
38	22/12/2022	18:49	24.1	81	✓				10 gotas	20	
39	23/12/2022	6:26	22.8	89	✓				25	N	POCO D'AGUA
40	23/12/2022	18:54	26.2	70	✓				NADA	0mm	
41	24/12/2022	6:30	28.8	79	✓				25	N	
42	24/12/2022	18:02	25.0	84	✓				1.5	6 gotas	POCO
43	25/12/2022	6:27	22.5	93	✓	*			12 gotas	N	
44	25/12/2022	18:29	25.2	90	✓				15 gotas	N	
45	26/12/2022	6:21	22.4	92	✓				3 gotas	N	
46	26/12/2022	18:00	26.0	90	✓		*		10 gotas	N	
47	27/12/2022	6:32	22.1	93	✓				7 gotas	N	
48	27/12/2022	18:41	25.2	89	✓				11.75	N	
49	28/12/2022	6:15	23.2	87	✓				25 gotas	N	
50	28/12/2022	18:22	25.0	84	✓				N	N	
51	29/12/2022	6:11	22.6	93	✓		*		22 gotas	6 gotas	
52	29/12/2022	18:35	25.1	92	✓				2	6-10	
53	30/12/2022	6:15	22.1	92	✓				7.5	10-15	
54	31/12/2022	18:11	26.1	79	✓				N	0	
55	31/12/2022	6:19	N	N	✓				25	Tapa llena el aparato está dañado	
56	31/12/2022	18:22	23.7	76	✓				25.2mm	20-30	POCO
57	1/1/2023	6:34	21.8	88	✓				25	20	POCO
58	1/1/2023	18:00	28.5	83	✓				25	20	POCO

Figura 3: Bitácora del 18 de noviembre del 2022 al 1 de enero del 2023



## ANEXO VI. Selección de módulos

Una vez que se obtiene la ponderación de los criterios evaluados en la metodología, se procede a la evaluación del desempeño de las diferentes alternativas con base a cada criterio, generando así las siguientes tablas para el módulo 1:

**Tabla 1:** Evaluación del peso específico del criterio Escalabilidad

Alt. 4 > Alt. 3 > Alt. 2 > Alt. 6 > Alt. 1 = Alt. 5								
Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6	$\Sigma+1$	Pond.
Alt. 1		0	0	0	0.5	0	1.5	0.07
Alt. 2	1		0	0	1	1	4	0.19
Alt. 3	1	1		0	1	1	5	0.24
Alt. 4	1	1	1		1	1	6	0.29
Alt. 5	0.5	0	0	0		0	1.5	0.07
Alt. 6	1	0	0	0	1		3	0.14
						Suma	21	1

**Tabla 2:** Evaluación del peso específico del criterio Vida Útil

Alt. 3 > Alt. 4 = Alt. 6 > Alt. 5 > Alt. 1 > Alt. 2								
Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6	$\Sigma+1$	Pond.
Alt. 1		1	0	0	0	0	2	0.10
Alt. 2	0		0	0	0	0	1	0.05
Alt. 3	1	1		1	1	1	6	0.29
Alt. 4	1	1	0		1	0.5	4.5	0.21
Alt. 5	1	1	0	0		0	3	0.14
Alt. 6	1	1	0	0.5	1		4.5	0.21
						Suma	21	1

**Tabla 3:** Evaluación del peso específico del criterio Disponibilidad

Alt. 2 > Alt. 1 > Alt. 6 = Alt. 4 > Alt. 5 = Alt. 3								
Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6	$\Sigma+1$	Pond.
Alt. 1		0	1	1	1	1	5	0.24
Alt. 2	1		1	1	1	1	6	0.29
Alt. 3	0	0		0	0.5	0	1.5	0.07
Alt. 4	0	0	1		1	0.5	3.5	0.17
Alt. 5	0	0	0.5	0		0	1.5	0.07
Alt. 6	0	0	1	0.5	1		3.5	0.17
						Suma	21	1

**Tabla 4:** Evaluación del peso específico del criterio Costo

Alt. 2 > Alt. 1 > Alt. 6 > Alt. 5 > Alt. 4 > Alt. 3								
Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6	$\Sigma+1$	Pond.
Alt. 1		0	1	1	1	1	5	0.24
Alt. 2	1		1	1	1	1	6	0.29
Alt. 3	0	0		0	0	0	1	0.05
Alt. 4	0	0	1		0	0	2	0.10
Alt. 5	0	0	1	1		0	3	0.14
Alt. 6	0	0	1	1	1		4	0.19
Suma							21	1

Para el módulo 2 se realiza el análisis de los criterios de la misma manera que se realizó en el módulo 1, llegando a los siguientes resultados:

**Tabla 5:** Evaluación del peso específico del criterio Escalabilidad

Alt. 3 > Alt. 4 = Alt. 2 > Alt. 1						
Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	$\Sigma+1$	Pond.
Alt. 1		0	0	0	1	0.05
Alt. 2	1		0	0.5	2.5	0.12
Alt. 3	1	1		1	4	0.19
Alt. 4	1	0.5	0		2.5	0.12
Suma					10	0.47619

**Tabla 6:** Evaluación del peso específico del criterio Vida Útil

Alt. 3 = Alt. 1 > Alt. 2 = Alt. 4						
Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	$\Sigma+1$	Pond.
Alt. 1		1	0.5	1	3.5	0.17
Alt. 2	0		0	0.5	1.5	0.07
Alt. 3	0.5	1		1	3.5	0.17
Alt. 4	0	0.5	0		1.5	0.07
Suma					10	0.47619

**Tabla 7:** Evaluación del peso específico del criterio Disponibilidad

Alt. 2 > Alt. 1 > Alt. 4 > Alt. 3

Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	$\Sigma+1$	Pond.
Alt. 1		0	1	1	3	0.14
Alt. 2	1		1	1	4	0.19
Alt. 3	0	0		0	1	0.05
Alt. 4	0	0	1		2	0.10
				Suma	10	0.47619

**Tabla 8:** Evaluación del peso específico del criterio Costo

Alt. 2 > Alt. 4 > Alt. 1 > Alt. 3

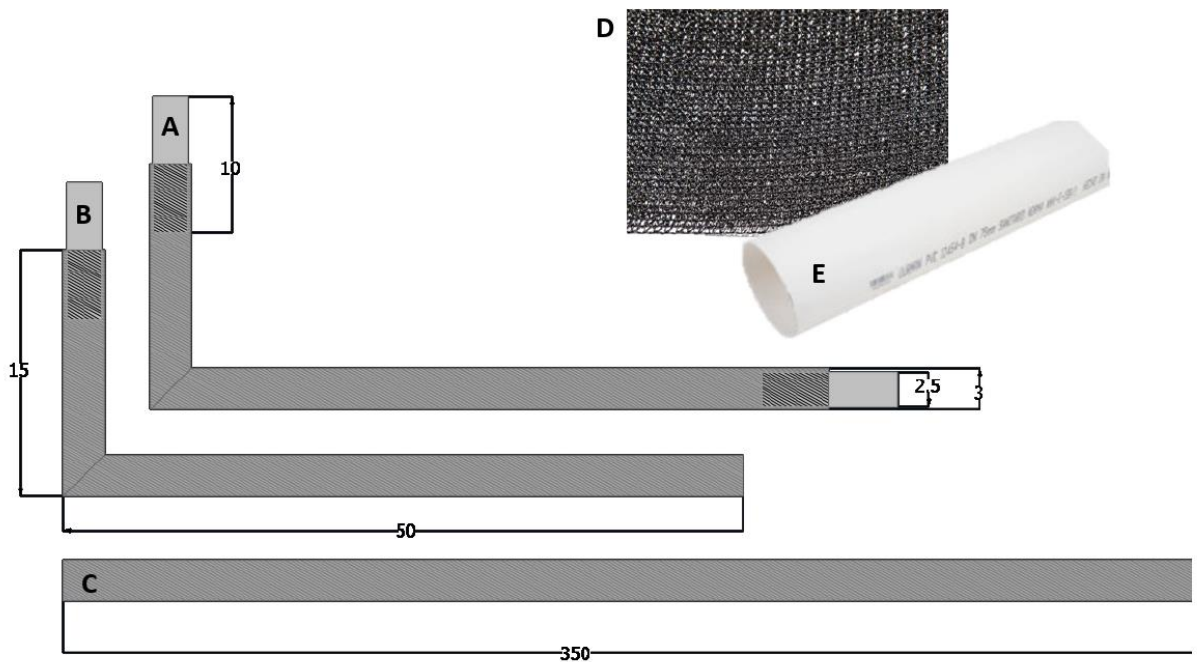
Peso	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	$\Sigma+1$	Pond.
Alt. 1		0	1	0	2	0.10
Alt. 2	1		1	1	4	0.19
Alt. 3	0	0		0	1	0.05
Alt. 4	1	0	1		3	0.14
				Suma	10	0.47619

## ANEXO VII. Manual para el usuario

### MANUAL PARA EL USUARIO

#### 1. Elementos

NOMBRE	ELEMENTO	MATERIAL	DIMENSIÓN [mm]	CANTIDAD	
A	Junta horizontal 1	Tubo cuadrado de acero negro	30x30x2	1	u
B	Junta horizontal 2	Tubo cuadrado de acero negro	30x30x2	1	u
C	Pata	Tubo cuadrado de acero negro	30x30x2	2	u
D	Malla Raschel 35%	Polietileno de alta densidad	1000x1000	2	u
E	Tubo	PVC	Ø110	1.1	m

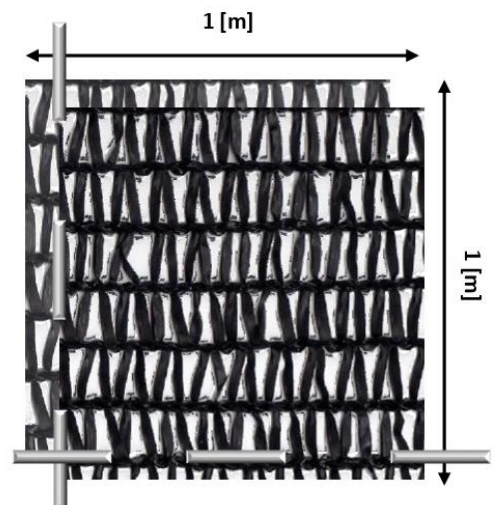


\*Las medidas se encuentran en [cm]

#### 2. Ensamble

##### MALLA

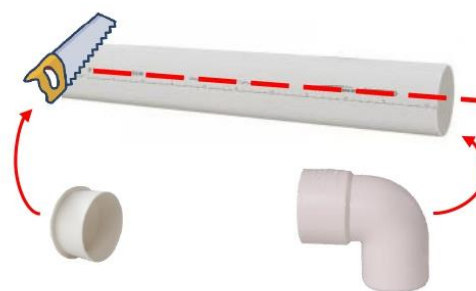
1. Recorte dos pedazos de malla del tamaño requerido. Para un SFC, corte dos pedazos de 1 [m] de alto por 1 [m] de ancho.
2. Coloque un pedazo encima del otro con un pequeño desfaz para que los huecos de ambas mallas no coincidan en el mismo lugar.
3. Corte 4 pedazos de alambre. 2 del largo de la malla y 2 del ancho de esta con un pequeño exceso de aproximadamente 10 [cm].
4. Atraviese ambas mallas con el alambre simulando la acción de cocer. Una vez que se la ha atravesado por completo, realice el mismo paso en los lados restantes.
5. Al tener los cuatro lados con alambre, asegure las esquinas con ayuda del alambre sobrante.



### CANAL DE RECOLECCIÓN

1. Corte el tubo de PVC por la mitad para tener un canal.
2. Coloque una tapa en un extremo y un codo de 90° en el otro. Selle las uniones con pegamento para tuberías.
3. Conecte una reducción para poder colocar la manguera.<sup>1</sup>

Nota: Es primordial asegurarse que el canal cuente con un ángulo de inclinación para asegurarse de que el agua corra hacia el lugar deseado. Se recomienda una inclinación mínima del 1%.



### SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

1. Conecte la manguera al canal de recolección.
2. Conecte la manguera a la tapa del recipiente donde se almacenará el agua. Asegúrese de que no tenga fugas.

Nota: Debido a la evaporación que se puede dar dentro de la manguera, se recomienda usar una manguera corta para que el agua llegue pronto al sistema de almacenamiento.



### INSTALACIÓN

1. Junte las piezas A y B para armar el soporte superior de la estructura.
2. Una el soporte superior a las patas.
3. Coloque el marco de alambre junto con la malla dentro de la estructura y ténselo con elementos de sujeción de su preferencia.
4. Una el canal de recolección a la estructura usando tornillos o elementos de sujeción de su preferencia.
5. Sujete el recipiente de almacenamiento a la estructura.
6. Cabe dos agujeros de 0.25X0.25 [m] a 1 [m] de distancia el uno del otro.
7. Coloque la estructura dentro de los agujeros y apísónelos para asegurar la estructura.



<sup>1</sup> Se puede colocar una tapa y hacer un agujero del mismo diámetro de la manguera a usar siempre y cuando las uniones se encuentren bien selladas para evitar pérdidas de agua mediante fugas.

ANEXO VIII. Datos recolectados de diciembre 2022

N°	FECHA dd/mm/aaa a	HORA hh:mm	TEMP [°C]	HUMEDAD RELATIVA [%]	PUNTO DE ROCIO [°C]	NIEBLA		LLUVIA		AGUA RECOLECTADA			
						SÍ	NO	SÍ2	NO2	COLECTOR [ML/M2]	COLECTOR [dL/M2]	BOTELLA [CM] [L/M2]	BOTELLA [dL/M2]
1	4/12/2022	06:22	22	88	19.9	x			x	0	0	0	0
2	4/12/2022	18:35	24.9	70	19.0		x		x	0	0	0	0
3	5/12/2022	06:18	24	90	22.3	x			x	0	0	0	0
4	5/12/2022	18:36	27.4	63	19.7	x			x	0	0	0	0
5	6/12/2022	06:25	21.9	93	20.7	x		x		25	0.25	0.3	30
6	6/12/2022	18:23	24.9	76	20.4	x			x	0	0	0	0
7	7/12/2022	06:26	21.6	83	18.6	x			x	5	0.05	0	0
8	7/12/2022	18:31	20.1	70	14.4		x	x		105	1.05	100	100000
9	8/12/2022	06:34	24.1	94	23.1		x		x	350	3.5	1.5	150
10	8/12/2022	18:40	22.3	82	19.1		x		x	50.2	0.502	0.1	100
11	9/12/2022	06:25	26	83	22.9		x		x	0	0	0	0
12	9/12/2022	18:29	24.9	73	19.7		x		x	0	0	0	0
13	10/12/2022	06:24	21.7	93	20.5	x		x		25	0.25	0.3	30
14	10/12/2022	18:40	24.6	83	21.5	x			x	0	0	0	0
15	11/12/2022	06:21	21.5	96	20.8	x		x		400	4	0.6	60
16	11/12/2022	18:55	24.5	78	20.4		x		x	12.5	0.125	0.3	300
17	12/12/2022	06:27	21.4	92	20.0		x		x	0	0	0	0
18	12/12/2022	18:32	21.8	74	16.9		x		x	0	0	0	0
19	13/12/2022	06:37	21.4	94	20.4	x			x	5	0.05	0.3	30
20	13/12/2022	18:48	24.3	84	21.4		x	x		5	0.05	0	0
21	14/12/2022	06:17	21.3	95	20.5	x			x	0.1	0.001	0	0
22	14/12/2022	18:15	27.5	67	20.8		x		x	0	0	0	0
23	15/12/2022	06:30	22.9	85	20.2		x		x	0	0	0	0
24	15/12/2022	18:42	23.4	86	20.9	x		x		5	0.05	0.3	300
25	16/12/2022	06:34	22.2	92	20.8	x			x	25	0.25	0.3	30
26	16/12/2022	18:57	26.3	70	20.4		x		x	50	0.5	0.3	300
27	17/12/2022	07:00	22.7	90	21.0		x		x	25	0.25	0.3	30
28	17/12/2022	18:40	22.5	66	15.8		x		x	5	0.05	0	0
29	18/12/2022	07:44	23.3	94	22.3	x		x		1000	10	1000	100000
30	18/12/2022	18:00	28.3	69	22.1		x		x	0.5	0.005	2.5	2500
31	19/12/2022	06:25	22.2	92	20.8	x		x		0.16	0.0016	0.1	10
32	19/12/2022	18:31	27.3	74	22.3		x		x	0.08	0.0008	2.5	2500
33	20/12/2022	06:45	22.6	92	21.2	x		x		50.5	0.505	0	0
34	20/12/2022	18:47	15.4	79	11.7		x	x		5	0.05	2.5	2500
35	21/12/2022	06:22	22.4	96	21.7	x		x		500	5	2.5	250
36	21/12/2022	18:25	25.7	86	23.2	x		x		12.5	0.125	0.1	100
37	22/12/2022	06:52	24.2	83	21.1	x			x	0.5	0.005	0	0
38	22/12/2022	18:44	27.4	67	20.7		x	x		0	0	2.5	2500
39	23/12/2022	06:26	22.8	89	20.9	x			x	0	0	0	0
40	23/12/2022	18:54	26.7	70	20.8		x		x	25	0.25	0	0
41	24/12/2022	06:30	28.8	79	24.8	x		x		1000	10	1.5	150
42	24/12/2022	18:20	25	84	22.1		x		x	0.2	0.002	0.1	100
43	25/12/2022	06:27	22.5	93	21.3	x			x	0.25	0.0025	0	0
44	25/12/2022	18:24	25.2	80	21.5		x		x	0.05	0.0005	0	0
45	26/12/2022	06:21	22.4	92	21.0	x		x		0.25	0.0025	0	0
46	26/12/2022	18:00	26	80	22.3		x		x	0	0	0	0
47	27/12/2022	06:32	22.1	93	20.9	x		x		0.13	0.0013	0	0
48	27/12/2022	18:17	25.7	79	21.8		x		x	11.75	0.1175	0	0
49	28/12/2022	06:15	23.2	87	20.9		x		x	0.42	0.0042	0	0
50	28/12/2022	18:22	25	84	22.1		x		x	0	0	0	0
51	29/12/2022	06:11	22.6	93	21.4	x		x		0.36	0.0036	0.1	10
52	29/12/2022	18:32	25.1	88	23.0	x		x		25	0.25	0.1	100
53	30/12/2022	06:15	22.1	92	20.7	x		x		7.5	0.075	0.3	30